

Universidad de Costa Rica
Sistema de Estudios de Posgrado

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA
HARINA DE PEJIBAYE SOBRE EL CONTENIDO DE COMPUESTOS
BIOACTIVOS BENEFICIOSOS PARA LA SALUD**

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa
de Estudios de Posgrado en Ciencia de Alimentos para optar por
el grado y título de Maestría Académica en Ciencia de Alimentos

CAROLINA ROJAS GARBANZO

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2010

DEDICATORIA

A Titi y Renato por su apoyo, paciencia y tolerancia.

A mis padres, a ellos les debo lo que hoy soy y como soy.

A mis 5 hermanos, a cada uno de ellos por su cariño y ejemplo invaluable.

AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por la vida que he gozado plenamente
y me muestra siempre su misericordia.*

*A Ana Mercedes por su confianza, apoyo académico
invaluable, disposición en el “sprint final” y por su paciencia.*

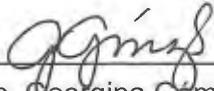
*A María Lourdes por su gran aporte en estadística, consejos
muy oportunos y su apoyo para concluir este proyecto a tiempo.*

*A Fabrice, él es una enciclopedia que
me aportó información científica invaluable.*

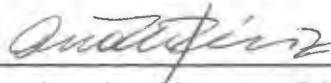
*Alonso Contreras, Jairol Bustos, Paula Valverde, Carla Araya,
Maricruz Bermúdez y Marcia Cordero quienes me apoyaron hasta
con 800 Kg de pejibaye y análisis químicos en una matriz muy peculiar.*

A Jacquie Aiello, amiga y fiel seguidora de la culminación de este proyecto.

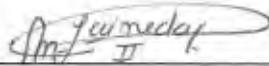
“Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencia de Alimentos de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Ciencia de Alimentos”



M.Sc. Georgina Gómez Salas
Representante de la Decana del SEP



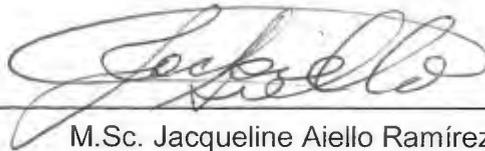
Dra. Ana Mercedes Pérez Carvajal
Directora de Tesis



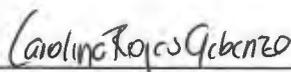
M.Sc. María Lourdes Pineda Castro
Asesora



Dr. Fabrice Vaillant
Asesor



M.Sc. Jacqueline Aiello Ramírez
Directora del Programa de Posgrado en Ciencia de Alimentos



Carolina Rojas Garbanzo
Candidata

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
TRIBUNAL	IV
ÍNDICE GENERAL	V
RESUMEN	IX
LISTA DE CUADROS	X
LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE ABREVIATURAS	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 JUSTIFICACIÓN	1
1.2 OBJETIVO	5
1.2.1 Objetivo general	5
1.2.2 Objetivos específicos:	5
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 ASPECTOS GEOGRÁFICOS	6
2.2 COMERCIALIZACIÓN	8
2.3 PROCESAMIENTO	10
2.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA FRUTA DEL PEJIBAYE	13
2.4.1 Carbohidratos	14
2.4.2 Grasa	20
2.4.3 Proteína	22
2.4.4 Minerales	24
2.4.5 Factores antinutricionales (FAN) presentes en el pejibaye	24
2.5 COMPUESTOS BIOACTIVOS BENEFICIOSOS PARA LA SALUD Y SU CAPACIDAD ANTIOXIDANTE	27
2.5.1 Actividad antioxidante de las frutas	27
2.5.2 Carotenoides	30
2.5.3 Polifenoles	36
2.6. HARINA DE PEJIBAYE	38
3. MATERIALES Y MÉTODOS	43

