



Manual de recolección, almacenamiento y procesamiento de frutos de Mbokaja (*Acrocomia aculeata*)

Juan Daniel Rivaldi, Mario Smidt, Jorge Rodas[†], María Edelira Velázquez

Manual de recolección, almacenamiento y procesamiento de frutos de Mbokaja (*Acrocomia aculeata*)

Juan Daniel Rivaldi, Mario Smidt, Jorge Rodas[†], María Edelira Velázquez

INVESTIGADORES / COLABORADORES

Prof. Farm. Rosa Degen, MSc.

Prof. Ing. Quím. Laura Correa, MSc.

Prof. Ing. Agr. César Caballero

Dra. Simone Favaro

Lic. Cyndi Páez

Prof. Dra. Fátima Yubero

Prof. Dra. Yenny González

Lic. Gloria Delmás

PROYECTO 14-INV-093

Sistema de colecta y almacenamiento de frutos de *Acrocomia aculeata* y aprovechamiento del aceite de la pulpa con miras a su utilización como materia prima para la obtención de biodiesel

Financiado por el CONACYT a través del Programa PROCIENCIA con recursos del Fondo para la Excelencia de la Educación e Investigación – FEEI del FONACIDE

Cofinanciado por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de Asunción

**San Lorenzo, Paraguay
2022**

Manual de recolección, almacenamiento y procesamiento de frutos de Mbokaja *(Acrocomia aculeata)*

PROYECTO 14-INV-093

Sistema de colecta y almacenamiento de frutos de *Acrocomia aculeata* y aprovechamiento del aceite de la pulpa con miras a su utilización como materia prima para la obtención de biodiesel

El CONACYT es un ente financiador de los proyectos de investigación. Las opiniones y conclusiones del resultado final de los proyectos son de exclusiva responsabilidad de los autores y las instituciones beneficiarias

Es permitida la reproducción parcial de este material siempre que sea citado de la siguiente forma:

Manual de recolección, almacenamiento y procesamiento de frutos de Mbokaja (*Acrocomia aculeata*).

/ Juan Daniel Rivaldi Chávez [et al]. - San Lorenzo : Los Autores, 2022.

84 p.: fig. ; 25,7 cm

Incluye sumario, lista de colaboradores, ilustraciones,

(Proyecto 14-INV-093)

Proyecto desarrollado por la Facultad de Ciencias Químicas – UNA y financiado por el CONACYT a través del Programa PROCIENCIA con recursos del Fondo para la Excelencia de la Educación e Investigación – FEEI del FONACIDE

1. COCO PARAGUAYO – PROCESAMIENTO. 2. MBOKAJA. 3. ACEITE DE COCO – EXTRACCIÓN 4. PRODUCCIÓN DE BIODIESEL. I. Rivaldi Chavez, Juan Daniel, II. Smidt, Mario III. Rodas†, Jorge IV. Velázquez, María Edelira

CDD: 665.355

R616m

ISBN 978-99925-3-755-8

Todos los derechos reservados ©

MATERIAL DE DISTRIBUCIÓN LIBRE Y GRATUITA

Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Nacional de Asunción
Ruta Mcal. Estigarribia, km 11
Campus Universitario
Casilla de Correo 1055
San Lorenzo – Paraguay
Tel. (+595) 21 – 7290030

Representantes FCQ

Prof. Lic. Cynthia Saucedo de Schupmann, Decana
Prof. Dra. Olga Maciel de Segovia, Vicedecana
Prof. Dra. Silvia Caballero, Directora de Investigaciones

Edición y diagramación

Dr. Juan Daniel Rivaldi
Prof. Ing. Quím. Mario Smidt, Mg.

Revisión técnica

Prof. Ing. Quím. María Edelira Velázquez, MSc.
Prof. Farm. Rosa Degen, MSc.

Revisión de texto

Lic. Nelly Giménez de Calderón

Fotografías e ilustraciones

Dr. Juan Daniel Rivaldi
Prof. Ing. Quím. Mario Smidt, Mg.
Prof. Farm. Rosa Degen, MSc.

Manual de recolección, almacenamiento y procesamiento de frutos de Mbokaja (*Acrocomia aculeata*)

Autores



Juan Daniel Rivaldi Chávez

Ingeniero Químico
Magister en Biotecnología Industrial
Doctor en Ciencias – Microbiología Aplicada
Departamento de Aplicaciones Industriales
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Nacional de Asunción
danielrivaldi@gmail.com



Mario Amilcar Smidt Ledezma

Ingeniero Químico
Magister en Innovación Didáctica para Ciencia y Tecnología
Departamento de Aplicaciones Industriales
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Nacional de Asunción
mariosmidt@gmail.com



Jorge Enrique Rodas Cáceres†

Ingeniero Químico
Departamento de Aplicaciones Industriales
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Nacional de Asunción



María Edelira Velázquez Figueredo

Ingeniera Química
Magister en Ingeniería Química
Departamento de Aplicaciones Industriales
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Nacional de Asunción
edelira29@gmail.com

SUMARIO

	pág
	.
Introducción	2
Clasificación botánica y descripción del Mbokaja	3
Ecología y distribución	6
Identificación y caracterización morfológica de la especie <i>Acrocomia aculeata</i> en la región oriental	8
Cosecha de frutos	12
Condición de recolección	13
Alternativas de recolección en campo	14
Condiciones de cacheo	16
Almacenamiento	17
Cosecha de frutos en campo experimental y caracterización	22
Procesamiento industrial de Mbokaja	31
Situación de la industria nacional	42
Métodos alternativos de extracción de aceite de pulpa – extracción acuosa	45
Extracción etanólica	49
Producción de biodiésel	52
Aceite de pulpa de coco para producción de biodiesel supercrítico	56
Comentarios finales	60
Referencias bibliográficas	61

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 – Partes de la palmera de mbokaja (<i>Acrocomia aculeata</i>)	4
Figura 2 – Partes del fruto de mbokaja (<i>Acrocomia aculeata</i>)	5
Figura 3 – Regiones de distribución de palmeras de mbokaja (<i>Acrocomia aculeata</i>) en Paraguay	7
Figura 4 – Investigadores del Departamento de Botánica de la FCQ – UNA realizando toma de muestras en la región oriental	8
Figura 5 – Determinación de la longitud de inflorescencia e infrutescencia	9
Figura 6 – Cultivo experimental de mbokaja con espaciamiento para integración con sistemas agrícolas, pecuaria y forestal (Departamento de Paraguari)	10
Figura 7 – Remoción de hojas de mbokaja	11
Figura 8 – Frutos en el suelo con crecimiento de hongos filamentosos en la superficie de los frutos	12
Figura 9 – Recolector de frutos tipo jaula esférica, tipo jaula cilíndrica y recolector múltiple Nut Wizard	14
Figura 10 – Malla plástica extendida bajo la palmera de mbokaja, malla plástica envolviendo frutos desprendidos del racimo	15
Figura 11 – Máquina para recolección de nuez de macadamia	16
Figura 12 – Cacheo de racimos de frutos de mbokaja	16
Figura 13 – Ensayos de almacenamiento de frutos en condiciones ambientales naturales para evaluación del contenido enzimático en función del tiempo. Disposición sobre malla a 40 cm del suelo y a la sombra, disposición en el suelo a la sombra, disposición en el suelo expuesto a rayos solares	18
Figura 14 – Presencia de hongos filamentosos en superficie de frutos almacenados en depósito industrial	19
Figura 15 – Secador tipo silo con velocidad de aire y temperatura variable utilizado en los experimentos	20
Figura 16 – Fórmula estructural del tiabendazol	21
Figura 17 – Galpón de almacenamiento de frutos de mbokaja	21
Figura 18 – Localización del Campo Experimental de mbokaja de la FCA-UNA y distribución de palmeras en el terreno	22
Figura 19 – Racimos de frutos de mbokaja con malla y sistema colector, sistema colector-sensor de caída, display del software para detección de caída de frutos	23
Figura 20 – Distribución del racimo de frutos (cacho) en regiones basal, central y apical para determinación de diámetro longitudinal y transversal de frutos	24
Figura 21 – Evaluación biométrica de componentes del fruto de mbokaja en diferentes regiones del racimo	25
Figura 22 – Pulpa y aceite de pulpa de mbokaja	27
Figura 23 – Racimo de frutos de coco mbokaja	29
Figura 24 – Diagrama de bloques del proceso de producción de aceite de pulpa y almendra de coco mbokaja (<i>Acrocomia aculeata</i>) en Paraguay	32
Figura 25 – Almacenamiento de frutos, tolva de alimentación, tolva y despulpadora, cilindro despulpador.	33

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 26 – Flujogramas de diferentes etapas del proceso de producción de aceite.	34
Figura 27 – Cocedor de pulpa mbokaja, indicador de temperatura en el cocedor, pulpa cocida.	36
Figura 28 – Representación esquemática de la prensa extractora de aceite de pulpa.	36
Figura 29 – Prensa de tornillo mecánica (vista lateral), entrada de pulpa seca, cuerpo de la prensa de tornillo, bandeja colectora de aceite de pulpa, salida de expeller de pulpa, expeller de pulpa a la salida de la prensa mecánica	37
Figura 30 – Filtro prensa, frutos a la salida del despulpador, quebrantador de frutos despulpados (rompedor)	37
Figura 31 – Almendras de coco mbokaja separadas por flotación con caolín del endocarpio (carozo), endocarpio (carozo) separados, lavado de almendras de coco mbokaja, transporte de almendra húmeda	38
Figura 32 – Almendra húmeda, conjunto de secadores continuos tipo tornillo superpuestos, vista superior de secadores de tornillo	39
Figura 33 – Modelo de secador de tornillo continuo	39
Figura 34 – Molino de almendra seca, almendra molida, prensa extractora de aceite de almendra, reservorio intermedio de almendra, filtro prensa de placas y almacén de descarga abierta de aceite de almendra, aceite de almendra filtrado	40
Figura 35 – Depósito de epicarpio (cáscara), cáscara, carozo, abono conteniendo cáscaras de fruto de mbokaja	41
Figura 36 – Frascos conteniendo pulpa de frutos de <i>A. aculeata</i> para extracción acuosa, representación gráfica de reactor de 5 L utilizado para la extracción acuosa, coalescencia de glóbulos de aceite de pulpa en la superficie del líquido de malaxación	47
Figura 37 – Coalescencia de glóbulos de aceite de pulpa sobre la superficie del agua durante la extracción en reactor de 5 L, aceite de pulpa obtenido	48
Figura 38 – Representación esquemática del proceso de extracción de aceite de pulpa mbokaja con etanol	49
Figura 39 – Representación esquemática de la reacción de transesterificación	53
Figura 40 – Representación esquemática del proceso de producción tradicional de biodiesel	54
Figura 41 – Equilibrio de fases mostrando la zona de fluido supercrítico	55
Figura 42 – Representación esquemática del conjunto reactor supercrítico, controlador y recuperador de alcohol, utilizado para la obtención de ésteres metílicos y etílicos a partir de aceite de pulpa de coco mbokaja	57
Figura 43 – Ésteres obtenidos a partir de aceite de pulpa mbokaja de elevada acidez mediante reacciones supercríticas	58
Figura 44 – Reacción de esterificación y transesterificación de aceite de pulpa mbokaja en reactor Parr	59

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 – Características morfológicas de palmeras de mbokaja (<i>Acrocomia aculeata</i>) en diferentes puntos de la región oriental del Paraguay	9
Tabla 2 – Análisis del diámetro de frutos de mbokaja obtenidos de diferentes regiones del racimo	24
Tabla 3 – Evaluación biométrica de componentes del fruto de mbokaja en diferentes regiones del racimo	25
Tabla 4 – Distribución másica de componentes del fruto de mbokaja en diferentes regiones del racimo	26
Tabla 5 – Composición en masa de componentes del fruto de mbokaja en diferentes regiones del racimo	26
Tabla 6 – Características de la pulpa de mbokaja obtenida de diferentes regiones del racimo	27
Tabla 7 – Perfil de ácidos grasos del aceite de pulpa de coco mbokaja obtenidos de las diferentes regiones del racimo	28
Tabla 8 – Estimación de los parámetros de calidad de biodiesel a partir de aceite de pulpa mbokaja	29
Tabla 9 – Indicadores de producción y precio del aceite de pulpa y almendra en industrias de procesamiento de frutos de mbokaja en Paraguay	43
Tabla 10 – Indicadores de producción de subproductos de la obtención de aceite de pulpa y almendra para la zafra 2019	44
Tabla 11 – Matriz de planeamiento experimental factorial 2 ² aplicado en el proceso de extracción de aceite de pulpa de <i>Acrocomia aculeata</i> con agua	46
Tabla 12 – ANOVA de los efectos principales y de interacción de las variables sobre la eficiencia de extracción de aceite de pulpa de <i>Acrocomia aculeata</i> en agua	48
Tabla 13 – Extracción de aceite de pulpa mbokaja utilizando etanol como agente extractor	50
Tabla 14 – Puntos críticos de los solventes utilizados en la esterificación y transesterificación	56
Tabla 15 – Formación de ésteres a partir de aceite de pulpa vía reacción supercrítica	58

PRÓLOGO

La especie *Acrocomia aculeata*, conocida localmente como mbokaja, forma parte del paisaje de nuestro país y se vincula profundamente con usos y tradiciones de los habitantes del Paraguay. Las condiciones ambientales y el conocimiento tradicional de su manejo agronómico, así como la explotación de sus frutos como fuente de aceites, mantienen vigente el interés de esta especie como un recurso natural valioso para la generación de bienes mediante el procesamiento industrial.

El potencial de los frutos de mbokaja como fuente de materias primas para diversos fines industriales se conoce, aunque de manera dispersa, y con frecuencia a partir de referencias de cierta antigüedad. Esta situación, sumada al creciente interés por lograr acceso a fuentes renovables de combustibles justifica ampliamente el análisis detallado de sus condiciones de producción agrícola, colecta, conservación, procesamiento industrial y del incremento de su valor, a través de la sistematización de la información disponible y de procesos experimentales desarrollados por investigadores del área y con los medios idóneos.

Los aceites obtenidos de los frutos de mbokaja cuentan en el Paraguay con una tradición centenaria, que merece una nueva mirada ante la creciente demanda de recursos energéticos renovables. Una materia prima para este fin debe tener características de producción agrícola que la torne competitiva frente a otros cultivos, y que al mismo tiempo no genere productos cuyo destino reduzca la competitividad de otras aplicaciones, como la alimenticia o la medicinal. En este sentido, los frutos de mbokaja, y particularmente su pulpa se revelan como óptimos para la producción de biocombustibles.

Este manual, producto de un proyecto de investigación multidisciplinario e interinstitucional, ofrece una visión actualizada y verificada de las diferentes etapas de los procesos productivos y de transformación de los frutos de mbokaja, lo que lo convierte en una valiosa fuente de información para quienes desean incursionar en su producción o su aprovechamiento. El producto logrado con el direccionamiento de fondos públicos del FEEI a través del programa PROCIENCIA, gestionado por CONACYT, constituye un excelente ejemplo de los que se puede lograr cuando los procedimientos y recursos de la investigación científica se aplican a la búsqueda de soluciones en el campo tecnológico y la producción mediante el concurso de profesionales con las mayores calificaciones y la experiencia necesarias para concertar exitosamente acciones entre instituciones locales y del extranjero.

Más allá del valor específico de este manual en su singular aporte al aprovechamiento de un recurso natural fuertemente arraigado en nuestro medio, nos ilustra sobre la importancia de vincular los ambientes académicos, que aportan el soporte de la ciencia y sus procedimientos, con la experiencia de los actores del ámbito productivo, a fin de valorizar los recursos naturales y de aportar a la producción soluciones tecnológicamente viables, económicamente rentables y ambientalmente sustentables.

Prof. Dr. Esteban Antonio Ferro Bertolotto
Investigador Emérito – CONACYT
Ex-Decano de la Facultad de Ciencias Químicas – UNA

PRESENTACIÓN

La presencia de palmeras de cocotero denominadas “Mbocayá” o “Mbokaja” – *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.– sinonimia *Acrocomia totai* Mart, es muy común en el Paraguay y se encuentra distribuida en gran parte del territorio nacional. Generalmente todas las partes de la planta son útiles para varios usos, sin embargo, los frutos o cocos, son los más utilizados a nivel industrial, porque son materia prima para varios productos, la almendra para producir aceites destinados a la industria cosmética, el carozo para combustible o carbón activado y la pulpa para aceite y forraje, por citar los más relevantes.

Tradicionalmente se da mayor importancia a la almendra, descuidando la calidad de la pulpa que se deteriora durante la recolección y el almacenamiento, lo cual conlleva a la obtención de aceite de elevada acidez, limitando su uso posterior. Considerando las propiedades físicas y químicas del aceite de pulpa y su importancia para el rubro de la producción de biodiesel, fue desarrollado el Proyecto 14-INV-093 “**Sistema de colecta y almacenamiento de frutos de *Acrocomia aculeata* y aprovechamiento del aceite de la pulpa con miras a su utilización como materia prima para la obtención de biodiesel**” por la Facultad de Ciencias Químicas de la UNA con la colaboración de EMBRAPA Agroenergía (Brasil), y cofinanciado por el FONACIDE a través de CONACYT de Paraguay.

Cumpliendo con uno de los objetivos del proyecto, este manual presenta las principales alternativas para la recolección y almacenamiento de frutos del mbokaja, en base a los resultados obtenidos experimentalmente por el equipo de investigadores y las prácticas empleadas en otros países o publicadas por otros investigadores, y que son consideradas factibles de ser adaptadas en el Paraguay. En cuanto al procesamiento para la extracción de aceite, se describe la tecnología empleada actualmente en la industria paraguaya y como alternativa se resumen algunos procesos estudiados a escala de laboratorio y planta piloto, acompañados de las características químicas y físicas del aceite. Por último, se describen algunos procesos de obtención de biodiesel convencional y se presenta una propuesta para obtención de biodiesel empleando el método de esterificación y transesterificación en condiciones supercríticas, que permite procesar materias primas con alto contenido de ácidos grasos libres y agua, sin catalizadores.

Agradecemos a CONACYT por el cofinanciamiento y orientación pertinente para la gestión del proyecto, al Laboratorio de Procesos Químicos de EMBRAPA Agroenergía con sede en Brasilia, por la destacada colaboración en cuanto a capacitación, uso de laboratorio y por compartir experiencias muy importantes. Agradecimiento especial a la Facultad de Ciencias Agrarias - UNA por permitir el acceso a las plantaciones de Mbokaja del Campo Experimental y por el asesoramiento correspondiente. A los directivos, docentes e investigadores, estudiantes de grado, postgrado y personal de mantenimiento de la Facultad de Ciencias Químicas - UNA por aceptar el desafío y apoyar la ejecución de un trabajo muy complejo y multidisciplinario de mucho interés para el país. A las empresas Oleaginosas Industrializadas S.A. (OISA), Base Industrial Salinas S.A. y Aceitera Industrial S.A., por permitir el acceso a sus industrias y proveer información técnica de mucho valor.

Prof. Ing. María Edelira Velázquez, MSc.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, Paraguay) por el financiamiento del Proyecto 14-INV-093 a través del Programa PROCIENCIA con recursos del Fondo para la Excelencia de la Educación – FEEI del FONACIDE y la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de Asunción por la cofinanciación del Proyecto.

A EMBRAPA Agroenergía, en la persona de la Dra. Simone Palma Favaro, por la oportunidad para el desarrollo de trabajos de interés común entre Brasil y Paraguay.

Al Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología (INTN) por la realización de los ensayos químicos.

A todos los investigadores y estudiantes que participaron en la realización de los trabajos de investigación y actividades desarrolladas en el marco del Proyecto 14-INV-093.

Por último, agradecemos al Prof. Ing. Agr. César Caballero (Facultad de Ciencias Agrarias – UNA), Lic. Carin Daher (Oleaginosas Industriales S.A., OISA), Lic. Sady Salinas (Base Industrial Salinas S.A., BISA) e Ing. Agr. Juan Vera (Industrial Aceitera S.A.) por las informaciones técnicas y económicas brindadas.

In memoriam

Dedicado al amigo y colega

*Jorge Enrique Rodas Cáceres, miembro y
colaborador incansable del Departamento
de Aplicaciones Industriales*



Mbokaja

INTRODUCCIÓN

Mbokaja o Mbocayá (nombre guaraní) o *Acrocomia aculeata*, cuya denominación proviene del griego *akros* (que está alto o en la cima) y *kome* (mechón) y del latín *aculeatus* (cortante o punzante), es una palmera (palma) nativa de bosques tropicales de América, con alta concentración en Paraguay, Brasil, Bolivia y norte de la Argentina (Henderson et al., 1995). El coco paraguayo originalmente fue identificado como *Acrocomia totai* Mart., sin embargo, actualmente, esta palmera es identificada como *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. Dentro del género *Acrocomia* se han descrito aproximadamente 40 especies diferentes, debido a la gran variedad de fenotipos encontrados en las diferentes regiones de América. Actualmente, esta palmera es identificada taxonómicamente como *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. y quedando como sinonimia botánica las otras especies descritas (Büttner, 2009, Céspedes de Zárate et al., 2015).

En el Paraguay, el mbokaja se encuentra ampliamente distribuido en la región oriental, principalmente en propiedades de pequeños productores agrícolas. Por otro lado, se hallan áreas limitadas de cultivo racional en los distritos de Ybycuí, Piribebuy, Itauguá y Roque González (McDonald, 2007). En el país (Paraguay) existe una Ley, la N° 4.309/2011 que declara de interés nacional y fomenta la forestación y/o reforestación con mbokaja, buscando estimular su aprovechamiento. Sin embargo, muchos productores han abandonando la práctica de recolección de los frutos para su explotación comercial debido al bajo precio en los centros de acopio, asociado principalmente a la mala calidad de los frutos recolectados.

El mbokaja es materia prima para alimentación humana y animal, industria cosmética, producción de biocombustibles e industria maderera. Todos los productos derivados de su explotación comercial encuentran mercado a nivel nacional e internacional, pudiendo traer beneficios económicos y sociales a toda la cadena productiva.

El fruto es la parte de mayor valor industrial, considerando que la pulpa y la almendra contienen aceites de calidad altamente valorizados.

Paraguay ha sido por mucho tiempo el único país con tecnología adaptada para la extracción de aceite de coco mbokaja. Existen reportes del procesamiento mecanizado en forma efectiva desde 1940, con producción total de 883 Tn de aceite de almendra, de las cuales 13 Tn fueron destinadas a exportación (Markley, 1956). El aceite de almendra de coco mbokaja es rico en ácido láurico (40-43 %, p/p), altamente valorizado en la industria cosmética, por otro lado, el aceite de pulpa es abundante en ácido oleico (55-65 %) y considerado ideal para la producción de biocombustibles, como el biodiesel.

Actualmente, el aceite de soja cubre aproximadamente el 70 % de la demanda de materia prima para la obtención de biodiesel en Paraguay. Sin embargo, la variación de su precio de mercado, la controversia por su uso en la generación de combustible delante de la escasez de alimentos, hace necesaria la búsqueda de materias primas alternativas para la producción de este biocombustible. En ese sentido, el aceite de pulpa de coco mbokaja se presenta como potencial sustituto, debido a la alta disponibilidad como materia prima.

Por otro lado, la rápida alteración de la calidad de frutos debido a la recolección y almacenamiento inadecuados, promueven la hidrólisis de los lípidos y consecuente aumento de la acidez del aceite de pulpa, reduciendo su valor de mercado. Por ello, es necesario promover la implementación de técnicas eficientes de recolección y almacenamiento de frutos que permitan obtener aceite de pulpa de calidad y en cantidad suficiente para su comercialización. Este manual tiene por objetivo presentar las principales alternativas de recolección, almacenamiento y procesamiento del aceite de pulpa de coco mbokaja con miras a la producción de combustibles.

CLASIFICACIÓN BOTÁNICA Y DESCRIPCIÓN DEL MBOKAJA

En términos taxonómicos el mbokaja es clasificado en la Familia: Arecaceae (Palmae), Subfamilia: Arecoideae, Tribu: Cocoeae, Subtribu: Bactridinae, Género: *Acrocomia*, Especie: *Acrocomia aculeata* (Jacq. f) Loddiges ex Martius – descrita en el año 1845. Es una palmera arborescente oleaginosa, perenne, robusta, fructífera y nativa de América, de características variables en función del tipo de suelo y clima (Crocomo & Melo, 1996). El género *Acrocomia*, agrupa más de 26 especies y se extiende desde el Norte de Argentina y Paraguay hasta México y las indias occidentales, Cuba y Jamaica (Hernández et al. 2016).