3.1 LOCALIZACIÓN	43
3.2 OBTENCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA	43
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	44
3.3.1 Definición de las condiciones de elaboración de la harina de pejibaye con y sin cáscara.....	44
3.3.2 Características morfológicas y composición físico - química del pejibaye (<i>Bactris gasipaes</i>).....	46
3.3.3 Efecto del proceso de elaboración de harina de pejibaye sobre la composición físico - química y contenido de compuestos antioxidantes	49
3.3.4 Aporte de la cáscara al valor nutricional de la harina de pejibaye y en el contenido de compuestos bioactivos beneficiosos para la salud	50
3.3.5 Identificación del perfil de carotenoides del pejibaye	51
3.3.6 Composición de la pared celular de la pulpa de pejibaye crudo y cocinado....	52
3.4 ANÁLISIS QUÍMICOS.....	53
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
4.1 ESTUDIO DE LAS CONDICIONES ADECUADAS PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE HARINA DE PEJIBAYE (<i>BACTRIS GASIPAES</i>).....	55
4.1.1 Pelado del pejibaye	56
4.1.2 Condiciones de cocción.....	56
4.1.3 Condiciones de secado	57
4.1.4 Rendimiento de proceso para la elaboración de harina de pejibaye con y sin cáscara.....	58
4.1.5 Conclusiones.....	61
4.1.6 Referencias	61
4.2 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN FÍSICO - QUÍMICA, CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL PEJIBAYE (<i>BACTRIS GASIPAES</i>) FRESCO DISPONIBLE COMERCIALMENTE EN COSTA RICA	63
4.2.1 Resumen.....	63
4.2.2 Introducción.....	63
4.2.3 Materiales y métodos.....	65
4.2.4 Resultados y discusión	68
4.2.5 Conclusiones.....	77
4.2.6 Referencias	78

4.3 EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE HARINA DE PEJIBAYE (<i>BACTRIS GASIPAES</i>) SOBRE LA COMPOSICIÓN FÍSICO – QUÍMICA, COMPUESTOS ANTIOXIDANTES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE.	83
4.3.1 Resumen.....	83
4.3.2 Introducción.....	83
4.3.3 Materiales y métodos.....	86
4.3.4 Resultados y discusión.....	89
4.3.5 Conclusiones.....	95
4.3.6 Referencias.....	96
4.4 EVALUACIÓN DEL APORTE DE LA CÁSCARA EN LA HARINA DE PEJIBAYE (<i>BACTRIS GASIPAES</i>) SOBRE LA COMPOSICIÓN FÍSICO – QUÍMICA, CONTENIDO DE MINERALES Y COMPUESTOS BIOACTIVOS BENEFICIOSOS PARA LA SALUD.....	101
4.4.1 Resumen.....	101
4.4.2 Introducción.....	101
4.4.3 Materiales y métodos.....	103
4.4.4 Resultados y discusión.....	106
4.4.5 Conclusiones.....	113
4.4.6 Referencias.....	114
4.5 IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE CAROTENOIDES POR HPLC – DAD DURANTE EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA HARINA DE PEJIBAYE (<i>BACTRIS GASIPAES</i>).....	118
4.5.1 Resumen.....	118
4.5.2 Introducción.....	118
4.5.3 Materiales y métodos.....	122
4.5.4 Resultados y discusión.....	124
4.5.5 Conclusiones.....	137
4.5.6 Referencias.....	138
4.6 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA PARED CELULAR EN LA PULPA DE PEJIBAYE (<i>BACTRIS GASIPAES</i>) DE COSTA RICA EN ESTADO FRESCO Y DESPUÉS DE LA COCCIÓN EN AGUA.....	142
4.6.1 Resumen.....	142
4.6.2 Introducción.....	142
4.6.3 Materiales y métodos.....	144
4.6.4 Resultados y discusión.....	146

4.6.5 Conclusiones	150
4.6.6 Referencias	151
5. DISCUSIÓN GENERAL	154
6. CONCLUSIONES GENERALES	164
7. RECOMENDACIONES	166
8. REFERENCIA GENERAL CITADA	167
9. ANEXOS	183

RESUMEN

Se determinó la variabilidad de la composición físico – química de 5 lotes de pejibaye fresco comercializado en Costa Rica. Se encontró que existe diferencia ($p < 0,05$) en la masa (24-59) g, largo (3,1-6,06) cm y ancho (3,1-4,9) cm de los frutos cosechados. La humedad promedio de los frutos fue de 56,35%. El valor promedio de la grasa fue $13,5 \pm 2,7\%$ en base seca (b.s.), siendo los lotes 4 y 5 los únicos que no presentaron diferencia significativa entre sí. El contenido de proteína promedio de los pejibayes fue de 4,96% b.s. El almidón fue el único componente de la fruta que no presentó variabilidad entre lotes, obteniéndose un contenido promedio de 70 ± 4 g/100 g b.s. En cuanto al contenido de compuestos antioxidantes, el rango del contenido de carotenoides totales osciló entre 109 y 202 μg β -caroteno equiv./g b.s., mientras que el contenido de polifenoles totales varió en un rango de 54-106 mg equivalentes de ácido gálico (GAE) /100 g b.s., presentándose gran variabilidad entre los 5 lotes estudiados para estos dos componentes. La capacidad antioxidante medida por el método ORAC hidrofílico presentó una menor variabilidad al ser el valor del lote 3 el único diferente a los cuatro lotes restantes. La capacidad antioxidante hidrofílica promedio fue de 37 ± 7 μmoles de equivalentes de trolox (TE) /g b.s.