Según Henderson et al. (1995) para América el género *Acrocomia* está compuesto por dos especies, *A. aculeata* y *A. hassleri* que se diferencian básicamente por el tamaño de los individuos, siendo la primera la de mayor tamaño y ampliamente distribuida en las regiones secas de América tropical. Sin embargo, *A. hassleri* está restringida en los cerrados de Brasil y Paraguay. Hernández et al. (2016) menciona que la palmera *A. aculeata* tiene numerosas sinonimias, lo que corresponde a especies descritas pero que luego de un análisis taxonómico pasaron a ser consideradas como la misma especie. En el Paraguay una sinonimia es *A. totai* Mart., nombre muy utilizado para el mbokaja (Céspedes de Zárate et al., 2015).

De forma general el mbokaja, presenta estípite (tallo) generalmente cilíndrico, de 20 a 35 cm de diámetro y altura de 4 a 12 m, pudiendo alcanzar los 15 m de altura, generalmente recto o curvado (Figura 1). La superficie de la estípite es de color gris claro, lisa o con espinas de 6 a 15 cm, presentando marcas anulares resultado de la unión de hojas caídas (Makley, 1955; FAO, 1987).

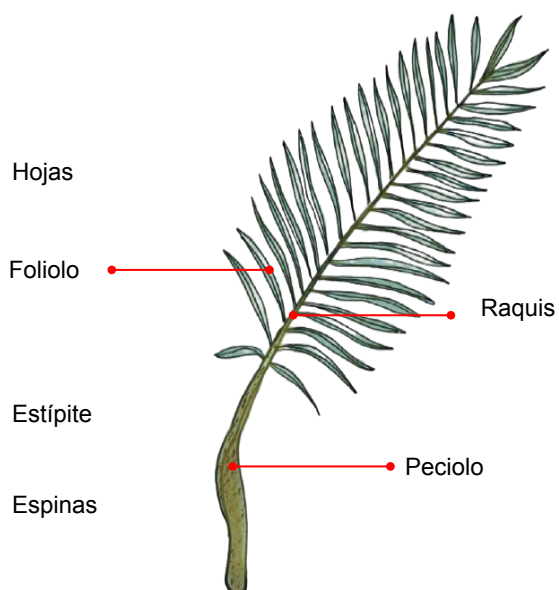
Las hojas se encuentran en número de 20 a 30 unidades por palmera, presentan longitud de entre 1,5 a 3 m, folíolos (partes en la que se divide el limbo de la hoja) de 50 a 90 cm de largo y de 1 a 3 cm de ancho y color verde oscuro (Figura 1). El pecíolo, raquis y la base foliar, poseen espinas de longitudes diversas de hasta 8 cm (Markley, 1955).

La inflorescencia interfoliar es de color amarillo y se agrupan en cachos de 50 a 150 cm de longitud que están encerrados en una bráctea leñosa (espata) con pelos lanosos que puede medir hasta 2 m de longitud (Figura 1). Las flores son unisexuadas, encontrándose las flores masculinas en el extremo de la inflorescencia y las flores femeninas en la base de la misma (FAO, 1987; Nucci, 2007).

Debido a la presencia de flores masculinas y femeninas en esta palmera, es posible observar la geitonogamia o polinización entre flores diferentes de una misma planta. Este sistema reproductivo flexible es responsable de una parte considerable de la polinización de la *A. aculeata* (Scarlot et al., 1991; Mazzottini-dos-Santos et al., 2015).

Los principales agentes de polinización son los gorgojos (Curculionidae), escarabajos (Escarabaeidae), coleopteros (Nitidulidae) y abejas melíferas, además del viento que cumple un papel secundario (Scarlot et al., 1991; Scarlot, 1998).

El género *Acrocomia* agrupa numerosas especies, sin embargo algunas de ellas pasaron actualmente a sinonimias de la especie *Acrocomia aculeata*.



Hojas

Foliolo

Raquis

Estípites

Espinas

Pecíolo



Bráctea leñosa
(espata)

Racimo de flores
(inflorescencia)

Racimo de frutos
(infrutescencia, cacho)



Figura 1 – Partes de la palmera de mbokaja (*Acrocomia aculeata*).

Los frutos del mbokaja son globosos de color verde amarillo (Figura 2), que solo se vuelve marrón en la maduración completa del fruto (Crocomo & Melo, 1996; Nucci, 2007). Generalmente se encuentran dispuestos en racimos (4 a 7 unidades por palmera), conteniendo de 200 a 600 frutos, generalmente son esféricos (ligeramente achatados en los polos), cuyo tamaño varía entre 2,5 y 6 cm de diámetro, en función del ecotipo de *Acrocomia aculeata*, siendo en promedio de 3 a 4 cm (Scariot et al., 1991; Rivaldi et al., 2019).

El fruto está constituido por epicarpio, mesocarpio, endocarpio y almendra (Figura 2). El epicarpio o cáscara representa aproximadamente al 23 % (p/p) del fruto, cuyo espesor varía de 0,7 a 0,8 mm. Se caracteriza por ser dura, quebradiza y de bajo contenido en aceite (inferior a 10 %, p/p) (FAO, 1987). El mesocarpio o pulpa, de 3 a 7 mm de espesor, representa el 46,7 % (p/p) del fruto y se caracteriza por ser fibroso, de color amarillo, mucilaginoso y pegajoso lo que dificulta su separación en operaciones industriales (Markley, 1955). Esta fracción muestra elevado contenido en aceite, pudiendo variar de 26 a 52 % (p/p) y ácidos grasos insaturados, con destaque para el ácido oleico (concentración superior a 50 %).

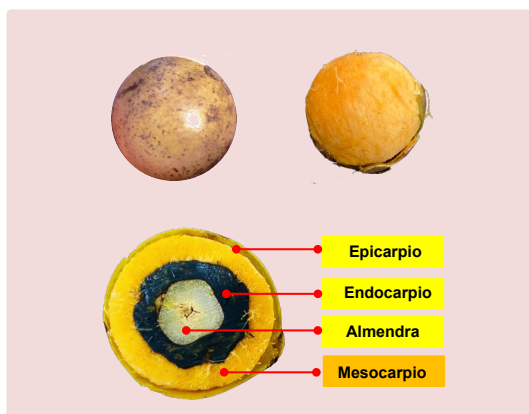


Figura 2 – Partes del fruto de mbokaja (*Acrocomia aculeata*).

Por otro lado, es rico en proteínas, fibras y minerales como hierro, potasio, magnesio, manganeso y zinc (Machado et al., 2013). La pulpa generalmente es dulce, debido al contenido de carbohidratos (almidones) que son fermentados por microorganismos si el fruto entra en contacto con el suelo en el momento de madurez y desprendimiento del racimo. Los microorganismos del suelo también promueven la hidrólisis de los lípidos, elevando el contenido de los ácidos grasos e incrementando la acidez del aceite de pulpa (Crocomo & Melo, 1996, Costa et al., 2018).

El endocarpio corresponde al 23,8 % (p/p) del fruto, se encuentra compuesto de material lignocelulósico denso (lignina 35 %, holocelulosa 53 %) de elevada dureza, de 2,5 a 3,0 mm de espesor que envuelve a una almendra (Markley, 1956).

La almendra (endosperma) es la menor fracción del fruto (6,3 %, p/p), mide entre 10 a 15 mm de diámetro, pudiendo variar en función del tamaño del fruto. Se caracteriza por su alto contenido en aceite (50 – 56 %), es rico en ácidos grasos saturados como el ácido láurico (aproximadamente 40 %, p/p), así como proteínas y aminoácidos esenciales (Markley, 1956; FAO, 1987; Crocomo & Melo, 1996).

El mesocarpio (pulpa) es rico en ácidos grasos insaturados, carbohidratos, proteínas, fibras y minerales como hierro, potasio, magnesio, manganeso y zinc

ECOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN

La *Acrocomia aculeata* es una palmera presente principalmente en la sabana, donde se desarrolla en grupos pequeños, sin formar grandes palmares. Comúnmente son observados individuos aislados o bien separados por algunos metros a decenas de metros. Habita principalmente en suelos secos, muy pobres, arenosos, o bien, en suelos fértiles donde presentan mayor desarrollo (FAO, 1987).

Tiene la capacidad de soportar sequías de hasta 6 meses, resiste el fuego ligero, asociado a la quema de pastizales para preparación de terreno para cultivos agrícolas. No toleran condiciones de saturación hídrica, lo que explica la ausencia de individuos en bosques húmedos maduros (McDonald, 2007; Smith, 2015).

La *Acrocomia aculeata* puede ser considerada como una palmera “social” por crecer en las proximidades y dentro de zonas urbanas, siendo su distribución y dispersión influenciada por humanos. El mbokaja generalmente se dispersa cuando se limpian los campos para cultivo, o las propiedades para la implantación de huertas familiares o preparación de áreas de pastoreo (Smith, 2015).

Los frutos sirven de alimento a diversas especies de animales que son responsables de transportar y dispersar la semilla, entre los que se destacan los animales domésticos (ganado bovino y porcino), que regurgitan el fruto después de consumir la pulpa, o bien, el endocarpio con semilla que son depositados en el suelo mediante deposición fecal.

Su principal dispersor es el ganado vacuno, que recorre largas distancias en campos de pastura o cuando éste es transportado como ganado vivo para diversas regiones, llevando frutos en su interior (Scariot, 1998). Otros animales que contribuyen a la distribución de semillas de *A. aculeata* son murciélagos, monos, roedores como carpinchos (capibara), antas, ratas; y aves como tucanes, guacamayos, guacamayo jacinto (Arara), que en muchos casos aprovechan los frutos previamente rumiados por los bovinos (Yamashita, 1997; Scariot, 1998).

En Paraguay, el mbokaja es encontrado principalmente en la margen izquierda del río homónimo (región oriental) en los departamentos de Amambay, Canindeyú, Central, Cordillera, Paraguari y San Pedro, así como en el Chaco húmedo, en la frontera con Bolivia y Brasil (región occidental).

Estudios conducidos por Markley (1956) indicaron que la densidad de plantas de mbokaja en territorio paraguayo llega hasta 150 unidades por hectárea, con mayor presencia en la región centro oeste de la región oriental y una estimativa de más de 5,4 millones de palmera de mbokaja. El autor indicó que fuera de dicha región central no hay importantes áreas con palmeras de mbokaja con excepción del Departamento de San Pedro, donde estimó la existencia de 534 mil palmeras.

***La dispersión del mbokaja
está influenciada por los
humanos, siendo el
principal dispersor el
ganado vacuno***

En la Figura 3 se presentan los principales departamentos del país donde se registran la presencia de palmeras de mbokaja, con destaque para los distritos de Roque González, Ybycuí, Paraguairí, Yaguarón, Quiindy, Piribebuy, Itauguá, Itá, Villarrica, y Mbocayaty. Registros más recientes indican que los Departamentos de Paraguairí, Cordillera, Guairá y Central cuentan con viveros y cultivos racionales de mbokaja (McDonald, 2007; Céspedes de Zárate et al., 2015).

En cuanto a la región occidental o Chaco, se ha implementado el cultivo experimental de mbokaja en la región central, específicamente en la Estación Experimental Isla Po'i, dependiente de la Cooperativa Chortitzer (Loma Plata) donde a pesar de las altas temperaturas y estrés hídrico, las palmeras presentaron un crecimiento considerado normal en dos años de cultivo, alcanzando una altura promedio de 1,7 m (Haupenthal & Dueck, 2012). Luego de 5 años las plantas presentaron fructificación, demostrando capacidad adaptativa y gran potencial como fuente de alimento y energía para la región.

En la literatura consultada, no fueron encontrados reportes de la densidad actual de palmeras de mbokaja en Paraguay. La Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias del Ministerio de Agricultura y Ganadería (DCEA/MAG) cuenta con registros de acopio de coco mbokaja hasta el año 2008, sin embargo no cuenta con registros recientes sobre la densidad de palmeras. No obstante, es apreciable la disminución del número de palmeras debido a la expansión de cultivos agrícolas y el crecimiento de las ciudades en Paraguay.

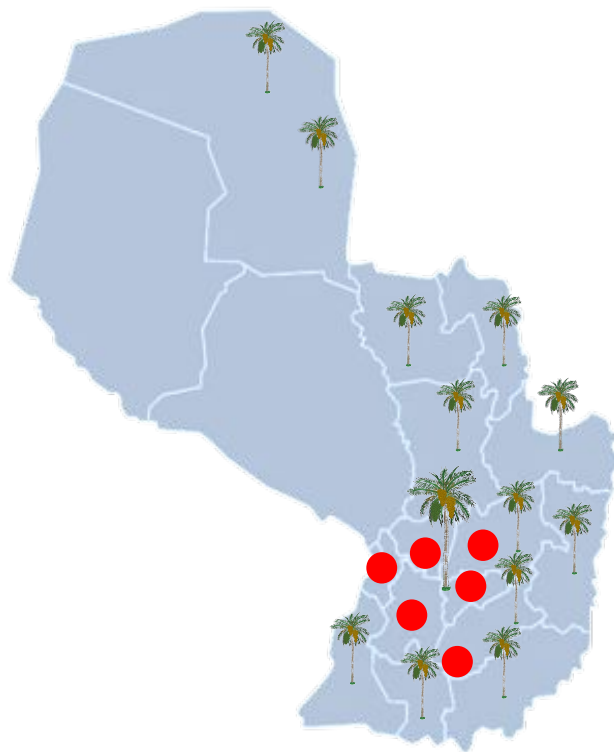


Figura 3 – Regiones de distribución de palmeras de mbokaja (*Acrocomia aculeata*) en Paraguay.

En 1956, la densidad de palmeras de mbokaja en la región Oriental alcanzaba las 150 unidades por hectárea (Markley, 1956). En la actualidad, el avance de loteamientos de grandes extensiones de tierra, la tala de especies de palmeras para dar paso a cultivos temporales, y el deterioro del suelo, vienen reduciendo considerablemente el número de palmeras en esta región.

Identificación y caracterización morfológica de la especie *Acrocomia aculeata* en la Región Oriental

El primer objetivo del Proyecto 14-INV-93 “*Sistema de colecta y almacenamiento de frutos de *Acrocomia aculeata* y aprovechamiento del aceite de la pulpa con miras a su utilización como materia prima para la obtención de biodiesel*”, consistió en la identificación y caracterización morfológica de palmeras de mbokaja en la Región Oriental del país.

La caracterización morfológica de la planta es una de las informaciones más importantes para identificar la familia, género y especie de un determinado individuo. En relación al mbokaja, existe escasa información de las características morfológicas del ecotipo de *Acrocomia* presente en Paraguay.

Para este estudio, palmeras adultas localizadas en diferentes distritos de los Departamentos de Paraguarí, Central y Cordillera, fueron analizadas considerando caracteres cuantitativos y cualitativos como descriptores, incluyendo la altura del estípote (tallo), presencia de espinas, número y longitud de inflorescencias, tamaño de espata, número y longitud de infrutescencias, tamaño de hoja, tamaño de foliolo, diámetro de fruto, entre otras características.



Figura 4 – Investigadores del Departamento de Botánica de la FCQ – UNA realizando toma de muestras en la Región Oriental.

Por otro lado, muestras de frutos, hojas y flores fueron colectadas y transportadas para su clasificación e identificación detallada en laboratorio. La Tabla 1 presenta algunas de las características morfológicas de palmeras de mbokaja colectadas en 12 distritos de la Región Oriental.

De forma general, las palmeras presentaron estípote con dimensiones variadas, con altura promedio 6 m, existiendo palmares con ejemplares de hasta 10 m de altura. El estípote presentó abundante número de espinas oscuras en corona, en muchos casos, la totalidad de la superficie, con longitud en el rango de 4 a 15 cm, incluso en la misma planta. Esta es una característica importante que permite diferenciar al ecotipo *Acrocomia aculeata* subsp. *totali*, de amplia distribución en Paraguay, de la *A. aculeata* subsp. *sclerocapa* sin espinas y presente principalmente en el cerrado brasileño (Pimentel et al., 2011)

Fueron identificadas inflorescencias abiertas (en forma de espádices) y cerradas, con longitud media de 75,8 cm y espatas con amplio rango de longitud (70-120 cm) entre palmeras. Las espigas de longitud de entre 23 y 74 cm, con flores masculinas y femeninas. El número de inflorescencia observados fue de 3 a 4 por palmera. La espata, que cubre la inflorescencia, presenta espinas en la base y es pelosa, con longitudes de entre 70 y 107 cm (Figura 5a).

Las hojas de las palmeras maduras son de color verde (claro-oscuro), con longitudes de entre 160 a 290 cm, raquis con presencia de espinas, y foliolos de 45 a 85 cm de longitud y 2,5 cm de ancho.

Los frutos obtenidos de diferentes puntos de colecta fueron esféricos, con epicarpio (cáscara) de color verde intenso (cuando inmaduras), y marrón claro o verde-amarillo para frutos maduros o próximos a la madurez (Figura 5b). El tamaño de los frutos (diámetro longitudinal) se distribuye en el rango de 2,5 a 4,0 cm, observándose pequeñas variaciones en tamaño dentro del mismo cacho. Las plantas de mbokaja presentaron cierta variabilidad morfológica, entretanto se ajustan a las descripciones de ecotipo *A. aculeata* subsp. *total* propuesta por Pimentel et al., (2011) y las reportadas por Markley (1956).



a



b

Figura 5 – Determinación de longitud de inflorescencia (a), e infrutescencia (b).

Tabla 1- Características morfológicas de palmeras de mbokaja (*Acrocomia aculeata*) en diferentes puntos de la región oriental del Paraguay.

Carácter	Sitios de Colecta *											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Altura (m)	5	4	7	6	6	6	6	5	5-6	7-8	6	-
Estípite (presencia de espina)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Inflorescencia (cm)	97	62	91	82	68	76	75	55	65	70	91	78
Espiga (cm)	-	-	42	74	74	30	23	-	19-22	27	-	-
Espata (cm)	107	77,6	104	104	70	90	87	76	96	83	120	86
Infrutescencia (cm)	74	41	77	77	56	62	71	60	64	64	76	70
Hoja (cm)	-	162	290	286	198	175	270	195	160	185	-	-
Fruta (cm)	3-4	3	4	4	3,8	3,5	3,5	2,5	3	4	3	3
Foliolo (cm)	67	45	76x2,5	77x2,5	56x2,5	59x2,5	77x2,5	51x2,0	50x2,8	63x2,8	85	62
Espina (cm)	10-15	10-15	5-8	6-10	4-7	-	18-19	13-15	7-9	6-9	-	-
Total hojas	15-20	20	25	15	20	25	50	-	-	50	-	-

* Sitios de colecta: (1) Itá, (2) Paraguari, (3) Ybytymi, (4) La Colmena, (5) Acahay, (6) Ypacaraí, (7) Roque González, (8) Quiindy, (9) Quiindy- Valle Apuá, (10) Roque González, (11) Eusebio Ayala, (12) Eusebio Ayala-Aguaity.



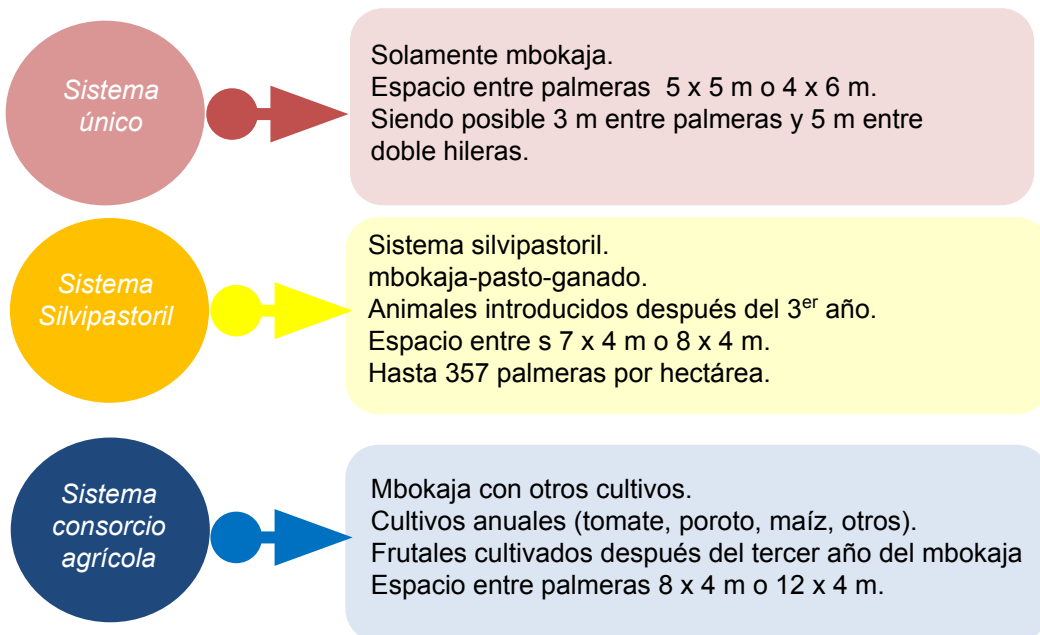
Figura 6 – Cultivo experimental de mbokaja con espaciamiento para integración con sistemas agrícolas, pecuaria y forestal (Departamento de Paraguari).

¿Por qué cultivar mbokaja en Paraguay?^{1,2}

El mbokaja presenta características que justifican su cultivo para explotación comercial, entre las que se destacan:

- Tolerancia a sequía, suelos pobres y degradados por cultivo intensivo o cría de ganado
- Posibilidad de integración en sistemas agrícolas, pecuaria y forestal, que puede traer mayor beneficio económico al productor y aumentar la eficiencia del sistema de producción (Figura 6).
- En áreas de pastoreo abandonados, el plantío de mbokaja promueve cobertura vegetal y mejora las condiciones fisicoquímicas del suelo.
- Presenta alta productividad en cultivos sustentables, siendo posible obtener hasta 20 tn de frutos por hectárea.

Consideraciones



¹Ing. Agr. César Caballero, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción (2019).

²Ing. Agr. Juan L. Vera, Asesor Técnico, Industrial Aceitera S.A, Comunicación personal (2020).

Calendario de cultivo, siembra y colecta

Actividad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dec
Abono ¹												
Colecta ^{1,2}												
Manejo ¹												
Siembra ¹												

¹ Ing. Agr. César Caballero – Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Asunción, 2018.

² Carin Daher – Oleaginosas Industriales S.A – Yaguarón – Paraguay, 2020.

MANEJO RECOMENDADO

CONSIDERACIONES PARA CULTIVO

- Los plantines de *Acrocomia aculeata* deben ser obtenidos a partir de semillas germinadas (de preferencia) y plantadas en recipiente conteniendo material orgánico. Evitar sol directo y realizar riego periódico. Después de 3 meses, transferir a bolsas de plástico conteniendo arena/suelo/estiércol. Mantener a sol directo y regar periódicamente hasta 8-9 meses.
- La siembra definitiva puede ser realizada a los 11-12 meses cuando se cuenta con por lo menos 1 hoja de palmera. Debe ser realizada en periodo de lluvias (octubre-diciembre) y días frescos. Abonar conforme características del suelo. 300 g de NPK (6:30:6) + 100 g de NPK (20:5:20) en cobertura.
- El bulbo de la muda debe ser enterrado completamente (más de 20 cm de profundidad).

Año	Manejo ^{1,2}
0 – 3	Mantener limpia la zona de cultivo, eliminar hormigas cortadoras y larvas, control de malezas y hongos.
3 – 4	Mantener hojas en la planta, poda de hojas secas (noviembre-diciembre), control de plantas dañinas y hongos.
5 o más	Remover hojas secas y restos de cachos secos anualmente (Figura 7).



Figura 7 – Remoción de hojas de mbokaja.

³ Montoya et al., 2018.

⁴ Ing. Agr. César Caballero, FCA-UNA, Comunicación personal (2018).

COSECHA DE FRUTOS

La pulpa o mesocarpio del fruto de mbokaja presenta contenido en aceite en el rango de 26 a 46 % (p/p) en base seca, sin embargo, ha sido poco utilizada para la obtención de productos debido a la elevada acidez del aceite, asociado principalmente a un sistema de recolección y almacenamiento inadecuados que favorece la degradación de los lípidos, con la consecuente formación de ácidos grasos libres que aumentan la acidez.

Generalmente, la recolección de los frutos en el campo se realiza de forma manual, directamente del suelo y en algunos casos en avanzado estado de descomposición (Figura 8), pudiendo contaminar frutos maduros sanos por contacto durante el almacenamiento (Nunes et al., 2015). Por otro lado, frutos provenientes del cacheo de racimos son considerados de baja calidad debido a que no se aplican las buenas prácticas de recolección, realizándose los cortes sin que los frutos se encuentren próximos a la madurez.

Además, existe la creencia de que los frutos presentan variación en el contenido de aceites en diferentes zonas del racimo y que solo los frutos caídos se encuentran suficientemente maduros para su aprovechamiento. Sin embargo, el desprendimiento natural de los primeros frutos indicaría que todos los frutos del mismo racimo se encuentran próximos a la madurez, siendo posible la colecta anticipada de los mismos para evitar pérdida posterior de contenido y calidad de aceite por contaminación microbiana (Costa et al., 2018).