Al evaluar el efecto de la cocción y del secado sobre el pejibaye sin cáscara, se encontró que no existe diferencia significativa ($p > 0,05$) en el contenido de grasa, proteína y almidón, siendo el contenido de grasa en la harina de $13,4 \pm 2,3$ g/100 g b.s., proteína de $5,0 \pm 1,0$ g/100 g b.s. y almidón de 67 ± 7 g/100 g b.s. Se dio un aumento significativo ($p < 0,05$) de la humedad por efecto de la cocción, componente que se incrementó en un 5%, así como un aumento del 17% en el contenido de carotenoides totales (b.s.), respecto al contenido en la pulpa de pejibaye cruda. Los parámetros de color a^* , b^* y L^* presentaron diferentes valores para cada una de las etapas ($p < 0,05$), obteniendo una diferencia total de color (ΔE^*) perceptible al ojo humano con un valor de 25 entre la pulpa de pejibaye cruda y la pulpa cocinada, y un $\Delta E^* = 5$ entre la pulpa cocinada y la harina. No hubo efecto de las condiciones de elaboración de la harina de pejibaye sobre el contenido de polifenoles totales ni en la capacidad antioxidante hidrofílica, presentando valores en la harina de $0,6 \pm 0,3$ mg GAE / g b.s. y de 36 ± 10 μmoles TE / g b.s., respectivamente.

Al comparar los pejibayes crudos con y sin cáscara se encontró un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el contenido de grasa, proteína y ceniza, siendo mayor el contenido en el pejibaye con cáscara con aumentos de 7,7%, 20,0% y 9,0%, respectivamente. En el caso de los compuestos bioactivos, la utilización de los frutos con cáscara produjo un efecto positivo sobre el contenido de carotenoides totales y de fibra dietética, obteniéndose valores de 253 ± 77 μg β -caroteno / g b.s. y 12 ± 1 g/100 g b.s., respectivamente. El contenido de polifenoles totales obtenido para la harina con cáscara fue de $0,7 \pm 0,3$ mg GAE / g b.s., mientras que la capacidad antioxidante hidrofílica fue de 36 ± 12 μmoles TE / g b.s., no habiendo un efecto significativo ($p > 0,05$) por la presencia de la cáscara.

Se cuantificaron 14 compuestos carotenoides durante el proceso de elaboración de harina de pejibaye, identificando 9, 14 y 13 carotenoides en pulpa de pejibaye crudo, pulpa de pejibaye cocinado y harina de pejibaye, respectivamente. El carotenoide mayoritario a lo largo del proceso de elaboración de la harina fue el *all-trans*- β -caroteno, presente en el pejibaye crudo en una concentración de $96,0 \pm 1,7$ μg β -caroteno / g b.s.; este compuesto disminuye de forma significativa ($p < 0,05$) durante las etapas de cocción y deshidratación con aire caliente, alcanzando un contenido final de $33,3 \pm 1,0$ μg β -caroteno / g b.s. en la harina. El procesamiento de pejibaye para la obtención de harina permite un porcentaje de retención de 63,7% del contenido de carotenoides, cuyo valor pasa de 373,4 a 237,7 μg β -caroteno / g b.s. El valor de provitamina A también disminuye de forma significativa de 2723 equivalentes de retinol (RE) / 100 g en la pulpa de pejibaye crudo a 1289 RE / 100 g en la harina de pejibaye.

El contenido de material insoluble en alcohol (MIA) y el material insoluble en alcohol y agua (MIAA) del pejibaye crudo (29,3% b.s. y 10,6% b.s., respectivamente) aumentó después de la cocción. En ambos casos, el MIAA se conforma por más de un 80% b.s. de almidón y representa un 14,4% b.s. y 18,7% b.s. de los componentes de la fibra dietética (celulosa, hemicelulosa, pectina insoluble, lignina) en el pejibaye crudo y en el pejibaye cocinado, respectivamente.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Variación de la composición química del pejibayé (<i>Bactris gasipaes</i> H.B.K) de diferentes procedencias geográficas.	14
Cuadro 2. Contenido de ácidos grasos en la pulpa y semilla de pejibaye.....	21
Cuadro 3. Composición de aminoácidos de la proteína del mesocarpio del pejibaye (<i>Bactris gasipaes</i>) comparado con los valores diarios recomendados por FAO y OMS....	23
Cuadro 4. Contenido de minerales presentes en 100 g de fruta de pejibaye cocinada	24
Cuadro 5. Composición proximal y mineral de dos diferentes tipos de harina de pejibaye	41
Cuadro 6. Composición química de la harina de pejibaye en 100 g de harina fresca	42
Cuadro 7. Equipo utilizado en la elaboración de la harina de pejibaye con cáscara y sin cáscara.	45
Cuadro 8. Métodos de análisis utilizados en el estudio de la variabilidad, efecto del proceso de elaboración de harina de pejibaye con y sin cáscara y polisacáridos parietales.	53
Cuadro 9. Rendimiento por etapa del proceso para la elaboración de harina de pejibaye sin cáscara.....	59
Cuadro 10. Rendimiento por etapa del proceso para la elaboración de harina de pejibaye con cáscara.....	60
Cuadro 11. Variación de las características dimensionales del pejibaye en cinco lotes con diferente origen	69
Cuadro 12. Variabilidad de los parámetros de color en el pejibaye fresco disponible comercialmente en Costa Rica.....	74
Cuadro 13. Diferencia de color de la pulpa de 5 lotes de pejibaye crudo disponible en Costa Rica	75
Cuadro 14. Efecto del proceso en la elaboración de la harina de pejibaye en la composición físico - química y contenido de compuestos bioactivos.....	89
Cuadro 15. Composición físico - química y contenido de compuestos bioactivos en la harina elaborada a partir de pejibaye con o sin cáscara.....	107
Cuadro 16. Contenido de minerales en la pulpa de pejibaye cocinado y en la harina de pejibaye con y sin cáscara.	111
Cuadro 17. Aporte nutricional de la pulpa de pejibaye cocinado a la ingesta diaria recomendada	112

Cuadro 18. Identificación de los carotenoides presentes en el pejibaye de Costa Rica obtenido por HPLC-DAD.	125
Cuadro 19. Concentración de carotenoides en diferentes etapas del proceso de elaboración de harina de pejibaye.....	131
Cuadro 20. Cambio del valor de provitamina A del pejibaye en el proceso de elaboración de harina de pejibaye.	136
Cuadro 21. Efecto de la cocción sobre el contenido de material insoluble en alcohol (MIA) y material insoluble en alcohol y agua (MIAA) del pejibaye	147
Cuadro 22. Efecto de la cocción sobre la composición de MIAA del pejibaye	149

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Palmera de pejibaye de la zona de Tucurrique, Cartago.	7
Figura 2. Ejemplo de la variabilidad del pejibaye en tamaño y color.	8
Figura 3. Estructura básica de la pared celular de frutas y vegetales.	17
Figura 4. Estructuras generales de los carotenoides.	32
Figura 5. Flujo de proceso para la elaboración de harina de pejibaye sin cáscara.	47
Figura 6. Flujo de proceso para la elaboración de harina de pejibaye con cáscara.	48
Figura 7. Esquema de análisis de la pared celular en frutas.	52
Figura 8. Contenido de humedad y almidón del pejibaye disponible comercialmente. .	70
Figura 9. Contenido de grasa y proteína del pejibaye disponible comercialmente	71
Figura 10. Variación del contenido de carotenoides totales del pejibaye.	73
Figura 13. Cromatograma (procesado a 450 nm), obtenido por HPLC-DAD de los carotenoides de la pulpa de pejibaye cocinado.	129
Figura 14. Cromatograma (procesado a 450 nm), obtenido por HPLC-DAD de los carotenoides de la harina de pejibaye.	129
Figura 15. Esquema de caracterización de la pared celular del fruto del pejibaye	146