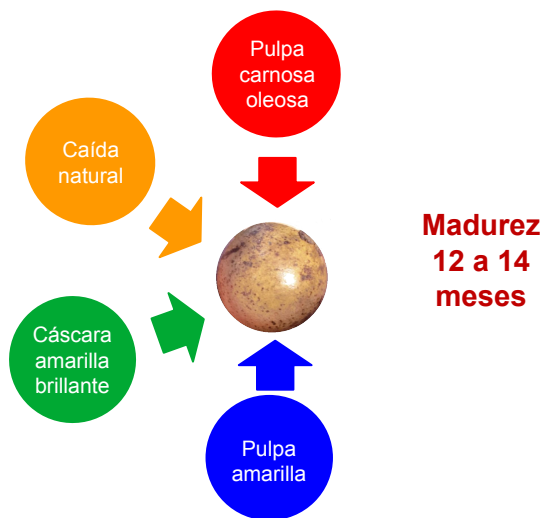
Esta hipótesis no ha sido respaldada por estudios científicos en el Paraguay, quedando como método oficial la recolección de frutos caídos directamente del suelo. No obstante, esta operación afecta directamente la calidad de fruto y en especial de la pulpa de coco. Por dicho motivo, en el Proyecto 14-INV-093, se realizó la evaluación del contenido en aceites y el perfil lipídico de frutos obtenidos de diferentes regiones del racimo (cacho) a fin de determinar la homogeneidad de la maduración y se evaluó la posibilidad de realizar la separación del cacho entero, ante la caída de los primeros frutos.



Figura 8 – Frutos en el suelo con crecimiento de hongos filamentosos en la superficie de los frutos.

Los frutos entran en contacto con el suelo y sufren efectos de la acción de la humedad (aumento de la actividad de agua), degradación por microorganismos y procesos oxidativos naturales que reducen la calidad de los frutos y consecuentemente, la del aceite de pulpa de coco.

La recolección de los frutos se realiza directamente del suelo y de forma manual al final del periodo de fructificación.



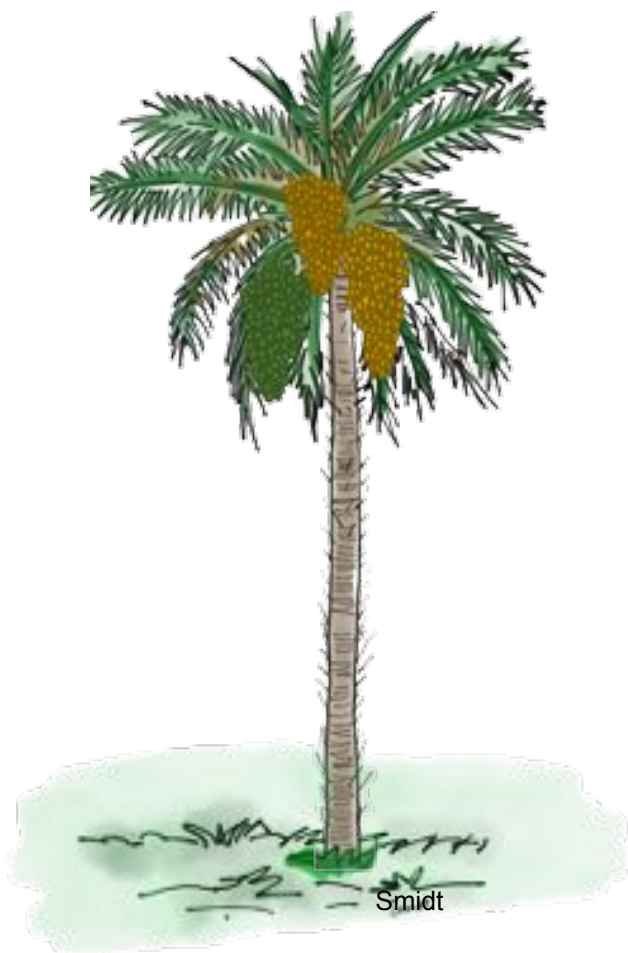
El clima de una determinada región influye en el período de colecta de frutos, que puede extenderse de noviembre a abril.

Los frutos son vendidos a los centros de acopio y éstos, a su vez comercializan en las industrias procesadoras. Este proceso de acopio y venta vía intermediarios reduce la ganancia neta que el productor local de mbokaja obtiene por hectárea colectada.

CONDICIÓN DE RECOLECCIÓN

En Paraguay, la recolección de frutos es realizada de forma manual por pequeños agricultores o personal contratado en las fincas que cultivan mbokaja de forma racional. La gran mayoría de los pequeños agricultores obtienen los frutos de palmeras distribuidas aleatoriamente en terrenos de su propiedad, generalmente frutos colectados del suelo, sin ningún control de calidad.

La resolución N° 985/08 del MAG reglamenta la cosecha y comercialización de coco de producción nacional (MAG, 2008). En su Artículo 2 establece que: El productor debe evitar la práctica del "cacheo", entendiéndose por éste el desprendimiento forzado de las frutas y el corte prematuro de los racimos de coco, lo cual significa una cosecha fuera de su maduración biológica. La recolección se realiza directamente del suelo en cajones de dimensiones establecidas en dicha reglamentación de 0,65 x 0,55 x 0,40 m, equivalente a 0,143 m³ (143 litros). El peso aproximado de frutos por cajón es de 65 kg, sin embargo, debido a impurezas, podría contener menor cantidad de frutos.

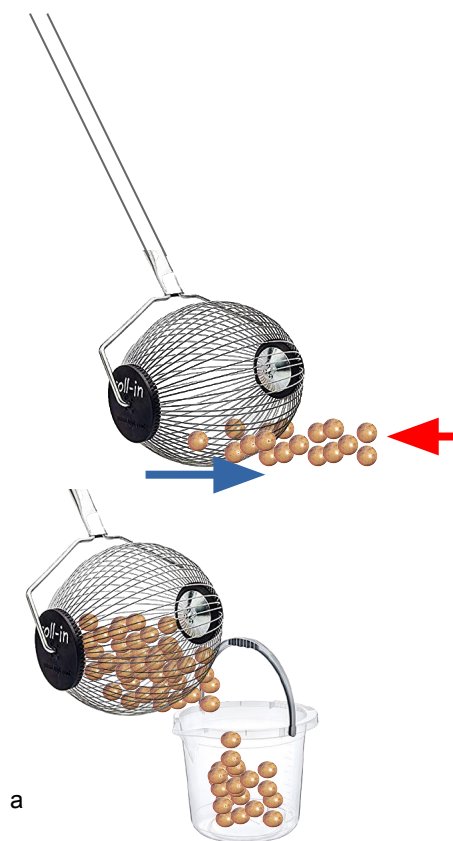


ALTERNATIVAS DE RECOLECCIÓN EN CAMPO

La recolección de los frutos de mbokaja depende de las condiciones climáticas de determinada región, siendo posible que exista variación en el calendario de colecta de los frutos. Por otro lado, la disponibilidad estacional de los mismos, constituye un inconveniente para la industria procesadora, debido a que requiere de técnicas de almacenamiento y conservación de frutos obtenidos en diferentes períodos.

Cuando la recolección del fruto es realizada directamente del suelo, lo convencional es recogerlo a mano. Sin embargo, empleando este método, se requiere que la operación se realice con frecuencia durante el período que dura la caída de los frutos, a fin de evitar un tiempo de contacto prolongado con el suelo y consecuente descomposición del aceite. No obstante, en la práctica no se realiza por varias razones, entre las que se cita el bajo número de personas para realizar dicha actividad de forma diaria.

Para recoger los frutos del suelo pueden ser utilizadas herramientas que ayudan a aumentar la velocidad de recolección. Por ejemplo la herramienta recolectora tradicionalmente utilizada para la recolección de nueces, constituye una alternativa a la recolección manual (Figura 9a y 9b). Este equipamiento, similar a una jaula esférica o cilíndrica, se desliza (rota) en el terreno sobre los frutos, los cuales ingresan en el interior por presión, quedando los mismos retenidos. Las pruebas realizadas con el tipo de jaula esférica demostraron el aumento de 2 a 3 veces la capacidad de recolección diaria de frutos (Büttner, 2009). Los frutos son descargados mediante apertura manual de la jaula, pudiendo ser adaptados para acoplamiento en paralelo (Figura 9c).



a



b



c

Figura 9 – Recolector de frutos tipo jaula esférica (a), tipo jaula cilíndrica (b), recolector múltiple Nut Wizard®.



a



b

Figura 10 – Malla plástica extendida bajo la palmera de mbokaja (a), malla plástica envolviendo frutos desprendidos del racimo (b).

Una alternativa para evitar el contacto de los frutos con el suelo consiste en utilizar mallas de polietileno extendidas por debajo de las palmeras, fijadas en soportes de madera a cierta distancia del suelo, cubriendo el área donde los frutos caen de la planta (Figura 10a). Se recomienda por lo menos 5 mm de espacio (luz) entre líneas de la red a fin de permitir la ventilación correcta de los frutos.

Otra alternativa consiste en envolver el cacho de frutos en red o malla plástica (Figura 4), de forma a que los primeros frutos maduros no entren en contacto con el suelo para evitar la acción degradadora de los microorganismos (hongos, bacterias y levaduras) (Figura 10b).

Siguiendo la línea de adaptaciones posibles de maquinarias empleadas para recolección de nueces, se encuentran los mecanizados, como ejemplo una máquina que recoge los frutos del suelo empleado para la nuez de macadamia (Figura 11). Este tipo de maquinaria se justificaría especialmente en sistemas de cultivo racional del coco mbokaja de mayor escala. Sin embargo, requiere de espacio suficiente entre hileras de cultivo de palmeras para facilitar el pasaje del equipo motorizado. Su utilización facilitaría la colecta de frutos, no obstante, se tendría menor rendimientos por hectárea debido al mayor espacio requerido.

La recolección mecanizada de frutos podría ser una alternativa para cultivos racionales con plantas de mbokaja de baja altura



Figura 11 – Máquina para recolección de nuez de macadamia. Fuente: Metalurgica LF (Argentina).

CONDICIONES DE CACHEO

1

Corte del racimo debe realizarse cuando los frutos están próximos a la maduración (caída de primeros frutos maduros).

2

Solo se debe cortar el racimo del cual se han desprendido los frutos.

3

Almacenar el racimo en locales aireados bajo techo hasta observar el desprendimiento total de frutos del racimo.

Aunque actualmente no está recomendado el cacheo de los racimos o cachos de frutos del mbokaja (Figura 12), sería posible su aplicación respetando dos condiciones fundamentales:

- El corte del racimo debe realizarse cuando los frutos están próximos a la maduración, que en la practica se detecta cuando los primeros frutos del racimo se desprenden. Cabe recordar que los frutos maduros pueden adquirir coloración verde-amarillo o ligeramente amarronada.
- Solo se debe cortar el racimo del cual se han desprendido los primeros frutos, los demás deben permanecer en la planta hasta que llegue el momento adecuado. Los cachos deben ser colocados en locales aireados y bajo techo hasta que ocurra el desprendimiento total de los frutos.

Según los estudios realizados en el Proyecto 14-INV-093 sobre el estado de maduración en las distintas zonas del mismo racimo, se encontró muy pequeña variación en el contenido de aceite en la pulpa de los frutos en la zona basal, media y apical, en el momento del corte realizado cuando empieza a caer el primer fruto.



Figura 12 – Cacheo de racimos de frutos de mbokaja.

Por ejemplo, la rigidez de la pared celular de la pulpa se debe principalmente a la presencia de pectinas que se solubilizan por acción enzimática, haciéndola más accesible a la acción de hongos y bacterias (Goulart, 2014).

ALMACENAMIENTO

Después de la cosecha, los frutos requieren de ciertas condiciones para mantener sus características por un período tiempo más prolongado, hasta su procesamiento industrial. Para ello, deben ser aplicadas algunas tecnologías de post-cosecha a fin de conservar las propiedades del fruto alcanzadas en el momento de la colecta y reducir las pérdidas de fruto.

Las características fisicoquímicas de frutos durante la maduración dependen del patrón respiratorio y las condiciones en las que se realiza el almacenamiento (Seymour et al., 1993). Conociendo el patrón respiratorio del fruto es posible prever las mejores condiciones para prolongar la calidad de los mismos. Algunos frutos, como el mbokaja, presentan un aumento de la tasa de respiración durante la maduración (velocidad de consumo de oxígeno y emisión de gas carbónico), siendo estos denominados frutos climatéricos. De esa forma, los frutos climatéricos son aquellos que siguen madurando después de su cosecha (Martínez-González et al., 2017).

El contenido de agua y la actividad de agua (a_w agua libre de un sistema) afectan las propiedades físicas, bioquímicas y biológicas asociadas a productos agrícolas almacenados. Condiciones inadecuadas de almacenamiento que permitan elevada humedad y temperatura del fruto durante la maduración postcolecta pueden acelerar el deterioro enzimático o microbiológico del fruto (Villalobos & Fereres, 2017).

La calidad del aceite de pulpa y almendra puede ser afectada por un elevado contenido de humedad y temperatura. Uno de los parámetros de la indicación de calidad de aceites es el índice de acidez, que expresa la cantidad de ácidos grasos libres presentes en una muestra de aceite. Otro parámetro fundamental es el de la estabilidad oxidativa que indica la capacidad del aceite en resistir la oxidación por acción del oxígeno atmosférico u oxígeno disuelto en el aceite. Este parámetro es afectado negativamente por la temperatura, cuanto mayor sea ésta, menor será la estabilidad oxidativa y más rápidamente se reducirá la calidad del aceite (Goulart, 2014; Cavalcanti-Oliveira et al., 2015).

El secado es el método tradicional utilizado para reducir la a_w y desactivar las enzimas que promueven la degradación de la pulpa y aceite. En frutos oleaginosos, el secado con aire caliente o a temperatura ambiente favorece la reducción del contenido de agua, prolonga el tiempo de almacenamiento y la calidad del fruto (Benítez, 2017).

El índice de acidez aumenta de forma natural durante el almacenamiento de frutos de esta palmera. Evaristo et al. (2016) estudiaron el efecto del tipo de almacenamiento en el índice de acidez del fruto. Frutos de *Acrocomia aculeata* mostraron valores de índice de acidez de 0,1 a 28 % en un período de 40 días sin contacto con el suelo. Los frutos en contacto directo con el suelo presentaron valores de índice de acidez que superaron 40 % para el mismo período.

En estudios realizados en los laboratorios del Departamento de Aplicaciones Industriales y Departamento de Fisicoquímica de la FCQ-UNA, en el marco del Proyecto 14-INV-093, se evaluó el efecto de las condiciones y tiempo de almacenamiento de frutos sobre la síntesis de lipasas (enzimas que hidrolizan lípidos).

En la primera fase se procedió al establecimiento de las condiciones de almacenamiento de los frutos cuya madurez ha sido detectada por la caída natural de los primeros frutos del racimo, con el objetivo de simular las condiciones reales a las que se ven sometidos los frutos en el campo cuando se desprenden del racimo.

Para la experimentación se determinaron pertinentes tres condiciones en las que se han dividido equitativamente los frutos extraídos de un mismo cacho: condición A, para muestras de coco del mismo racimo colocadas sobre malla a 40 cm del suelo a la sombra; condición B, para muestras de coco del mismo racimo colocadas directamente sobre el suelo, a la sombra; condición C, para muestras de coco del mismo racimo colocadas directamente sobre el suelo, con exposición directa a los rayos solares (Figura 13).

La toma de muestras de los frutos expuestos a las tres condiciones anteriormente citadas se realizó dos veces por semana (días fijos) durante un tiempo de 30 días comprendidos entre los meses de marzo y abril. Se procedió a almacenar los cocos muestreados en bolsas estériles, de modo a evitar cualquier tipo de contaminación del material y fueron almacenados en condiciones controladas.

La actividad lipásica fue determinado conforme metodología descrita por Molina-Tizo (2008). Los resultados de la investigación mostraron aumento de la actividad lipásica (0,0058 a 0,0080 mEq H^+ /mL.min) durante los 30 días de almacenamiento en las tres condiciones, no siendo significativa la diferencia entre las actividades enzimáticas entre dichas condiciones.

Cabe resaltar que las velocidades enzimáticas dependen de la humedad y a_w del fruto. De forma general, se observó una disminución del contenido de humedad de hasta 50 %, a lo largo del período de experimentación, siendo más importante en los frutos expuestos a la radiación solar.

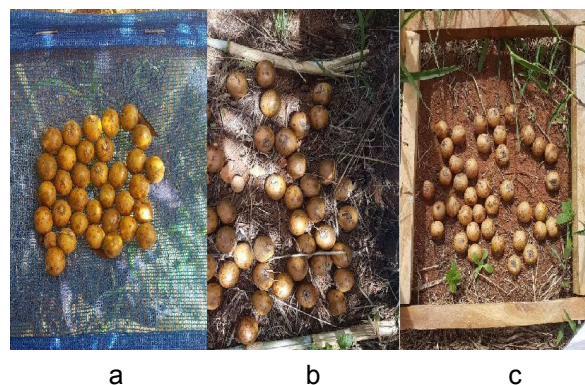


Figura 13 – Ensayos de almacenamiento de frutos en condiciones ambientales naturales para evaluación del contenido enzimático en función del tiempo. Disposición sobre malla a 40 cm del suelo y a la sombra (a), disposición en el suelo a la sombra (b), disposición en el suelo expuesto a rayos solares (c).

Considerando lo expuesto, con la reducción de la humedad, la actividad enzimática debería disminuir luego de los primeros 15 días de almacenamiento. Dicho fenómeno fue observado por Tilahun (2015), para frutos colectados en malla plástica y almacenados en condiciones controladas de laboratorio.

En relación a la acidez del aceite de pulpa determinada en los experimentos descritos para mbokaja, se observó un valor promedio inicial de 0,90 %, verificándose valores de hasta hasta 4,4 % de acidez para frutos en contacto con el suelo a la sombra. Cabe resaltar que en dicha experimentación, si bien los frutos se encontraban expuestos a las condiciones climáticas, no fueron almacenados en montículo, permitiendo el flujo constante de aire entre los mismos.

Además, no fue observado el crecimiento de hongos filamentosos en las superficies de los frutos, en las diferentes condiciones de experimentación. Generalmente, el aumento considerable de la acidez se debe a la presencia de microorganismos que aceleran la degradación de los lípidos, debido a condiciones elevadas de humedad. Esto puede ser observado en los depósitos industriales, donde la humedad y temperaturas son de difícil control debido a los montículos de frutos que alcanzan varios metros de altura y que dificultan la remoción de calor y humedad, promoviendo el crecimiento de microorganismos y el aumento rápido de los valores de acidez (Figura 14). En estudios realizados por Tilahun (2015), se verificó el aumento de hasta 10 % en la acidez del aceite de pulpa después de los 30 días de almacenamiento en condiciones controladas de laboratorio.

Figura 14 – Presencia de hongos filamentosos en superficie de frutos almacenados en depósito industrial.

En estudios realizados por Cardoso et al., (2006), fue demostrado que el almacenamiento de los frutos en cajas plásticas de hasta 10 kg de frutos por caja con circulación forzada de aire a 28 °C en estufa permitió la reducción de la humedad de la pulpa y cáscara de 43 % a 7 % (p/p) en 49 días de almacenamiento. Por otro lado, los autores observaron durante el mismo periodo un aumento del contenido de aceite en la pulpa, variando de 22 % a 35 % (p/p), siendo máxima la tasa de acumulación en los primeros 28 días. Este aumento en aceite podría estar asociado a actividades metabólicas de síntesis de lípidos a partir de almidón contenido en la pulpa (Montoya et al., 2016). La capacidad de acumular aceite en la pulpa de mbokaja durante el almacenamiento es importante para estimar el tiempo adecuado de almacenaje y aumentar así el rendimiento industrial de extracción de aceite y su rentabilidad.

El secado de frutos garantiza la reducción de la actividad de agua, evitan el crecimiento de hongos filamentosos y reducen la acción de las enzimas que hidrolizan el aceite (aumento de acidez)



En trabajos realizados en el marco del Proyecto 14-INV-093, Benítez (2017) analizó las características del aceite de pulpa de frutos colectados en mallas extendidas bajo palmeras de mbokaja, y almacenadas bajo techo, en condiciones de ventilación natural, temperatura de 25 °C y humedad relativa de 44 %, hasta un período máximo de 7 días, seguido de secado artificial. El secado de los frutos fue realizado en secador tipo silo (Figura 15), partiendo de una humedad inicial promedio de 47 % hasta humedad final de 9 %, en condiciones de velocidad de aire de 3,82 m/s y 4,40 m/s, y temperatura de 75 °C y 120 °C.

La acidez inicial (% de ácido oleico) de los aceites de pulpas, extraídos de frutos antes del secado artificial, se encontraban en el rango de 0,85 a 2,46 %, siendo la acidez del aceite de pulpa al final del proceso de secado de 1,13 a 3,04 %, indicando que el proceso de secado en dichas condiciones no afecta de forma significativa la acidez del aceite de pulpa. Cabe resaltar que la acidez de aceite de pulpa almacenado en condiciones inadecuadas por períodos superiores a 30 días, generalmente presentan valores de acidez de entre 30 a 70 % (% ácido oleico). Esto afecta la calidad y dificulta su venta para usos más nobles, como ser alimentación o cosmética.

Por otro lado, el análisis de rancidez oxidativa en lípidos (método de Kreiss), mostró ser negativo para todas las muestras de aceites de frutos sometidos a las diferentes condiciones de secado artificial, indicando que el proceso de secado no afecta la calidad del aceite de pulpa. De forma general, los resultados obtenidos en los experimentos de secado refuerzan la recomendación de evitar el contacto directo de los frutos con el suelo e implementación de secado artificial para disminuir los valores de humedad (menor a 9 %) a fin de inactivar las enzimas de degradación de lípidos y la acción de microorganismos.



Figura 15 – Secador tipo silo con velocidad de aire y temperatura variable utilizado en los experimentos.

Es necesario incorporar procesos que permitan el secado artificial a fin de alcanzar valores inferiores a 10 % que permitan la conservación y la calidad de los frutos.

En la literatura científica se presentan diversas alternativas para la conservación de la calidad del aceite de pulpa de frutos de *Acrocomia aculeata*, muchas de las cuales requieren tratamientos de inyección de vapor y posterior secado, o bien la aspersión de sustancias químicas que inhiben el crecimiento de microorganismos. Entre algunas de las alternativas se encuentra la aplicación por aspersión de fungicidas, a fin de disminuir la proliferación de hongos en la superficie de los frutos.

Evaristo (2015) evaluó la calidad del aceite de pulpa de frutos de *A. aculeata* almacenados en galpón con o sin aspersión de fungicida. La adición de fungicida tiabendazol en concentraciones de 0,02 a 0,04 % (v/v) fue eficiente en el control de la acidez del aceite en los primeros 20 días de almacenamiento sin exposición al suelo, siendo el valor promedio del índice de acidez inferior a 1,5 % (en ácido oleico). Frutos en contacto con el suelo y tratados con fungicidas presentaron valores de índice de acidez de 8 a 36 % entre los 10 y 40 día, independiente de la concentración de fungicida. Para frutos que no se encontraban en contacto con el suelo y no recibieron tratamiento con fungicidas, los valores de índice de acidez aumentaron de 0,7 a 6,8 % en los primeros 20 días de almacenamiento. Estos datos sugerirían que la permanencia de los frutos en el suelo no debe ser superior a los 8 días.

Es importante mencionar que el uso de fungicidas debe ser reglamentado en función del destino de los aceites, sea este para uso alimenticio o para la producción de biocombustibles, como biodiesel. El tiabendazol (Figura 16) se emplea como conservante en la industria alimentaria, generalmente como fungicida de frutas, y generalmente es administrado en humanos y animales para tratar ascariasis. Por otro lado, el tratamiento con vapor directo o indirecto podría ser una alternativa para la esterilización de frutos e inactivación de enzimas de degradación de lípidos.

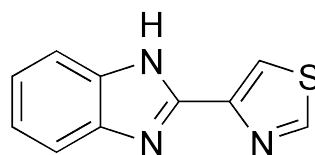


Figura 16 – Fórmula estructural del tiabendazol.

ESTRATEGIAS DE ALMACENAMIENTO DE MBOKAJA



Figura 17 – Galpón de almacenamiento de frutos de mbokaja.

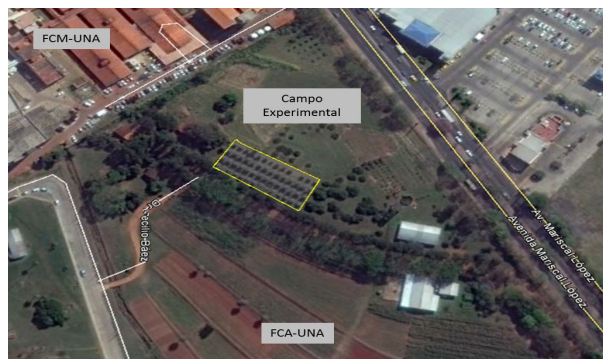
- ▶ Disponer los frutos en galpones naturalmente ventilados o con ventilación forzada a fin de acelerar el secado de los mismos (Figura 17).
- ▶ Disponer los frutos en superficies limpias y compactas (piso de albañilería).
- ▶ Promover aspersión de fungicida sobre los frutos antes del almacenamiento (depende del destino del producto).
- ▶ Tratar frutos con vapor directo para inactivar enzimas que promueven la hidrólisis del aceite (esterilización).
- ▶ Reducir el tiempo de almacenamiento (menor 20 días).

COSECHA DE FRUTOS EN CAMPO EXPERIMENTAL Y CARACTERIZACIÓN

En Paraguay, la floración del mbokaja ocurre generalmente entre los meses de octubre a diciembre, siendo el periodo de colecta entre los 12 y 14 meses posterior a la floración. La madurez de frutos en cacho se determina en función de la coloración marrón claro o verde-amarillo del fruto, y principalmente por la caída de los primeros frutos.

Algunos productores consideran que los frutos que no se desprenden del cacho no contienen la cantidad y calidad de aceite suficiente, comparados con los frutos que se desprenden naturalmente del mismo. Como se ha mencionado anteriormente, los frutos colectados directamente del suelo presentan contaminación microbiana y en función de la temperatura, se activan enzimas hidrolíticas contenidas en la pulpa que aceleran la degradación del aceite, aumentando la acidez del mismo.

Informaciones sobre la madurez, calidad de frutos y tiempo de colecta de mbokaja es muy escasa en Paraguay. Estudiar la biomorfología del fruto y características del aceite de pulpa en estados de madurez avanzada del fruto, es fundamental para identificar y promover criterios de recolección que garanticen la calidad de la pulpa y aceite, y de esa forma viabilizar su procesamiento industrial. En este trabajo se buscó evaluar las características del contenido de aceite después del cacheo.



a



b

Figura 18 – Localización del Campo Experimental de mbokaja de la FCA-UNA (a) y distribución de palmeras en terreno (b).

Para determinar el momento ideal de cosecha de los frutos del racimo (cacho) fueron conducidos experimentos en el Campo Experimental de la FCA-UNA, localizado en el Campus de la UNA en la ciudad de San Lorenzo - Paraguay (latitud sur: 25°19'29.60"S; longitud oeste: 57°31'18.20"O, altura: 147 m.s.n.m.) (Figura 18).

El palmar consiste en 50 plantas de mbokaja cultivadas en el año 2012, distribuidas en 4 filas separadas distantes 6 m, siendo la separación entre palmeras de 5 m (distribución 6x5). Inicialmente el palmaral fue asociado con cultivos de poroto, mandioca y maíz. La fructificación precoz de algunos individuos fue registrada a los 3 años de cultivo. En el momento de inicio de la investigación, las plantas de mbokaja contaban con 5 años de antigüedad.

El momento del desprendimiento y caída de los primeros frutos del cacho corresponde al punto de madurez ideal del fruto. Para extraer el cacho en el momento exacto de caída del primer fruto, fue diseñado un sistema colector con sensor y sistema de registro de caída.

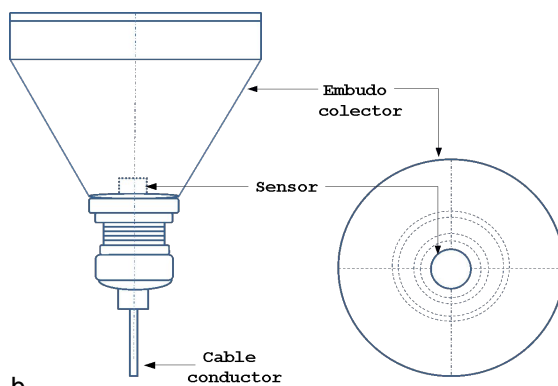
Dos cachos de cada palmera (10 palmeras) fueron cubiertos con red colectora (polipropileno tipo malla con luz de 3 mm) en cuya base fue colocado un colector de plástico tipo embudo (Figura 19). Cada colector contó con un sensor conectado a un sistema transmisor de señal alimentado por panel solar. La señal fue procesada mediante software especializado que indica el momento de inicio de la caída de frutos. Recibida la señal, el cacho era separado de la palmera, previa verificación de aspecto general de los mismos (coloración, rigidez).

Los frutos fueron separados conforme su disposición en las regiones basal, central (mediana) y apical del racimo, y analizados en cuanto a su tamaño utilizando micrómetro Vernier digital (Mitutoyo®, Brasil), contenido de humedad de la pulpa mediante balanza termogravimétrica (Radwag®, Polonia) y contenido de aceite por gravimetría previa extracción por el método de Soxhlet utilizando hexano como solvente.

La acidez del aceite de pulpa fue determinada conforme Norma Paraguaya NP N°10 para Cuerpos Grasos. El perfil lipídico fue determinado por cromatografía gaseosa en equipamiento Shimadzu 2010 equipado detector de ionización por llama FID. Las muestras fueron previamente convertidas en ésteres metílicos de ácidos grasos, de acuerdo a lo establecido en AOAC (2004).



a

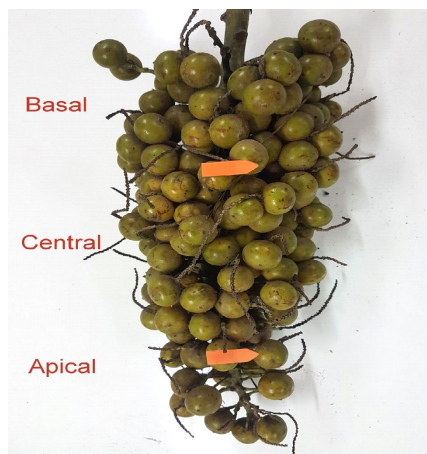


b



c

Figura 19 – Racimos de frutos de mbokaja con malla y sistema colector (a), sistema colector-sensor de caída (b), display del software para detección de caída de frutos (c).



El cacho de frutos se divide en región basal, central o mediana y apical (distal).

Los frutos se desprenden naturalmente cuando están maduros, desde el ápice en dirección a la región basal del mismo (Tapeti, 2013).

D: diámetro longitudinal
d: diámetro transversal

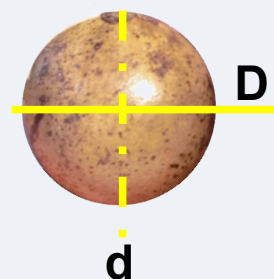


Figura 20 – Distribución del racimo de frutos (cacho) en regiones basal, central y apical para determinación de diámetro longitudinal y transversal de frutos.

Para la determinación de las características biométricas de los frutos de *Acrocomia aculeata* ecotipo *totali* fueron analizados al menos 10 frutos por región del racimo (Figura 20). La Tabla 2 presenta los valores promedio del diámetro longitudinal (D) y diámetro transversal (d) de frutos de las diferentes regiones del cacho (apical, mediana y basal). Es posible observar que los frutos de las tres regiones no difieren significativamente en relación al diámetro longitudinal (D). Sin embargo, los diámetros transversales de la región basal y mediana son estadísticamente similares, difiriendo con el diámetro medio observado para frutos de la región apical.

Los valores promedios de D y d de frutos de todas las regiones del racimo fueron 32,43 mm y 28,46 mm, respectivamente.

La relación D/d y d/D muestra que no existe diferencia significativa para todas las regiones del cacho. El análisis biomorfológico, con base en el diámetro longitudinal (D) y transversal (d) de los frutos de mbokaja en las tres regiones, mostró que los frutos presentan forma esférica irregular, ligeramente achatado en los polos. Por otro lado, el epicarpio de los frutos en cacho presentaron superficie lisa brillante de color verde con regiones amarillas a marrones, de espesor variable en el rango de 0,65 a 0,80 mm (Figura 21).

Tabla 2 – Análisis del diámetro de frutos de mbokaja obtenidos de diferentes regiones del racimo.

Región del racimo (cacho)	Diámetros (mm)		Relación de Diámetros	
	Longitudinal, D	Transversal, d	D/d	d/D
Apical	31,69±0,60a	27,44±b	1,16±0,01 ^a	0,87±0,01a
Mediana (Central)	32,89±0,83a	28,75±a	1,14±0,03 ^a	0,87±0,02a
Basal	32,72±0,91a	29,19±a	1,12±0,03a	0,89±0,02a
$\bar{X}$ (promedio)	32,43±0,65	28,46±0,75	1,14±0,02	0,88±0,01

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p<0,05$) entre las partes del racimo.

El diámetro longitudinal y espesor aproximado de las diferentes partes que componen el frutos son presentados en la Tabla 3. Se observa que los valores de diámetro del endocarpio entero y la almendra no presentaron diferencia significativa ($p>0,05$) entre las regiones apical, mediana y basal, siendo los valores promedio 22,7 y 15,11 mm, respectivamente. Cabe resaltar que tanto el carozo como la almendra presentan formas variables, diferentes a la de una esfera.

El epicarpio o cáscara, de color verde-amarillo con porciones en marrón, rico en fibras, con superficie lisa (externa) y porosa (interna), presentó espesor en el rango de 0,67 a 0,73 mm en las diferentes partes del racimo (Tabla 3). Dependiendo del contenido de humedad y madurez del fruto, el epicarpio se presenta fuertemente ligado al mesocarpio o se desprende a medida que este último pierde humedad. El endocarpio, constituido de material lignocelulósico altamente resistente y energético, presentó espesor variable de dentro de un mismo fruto, siendo el valor promedio de 3,33 mm de espesor.

El mesocarpio pulposo y mucilaginoso, presentó color amarillo a naranja claro, adosado y con elevado contenido en fibras. El espesor de la pulpa presentó pequeñas variaciones entre los frutos obtenidos en las tres regiones del cacho, con un valor medio de 3,89 mm. En todos los casos, las valores de espesor y diámetro de los componentes del cacho entre las regiones apical, mediana y basal, no presentaron diferencias significativas.

La Tabla 4 presenta la distribución de masas de los componentes del fruto de mbokaja en base húmeda, conforme su distribución en el racimo o cacho. La masa del coco mbokaja presenta valores medios de 17,57 a 18,10 g. El mesocarpio representa el mayor porcentaje de la masa de fruto (46-47 %), del cual la mitad corresponde a humedad (48 %). En estudios biométricos realizados por Sanjinez-Argandoña & Chuba (2011) en Dourados (Mato Grosso do Sul, Brasil) reportaron masas de mesocarpio de 8,98 g que representa aproximadamente el 42 % del fruto. En Paraguay, Büttner (2009) realizó análisis de diferentes muestras de frutos de mbokaja, concluyendo que el mesocarpio constituye de 25 a 45 % en peso del fruto.



Figura 21 – Partes del fruto de mbokaja.

Tabla 3 – Evaluación biométrica de componentes del fruto de mbokaja en diferentes regiones del racimo.

Región del racimo (cacho)	Espesor (mm)			Diámetro Longitudinal (mm)	
	Epicarpio	Mesocarpio	Endocarpio	Endocarpio	Almendra
Apical	0,71±0,07	4,05±0,34	3,14±0,28	22,71±0,20	15,13±0,58
Mediana (Central)	0,67±0,03	3,81±0,27	3,47±0,16	22,99±0,50	15,29±1,22
Basal	0,73±0,07	3,82±0,33	3,38±0,26	22,47±0,98	14,90±0,32
$\bar{X}$ (promedio)	0,71±0,02	3,89±0,14	3,33±0,17	22,73±0,26	15,11±0,20

Tabla 4 – Distribución másica de componentes del fruto de mbokaja en diferentes regiones del racimo.

Región del racimo (cacho)	Masa de los componentes del fruto (g)				
	Fruto entero	Epicarpio	Mesocarpio	Endocarpio	Almendra
Apical	17,57±0,66	2,98±0,38	8,25±0,71	4,31±0,17	1,39±0,15
Mediana (Central)	18,08±0,52	3,07±0,25	8,49±0,50	4,48±0,15	1,52±0,05
Basal	18,10±0,70	3,00±0,24	8,61±0,29	4,31±0,13	1,55±0,26
$\bar{X}$ (promedio)	17,92±0,30	3,01±0,05	8,45±0,18	4,37±0,10	1,49±0,08

Tabla 5 – Composición en masa de componentes del fruto de mbokaja en diferentes regiones del racimo.

Región del racimo (cacho)	Masa de los componentes del fruto (%)				
	Fruto entero	Epicarpio	Mesocarpio	Endocarpio	Almendra
Apical	100	16,94±0,38	46,65±0,71	24,50±0,16	7,91±0,22
Mediana (Central)	100	16,97±0,25	46,98±0,50	24,78±0,09	8,40±0,15
Basal	100	16,56±0,24	47,55±0,29	23,81±0,28	8,55±0,18
$\bar{X}$ (promedio)	100	16,82±0,23	47,16±0,34	24,37±0,50	8,29±0,37

De acuerdo a los resultados de la Tabla 5, aproximadamente el 17 % del fruto corresponde a epicarpio, 23,37 % a endocarpio y 8,29 % a endospermo o almendra. Para todos los componentes del fruto no se observaron diferencias significativas ($p>0,05$) en las medias para la regiones apical, mediana y basal.

Estos resultados son similares valores de parámetros biométricos de frutos de *Acrocomia aculeata* ecotipo *totali* analizados por Machado et al., (2015) en el estado de Paraná (Brasil), donde registraron porcentajes másicos medios de 19 % para epicarpio, 53 % para mesocarpio, 20 % para endocarpio y 7 % para almendra.

Ciconini et al. (2013), reportaron la caracterización de frutos de *A. aculeata totali* en el estado de Mato Grosso do Sul (Brasil) e indicaron masas en el rango de 13,7 a 25,5 g para el fruto, 21 % epicarpio, 44,8 a 51,2 % mesocarpio, 23,3 a 30,2 % endocarpio y 4,9 a 6,7 % almendra.

Büttner (2009) en muestras de mbokaja analizadas en Paraguay, reportó composición en epicarpio de 15 a 25 %, y endospermo o almendra de 8 a 13 %. Sin embargo, indicó valores de endocarpio o carozo de 30 a 45 %, valores superiores a los descritos en el Proyecto 14-INV-093.

El contenido promedio de humedad en la pulpa de frutos, de diferentes partes del racimo, fue de 48,1 % (Tabla 6). La humedad elevada favorece el crecimiento de hongos que deterioran la pulpa, principalmente cuando el fruto entra en contacto con el suelo y se presentan fisuras en el pericarpio. Igualmente, se favorecen reacciones hidrólisis enzimática de lípidos, que aumentan contenido de ácidos grasos libres en el aceite.

Por ello, el fruto debe ser procesado en la brevedad posible, para evitar su deterioro y obtener aceite de calidad con elevado rendimiento.

Por otro lado, la humedad asociada a la naturaleza fibrosa y mucilaginosa de la pulpa, dificulta y en algunos casos, imposibilita la operación de la despulpadora debido a la obstrucción generada por apelmazamiento de frutos y fracciones de pulpa, endocarpo-almendra en los quebrantadores. A fin de reducir estos inconvenientes, se realiza una etapa de secado natural. Como se ha indicado anteriormente, es ideal el procesamiento inmediato o la incorporación de una etapa de secado artificial para garantizar su procesamiento y obtener aceite de alta calidad con baja acidez.

Cabe resaltar que, en función de la temperatura ambiente elevada, el fruto pierde humedad y se genera un espacio entre el epicarpio y la pulpa de 2,0 a 3,0 mm, que generalmente cesa cuando alcanza la humedad de equilibrio (8-10 %, p/p). Esta pérdida de masa por evaporación no afecta el contenido de aceite.

El aceite de pulpa obtenido en todas las partes del racimo presentó color amarillo-naranja claro, que se encuentra asociado al contenido de carotenos (Figura 22). El máximo contenido en aceite fue observado en la pulpa obtenida de frutos de la región basal (29,23 %), siendo este valor 1,5 % superior al observado en la región apical (27,95 %).

De forma general, se puede afirmar que el contenido de aceite es próximo en las todas las regiones del cacho, con una contenido medio de 28,26 %, lo que indica que el contenido de aceite es homogéneo en todo el racimo, siendo posible realizar el cacheo después del desprendimiento de los primeros frutos maduros.

El contenido en aceite de la pulpa de coco mbokaja obtenido en este trabajo es similar al reportado por Munhoz et al., (2012), donde estudios de frutos de *A. aculeata* en el Estado de Mato Grosso do Sul (Brasil), resultaron en contenido de aceite de pulpa de 29,02 %. En colectas de frutos realizadas en diferentes ciudades de la misma región brasileña, Ciconini et al. (2013) reportó contenido de aceite de pulpa de 25 %. Büttner (2009), reportó contenido de aceite en la pulpa de frutos recién caídos del cacho de 20,3 %, con humedad de 43,7 %. Cabe resaltar que la variación de contenido de aceite en la pulpa depende de estado de madurez de los frutos, pudiendo variar considerablemente en función de las condiciones climáticas y nutricionales del suelo.



Figura 22 – Pulpa y aceite de pulpa de mbokaja.

Tabla 6 – Características de la pulpa de mbokaja obtenida de diferentes regiones del racimo.

Región del racimo (cacho)	Pulpa			
	Humedad (% p/p)	Aceite (% p/p)	Acidez (mg KOH/g)	Acidez (% ácido oleico)
Apical	48,56±0,51	27,65±0,83	3,12±1,03	1,57
Mediana (Central)	47,38±0,93	27,92±0,19	3,56±0,90	1,79
Basal	48,37±0,76	29,23±0,43	3,49±0,83	1,75
$\bar{X}$ (promedio)	48,10±0,63	28,26±0,92	3,39±0,24	1,70±0,12

En relación a la acidez del aceite de pulpa, se observan valores próximos en frutos de todas la regiones del cacho, siendo el valor promedio 3,39 mg KOH/g o su equivalente en porcentaje de ácido oleico de 1,70 % (Tabla 6). Los valores de acidez observados en este trabajo se encuentran dentro de lo preconizado por el CODEX Stan19-2015 para grasas y aceites comestibles, el cual establece como límite 4,0 mg KOH/g para aceite bruto (FAO/OMS, 2019). De acuerdo con Büttner (2009), la acidez del aceite de pulpa de frutos maduros en su punto (recién caído del cacho) es alrededor de 1,33 %.

En la industria, el aceite de pulpa alcanza valores de acidez próximos a 65 % en ácido oleico, debido a la presencia de enzimas lipolíticas degradadoras de triglicéridos en la propia pulpa, y aquellas producidas por microorganismos contaminantes, que hidrolizan el aceite de pulpa.

Por lo general, no es aplicado ningún tratamiento térmico para inactivar las enzimas lipolíticas, sea antes del almacenamiento o previo a su procesamiento para extracción de aceites. La elevada acidez libre del aceite de pulpa limita su uso para la alimentación humana, destinándose generalmente para la industria de jabones e incluso para la de biocombustibles. Esto refuerza la necesidad de evitar el contacto de frutos con el suelo y promover la inactivación de las enzimas lipolíticas mediante tratamiento térmico, que además reduciría la carga microbiana superficial, sin adición de productos químicos. De esa forma, la consecuente reducción de la acidez favorecería el aprovechamiento del aceite de pulpa para fines más exigentes, como por ejemplo uso alimenticio o farmacéutico (Evaristo et al., 2016).

Aceites con acidez inferior a 3 % (en ácido oleico) son deseables para la obtención de biodiesel, una vez que la industria de este biocombustible utiliza de forma tradicional catalizadores básicos como hidróxido de potasio (KOH) e hidróxido de sodio (NaOH).

Aceites con elevada acidez originan jabones que afectan el rendimiento global y costo del proceso de obtención de biodiesel en dichas condiciones. Sin embargo, el aceite de pulpa de elevada acidez encuentra utilización como materia prima para la producción de este biocombustible, cuando son empleados catalizadores ácidos o condiciones supercríticas (Policano et al., 2016).

El perfil de ácidos grasos y las características del aceite de pulpa de coco mbokaja son presentados en la Tabla 7.

Tabla 7. Perfil de ácidos grasos del aceite de pulpa de coco mbokaja obtenidos de las diferentes regiones del racimo.

Ácidos Grasos	Composición % (p/p)*		
	Apical	Mediana	Basal
Caprílico, C8:0	0,56	0,78	0,72
Caprico, C10:0	0,33	0,00	0,44
Laurico, C12:0	2,12	2,39	2,25
Mirístico, C14:0	1,45	1,03	1,84
Palmítico, C16:0	19,49	19,37	18,80
Palmitoleico, C16:1	3,68	2,24	4,11
Estearico, C18:0	2,54	1,81	2,18
Oleico, C18:1	64,04	63,00	61,46
Linoleico, C18:2	3,35	6,14	5,76
Alfa-Linolénico, C18:3	1,34	2,22	1,10
Heneicosanoico, C21:0	1,10	1,03	1,35
Saturados	27,59	26,40	27,57
Monoinsaturados	67,72	65,24	65,57
Poliinsaturados	4,69	8,36	6,85

*Base 100 % aceite recuperado

Frutos de diferentes regiones del racimo (cacho) presentan contenido de aceite y perfil de ácidos grasos similares, al iniciar la caída de los primeros frutos maduros

El ácido graso mayoritariamente presente en la pulpa, independiente de la región ocupada en racimo de frutos, fue el ácido oleico (C18:1) con valores en el rango de 61,46 a 64,04 %, seguido del ácido palmítico (C16:0) de entre 18,80 a 19,49 %. El contenido promedio de ácidos grasos saturados fue de 27,19 % (p/p) y superiores a 66,18 % (p/p) en ácidos grasos monoinsaturados, siendo el contenido de poliinsaturados de 6,64 %. La presencia de ácidos grasos monoinsaturados como el oleico y los poliinsaturados son efectivos en la reducción de colesterol HDL en humanos y constituyen nutrientes claves para prevenir enfermedades crónicas (Carrillo Fernández et al., 2011). Por otro lado, el ácido palmítico es útil para mejorar las propiedades de textura de alimentos y cosméticos.

El perfil de ácidos grasos reportado en este trabajo es similar al reportado por Del Rio et al. (2016) y Munhoz et al., (2012). Este último, analizó frutos obtenidos en la región de Mato Grosso do Sul (Brasil), reportando contenido de ácido oleico y ácido palmítico de 62,64 y 18,92 %, respectivamente. Valores superiores en estos ácidos fueron encontrados en estudios realizados por Ciconini et al. (2013), alcanzando una media máxima de 72,59 % y 24,36 %, respectivamente. En Paraguay, Büttner (2009) reportó contenido de ácido oleico y palmítico de 63,4 % y 23,9 %, respectivamente.



Figura 23 – Racimo de frutos de coco mbokaja.

De forma general, los valores obtenidos en el presente trabajo son próximos a los encontrados en la literatura científica. Cabe resaltar que, el contenido elevado en ácidos grasos monoinsaturados como el ácido oleico son deseables para la producción de biodiesel, una vez que los ésteres producidos a partir de este ácido graso proporciona elevada estabilidad oxidativa al biocombustible (Knothe et al., 2005).

En función del contenido de aceite y perfil de ácidos grasos es posible concluir que los frutos de las diferentes regiones del racimo presentan características similares, siendo posible realizar la remoción del racimo después de la caída del primer fruto para su posterior almacenamiento. Esta operación podría reducir los efectos negativos de una colecta inadecuada y consecuente deterioro del fruto maduro (Costa, 2016).

En relación al potencial del aceite de pulpa de coco mbokaja para la producción de biodiesel, su elevada concentración de ácido monoinsaturado (ácido oleico) hace de ésta materia prima ideal para combustibles. La Tabla 8 presenta la estimación de las propiedades físicas del biodiesel a ser producido con el aceite de pulpa.

Tabla 8 – Estimación de los parámetros de calidad de biodiesel a partir de aceite de pulpa mbokaja.

Propiedad	Valor
Grado de instauración, %	75,14
Índice de saponificación, mg KOH/g	194,04
Índice de iodo, g (I ₂)/100 g	69,32
Número de cetano	58,83
Long-chain saturated factor (LCSF)	2,84
Punto de obstrucción de filtro en frío (CCPP), °C	-7,55
Punto de niebla, °C	4,57
Estabilidad oxidativa, h	21,34
Calor de combustión, MJ/kg	36,85



Procesamiento de coco
Mbokaja

PROCESAMIENTO INDUSTRIAL DE MBOKAJA

El procesamiento industrial del coco mbokaja en Paraguay data de principios del siglo XX, con la instalación de pequeñas industrias extractoras de aceite de almendra para uso en jabonería. En 1940 el volumen de producción industrial de aceite de almendra fue de 883 Tn, siendo 13 Tn destinadas a la exportación. En cuanto al aceite de pulpa, se reporta la exportación de 126 Tn en 1943. La industria de procesamiento de mbokaja se ha consolidado gracias al desarrollo y construcción local de equipamientos para separación de cáscara, despulpado, ruptura de endocarpio (carozo), secado y extracción de aceite por prensado (Markley, 1956).