LISTA DE ABREVIATURAS

%: porcentaje	MIA: material insoluble en alcohol
FAN: factores antinutricionales	MIAA: material insoluble en alcohol y agua
°C: grados celsius	ADN: ácido desoxirribonucleico
pH: grado de acidez	ARN: ácido ribonucleico
m.s.n.m.: metros sobre el nivel del mar	ORAC: oxygen radical antioxidant capacity
s: segundos	H-ORAC: capacidad antioxidante hidrofílica
min: minutos	m/s: metros por segundo
h: horas	Kg/m ² : kilogramo por metro cuadrado
m: metros	N: nitrógeno
cm: centímetros	P: fósforo
plg: pulgada	Ca: calcio
ppm: partes por millón	Mg: magnesio
g: gramos	K: potasio
mg: miligramos	S: azufre
µg: microgramos	Na: sodio
Kg: kilogramo	Fe: hierro
H: humedad	Cu: cobre
µmol: micromoles	Zn: zinc
ha: hectáreas	Mn: manganeso
µm: micrómetro	B: boro
b.s.: base seca	p: probabilidad
b.h.; base húmeda	<: menor que
α: alfa	>: mayor que
β: beta	GAE: galic acid equivalent
γ: gama	TE: Trolox equivalente
δ: delta	RE: retinol equivalente
ψ: psi	UI: unidades internacionales
λ: longitud de onda	KOH: hidróxido de potasio
t _R : tiempo de retención	MeOH: metanol
nm: nanómetro	MTBE: éter metil tert-butílico
FAO: Food and Agricultural Organization	UV: ultravioleta
OMS: Organización Mundial de la Salud	L: litro
FDA: Food and Drug Administration	ΔE*: diferencia total de color
HPLC: high performance liquid chromatography	aw: actividad de agua

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

Las tendencias mundiales de la alimentación en los últimos años indican un interés acentuado de los consumidores hacia ciertos alimentos que, además del valor nutritivo, aporten beneficios a las funciones fisiológicas del organismo humano. La búsqueda de alimentos con estas características ha generado una nueva área de desarrollo en la ciencia de los alimentos o de la nutrición que corresponde a la de los alimentos funcionales (Alvídrez *et al.*, 2002). Esta nueva tendencia hace necesario el enfoque tecnológico y nutricional para el desarrollo de este tipo de alimentos.

Existen cada vez más pruebas científicas que apoyan la hipótesis de que ciertos alimentos, así como algunos de sus componentes bioactivos y fitoquímicos, tienen características químicas preventivas con efectos físicos y neurológicos beneficiosos, y que este efecto es el resultado de la combinación de varios compuestos (Puupponen-Pimiä *et al.*, 2005; Vallejo *et al.*, 2003). Actualmente, las investigaciones se han enfocado en la identificación de componentes biológicamente activos en los alimentos así como en su mecanismo de acción, que ofrezcan la posibilidad de mejorar las condiciones físicas y mentales, así como reducir el riesgo de contraer enfermedades (Puupponen-Pimiä *et al.*, 2005).

Muchos productos alimenticios tradicionales, como las frutas, las verduras, la soja, los granos enteros y la leche, contienen componentes que pueden resultar, más allá de su aporte nutricional, beneficiosos para la salud (Alvídrez *et al.*, 2002; Puupponen *et al.*, 2005). Además, se están desarrollando nuevos alimentos que aportan estos componentes beneficiosos, por las ventajas que suponen para la salud. Algunos estudios han demostrado una correlación inversa entre la ingesta de frutas y vegetales y la incidencia de enfermedades severas como las cardiovasculares, oftalmológicas o desórdenes neurodegenerativos y algunos tipos de cáncer (Van Duyn & Pivonka, 2000).

La importancia de alimentos como las frutas, las verduras y los cereales integrales en la prevención de enfermedades, así como las últimas investigaciones sobre los antioxidantes dietéticos y sobre la combinación de sustancias protectoras en plantas, está contribuyendo a impulsar el desarrollo del mercado de los alimentos funcionales (EUFIC, 2006).

Algunas iniciativas en la investigación buscan promover el alivio a la pobreza y la rehabilitación del ambiente en los países en desarrollo, impulsando la utilización de cultivos tradicionales o con historia indígena. Esto se hace con el objetivo de proveer productos comerciales desde zonas rurales capaces de generar sus recursos económicos de manera propia (Leakey, 1999). Un componente importante de este alcance es la domesticación de especies vegetales locales que tienen potencial comercial de manera local, regional o, inclusive, en el mercado internacional.