El número de plantas procesadoras de mbokaja se redujo de forma considerable en los últimos años, totalizando seis plantas industriales operando en 2020, incluyendo Oleaginosas Industrializadas S.A (OISA), Base Industrial Salinas S.A. con dos plantas, Aceitera Industrial S.A. e Indupalma S.A. y Procesos Industriales (PROIN S.A.C.I.). Los productos obtenidos por estas empresas incluyen, aceite de pulpa, aceite de almendra, expeller de pulpa, expeller de almendra, carozo, cáscara y abono (mezcla de restos de epicarpio, fibras, palitos y otras impurezas que acompañan a los frutos).

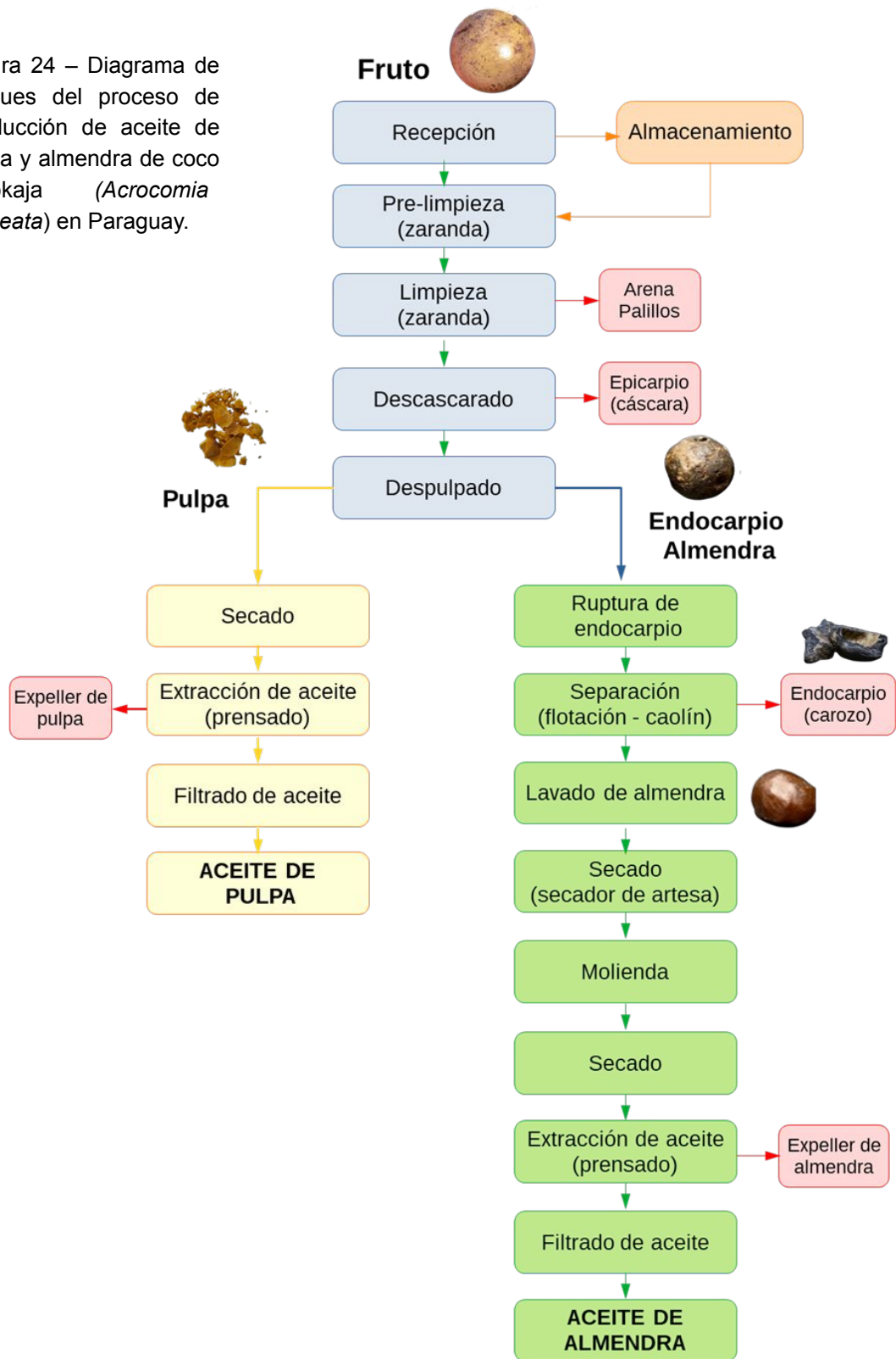
De acuerdo con el diagrama de bloques mostrado en la Figura 24, el procesamiento inicia con la inspección, recepción y pesaje de la materia prima. Generalmente, estos frutos llegan a la planta procesadora en camiones de gran porte, motocarros o carretas. En seguida los frutos enteros o despulpados (coco pelado) son almacenados en patio o en galpones ventilados.

La materia prima generalmente se recibe a granel y en cajones reglamentarios, conforme establecido por el MAG. El monto pagado en 2019/2020 por cajón de coco entero fue de 19.000 a 23.000 Gs. Generalmente este valor recibe un incremento de 2.000 a 3.000 Gs en función de la comisión del acopiador y el costo del transporte de la materia prima hasta la planta. Cabe resaltar que, según Resolución N° 985/2008 del MAG, las medidas del Cajón de Recepción deben ser de 65 x 55 x 40 cm, equivalente a 143 cm³ (aproximadamente 65 kg de coco).

El precio del cajón de coco pelado puede alcanzar valores de entre 24.000 a 30.000 Gs. No obstante, existe un descuento aplicado al valor pagado por la materia prima en planta, en función de la cantidad de impurezas (arena, piedra, palos, etc.) que acompañan a la materia prima, que puede alcanzar valores de 500 a 2.000 Gs por cajón. Así también, el agricultor recibe un descuento cuando los frutos provienen de la remoción del racimo de frutos antes de la maduración total de los frutos (cacho verde). Aproximadamente el 30 % de la materia prima que llega a las plantas procesadoras proviene de cachos verdes, cuyos frutos son mezclados con frutos maduros.

Esto afecta de forma considerable los rendimientos de extracción de aceite, en especial durante el procesamiento de la pulpa que contiene aceite en concentraciones inferiores al 15 %. Por otro lado, productores y acopiadores que comercializan cocos maduros y de mayor calidad, reciben un diferencial de hasta 2.000 Gs/cajón. En la mayoría de los casos, las empresas trabajan con acopiadores que se encargan de agrupar agricultores y coleccionar los frutos.

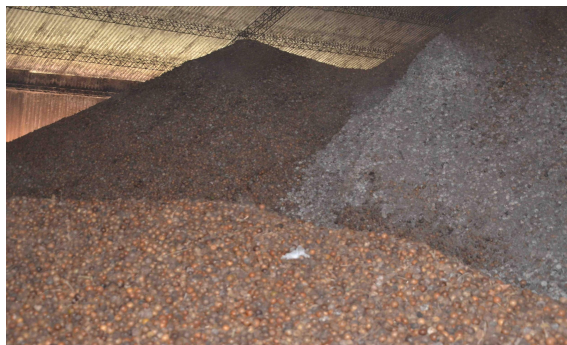
Figura 24 – Diagrama de bloques del proceso de producción de aceite de pulpa y almendra de coco mbokaja (*Acrocomia aculeata*) en Paraguay.



Frutos secos, provenientes de galpones de almacenamiento o del patio industrial, son transportados en tractor hasta la tolva de recepción (Figura 25 a-b), la cual alimenta un transportador de cangilones hasta las zarandas de pre-limpieza, donde se elimina arena, palos y otras impurezas. Enseguida, los frutos son conducidos al separador de epicarpio (denominado despericarpadora), de similares características que un molino de martillos, en el cual se separa la cáscara y demás impurezas posteriormente vendidas como abono o para combustión en las calderas. El fruto libre de epicarpio es conducido por medio de transportadores de cangilones y tornillos sinfín a la operación de despulpado.

La despulpadora consiste en un cilindro con discos dentados que separa por un lado la pulpa y por otro lado el endocarpio junto con la almendra (Figura 25 c-d). La pulpa separada es transportada por tornillos a la sección de almacenamiento temporal, donde pierde humedad antes del tratamiento térmico. Al momento de su procesamiento, la pulpa es conducida mediante transportadores de tornillo sinfín a los cocedores.

***Frutos con
humedad superior
al 10 % dificultan
el proceso de
despulpado,
obligando a
paradas
constantes para
desobstruir del
cuerpo y cilindro
de la despulpadora***



a



b



c



d

Figura 25 – Almacenamiento de frutos (a), tolva de alimentación (b), tolva y despulpadora (c), cilindro de despulpador (d).

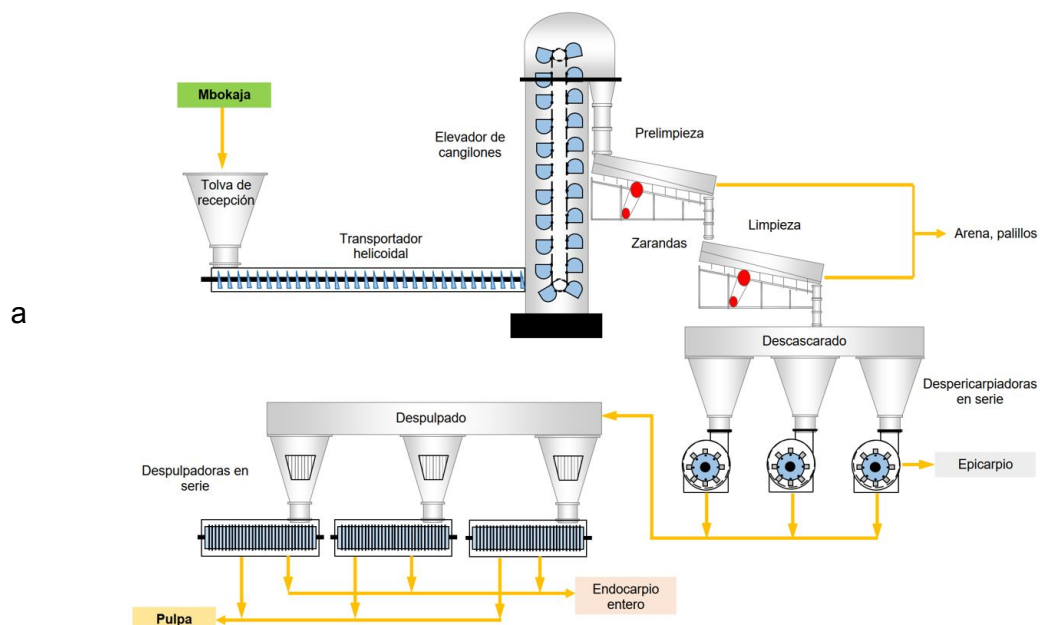
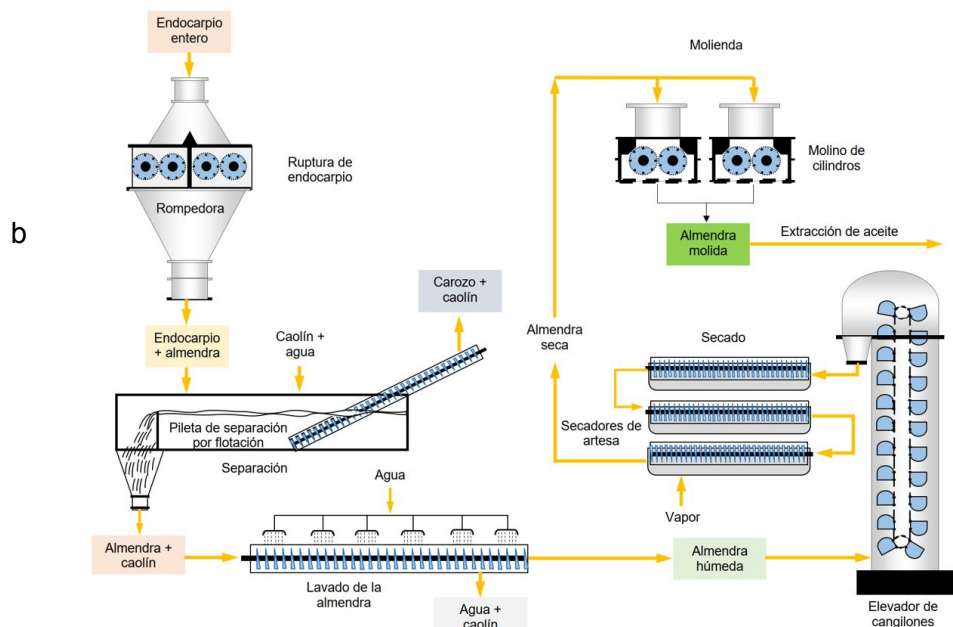
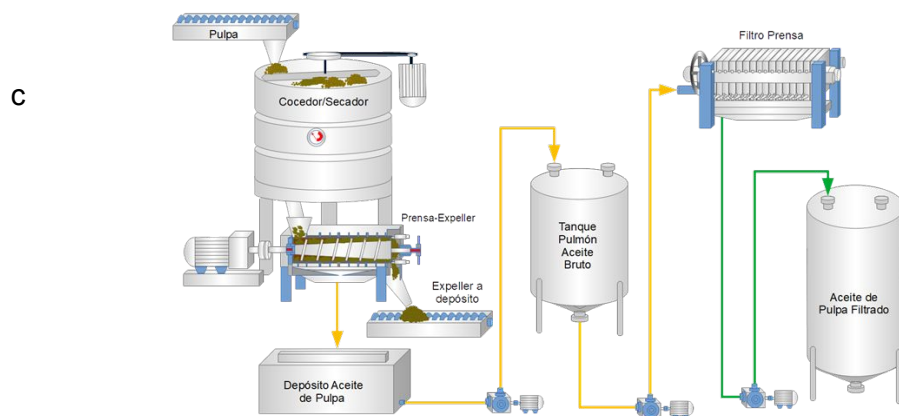


Figura 26 – Flujogramas de diferentes etapas del proceso de producción de aceite. Limpieza y despulpado (a), molienda de la almendra (b), extracción de aceite de pulpa (c).

La Figura 26-c muestra el flujograma del procesamiento de la pulpa de mbokaja para la obtención de aceite de pulpa. El contenido de humedad es un parámetro de relevancia en la extracción de aceite de pulpa, debido a que la naturaleza viscosa de la fibra en presencia de humedad, reduce el rendimiento de extracción de aceite al tiempo de ocasionar obstrucción en los equipamientos de extracción. Valores de humedad inferiores a 10 % en pulpa, permiten resultados favorables en el proceso de extracción de aceite.

La función de los cocedores es la eliminación de la humedad del fruto, al tiempo de elevar la temperatura de la masa fibrosa entre 65 y 80 °C para facilitar el prensado mecánico y maximizar la extracción del aceite. Los cocedores cuentan con rasquetas que promueven el movimiento de la pulpa sobre una superficie calefactora hasta un ducto descendente que conduce al material a la siguiente superficie calefactora inmediatamente inferior, funcionando el equipo como una torre de secado de múltiples etapas (Figura 27a-b).

El calor de los cocedores es proveído por vapor saturado que transfiere energía calorífica a las superficies calefactoras lisas, sin ningún contacto con la pulpa seca. Finalmente, la pulpa seca es descargada de forma continua por una tolva a la prensa de extracción de aceite. La extracción puede ser realizada por prensado en frío, prensado en caliente u otros métodos que requieren solvente. No obstante, esta última opción es siempre descartada por la necesidad de conservar el perfil de producción orgánica, sin uso de solventes o sustancias químicas.



***El tratamiento
térmico de la
pulpa antes de la
extracción
favorece la
remoción de
humedad y la
extracción de
aceite por
prensado***



a



b



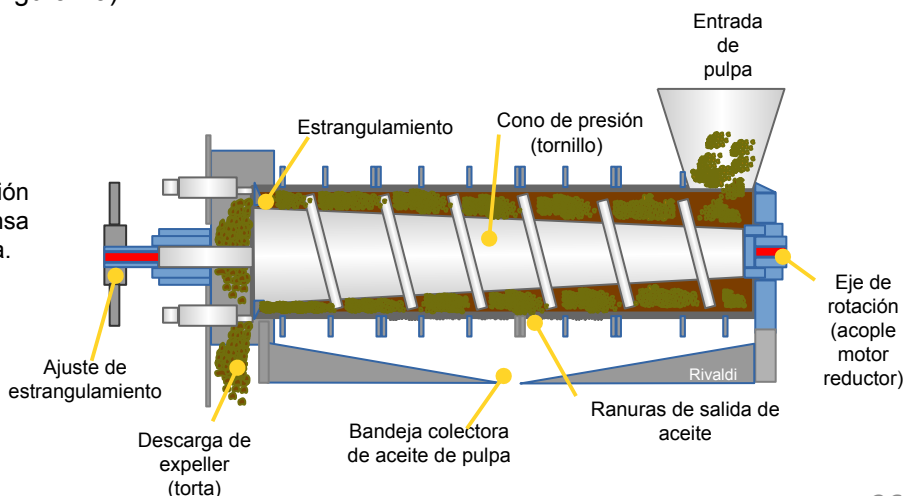
c

Figura 27 – Cocedor de pulpa mbokaja (olla) (a), indicador de temperatura en el cocedor (b), pulpa cocida (c).

El equipo de extracción consiste en una prensa mecánica (Figura 28) con una barra (cono) sinfín horizontal de paso constante y diámetro de eje incremental en el sentido de giro, dirige la pulpa a presión hacia un barril metálico perforado y pesado capaz de ejercer elevada presión sobre la pulpa. Los filetes del tornillo tienen sección trapezoidal. Por las perforaciones del barril metálico escurre el aceite extraído a una bandeja colectora, de donde es direccionada a un reservorio inferior. El expeller (torta) de pulpa es separado por el extremo opuesto de donde fue alimentada la pulpa (Figura 29).

Alta humedad en la pulpa dificulta el proceso de extracción y promueve la obstrucción por fibras en la prensa, reduciendo la productividad del proceso por paradas

Figura 28 – Representación esquemática de prensa extractora de aceite de pulpa.



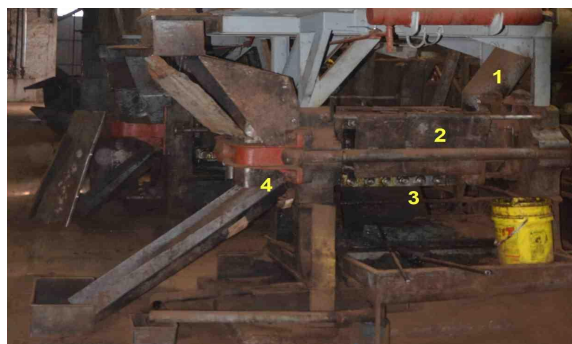


Figura 29 – Prensa de tornillo mecánica (vista lateral), entrada de pulpa seca,1; cuerpo de la prensa de tornillo, 2; bandeja colectora de aceite de pulpa, 3; salida de expeller de pulpa, 4; (a), expeller de pulpa a la salida de la prensa mecánica (b).

El aceite de pulpa es transportado por una bomba de tornillo a un tanque elevado del cual es nuevamente bombeado a un filtro prensa de placas y armazón con descarga abierta (Figura 30a). Esta operación permite separar fibras y otras impurezas que acompañan al aceite de pulpa.

El aceite filtrado es conducido a los tanques de almacenamiento externos de la planta, o directamente a la zona de despacho de producto. La torta de filtración, que contiene cierta cantidad de aceite, es conducida nuevamente a la fase de extracción para maximizar el rendimiento de extracción. El expeller separado en la prensa de tornillo es conducido mediante transportadores sinfín y transportadores de cangilones al depósito de expeller.

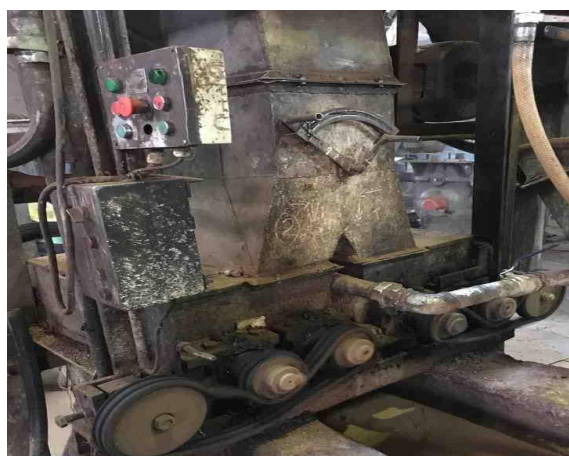
Para la extracción del aceite de almendra, se parte del fruto despulpado procedente del despulpador (Figura 30b), el cual es transportado por un tornillo sinfín a un colector, donde cae por gravedad a un quebrantador de cilindros ondulados (rompedor), como se observa en la Figura 30c.



a



b



c

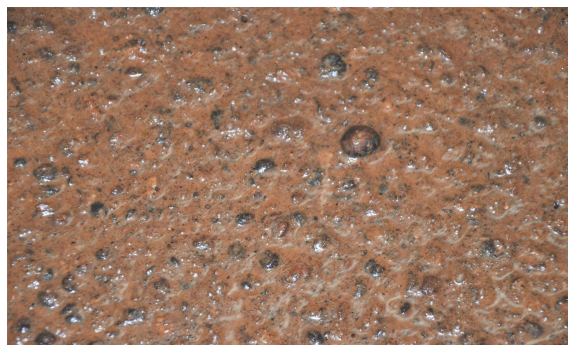
Figura 30 – Filtro prensa (a), frutos a la salida de despulpador (b), quebrantador de frutos despulpados (rompedor) (c).

Una vez separados, tanto el endocarpio (carozo) como la almendra caen a una artesa o pileta que contiene una suspensión de caolín. Esta permite la separación de la almendra por flotación y precipitación del carozo, en función de sus pesos específicos (Figura 31a). La cantidad de caolín empleada es aproximadamente 1 kg por cada 1,5 cajones de frutos procesados.

Parte del caolín empleado en la preparación de la suspensión es reutilizado, mientras que la fracción restante pasa a una pileta de decantación, finalmente el caolín (lodo húmedo) impregnado con algo de aceite y arena se vende como abono. En el extremo opuesto de la pileta, un transportador sinfín eleva el carozo y permite que la suspensión escurra, descargando el carozo en el depósito correspondiente (Figura 31b). Parte del carozo es quemado en las calderas para la generación de vapor y parte se emplea en la producción de carbón activado, dependiendo de la compañía procesadora.

Las almendras separadas por flotación son conducidas a través de una tolva y caen a una artesa perforada donde son lavadas con agua mediante aspersores (Figura 31c); enseguida, son transportadas por un tornillo sinfín, cuyo canalón perforado permite al agua escurrir (Figura 31d). Por medio de un transportador de cangilones, la almendra es elevada hasta una tolva que las distribuye en transportadores helicoidales que cumplen la función de secadores.

El lavado de las almendras permite el reuso del caolín y garantiza la reducción de desgaste de equipamientos



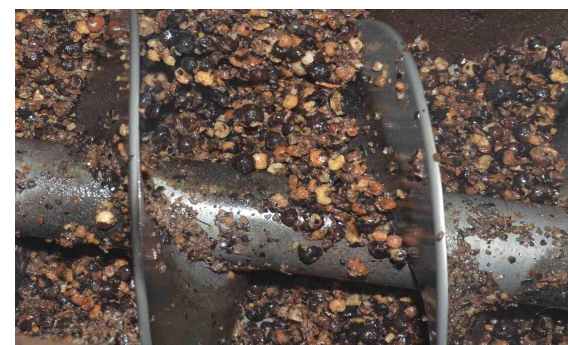
a



b



c



d

Figura 31 – Almendras de coco mbokaja separadas por flotación con caolín del endocarpio (carozo) (a), endocarpio (carozo) separados (b), lavado de almendras de coco mbokaja (c), transporte de almendra húmeda (d).



a



b



c

Figura 32 – Almendra húmeda (a), conjunto de secadores continuos tipo tornillo superpuestos (b), vista superior de secadores de tornillo (c).

El secado de la almendra se realiza por medio de un secador de tornillo continuo de calentamiento indirecto, el cual consiste en un tornillo confinado en un canalón (carcasa) semicilíndrica encamisada o de doble fondo por el que circula vapor, el tornillo sinfín ayuda en la distribución homogénea del calor a medida que las almendras avanzan por el transportador (Figura 32a-c).

Cabe resaltar que el secado se realiza en varias etapas, para lo cual se colocan los transportadores helicoidales uno debajo de otro, de modo que la almendra parcialmente seca de la primera etapa (secador superior) cae a la siguiente etapa, hasta completar el circuito de secado. Detalles del secador de tornillo continuo son presentados en la Figura 33.

Al igual que la pulpa, la almendra debe contener humedad inferior a 10 % para facilitar el proceso de prensado y evitar la obstrucción de material en las prensas mecánicas

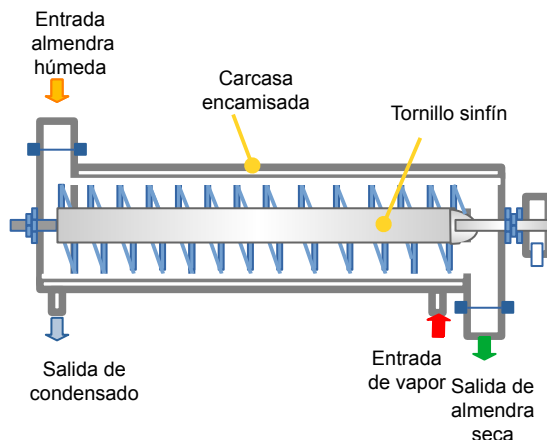


Figura 33 – Modelo de secador de tornillo continuo.

Finalmente, las almendras secas caen al molino de cilindros (Figura 34a) donde se muelen en circuito cerrado hasta un tamaño de partícula menor a 5 mm, incrementando de esta manera la superficie de contacto para facilitar la cocción (Figura 34b). En los cocedores (ollas) se alcanzan temperaturas elevadas ($>90\text{ }^{\circ}\text{C}$) para garantizar el secado total de la almendra molida y acondicionarla para la extracción en caliente del aceite en una prensa de tornillos mecánica (Figura 34c). Finalmente, el aceite bruto es recogido en un reservorio intermedio y bombeado al tanque de alimentación del filtro prensa (Figura 34d-f).

Tanto los cocedores, como la prensa de tornillos y el filtro prensa son similares a los descritos en la extracción de aceite de pulpa (Figura 26c). La torta de filtración (sólido retenido por el filtro) puede ser reconducida al proceso de prensado o bien a un depósito de expeller mediante un transportador sinfín, junto con el expeller separado en la prensa de extracción.

Finalmente, el aceite de almendra filtrado es conducido a los tanques de almacenamiento en exterior de la planta o es conducido directamente para expedición del producto.



a



b



c



d



e



f

Figura 34 – Molino de almendra seca (a), almendra molida (b), prensa extractora de aceite de almendra (c), reservorio intermedio de aceite de almendra (d), filtro prensa de placas y armazón de descarga abierta de aceite de almendra (e), aceite de almendra filtrado (f).

Se estima una pérdida de 10 % en peso de fruto en todo el proceso de producción, no obstante, cabe resaltar que la totalidad de industrias que operan en el Paraguay aprovechan el coco de forma integral, siendo vendido, además del aceite de pulpa y almendra, expeller de pulpa (rico en fibras, azúcares y proteínas), expeller de almendra (alto contenido proteico), carozo de coco y epicarpio (cáscara) para combustión de calderas y abono (restos de epicarpio y arena principalmente) (Figura 35a-d).

Los análisis de calidad que se realizan a los productos incluyen, índice de acidez del aceite de almendra (<3 % en ácido oleico), humedad <1 %, determinación de contenido de aceite residual en el expeller de pulpa y almendra, granulometría y humedad del expeller y ensayos relacionados con el carbón activado. Existe creciente interés en la obtención de fosfoamidas de aceite de almendra para uso en detergentes o cosmética.

El aceite de pulpa en planta alcanza una acidez entre 50 a 67 %. Las jaboneras que compran el aceite requieren que el contenido de humedad sea menor al 1 % y con bajo contenido de borras (no especifica).

La industria paraguaya del mbokaja procesa materia prima sin adición de compuestos químicos, lo que permite clasificar a los productos derivados de esta industria como “orgánicos”



a



b



c



d

Figura 35 – Deposito de epicarpio (cáscara) (a), cáscara (b), carozo (c), abono conteniendo cáscaras de fruto mbokaja (d).

SITUACIÓN DE LA INDUSTRIA NACIONAL

La industria de procesamiento de mbokaja en Paraguay ha experimentado una reducción considerable del número de empresas dedicadas a este rubro. En los años 90 existían en Paraguay más de 15 industrias activas, sin embargo, ese valor se redujo a menos de 10 industrias en el 2003, situación asociada principalmente a la disminución de la cantidad de materia prima y a la competencia en precio del aceite de palma proveniente de Asia y aceite de babaçú, con precio hasta un 60 % inferior al del aceite de almendra de mbokaja (Pedretti, 2004).

En 2020 la situación fue aún más desalentadora, debido a que hasta agosto de ese año, el número total de empresas registradas en el Ministerio de Industria y Comercio se redujo a 5, con 6 plantas industrializadoras activas. El cierre de industrias de este rubro tiene un impacto social negativo a nivel primario de la cadena productiva de mbokaja, afectando el empleo y la generación de ingresos económicos en la agricultura familiar¹⁻⁴.

En Paraguay, si bien existe la Ley N° 4.309/2011 “que declara de interés nacional y fomenta la forestación y/o reforestación con mbokaja”, no existe una política real para que el agricultor pueda plantar esta palmera en sus parcelas. En este sentido, la empresa Base Industrial Salinas S.A. viene impulsando el programa “Ñañoty mbokaja”, que tiene como finalidad incentivar la plantación del coco debido a los beneficios que tiene para el ecosistema, la economía del agricultor y las industrias que trabajan con ella².

La escasez de materia prima se debe fundamentalmente a la dificultad de recolección de frutos de coco mbokaja por la baja densidad de plantas por hectárea (50-60 palmeras/hectárea). Esto desmotiva al agricultor debido a que deben recorrer grandes distancias para llenar un cajón con frutos, muchas veces en condiciones climáticas no amenas.

Una planta de mbokaja madura produce cerca de 40 kg de frutos maduros por año, y la colecta se realiza de forma manual, directamente del suelo o por cacheo de frutos inmaduros (con 3 a 4 meses antes de alcanzar la madurez), que en muchos casos afecta el valor recibido en planta debido a la baja calidad de la materia prima^{2,3,4}.

Otro inconveniente que se observa en la cadena de procesamiento es la falta de incentivo gubernamental para el cultivo de plantines de mbokaja y recolección de frutos. En años anteriores, la escasez de materia prima llegó a ser crítica, no por la baja densidad de palmeras de mbokaja por hectárea, sino debido a la falta de personal para realizar la colecta.

En este sentido, muchos agricultores que habitualmente realizaban la recolección de frutos se desempeñan en otras actividades que requieren menor esfuerzo. No obstante, en 2020 se observó un mayor volumen de materia prima en las industrias, debido a que un mayor número de personas recolectaron coco, como consecuencia de la falta de empleo por la situación sanitaria atípica provocada por el COVID-19¹⁻⁴.

¹Ing. Agr. César Caballero, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, (2018).

²Lic. Sady Salinas, Gerente - Base Industrial Salinas S.A. – San Roque González, 2020.

³Lic. Carin Daher, Gerente - Oleaginosas Industrializadas S.A. – Yguarón, 2020.

⁴Ing. Agr. Juan L. Vera, Asesor Técnico, Industrial Aceitera S.A. – Capiatá, 2020.

En la zafra 2019 fueron procesados en Paraguay aproximadamente 650.000 cajones de frutos (1 cajón ≈ 65 kg)¹⁻³, muy por debajo de la capacidad instalada declarada por industrias del rubro (800.000 a 1.200.000 cajones)¹. Además de los problemas de provisión de materia prima suficiente, las industrias reciben frutos resultantes del cacheo de frutos verdes, y con alta cantidad de impurezas (palos, piedras, materia fecal, arena y otros) lo que afecta en gran medida los rendimientos globales de producción¹⁻³.

Durante el período de zafra algunas industrias trabajan en régimen intermitente (12 h/día) en las operaciones de separación de la pulpa y almendra, y en régimen continuo (24 h/día) en las operaciones de prensado de la pulpa y almendra, sin embargo, inconvenientes técnicos en la extracción de aceite limitan el incremento para alcanzar la capacidad máxima instalada^{2,3}. Generalmente, el trabajo intermitente está asociado a la necesidad de mantenimientos correctivos, por obstrucción y/o desgaste en equipos como despulpadoras y quebrantadores, transportadores y otros elementos mecánicos,¹⁻³.

En la Tabla 9 se presentan rangos de valores de volumen de procesamiento, producción y precios de comercialización de aceite de pulpa y de almendra de mbokaja. El volumen de procesamiento industrial de frutos (zafra 2019), estuvo comprendido entre 80.000 y 400.000 cajones, con producción de aceite de pulpa y de almendra de hasta 110 y 800 toneladas, respectivamente. El rendimiento de la extracción del aceite de pulpa oscila entre 1,5 a 2,0 % del fruto procesado, siendo de hasta 6 % para aceite de almendra¹⁻³.

Todas las industrias que operan en Paraguay utilizan tecnología desarrollada en el país para cada operación unitaria, o bien, son adaptaciones de procesos de industrialización de otros frutos o semillas oleaginosas.

El precio de aceite de pulpa con acidez superior al 50 % (% ácido oleico) varía de 460 a 530 dólares la tonelada (Tabla 9). Este valor de mercado podría ser mayor mediante la implementación de técnicas adecuadas de colecta, almacenamiento y rápido procesamiento de frutos, que minimicen la hidrólisis del aceite de pulpa.

Tabla 9 - Indicadores de producción y precio de aceite de pulpa y almendra en industrias de procesamiento de frutos de mbokaja en Paraguay.

Cajones/ safra	Precio cajón ^{a,b} (Gs)	Rendimiento aceite (% /peso fruto) ^c		Total aceite (Tn) ^d		Precio aceite (\$/Tn) ^d	
		Pulpa	Almendra	Pulpa	Almendra	Pulpa	Almendra
80.000 400.000	17.500 a 23.000	0,8 - 1,6	5,5 - 6,0	100 - 110	400 - 800	460 - 530	1.300 - 1.400

^a Resolución N.º 985/2008 del Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAG, medidas de un cajón fueron establecidas en 0,65 x 0,55 x 0,40 m, correspondiente a un peso aproximado de 65 kg de frutos de mbokaja.
^b Precio de cajón de frutos entero. El valor de frutos sin pulpa que llegan a planta industrial puede alcanzar 30.000Gs/cajón
^c Rendimientos de extracción (rangos de valores en las industrias)
^d Volumen de producción y precios de comercialización indicados por productores industriales (Zafra 2019).

¹Lic. Sady Salinas, Gerente - Base Industrial Salinas S.A. – San Roque González, 2020.
²Lic. Carin Daher, Gerente - Oleaginosas Industrializadas S.A. – Yaguarón, 2020.
³Ing. Agr. Juan L. Vera, Asesor Técnico, Industrial Aceitera S.A. – Capiatá, 2020.

En la Tabla 10 se presentan los principales indicadores de producción y valores de comercialización de los subproductos resultantes de la obtención de aceite de pulpa y almendra de mbokaja en Paraguay. El fruto de mbokaja es aprovechado en su totalidad, y la demanda por algunos de sus subproductos muestra crecimiento acelerado. Tal es el caso de el expeller de pulpa y almendra, con alto valor nutricional y contenidos proteicos próximos a 7,0 y 34 %, respectivamente.¹⁻³. El valor de comercialización del expeller de almendra es superior (hasta 1.450 Gs/kg) debido a su elevado contenido en proteínas, pudiendo ser destinado para el consumo humano o animal³.

La cascarilla y el carozo son destinados a la generación de calor en la calderas de combustión, dentro las propias industrias, siendo posible su comercialización en caso de excedentes. El valor de comercialización es de 500 a 620 Gs/kg. La empresa OISA posee una planta productora de carbón activado a partir de carozo de mbokaja, cuya estimativa de venta es de 12.000 a 13.000 Gs/kg..

Otro subproducto derivado del procesamiento de frutos de mbokaja es el abono, que consiste en restos de epicarpio (cáscara, arena, palillos y otras impurezas separadas durante la limpieza de frutos), cuyo valor de comercialización es de 50 a 100 Gs/kg.



Los productos generados por la industria de mbokaja incluyen aceites de pulpa y almendra, expeller de pulpa y almendra, cáscara, carozo, carbón activado y abono

Tabla 10 - Indicadores de producción de subproductos de la obtención de aceite de pulpa y almendra para la zafra 2019.

Expeller (Tn)		Precio expeller Gs/kg		Epicarpio (cáscara)		Endocarpio (carozo)		Abono (epicarpio, residuos)	
Pulpa	Almendra	Pulpa	Almendra	Cantidad (Tn)	Precio Gs/kg	Cantidad (Tn)	Precio (Gs/kg)	Cantidad (Tn)	Precio (Gs/kg)
650 - 800	250	500-650	1.300-1.450	900-1.200	200-250	3.200	500-620	600	50-100

1Lic. Sady Salinas, Gerente - Base Industrial Salinas S.A. – San Roque González, 2020.
 2Lic. Carin Daher, Gerente - Oleaginosas Industrializadas S.A. – Yaguarón, 2020.
 3Ing. Agr. Juan L. Vera, Asesor Técnico, Industrial Aceitera S.A. – Capiatá, 2020.

MÉTODOS ALTERNATIVOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PULPA

Extracción acuosa

La extracción de aceite de pulpa de mbokaja en Paraguay es realizada por prensado mecánico continuo, con rendimientos variables próximos al 70 %. Esta operación, como fue mencionada anteriormente, debe ser realizada con pulpa seca (humedad <10 %) a fin de evitar obstrucción de las prensas de extracción de aceite y reducir el número de paradas. No obstante, el secado de los frutos en galpones y/o cielo abierto, en condiciones poco favorables, no garantizan la calidad del aceite, requiriendo tiempo excesivo para su secado. Además, el proceso de prensado en caliente requiere gasto energético elevado, pudiendo el calor afectar la calidad del aceite final.

Una alternativa para alcanzar rendimientos superiores a los obtenidos por prensado mecánico consistiría en la utilización de solventes orgánicos, como es el caso de la industria de extracción de aceite de soja. No obstante, este tipo de procesamiento de materia prima, escapa de la clasificación de “proceso orgánico o ecológico”, una vez que utiliza sustancias químicas que podrían causar daño al medio ambiente o la salud humana, si son manejados de forma inadecuada. La industria paraguaya de mbokaja procesa materia prima natural sin adición de compuestos químicos, siendo los productos clasificados como orgánicos.

En el marco del Proyecto 14-INV-093 fueron realizados trabajos en conjunto entre la Facultad de Ciencias Químicas de UNA y la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Agroenergía, con el objetivo de buscar una metodología para la extracción de aceite de pulpa de coco, que permita alcanzar altos rendimientos de extracción, preservando la calidad del aceite, bajo condiciones seguras para el medio ambiente y la salud humana, se propuso la extracción de aceite de pulpa de coco mbokaja por vía acuosa.

El proceso de extracción mecánica de aceite por vía acuosa es aplicada tradicionalmente en la industria de aceite de oliva, siendo la malaxación la operación unitaria principal de este proceso. En ella, la pasta de aceitunas previamente suspendida en agua es amasada para permitir la separación de los glóbulos de aceite de la masa fibrosa, permitiendo la coalescencia del aceite en la superficie del líquido (Clodoveo, 2012).

El trabajo de investigación realizado en EMBRAPA Agroenergía consistió en establecer un método de extracción acuosa de aceite a partir de pulpa húmeda de *Acrocomia aculeata*, a escala laboratorio y escala semipiloto. En este estudio, el fruto fue despulpado en molino de martillo y la pulpa húmeda suspendida en agua destilada en la proporción 1:5 (m/m). La suspensión de fibras fue homogeneizada, transferida para frascos Erlenmeyer y mantenidas bajo agitación orbital constante a 50 rpm, con control de temperatura por tiempo definido. En seguida, dicha suspensión fue centrifugada a 8000 rpm por 15 min, siendo la fracción líquida (aceite-crema-agua) separada y el sólido residual lavado con agua y nuevamente centrifugado (Favaro et al., 2019).

Debido a la formación de emulsión (crema), la determinación de la eficiencia de extracción de aceite fue realizada por diferencia en el contenido de lípidos en la pulpa húmeda y el residuo sólido, conforme la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

Donde:
 η: eficiencia de extracción de aceite,% p/p.
 m₁: masa de aceite en la pulpa húmeda, g.
 m₂: masa de aceite en sólido residual, g.

Con el objetivo de evaluar las mejores condiciones de extracción de aceite de pulpa, fue evaluado el efecto de las variables tiempo y temperatura de maceración (malaxación) mediante un diseño factorial completo 2² con 3 replicas en el punto central, conforme la matriz experimental presentada en la Tabla 11.

El análisis estadístico de los valores de las respuestas del planeamiento experimental fue realizado mediante el programa Statistica (versión 10), utilizando conceptos de estadística descriptiva y multivariada. Para analizar los datos y sus correlaciones fue empleado el método estadístico de análisis de varianza (ANOVA), con un intervalo de confianza de 95 % (p<0,05).

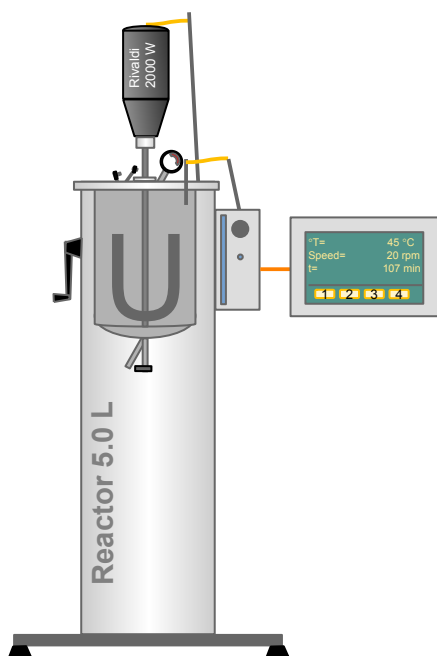
En función de los resultados obtenidos en la fase experimental realizada en laboratorio, y buscando analizar la repetibilidad de la eficiencia en escala semipiloto, fue evaluada la extracción de aceite de pulpa en reactor de acero inoxidable encamisado (Kiloclave Tipo 4, Buchi GmbH, Suiza) (Figura 36b). La pulpa (206,5 g) fue suspendida en agua en la misma proporción indicada anteriormente (1:5). La malaxación fue realizada a 45 °C por 107 min y agitación de 20 rpm, considerando la máxima eficiencia alcanzada en frascos (de acuerdo al software Statistica).

Tabla 11 – Matriz del planeamiento experimental factorial completo 2² aplicado en el proceso de extracción de aceite de pulpa de *Acrocomia aculeata* con agua (Favaro et al, 2019).

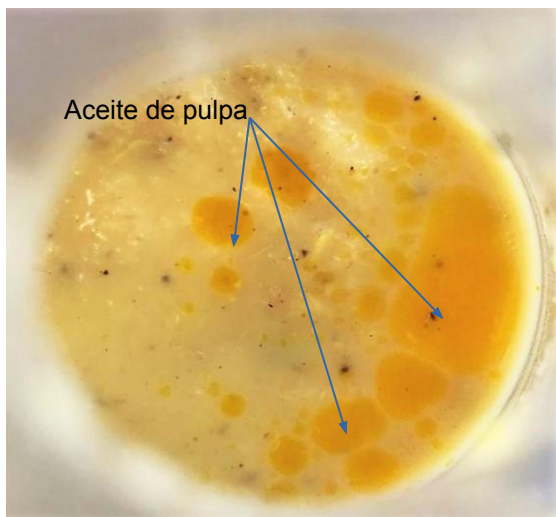
Valores codificados		Valores reales		Eficiencia de extracción (%, p/p)
Temperatura	Tiempo	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	
-1	-1	30	30	68,33
+1	-1	50	30	72,30
-1	+1	30	90	73,52
+1	+1	50	90	67,44
0	0	40	60	68,07
0	0	40	60	67,03
0	0	40	60	69,15



a



b



c

Al finalizar la malaxación, la suspensión fue centrifugada, separando las fracciones de aceite y crema oleosa. El sólido residual fue lavado con agua destilada y centrifugado para determinar el contenido de aceite residual y la eficiencia de extracción.

Conforme resultados presentados en la Tabla 10, la eficiencia de extracción de aceite de pulpa por malaxación en frascos Erlenmeyer, mostró valores comprendidos entre 67 y 73,5 %. La Figura 36c muestra la coalescencia de los glóbulos de aceite separados de las células de la pulpa en la malaxación. La evaluación del efecto de las variables, al intervalo de confianza de 95 %, no presentaron influencia de forma aislada en la extracción con agua, en el intervalo de valores de las variables de estudio. Sin embargo, fue observado un efecto significativo de la interacción entre el tiempo y la temperatura (Tabla 12).

***La extracción acuosa
mostró una eficiencia de
73,5 % en la
recuperación de aceite
de pulpa a 45 °C y 107
min***

Figura 36 – Frascos conteniendo pulpa de frutos de *Acrocomia aculeata* para extracción acuosa (a), representación gráfica de reactor de 5 L utilizado para la extracción acuosa (b), coalescencia de glóbulos de aceite de pulpa en superficie del líquido de malaxación (c).

Tabla 12 – ANOVA de los efectos principales y de interacción de las variables sobre la eficiencia de extracción de aceite de pulpa de *Acrocomia aculeata* en agua (Favaro et al., 2019).

Factores	SC	GL	MC	F	p
Temperatura (° C)	1,840	1	1,842	1,561	0,337
Tiempo (min)	0,017	1	0,017	0,014	0,914
Temperatura x Tiempo	24,986	1	24,986	21,181	0,044
Falta de Ajuste	9,685	1	9,685	7,691	0,109
Error puro	2,359	2	0,937		
Total SQ	38,278	6			
R ²	0,701				
R ² -Ajustado	0,402				

SC: suma cuadrática; GL: grados de libertad; MQ: media cuadrática, $p < 0,05$ = significancia al intervalo de confianza de 95 %.

A pesar de que el modelo matemático no presentó un buen ajuste ($R^2=0,70$), se observa que mayores rendimientos son obtenidos en la condición de temperaturas más bajas con mayor tiempo de malaxación, o en temperaturas más altas con menor tiempo de malaxación. Es importante mencionar que, para un aumento de escala, podría ser más favorable condiciones de baja temperatura de forma a reducir los costos energéticos (vapor) y de equipamientos (Favaro et al., 2019).

El agua utilizada en el proceso de extracción de aceite de pulpa podría ser reutilizada en subsecuentes extracciones

La eficiencia de extracción alcanzada en escala semipiloto (Reactor 5 L) fue de 73,45 %, valor similar al observado en proceso de extracción acuosa en frascos. Este resultado indica potencial del proceso de extracción para el aumento de escala (Figura 37a).

En cuanto a la calidad del aceite de pulpa obtenido por este método, fue observado valores de índice de acidez próximos a 0,43 % (% de ácido oleico). Este valor puede ser considerado adecuado para aceites vegetales brutos, considerando que la acidez no debe superar el 3 % (% ácido oleico).

La condición de baja temperatura de extracción no promovió la liberación de ácidos grasos libres, consecuentemente, este aceite de pulpa podría calificar para uso alimenticio o producción de biodiesel por medio de la ruta tradicional (uso de catalizadores básicos). Otras informaciones relacionadas a la extracción acuosa de aceite de pulpa de *Acrocomia aculeata* se encuentran disponibles el artículo publicado por Favaro et al.(2022).

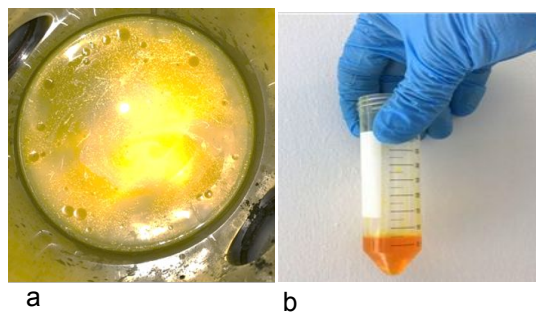


Figura 37 – Coalescencia de glóbulos de aceite de pulpa sobre la superficie del agua durante la extracción en reactor de 5 L (a), aceite de pulpa obtenido (b).

Extracción etanólica

En los últimos años ha adquirido gran relevancia la necesidad del uso de “solventes verdes” para la extracción de compuestos a partir de oleaginosas, entre los que se destacan el etanol. El etanol anhidro constituye un agente de extracción utilizado principalmente para la recuperación de aceites esenciales de semillas y hojas de plantas, destinados a la industria cosmética o farmacéutica, o bien en la extracción industrial de proteína de soja para uso alimenticio. Sin embargo, existe escaso número de publicaciones técnico-científicas relacionadas con su aplicación para la extracción industrial de aceites vegetales destinados a alimentación humana u otros usos (Brossard-González et al., 2010; Sánchez et al., 2015).