El pejibaye es uno de estos productos y fue domesticado en los sistemas agroforestales de la Amazonia, siendo un producto precolombino de gran valor nutricional, dado su alto contenido de fibra, β -caroteno y vitamina A, bajo contenido de sodio y azúcares (Fernández *et al.*, 1990) y alto valor energético por su contenido de almidón y aceite (Clement *et al.*, 2004; Da Silva & Clement, 2005; Leterme *et al.*, 2005). Su aporte en vitamina A es muy importante dado que la deficiencia de esta vitamina es muy común en localidades tropicales, causando problemas de dientes, ojos y piel (Dibari, 1997). Además, entre los constituyentes de naturaleza lipídica del pejibaye se destacan el ácido palmítico y el oleico en la pulpa del fruto y el láurico en la semilla (Murillo *et al.*, 1991). Es importante destacar el contenido proteico del pejibaye, el cual oscila entre 0,37 y 7,1% b.h. (Clement, 1995), y que es superior al de la mayoría de las frutas, sumado esto a que la proteína del pejibaye es fuente de los 8 aminoácidos esenciales para el humano (Yuyama *et al.*, 2003).

La tendencia de consumo del pejibaye es comerlo entero después de la cocción, en bebidas fermentadas o en productos elaborados a partir de harina de pejibaye (Clement *et al.*, 2004), teniendo un alto potencial nutricional e industrial al ser un alimento muy versátil para la preparación de productos dulces y salados, logrando un aprovechamiento eficiente de este recurso (Blanco *et al.*, 1990).

Los dos productos mayoritarios del pejibaye son el fruto y el palmito de pejibaye; también se pueden aprovechar el aceite, la madera y la fibra (Leakey, 1999). La fruta puede variar en sabor y textura y siempre se consume cocinada para eliminar el efecto de factores antinutricionales (FAN), que de otra manera tendrían efectos negativos en el crecimiento animal y humano (Leakey, 1999; Dibari, 1997; Gómez *et al.*, 1998a). Sin embargo, en Brasil, Colombia, Costa Rica y Perú, cerca del 40-50% de la producción

anual no se logra comercializar por lo que se usa para alimentación animal o se descarta (Clement *et al.*, 2004).

El pejibaye ha sido de gran interés para varios investigadores que se han enfocado en la determinación de su valor nutritivo y de su potencial para la domesticación (Leakey, 1999). Entre ellos, Astorga (1988) determinó las características de longitud, diámetro, formas y peso por fruto, además del contenido de proteína, grasa, carbohidratos, cenizas y fibra. Algunos autores como Blanco *et al.* (1990), Blaak (1976), Baracaldo (1980), Morton (1987), Murillo y Kroneberg (1983), Sánchez (1981), Gallardo y Sierra (1980), Hammond y Wenchi (1982) y Clement (1995), han complementado la caracterización de este fruto con la determinación del contenido de humedad, tipo de ácidos grasos, contenido de vitaminas, aminoácidos, minerales y almidón.

Estudios epidemiológicos recientes indican que los antioxidantes como carotenoides, polifenoles, vitamina E y vitamina C, son los constituyentes con mayor interés por su rol preventivo en ciertos tipos de cáncer y enfermedades del corazón (De Sá & Rodríguez-Amaya, 2003). Esto ha llevado a las recomendaciones de incrementar el consumo de frutas y vegetales ricos en estos nutrientes (Abushita *et al.*, 2000), siendo el fruto del pejibaye una alternativa interesante al presentar contenidos importantes de carotenoides (6,3-34,0 μg / g pulpa cocinada b.h.) y vitamina C (35 mg / 100 g b.s. pulpa cocinada) (Rodríguez-Amaya, 1996; Blanco *et al.*, 1990).

También algunos autores como Pérez-Mateos *et al.* (2005), Puupoonen-Pimiä *et al.* (2005), De Sá y Rodríguez-Amaya (2003), De Sá y Rodríguez-Amaya (2004) y Abushita *et al.* (2000), han realizado estudios en frutas y vegetales como el mango, la papaya el tomate, el brócoli y la espinaca, y han demostrando que tanto el contenido como la capacidad antioxidante se alteran al someterse a procesos de transformación que involucran etapas como aplicación o eliminación de calor, cambiando el contenido de compuestos bioactivos como los carotenoides, los polifenoles y la fibra en el producto final. Esto hace suponer que el contenido de los compuestos bioactivos puede variar durante el proceso de elaboración de la harina de pejibaye.