En el Proyecto 14-INV-093 fue evaluado el uso de etanol como agente alternativo para la recuperación de aceite de pulpa de coco mbokaja, debido principalmente a su baja toxicidad, disponibilidad en territorio nacional, fácil recuperación por destilación, bajo costo relativo y carácter renovable. Los experimentos fueron conducidos utilizando frutos de mbokaja colectados en malla plástica (sin contacto con el suelo).

La pulpa fue separada y sus características analizadas (humedad 52 %, contenido de aceite máximo 29,4 %). Fue evaluado el efecto de la temperatura (60 y 70 °C), proporción etanol:pulpa (14 y 20) y tiempo de extracción (1 y 2 h) sobre el rendimiento de extracción y la acidez, utilizando un diseño experimental factorial 2³, empleando pulpa húmeda y etanol 95 °G.L. como agente extractor en dos etapas (Maciel & Méndez, 2016).

Los efectos principales e interacciones de los factores fue evaluada mediante ANOVA. El contenido de materia grasa, humedad y acidez fueron determinados conforme metodología de AOCS Official Method (Maciel & Méndez, 2016). La Figura 38 presenta la representación esquemática del proceso de extracción con etanol en dos etapas.

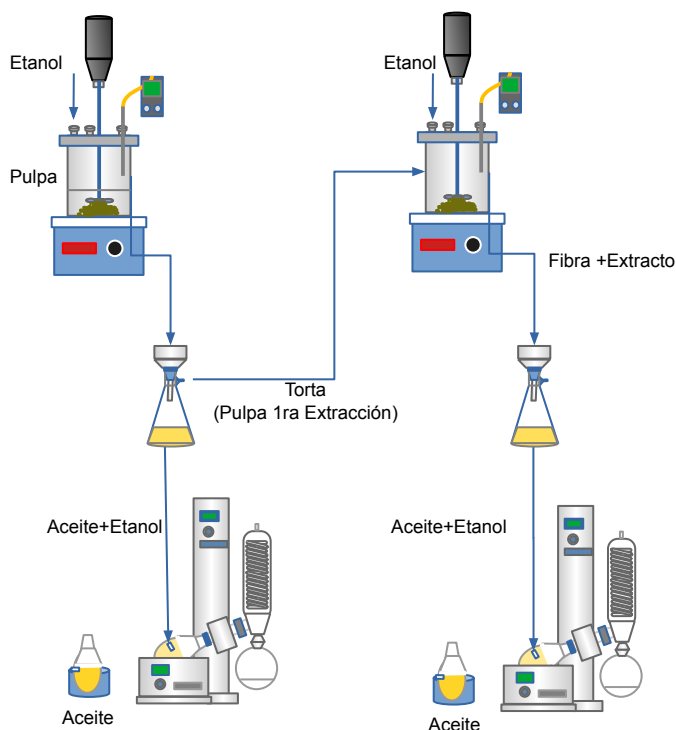


Figura 38 – Representación esquemática del proceso de extracción de aceite de pulpa mbokaja con etanol.

De forma general, en la primera etapa de extracción de aceite de pulpa arrojó como resultado eficiencias de extracción de aceite en el rango de 21,1 a 32,3 %, y valores de acidez inferiores a 11,2% (% ácido oleico). En la segunda etapa, las eficiencias de extracción fueron de 37,8 a 71,2 % (Tabla 13).

El proceso de extracción en pulpas vegetales se produce por dos fenómenos que ocurren de forma simultánea. En primer lugar el aceite que está en la superficie del sólido se solubiliza rápidamente (lavado) por el disolvente en el inicio del proceso de extracción. El segundo fenómeno es la eliminación de aceite residual desde el interior del sólido por procesos difusionales.

Existe un aumento en los coeficientes de transferencia de masa al aumentar la temperatura de extracción y el proceso de lavado tiene una predominancia sobre los procesos difusionales que son más lentos. Esto indica que a mayor temperatura, disponibilidad de solvente y tiempo de contacto sea mayor el rendimiento obtenido (Galvão et al., 2014).

El rendimiento másico general obtenido por extracción múltiple simple en dos etapas, de aceite con etanol fue de 71,2 %. Esta cifra duplica la media del rendimiento del aceite extraído por prensado: 14,6 %. En cuanto a la acidez, se obtuvieron valores relativamente bajos, tanto en la primera (11%) como en la segunda etapa (0,6 % aproximadamente) de extracción (Tabla 12), en comparación al obtenido actualmente a nivel industrial por prensado (alrededor de 65 %).

En relación a la acidez de los aceites extraídos con etanol en diferentes condiciones, se observó influencia significativa de las variables temperatura, relación solvente y tiempo de extracción (Maciel & Méndez, 2016).

El análisis de resultados de esta investigación indicó rendimientos elevados de extracción de aceite de la pulpa húmeda en dos etapas utilizando etanol como agente de extracción.

Al comparar el método de extracción propuesto en este trabajo y el utilizado actualmente en la industrial (prensado), se concluye que el método de extracción etanólica es técnicamente factible a partir de pulpa húmeda de mbokaja. Nuevos estudios deben ser conducidos para la evaluación de la eficiencia de extracción en escala piloto.

Tabla 13 – Extracción de aceite de pulpa mbokaja utilizando etanol como agente extractor.

	Extracción de aceite de pulpa	
	1ra Etapa	2da Etapa
Eficiencia (%)	32,3	71,2
Acidez (% ácido oleico)	11	0,6

La obtención de aceite de pulpa utilizando etanol como agente de extracción presenta la ventaja de la posibilidad de recuperación del mismo por destilación simple



Biodiesel de aceite de pulpa
Mbokaja

PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

La preocupación actual por la reducción de la polución y la crisis energética viene estimulando el mercado mundial de biocombustibles. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA en inglés), la demanda mundial de energía primaria aumenta a una tasa media anual de 1,8 %. Considerando la tendencia del crecimiento mundial y la demanda por fuentes de energía, los biocombustibles, como el biodiésel (éster etílico o metílico de ácidos grasos), tendrán participación activa para controlar la escasez de recursos energéticos.

En ese sentido, en Paraguay la Ley N° 5.211/2014 de la Calidad del Aire, busca reducir el deterioro ambiental, asegurar la calidad de vida de los habitantes, y garantizar la sustentabilidad del desarrollo. La sustitución de combustibles importados por biocombustibles de producción nacional representa para el país beneficios ambientales y económicos, estimula el desarrollo, aumenta la seguridad energética y mitiga los efectos resultantes del cambio climático.

Ley N° 2.748 de Fomento de los Biocombustibles fue aprobada en octubre de 2005 y declara de interés público la producción de materia prima para la obtención de biodiésel, etanol anhidro (carburante) y etanol hidratado. Esta Ley establece que el Ministerio de Industria y Comercio (MIC) es el responsable de certificar si una actividad industrial está relacionada con la producción de biocombustibles y establecer los parámetros mínimos de calidad.

Por otro lado, según esta Ley, las empresas que produzcan los biocombustibles citados deberán utilizar materia prima nacional, salvo, desabastecimiento oficialmente declarado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

Finalmente, la Ley N° 6.389 de 18 de setiembre de 2019, establece el Régimen de Promoción para la Elaboración Sostenible y Utilización obligatoria del Biocombustible Apto para la Utilización en Motores Diésel, y rige las actividades de elaboración, almacenaje y mezcla de combustible apto para ser utilizado en motores diésel.

Actualmente, la producción y comercialización de biodiesel en Paraguay están regidas por esta Ley y su decreto reglamentario (Decreto N° 3.500/2020), mientras que los demás productos contemplados como biocombustibles (alcohol anhidro e hidratado) seguirán regidos por Ley 2.748/05.

La Autoridad de Aplicación (MIC) implementará un incremento gradual de la mezcla de biocombustibles apto para motores diésel, del 1 % anual hasta un máximo de 5 %, a partir de la entrada en vigencia del decreto reglamentario. De esa forma, se espera que dicha proporción se alcance en el año 2025. El proyecto de Ley inicial contemplaba la adición de entre 10 % y 12 % a partir de los 24 meses de dictada la referida normativa.

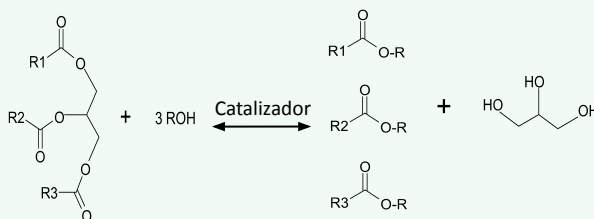
Sin embargo, la obligatoriedad de la adición fue reducida a 5 % de biodiésel (B5), conforme la referida Ley 6.389/19, lo que convertiría a Paraguay entre los países con menor adición de biodiésel al diésel en la región.

En este sentido, desde 2018, fue oficializada la obligatoriedad de adición de 10 % (B10) de biodiésel al diésel vendido al consumidor final en Brasil y Argentina. Se estima que los valores adicionados se eleven entre el 12 a 15 % para el 2021 en este último país.

El aumento de la adición de biodiésel debería estimular la producción en Paraguay y otros países de la región, reduciendo la capacidad ociosa de las plantas instaladas, que generalmente se encuentran operando a un 60 % de capacidad. Para dar continuidad a la participación de los biocombustibles en la matriz energética nacional, se debería impulsar la actividad agroindustrial generando valor agregado en las materias primas producidas en el territorio nacional, incluyendo, aceite de pulpa de coco, grasa animal y aceite residual.

Los procesos de producción de biodiesel se basan principalmente en la transformación química de aceites vegetales y grasas animal para la obtención de ésteres de ácidos grasos, siendo subproducto principal del proceso de producción el glicerol o glicerina (Issariyakul et al., 2007; Policano et al., 2016) (Figura 39).

La transesterificación puede ser conducida por varios procesos, incluyendo catálisis básica, catálisis ácida, catálisis enzimática y procesos no catalíticos, a través de la utilización de fluidos en condiciones supercríticas. Este último método presenta la ventaja de que tolera materias primas con alto contenido de ácidos grasos libres y agua, pudiendo utilizarse casi cualquier tipo de aceite (Bernal et al., 2012). En la industria, el biodiesel es producido por la transesterificación de aceite vegetal y metanol en presencia de catalizador homogéneo de carácter básico (KOH o NaOH).



Reacción general de transesterificación. R_1 , R_2 y R_3 representan grupos alquílicos conteniendo en media 18 a 22 carbonos, R corresponde a grupo alquílico del alcohol utilizado como agente de transesterificación (CH_3 / C_2H_5).

Figura 39 – Representación esquemática de la reacción de transesterificación.

VARIABLES DEL PROCESO

CANTIDAD DE ALCOHOL

La reacción estequiométrica muestra una relación de 1 mol de sustancia rica en triacilglicerol (aceite/grasa animal) para 3 moles de alcohol. Entretanto, un exceso de alcohol 6:1 a 12:1, favorece el desplazamiento del equilibrio, promoviendo mayor formación de producto (éster) y consecuente aumento del rendimiento global.

TEMPERATURA

El aumento de la temperatura favorece la cinética de reacción de transesterificación. Sin embargo, también se ven favorecidas reacciones paralelas de hidrólisis de éster ($^{\circ}T > 60^{\circ}C$). Temperaturas de reacción entre 30 a 40 $^{\circ}C$ promueven conversión elevada.

pH

En medios muy básicos, los ácidos grasos libres puede reaccionar con la base para formar ésteres metálicos (jabones) que reducen los rendimientos (Ramos et al., 2011).

Este proceso requiere de materia prima con bajo contenido de agua y ácidos grasos libres (acidez < 3 %) a fin de evitar reacciones de saponificación (ésteres metílicos derivados del catalizador). La formación de jabón disminuye la selectividad del catalizador en la formación de ésteres, dificulta la separación, contribuye para la formación de emulsión durante el lavado y requiere de operaciones unitarias adicionales para la remoción del catalizador remanente, afectando el rendimiento económico del proceso (Wall et al., 2011)

La Figura 40 presenta el flujograma de proceso de producción convencional de biodiesel. El aceite o grasa animal es filtrado antes de su mezcla en el reactor. El catalizador, ej.: KOH; es mezclado con el alcohol (generalmente metanol) para formar el alcóxido metálico (metóxido de potasio). Otro catalizador básico homogéneo de uso extendido es el metóxido de sodio, comercializado como solución al 30 % en metanol.

La adición del alcóxido metálico de forma directa evita la formación de agua por la reacción del alcohol con el catalizador, evitando la hidrólisis de los ésteres formados. De la reacción conducida a temperatura de entre 30 a 60°C, los ésteres alquílicos (biodiesel) formados son separados del glicerol bruto, conforme se ilustra en la Figura 40. El alcohol en exceso utilizado en la reacción debe ser separado de ambas fracciones, tanto de la mezcla de ésteres cuanto del glicerol crudo, operación esta realizada generalmente en separadores evaporativos.

En seguida, agua es adicionada a ambas fracciones para remover productos indeseados (jabones), siendo las trazas de agua separadas por tratamiento térmico a vacío. El glicerol es sometido a neutralización por adición de ácido inorgánico ($\text{HCl}/\text{H}_2\text{SO}_4$), obteniendo por un lado glicerol neutro y ácidos grasos libres por otro.

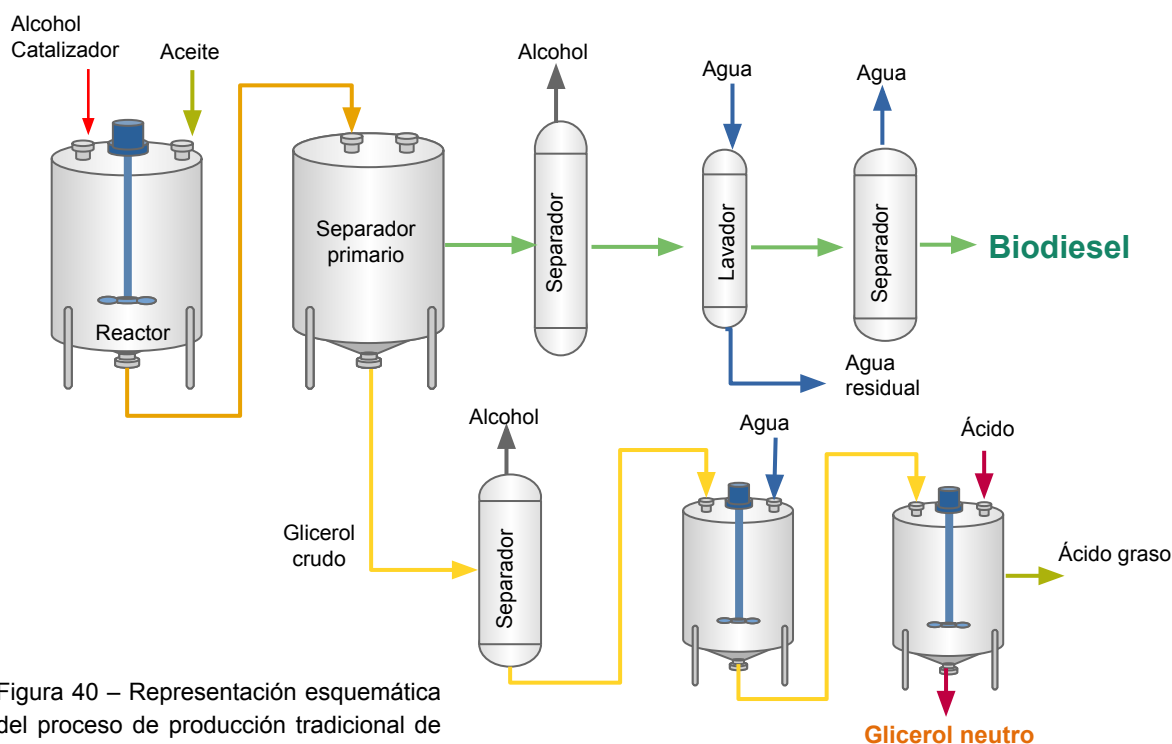


Figura 40 – Representación esquemática del proceso de producción tradicional de biodiesel.

Otro método de transesterificación en fase homogénea consiste en el uso de ácido sulfúrico como catalizador. Una ventaja sobre los catalizadores alcalinos es que la cantidad de ácidos grasos libres presentes en el aceite no afecta el rendimiento global de la reacción. Esto posibilita el uso de materias primas con alto contenido de ácidos grasos, entre los que se encuentran aceites vegetales residuales (aceite usado) y aceites de pulpa de mbokaja, que generalmente presenta acidez superior al 50 % (en ácido oleico).

BIODIESEL SUPERCRÍTICO

El aceite de pulpa de mbokaja ha generado interés como materia prima para la obtención de biocombustibles debido a su costo relativamente bajo y elevada acidez. Esta última característica lo hace poco apto para su empleo como alimento y producción de biodiesel alcalino, siendo posible su conversión en ésteres metílicos o etílicos por procesos no catalíticos como el de las reacciones supercríticas (Ramos et al., 2011).

Un fluido supercrítico (FSC) es aquel que se encuentra en condiciones de presión y temperatura superiores a su punto crítico, por lo que tiene un comportamiento con propiedades próximas a la de un gas y un líquido.

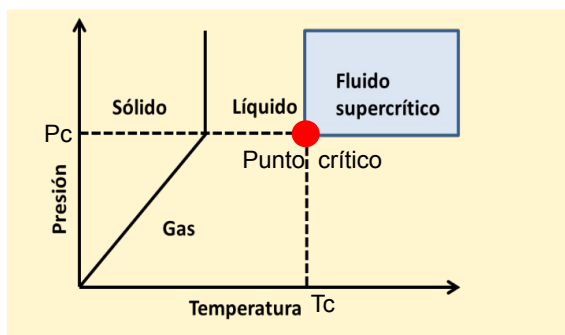


Figura 41 – Equilibrio de fases mostrando la zona de fluido supercrítico (Pc: presión crítica, Tc: temperatura crítica).

La Figura 41 muestra un diagrama de fases o estados de la materia (fase sólido, líquido y gaseoso). La región por encima del punto crítico se conoce con el nombre de región supercrítica, toda sustancia en dicha región formando una nueva fase es un FSC. La fase de fluido supercrítico posee propiedades intermedias entre líquido y gas, pudiendo difundir como gas, pero al mismo tiempo, disolver materiales como un líquido. Por encima del punto crítico, pequeñas variaciones en la presión o temperatura del sistema producen grandes cambios en la densidad (Cardona & Cerón, 2009; Bernal et al., 2012).

Los FSC poseen alta difusividad y conductividad térmica, baja viscosidad y tensión superficial despreciable. En reacciones de transesterificación en condiciones supercríticas, los puentes de hidrógeno del alcohol se rompen permitiendo la disminución de la constante dieléctrica, promoviendo acceso para la completa solubilidad de los triglicéridos del aceite, originando una fase homogénea que acelera la reacción. Esta condición supercrítica facilita la transferencia de masa y energía durante la reacción (Reddy et al., 2018).

Este tipo de proceso presenta ventajas, además de la mayor velocidad de reacción, se elimina el uso del catalizador, y consecuentemente las etapas de separación del catalizador, reduciendo el tiempo y costos de purificación del biodiesel y glicerina. Por otro lado, exige costos fijos mayores para la instalación de reactores capaces de operar a temperaturas y presiones elevadas, además de requerir mayor energía para alcanzar dichas condiciones. Entretanto, los sistemas supercríticos podrían operar en reactores de forma continua para reducir costos de construcción, así como también, pueden ser acoplados a intercambiadores de calor para recuperación energética.

Aceite de pulpa de coco para producción de biodiesel supercrítico

El aceite de pulpa de coco mbokaja vendido en Paraguay, generalmente presenta valores de índice de acidez superiores a 50 % en ácido oleico. Debido a esta característica, su aprovechamiento como materia prima para la obtención de biodiesel se limita a procesos conducidos en presencia de catalizador ácido o bien, en condiciones no catalíticas. En este sentido, estudios de esterificación y transesterificación simultánea de aceite de pulpa de coco de elevada acidez, mostraron el potencial de esta materia prima para la obtención de ésteres metílicos o etílicos vía proceso supercrítico.

El aceite de pulpa de coco fue sometido a purificación mediante centrifugación a 1500 x g (4000 rpm) por 30 min para separación de sólidos en suspensión. En seguida, fue adicionada una cantidad equivalente en peso (5 %) de Talco de Venecia $[Mg_6(Si_2O_5)_4(OH)_4]$ como agente secante, fue agitado por 15 min y centrifugado en las mismas condiciones. El aceite de pulpa seco fue utilizado en los ensayos de esterificación y transesterificación.

En ensayos para la producción de éster etílico fueron utilizados el aceite de pulpa de coco Mbokaja con acidez de 54,2 % y etanol (96 %,v/v), en una relación molar 1:40 aceite-etanol. Las reacciones de esterificación y transesterificación simultáneas fueron conducidas en reactor de acero inoxidable, operado de forma discontinua a 265°C y tiempo de reacción 20 min, bajo agitación continua de 200 rpm (Astigarraga & Santacruz, 2017).

Por otro lado, la síntesis de ésteres metílicos fue conducida en el mismo reactor en modo discontinuo. Para ello, fueron realizados ensayos manteniendo constantes la relación molar aceite: metanol (1:40) y la agitación (200 rpm). La temperatura y el tiempo de reacción fueron similares a los indicados para los experimentos con etanol, conforme presenta el esquema abajo (Caballero & Jiménez, 2017) . La Tabla 14 presenta los valores de presión crítica, temperatura crítica y densidad del alcohol metílico (metanol) y alcohol etílico (etanol) utilizados en este estudio.

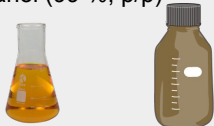
Tabla 14 – Puntos críticos de los solventes utilizados en la esterificación y transesterificación.

Solvente	Pc (bar)	Tc (°C)	Densidad (g/cm³)
Metanol	80,8	239,4	0,272
Etanol	61,4	240,7	0,276

Pc: presión crítica; Tc: temperatura crítica

Materias primas

- Aceite de pulpa de coco (acidez: 54,2 %)
- Etanol (96 % p/p)
- Metanol (99 %, p/p)



Condición preexperimental

Solvente	Ac:Alc	Agitación (rpm)	Temperatura (°C)	Presión (bar)	Tiempo (min)
Etanol	1:40	200	265	70	20
Metanol	1:40	200	265	96	20

Mezcla reaccional: 200 mL
Masa de aceite: 30 g
Volumen de etanol: 176 mL

Mezcla reaccional: 200 mL
Masa de aceite: 41 g
Volumen de metanol: 160 mL

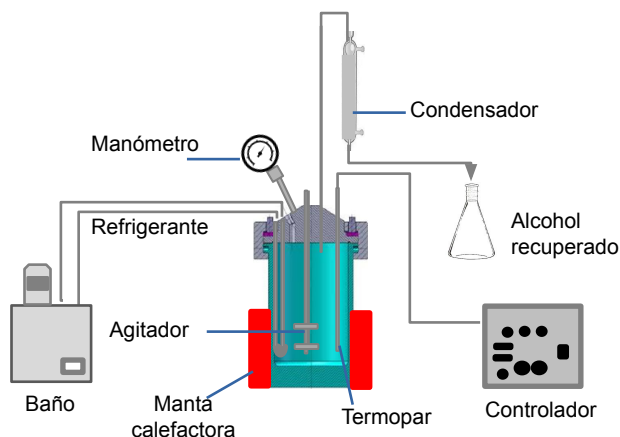


Figura 42 – Representación esquemática del conjunto reactor supercrítico, controlador y recuperador de alcohol, utilizado para la obtención de ésteres metílicos y etílicos a partir de aceite de pulpa de coco mbokaja.

El sistema utilizado para las reacciones de esterificación y transesterificación es representado en la Figura 42. En el proceso supercrítico fue utilizado un reactor Parr (Modelo 4560, Parr Instruments, Inc, USA) de 600 mL, equipado con controlador Parr 4848 (Parr Instruments Inc., USA), manta calefactora externa. Además, el reactor fue acoplado a un sistema de refrigeración compuesto de un baño ultratermostático y tubo en U en el interior del reactor conteniendo aceite mineral, previamente refrigerado en solución hidroalcohólica.

El conjunto contó con un condensador de tubos concéntricos refrigerado por circulación de agua, para condensar el solvente (metanol o etanol) por enfriamiento durante la etapa de finalización de la reacción. La presión y temperatura en el interior del reactor fueron medidos mediante manómetro y termopar, respectivamente.

Finalizado el tiempo de reacción, el producto obtenido fue purificado, por evaporación para la recuperación de solvente, separación de glicerol, agua y otras impurezas.

La evaporación del solvente fue conducida a vacío en rotavapor a 71 °C. Los ésteres y la glicerina libre fueron centrifugados a 1500 x g (4000 rpm) por 30 min, y la mezcla transferida a un embudo de decantación. En seguida, la mezcla fue lavada con agua caliente (3 veces), originando una fase superior (éster) y una fase inferior (glicerol y otros), hasta obtener una fase inferior transparente, que fue descartada.

El éster (fase superior) fue sometido a centrifugación por dos veces, en las mismas condiciones citadas, para separar resto de glicerol e impurezas sólidas. El sobrenadante fue separado y fue adicionado talco de Venecia como agente secante en una cantidad equivalente al 5 % del peso del producto recuperado en la última operación. La mezcla de material secante y ésteres fue agitada por 15 min a 600 rpm y centrifugada para arrastrar material sólido.

El sobrenadante resultante (éster etílico o metílico) fue caracterizado en cuanto al contenido en ésteres etílicos metílicos, mediante cromatografía gaseosa (CSN EN 14103, Fat and oil derivatives - Fatty Acid Methyl Esters (FAME) - Determination of ester and linolenic acid methyl ester contents), viscosidad (ASTM D 445), densidad (ASTM D 7042), contenido de agua (ISO 3987), acidez (EN 14112) y glicerol libre (Bondioli & Della Bella, 2005).

Los resultados de la esterificación y transesterificación de aceite de pulpa de coco de elevada acidez en condiciones supercríticas son presentados en la Tabla 14. El contenido en ésteres totales utilizando etanol y metanol como solventes fueron 91,7 y 93,5 %, respectivamente.

Estos valores son próximos a los preconizados por la Norma Paraguaya NP16018 05 para biodiesel, que establece un mínimo de 96 % (INTN, 2011).

La diferencia de entre 2,5 y 4,3 % en relación a la normativa podría ser resultado de la conversión incompleta del aceite en la etapa de transesterificación, o bien a la necesidad de mayor tiempo de reacción y o procesos de purificación más efectivos.

En este sentido, los valores de índice de acidez de los productos finales fueron 1,37 y 9,73 mg KOH/g, para ésteres metílicos y etílicos, respectivamente. Estos valores de acidez, visiblemente superiores, se deben a la presencia de ácidos grasos libres (AGL) derivados de triacilglicerol en la etapa final del proceso.

Cabe resaltar que el rendimiento global de la reacción está condicionado por la etapa de transesterificación, una vez que los triglicérols reaccionan a menor velocidad que los di-acilglicerol y mono-acilglicerol, siendo mayor el tiempo para la hidrólisis y conversión del aceite.

Los AGL presentes inicialmente en el aceite de pulpa de coco son transformados en ésteres en los primeros minutos de la reacción, siendo la acidez final derivada de la hidrólisis parcial del aceite remanente al final del proceso (Reddy et al., 2018).

Los valores de viscosidad, densidad y contenido de glicerol (Tabla 15) se ajustan a la normativa mencionada para los ésteres producidos. No obstante, la humedad es superior a lo establecido como límite, probablemente debido a absorción de humedad atmosférica y el contenido en ácidos grasos libres, que por ser de naturaleza anfipática presentan una región hidrofílica (extremo carboxílico), que favorece la absorción de mayores niveles de humedad (Knothe et al., 2005). La Figura 43 muestra el aspecto de los ésteres de etilo obtenidos a partir de aceite de pulpa y etanol.

Figura 43 – Ésteres obtenidos a partir de aceite de pulpa mbokaja de elevada acidez mediante reacciones supercríticas.



Tabla 15 – Formación de ésteres a partir de aceite de pulpa vía reacción supercrítica.

Parámetro	Método	Norma INTN	Alcohol	
			Metanol	Etanol
Ésteres (% m/m)	EN 14103	96,5 (min.)	93,5	91,7
Humedad (ppm)	ASTM D-4928	500 (máx.)	801,9	635,1
Viscosidad (40°C, cSt)	ASTM D-445	3 - 6	4,6	5,4
Densidad (15 °C, g/cm³)	ASTM D-1298	0,85 - 0,93	0,8812	0,8839
Glicerina libre (% m/m)	Ref.	0,02	<0,01	<0,01
Acidez (mg KOH/g), (% ac.oleico)	ASTM D-664	0,5 (máx.)	1,37 (0,68)	9,73 (4,86)

Al:Alc relación molar aceite-alcohol: 1:40, Temperatura: 265°C

En procesos de esterificación y transesterificación de aceite de soja con etanol (relación molar 1:40, 300 °C) en modo continuo y condiciones supercríticas, Vieitez et al., (2012) observaron rendimientos de 53 % en ésteres etílicos. La adición de hasta 10 % en ácidos grasos libres en el aceite de soja promovió la obtención de hasta 91 % en ésteres etílicos. Este resultado es similar al observado en el presente trabajo, en el cual 91,7 % de ésteres fue producido utilizando aceite de pulpa de coco mbokaja conteniendo 50 % en AGL (Astigarraga & Santacruz, 2017).

Por otro lado, He et al., (2007) obtuvieron rendimiento de 82 % en ésteres metílicos utilizando aceite de soja (relación molar metanol-aceite, 40:1) a 300 °C. De forma general, los autores reportaron rendimientos inferiores a 80 % para temperaturas de reacción más elevadas. Estos valores son inferiores a los rendimientos en ésteres metílicos obtenidos en el presente trabajo con aceite de pulpa de coco a 260 °C (Caballero & Jiménez, 2017).

Minami & Saka (2006) en metanólisis supercrítica de aceite de colza a 380 °C y relación molar metanol-aceite de 1,8:1, observaron un rendimiento máximo de 80 % en ésteres metílicos. De forma general, los trabajos reportados en la literatura muestran rendimientos inferiores al 80 %, cuando aceites de baja acidez son utilizados. Los mismos autores observaron en reacciones conducidas con ácidos grasos libres, rendimientos superiores a 90 % en ésteres metílicos para igual condición de reacción.

Aparentemente, los rendimientos mayores observados en el procesos de obtención de ésteres metílicos y etílicos de aceite de pulpa de coco, podrían ser atribuidos a la presencia de altos niveles de AGL.

Los AGL en la materia prima cumplen el rol de catalizadores, promoviendo e acelerando la reacción (Vieitez et al., 2012; Minami & Saka, 2006).

De acuerdo con (Kusdiana & Saka, 2004), la temperatura es otro factor importante a ser considerado en el rendimiento final en ésteres. A temperaturas de reacción en el rango de 300 a 400 °C, ocurre descomposición de los ésteres metílicos y etílicos, además de reacciones paralelas como degradación del glicerol para formación de ácido acético, acroleína y otros productos, reduciendo el rendimiento global de la reacción, afectando al mismo tiempo las propiedades de los ésteres formados.

En la esterificación y transesterificación de aceite de pulpa de coco mbokaja de elevada acidez, el uso de ambos agentes acilantes, metanol y etanol, resultaron en rendimientos en ésteres superiores al 90 %. El metanol y el etanol se utilizan ampliamente para la producción de biodiesel. Sin embargo, el etanol presenta una ventaja debido a su biodisponibilidad y capacidad de producción en Paraguay, además de ser producido a partir de fuentes agrícolas renovables.



Figura 44 – Reacción de esterificación y transesterificación de aceite de pulpa mbokaja en reactor Parr.

COMENTARIOS FINALES

El mbokaja es una palmera explotada en Paraguay desde el siglo pasado. Sin embargo, aún no existe una política efectiva para promover su cultivo racional de forma a obtener mayores beneficios de su explotación. Por otro lado, los problemas asociados a la baja calidad de frutos debido a una recolección y almacenamiento inadecuados, reducen su valor de mercado.

Los resultados del Proyecto 14-INV-093, con enfoque al aprovechamiento de aceite de pulpa mbokaja, demuestran la necesidad de la realización de una recolección adecuada, promoviendo el cacheo del racimo de frutos cuando se inicia la caída de los primeros frutos, momento en el que todas las partes del racimo poseen frutos con aceite de pulpa en concentraciones similares (aproximadamente 27 %, p/p).

Por otro lado, se ha demostrado la factibilidad técnica de la extracción acuosa de aceite de pulpa en reactor semipiloto, así como también, la extracción de aceite con etanol, ambas en condiciones amenas y de fácil recuperación de producto. Igualmente se ha demostrado que el proceso de secado no afecta la acidez de aceite de pulpa, siendo un método potencialmente aplicable en industrias, para la conservación de la pulpa, y consecuentemente, la calidad del aceite.

Finalmente, fue posible establecer condiciones técnicas para la esterificación y transesterificación de aceite de pulpa mbokaja de elevada acidez utilizando procesos supercríticos, sin la necesidad de utilizar catalizadores homogéneos o heterogéneos.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC, 2004. Official Methods of Analysis of AOAC International, Association of Official Analysis Chemists International.
- AOCS. (2004). *American Oil Chemists' Society. Official Methods and Recommended Practices of the AOCS*. AOCS Press.
- Astigarraga, O., & Santacruz, R. (2017). *Obtención de biodiesel en reactor discontinuo por el método de fluidos supercríticos a partir de aceite de pulpa -Acrocomia aculeata-con alcohol rectificado*. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Asunción.
- Benítez, L. (2017). *Secado del fruto de coco o mbokaja -Acrocomia aculeata- en secadero tipo silo para la obtención del aceite de pulpa de coco grado alimentario*. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Asunción.
- Bernal, J. M., Lozano, P., García-Verdugo, E., Burguete, M. I., Sánchez-Gómez, G., López-López, G., Pucheault, M., Vaultier, M., & Luis, S. V. (2012). Supercritical synthesis of biodiesel. *Molecules*, 17(7), 8696–8719. <https://doi.org/10.3390/molecules17078696>
- Bondioli, P., & Della Bella, L. (2005). An alternative spectrophotometric method for the determination of free glycerol in biodiesel. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 107(3), 153–157. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200401054>
- Brossard-González, C. O., Ferrari, R. A., Pighinelli, A. L., & Parka, K. J. (2010). Evaluación preliminar del etanol anhidro como solvente en la extracción de aceite de semillas de jatrofa (*Jatropha curcas* L.). *Grasas y Aceites*, 61(3), 295–302. <https://doi.org/10.3989/gya.087209>
- Büttner, C. F. (2009). *Cultivo racional del Acrocomia totai mart. (mbokaya)*. Instituto de Altos Estudios Estratégicos, Consejo de Defensa Nacional.
- Caballero, A., & Jiménez, P. (2017). Evaluación del proceso discontinuo de producción no catalítica de biodiesel de aceite de pulpa de coco (*Acrocomia aculeata*) con metanol en estado supercrítico empleando metodología de superficie de respuesta. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Asunción.
- Cardona, C. A., & Cerón, A. A. (2009). Posibilidades de procesos reacción-separación para la producción de biocombustibles. In *Avances investigativos en la producción de biomasa* (pp. 89–102).
- Cardoso, A. N., Oliveira Rodriguez, T., & Souza Santos, G. (2006). Inventário do ciclo de vida do óleo de macaúba (*Acrocomia aculeata*). *Congresso Da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel*, 885–886. ISBN 978-85'65615-02-0
- Carrillo Fernández, L., Dalmau Serra, J., Martínez Álvarez, J. R., Solá Alberich, R., & Pérez Jiménez, F. (2011). Grasas de la dieta y salud cardiovascular. *Atención Primaria*, 43(3), 157.e1-157.e16. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2010.12.003>
- Cavalcanti-Oliveira, E. D., Silva, P. R., Rosa, T. S., Moura, N. M. L., Santos, B. C. P., Carvalho, D. B., Sousa, J. S., Carvalhinho, M. T. J. E., Castro, A. M., & Freire, D. M. G. (2015). Methods to prevent acidification of Macaúba (*Acrocomia aculeata*) fruit pulp oil: A promising oil for producing biodiesel. *Industrial Crops and Products*, 77, 703–707. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.09.022>

Céspedes de Zárate, C. I., Zárate Gayol, C. M., Zárate Céspedes, F. E., & Zárate Gabriaguez, B. A. (2015). Comparación de dos métodos de cultivo de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) ex mart. “mbokaya” y su asociación *Helianthus annuus* L. realizado en el campo experimental PROIN SAcEl. Ybycuí, Paraguay. *Rojasiana*, 14(1), 9–17.

Ciconini, G., Favaro, S. P., Roscoe, R., Miranda, C. H. B., Tapeti, C. F., Miyahira, M. A. M., Bearari, L., Galvani, F., Borsato, A. V., Colnago, L. A., & Naka, M. H. (2013). Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Industrial Crops and Products*, 45, 208–214. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.12.008>

Clodoveo, M. L. (2012). Malaxation: Influence on virgin olive oil quality. past, present and future - An overview. *Trends in Food Science and Technology*, 25(1), 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.11.004>

Crocomo, O. J., & Melo, M. (1996). *Acrocomia* Species (Macauba Palm). 35, 3–17. https://doi.org/10.1007/978-3-662-10617-4_1

Costa, A. G., Pinto, F. D. A. D. C., Motoike, S. Y., Júnior, R. A. B., & Gracia, L. M. N. (2018). Classification of macaw palm fruits from colorimetric properties for determining the harvest moment. *Engenharia Agrícola*, 38(4), 634–641. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n4p634-641/2018>

Costa, D. (2016). Estudo do processo de extração do óleo da Macauba (*Acrocomia intumescens*) [Universidade Federal de Alagoas]. http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/1584/1/Estudo_do_processo_de_extração_do_óleo_da_Macaúba.pdf

Del Río, J. C., Evaristo, A. B., Marques, G., Martín-Ramos, P., Martín-Gil, J., & Gutiérrez, A. (2016). Chemical composition and thermal behavior of the pulp and kernel oils from macauba palm (*Acrocomia aculeata*) fruit. *Industrial Crops and Products*, 84, 294–304. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.018>

Evaristo, A. B. (2015). Conservação pós-colheita e potencial bioenergético de frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*). Universidade Federal de Viçosa, 120. <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/6320>

Evaristo, A. B., Grossi, J. A. S., Pimentel, L. D., de Melo Goulart, S., Martins, A. D., dos Santos, V. L., & Motoike, S. (2016). Harvest and post-harvest conditions influencing macauba (*Acrocomia aculeata*) oil quality attributes. *Industrial Crops and Products*, 85, 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.052>

FAO. (1987). *Especies forestales productoras de frutas y otros alimentos. Ejemplos de América Latina*. Estudio FAO Montes (p. 241). <http://www.fao.org/3/a-an785s.pdf>

FAO/OMS. (2019). Comisión del Codex Alimentarius: norma para grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales - CODEX STAN / CXS 19-1981.

Favaro, S., Smidt, M., Rivaldi, D., & Carvalho, F. (2019). Eficiência de extração e determinação de acidez de óleo de polpa de macaúba em processo aquoso. *Anais - 7º Congresso Da Rede Brasileira de Tecnologia e Inovação de Biodiesel*. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/205970/1/S-FAVAROMacaubaextracao.pdf>

- Favaro, S. P., Smidt, M. A., Miranda, C. H. B., de Oliveira Leal, W. G., de Paiva Carvalho, F. B., & Rivaldi, J. D. Applied Food Research. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100060>.
- Galvão, A. C., Copetti, M., Magro, C. D., Ilitchenco, S., & Robazza, W. S. (2014). Extração Do Óleo Da Polpa Do Abacate Com Metanol E Etanol a Diferentes Temperaturas. *Ciência e Natura*, 35(2), 304–310. <https://doi.org/10.5902/2179460x12582>
- Goulart, S. (2014). Amadurecimento pós-colheita de frutos de macaúba e qualidade do óleo para a produção de biodiesel. Universidade Federal de Viçosa.
- Hauptenthal, D., Dueck, J. (2012). Plantación experimental de mbokaja en el chaco paraguayo. *Revista Agrotendencia* N°14. Disponible en: <https://issuu.com/agrotendencia/docs/edicion14>. Acceso en: 9 de febrero de 2019.
- Henderson, A., Galeano, G., & Bernal, R. (1995). *Palms of the Americas*. Princeton University Press.
- Hernández, A.F. (2016). La palama corajo, un recurso natural para la producción sostenible de aceite. *Cultivos Tropicales*, 37, (4), 13-33. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.30257.99687>
- He, H., Sun, S., Wang, T., Zhu, S. (2007). Transesterification kinetics of soybean oil for production of biodiesel in supercritical methanol. *Journal of American Oil and Chemistry Society*, 84, 399-404. <https://doi.org/10.1007/s11746-007-1042-8>
- INTN. (2011). Norma Paraguaya NP 1601805. Combustibles. Biodiesel puro (B100). Requisitos generales.
- Issariyakul, T.; Kulkarni, M.; Dalai, A.; Bakhshi, N. 2007 Production of biodiesel from waste fryer grease using mixed methanol/ethanol system. *Fuel Processing Technology*. (NL). 88 (1): 429 – 436
- Knothe, G., Van Gerpen, J., & Krah, J. (2005). *The biodiesel handbook* (1st ed.). AOCS Press.
- Kusdiana, D., & Saka, S. (2004). Effects of water on biodiesel fuel production by supercritical methanol treatment. *Bioresource Technology*, 91(3), 289–295. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00201-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00201-3)
- Machado, W, Lira, F., Santos, J., Takahashi, L., Guimarães, M., & Leal, A. (2013). Avaliação da composição mineral de frutos de Macaúba. *Anais Do III Simpósio de Bioquímica e Biotecnologia*.
- Machado, W., Guimarães, M. F., Lira, F. F., Santos, J. V. F., Takahashi, L. S. A., Leal, A., & Coelho, G. T. C. P. (2015). Evaluation of two fruit ecotypes (total and sclerocarpa) of macaúba (*Acrocomia aculeata*). *Industrial Crops and Products*, 63, 287–293. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.002>
- Maciel, F., & Méndez, L. (2016). Influencia de la proporción, temperatura y tiempo en la extracción por vía húmeda del aceite de pulpa de coco – *Acrocomia aculeata*- empleando como solvente etanol. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Asunción.
- MAG. (2008). Resolución No 985/08 - Por la cual se reglamenta la cosecha y comercialización de coco de producción nacional. <http://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC087163/>
- Markley, K. S. (1955). The mbocayá palm: An economic oil plant of paraguay. *Journal of American Oil Chemistry Society*, 1(32), 405–414. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF02639697>

- Markley, K. S. (1956). Mbocayá or Paraguay cocopalme-An Important Source of Oil. *Economic Botany*, 10(1), 3–32. <https://doi.org/10.1007/BF02985312>
- Martínez-González, M., Balois-Morales, R., Alia-Tejecal, I., Cortes-Cruz, M., Palomino-Hermosillo, Y., & López-Gúzman, G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19, 4075–4087.
- Mazzottini-dos-Santos, H. C., Ribeiro, L. M., Mercadante-Simões, M. O., & Sant'Anna-Santos, B. F. (2015). Floral structure in *Acrocomia aculeata* (Arecaceae): evolutionary and ecological aspects. *Plant Systematics and Evolution*, 301(5), 1425–1440. <https://doi.org/10.1007/s00606-014-1167-9>
- McDonald, M. (2007). Revisión de la situación actual de Mbokaja (*Acrocomia totai*) en Paraguay, informe final.
- Minami, E., & Saka, S. (2006). Kinetics of hydrolysis and methyl esterification for biodiesel production in two-step supercritical methanol process. *Fuel*, 85(17–18), 2479–2483. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.04.017>
- Molina-Tizo, N. (2008). *Caracterización bioquímica y estudio de las propiedades funcionales de la fracción de globulinas obtenidas a partir de la semilla de chia*. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Montoya, S. G., Motoike, S. Y., Kuki, K. N., & Couto, A. D. (2016). Fruit development, growth, and stored reserves in macauba palm (*Acrocomia aculeata*), an alternative bioenergy crop. *Planta*, 244(4), 927–938. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2558-7>
- Montoya, S. G., Kuki, K. N., Motoike, S. Y., Grossi, J. A. S., & Pimentel, L. D. (2018). O cultivo de Macaúba. Proyecto Macaúba. https://www.macauba.ufv.br/?page_id=568
- Munhoz, C., Guimarães, R., Nozaki, V., Sanjinez-Argandoña, E., & Macedo, M. (2012). Frutos de bocaiúva: caracterização física e perfil de ácidos graxos dos óleos. 4º *Seminário de Agroecologia de Mato Grosso Do Sul*. 3º *Encontro de Produtores Agroecológicos de MS*, 7(2), 1–6.
- Nucci, S. (2007). *Desenvolvimento, caracterização e análise da utilidade de marcadores microsatélites em genética de população de macaúba*. Instituto Agrônomo, Campinas.
- Nunes, A. A., Favaro, S. P., Galvani, F., & Miranda, C. H. B. (2015). Good practices of harvest and processing provide high quality Macauba pulp oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 1–25.
- Pedretti, R. (2004). Inversión en programas de diferenciación y diversificación de productos oleaginosos en Paraguay. Proyecto de Cooperación FAO/TCP/2910. Apoyo a la interacción agropecuaria en el Mercosur Ampliado. FAO. Disponible: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/comagric/pdf/agroindu/inveolea.pdf. Acceso: 10 de junio de 2020.
- Pimentel, L., Dias, L., Paez, J., Sato, A., & Motoike, S. (2011). Diversidade no gênero *Acrocomia* e proposta de subdivisão da espécie *Acrocomia aculeata*. *Informe Agropecuário*, 32(256), 81–87.

Policano, M. D., Rivaldi, J. D., De Castro, H. F., & Carneiro, L. M. (2016). Simultaneous esterification and transesterification of andiroba oil using niobium oxide-sulfate as catalyst. *International Journal of Engineering Research & Science*, 2(10), 175-184.

Ramos, L. P., Da Silva, F. R., Mangrich, A. S., & Cordeiro, C. S. (2011). Biodiesel production technologies. *Revista Virtual de Química*, 3(5), 385–405. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20110043>

Reddy, S. N., Nanda, S., & Sarangi, P. K. (2018). Applications of supercritical fluids for biodiesel production. *Recent Advancements in Biofuels and Bioenergy Utilization*, 261–284. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1307-3_11

Rivaldi, D., Páez, C., Smidt, M., Favaro, S., Caballero, C., Correa, L., Rodas, J., & Velázquez, E. (2019). Biomorfología del fruto y características del aceite de pulpa de coco Mbokayá con potencial para la producción de biodiesel en Paraguay. - Portal Embrapa. 7° Congresso Da Rede Brasileira de Tecnologia e Inovação de Biodiesel, D, 0–1. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1115729/biomorfologia-del-fruto-y-caracteristicas-del-aceite-de-pulpa-de-coco-mbokaya-con-potencial-para-la-produccion-de-biodiesel-en-paraguay>

Sánchez, R., Fernández, M., & Nolasco, S. (2015). Aceite de canola: estudio exploratorio de extracción con etanol. VIII CAIQ2015.

Sanjinez-Argandoña, E. J., & Chuba, C. A. M. (2011). Caracterização biométrica, física e química de frutos da palmeira bociuwa *Acrocomia aculeata* (Jacq) lodd. Revista Brasileira de Fruticultura, 33(3), 1023–1028. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000300040>

Scariot, A. (1998). Seed dispersal and predation of the palm *Acrocomia aculeata*. In *Principes* (pp. 5–8).

Scariot, A. O., Lleras, E., & Hay, J. D. (1991). Reproductive Biology of the Palm *Acrocomia aculeata* in Central Brazil. *Biotropica*, 23(1), 12–22. <https://doi.org/10.2307/2388683>

Seymour, G., Taylor, J., & Tucker, G. (1993). *Biochemistry of fruit ripening*. Chapman & Hall.

Smith, N. (2015). Palms and People in the Amazon. In Books. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-05509-1>

Tapeti, C. (2013). Desenvolvimento, maturação e sistemas de colheita de frutos da macaúba (*Acrocomia aculeata*). Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande.

Tilahun, W. (2015). Postharvest treatments of Macaúba Palm (*Acrocomia aculeata*) fruit: storage period, gamma radiation and drying temperature. Universidade Federal de Viçosa.

Vieitez, I., Irigaray, B., Casullo, P., Pardo, M. J., Grompone, M. A., & Jachmanián, I. (2012). Effect of free fatty acids on the efficiency of the supercritical ethanolysis of vegetable oils from different origins. *Energy and Fuels*, 26(3), 1946–1951. <https://doi.org/10.1021/ef201977s>

Villalobos, F., & Fereres, E. (2017). Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture. Springer.

Wall, J., Van Gerpen, J., Thompson, J. (2011). Soap and glycerin removal from biodiesel using waterless process. Transactions of the ASABE, 54,2, 535-541, [doi: 10.13031/2013.36456](https://doi.org/10.13031/2013.36456)

Yamashita, C. (2013). Anodorhynchus macaws as followers of extinct megafauna: an hypothesis. Revista Brasileira de Ornitologia - Brazilian Journal of Ornithology; Vol 5, No 7 (1997): Ararajuba Volume 5 (2). <http://www.revbrasilornitol.com.br/BJO/article/view/0710>

Mbokaja



ISBN: 978-99925-3-755-8