A pesar de los numerosos estudios de caracterización físico – química, es necesario aún ampliar esta caracterización del pejibaye de acuerdo con su disponibilidad en el mercado, además de evaluar el efecto de las etapas del proceso de obtención de la harina de pejibaye sobre su contenido de compuestos bioactivos que determinan su valor

como alimento funcional. Además, como un objetivo adicional de este estudio se completará la caracterización realizada previamente con la identificación y cuantificación de compuestos responsables del color, a lo largo del proceso de elaboración de harina de pejibaye.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo general

Determinar la composición del fruto del pejibaye (*Bactris gasipaes*) disponible comercialmente y evaluar el efecto del proceso de obtención de la harina de pejibaye sobre el contenido de compuestos bioactivos beneficiosos para la salud.

1.2.2 Objetivos específicos:

- ✓ Adecuar las condiciones de proceso establecidas en estudios previos para la elaboración de harina de pejibaye con y sin cáscara.
- ✓ Realizar una caracterización físico - química del pejibaye disponible comercialmente en Costa Rica.
- ✓ Evaluar el efecto del procesamiento de la harina de pejibaye sobre la composición físico - química, el contenido de compuestos antioxidantes y la capacidad antioxidante.
- ✓ Determinar el efecto del procesamiento de la harina de pejibaye sobre el perfil de los carotenoides.
- ✓ Determinar los componentes de la pared celular de la pulpa de pejibaye crudo y pulpa de pejibaye cocinado.
- ✓ Identificar y cuantificar los minerales presentes en la pulpa del pejibaye cocinado y en la harina de pejibaye con y sin cáscara.
- ✓ Determinar el aporte de la cáscara en la composición físico - química de la harina de pejibaye.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Aspectos geográficos

El pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K) es una planta nativa de regiones con alta precipitación, como los trópicos americanos, y se extiende desde Honduras hasta Brasil y Bolivia y ciertas islas de las Antillas, principalmente Trinidad y Tobago. El cultivo de esta palmera recibió su máxima atención y desarrollo durante la época precolombina en las poblaciones del Amazonia Oriental, cuando posiblemente se constituyó en el principal alimento para numerosas tribus del geotrópico (Fernández *et al.*, 1995; Tracy, 1996; Camacho 1992; Blaak, 1976).

En América Central el pejibaye se encuentra principalmente en la región Atlántica, área a la que parece muy bien adaptado. En Costa Rica, se encontró en la región limítrofe con Panamá la presencia de numerosas semillas de pejibayes en los sitios arqueológicos de la vertiente del Caribe (Guácimo) y del Pacífico (Jacó), que datan de hace aproximadamente 2000 años, lo que indica que esta fruta se constituyó en el principal cultivo de los indígenas del trópico húmedo del país (Camacho, 1992).

Esta palmera crece en las siguientes regiones del país: Upala, Los Chiles, San Carlos, Río Frío, Sarapiquí, Pococí, Siquirres, Guápiles, Batán, Talamanca, Turrialba, Tucurrique, Coto Brus, Corredores, San Isidro del General, Buenos Aires y Parrita. Estas regiones presentan las características ecológicas más adecuadas para cultivar esta palmera (Blanco *et al.*, 1990; Morton, 1987; Clement, 1995), la cual se adapta a un amplio rango de condiciones ecológicas prevalecientes en los trópicos húmedos, desarrollándose a alturas que van desde el nivel del mar hasta los 800 m.s.n.m.; más allá el crecimiento se torna lento y baja su rendimiento. La temperatura media mínima para un buen desarrollo comprende entre 18-24 °C, con una precipitación entre 3000-4000 mm.

En Costa Rica su cultivo se encuentra prácticamente en todos los climas y suelos; sin embargo, su crecimiento y producción son notablemente superiores en lugares con una elevación de 200 – 700 m.s.n.m., lluvia durante todos los meses del año, pH de suelos de 4,0 hasta 6,0 y suelos de origen aluvial (Tracy, 1985), iniciando la producción en el Pacífico Sur (Corredores) en el mes de mayo a junio y terminando en Tucurrique en el mes de noviembre (Blanco *et al.*, 1990; Morton, 1987; Clement, 1995; Blaak, 1976).

Sus palmas son árboles cuyas ramas pueden alcanzar más de 20-30 m de altura y un diámetro de 15-30 cm (**Figura 1**). El número de racimos por árbol varía entre 10-25, pero puede alcanzar más de 35 (Mora –Urpí *et al.*, 1997; Clement, 1995).



Racimos de pejabaye

Figura 1. Palmera de pejabaye de la zona de Tucurrique, Cartago.

Fuente: Ayí, 2008.

Existe mucha variabilidad en los frutos de pejabaye en lo referente a tamaño, color y calidad. Los frutos cuando jóvenes son de color verde, pero en su estado adulto tienen diferente coloración; pueden ser verduzcos, amarillos, anaranjados, rojos y de colores intermedios, pudiendo variar entre palmas. Además, tienen diversas formas: cónica, ovoide o elipsoide, y son de distintos tamaños, desde muy pequeños (20-30 g) a muy grandes (100 g o más). Algunos tienen cicatrices longitudinales (rayados) y son considerados de calidad superior. Otros carecen de semilla, son generalmente de menor tamaño, color verde y muy seco, encontrándose en la región de Chirripó; se les conoce con el nombre de pejabayes machos pues se generan de flores no polinizadas y en unos pocos casos pueden tener la forma y coloración de los pejabayes con semillas (Camacho, 1992; Blaak, 1976). La **Figura 2** muestra la presencia de las cicatrices en la cáscara del pejabaye, evidencia la variabilidad en el color inclusive dentro de un mismo racimo y ejemplifica la variabilidad de las características de tamaño, forma y color del pejabaye.



Figura 2. Ejemplo de la variabilidad del pejibaye en tamaño y color.

Fuente: Da Silva y Clement (2005).

Aunque con posterioridad a la época colonial española la importancia del pejibaye decayó notablemente, en los últimos años ha habido un interés creciente en vista del potencial alimenticio que representa la fruta, siendo motivo de estudio por parte de investigadores de varios países. Es de esperar que dentro de pocos años llegue a ocupar un lugar preponderante entre las especies americanas de alto valor nutritivo más consumidas (Tracy, 1996). Sin embargo, para que el pejibaye pueda llegar a constituir un componente regular de la dieta, es necesario buscar formas de elaborar productos estables que conserven el valor nutritivo del fruto fresco, que puedan almacenarse fácilmente, que sean de sabor agradable y que puedan obtenerse a precio razonable. Varios trabajos incluyen información sobre determinaciones de la composición química del pejibaye, todas ellas revelan un alto valor nutritivo de esta fruta y, principalmente, un alto contenido de vitamina C (Camacho, 1992).

2.2 Comercialización

El creciente comercio de los productos no tradicionales como mango, piña, flores y otros, ha significado ganancias económicas importantes para Costa Rica y el resto de países de América Latina. Aunque estos productos representan una fracción de las exportaciones totales, los productos no tradicionales tienen precios en el mercado muy atractivos, convirtiéndolos en un negocio muy rentable, lo que provoca un aumento en las actividades de producción, empaque, transporte, mercadeo y comercialización (Rodríguez, 2004).

Este auge de productos no tradicionales se convierte en una oportunidad para la agroindustria de utilizar aquellos que anteriormente no habían sido considerados importantes y que representan un potencial alimenticio para el ser humano, como lo es el pejibaye. Actualmente su aprovechamiento es limitado, ya que se prepara de una sola forma: hervido, lo que, junto con la ausencia de métodos de conservación, provocan importantes pérdidas postcosecha del fruto y, en consecuencia, dificultan el desarrollo socioeconómico de su cultivo.

La agro-cadena del pejibaye se presenta como una opción para fortalecer a los pequeños productores de zonas con limitantes agro-ecológicas, especialmente debidas al clima y a las características del suelo por su topografía, siendo especialmente importante en las provincias de Cartago (Jiménez y Paraíso), San José (Pérez Zeledón) y en Puntarenas (Corredores) (Quirós, 2007).

Los productores se encuentran organizados en el Centro Agrícola Cantonal de Jiménez (CAC-Jiménez) ubicado en el distrito de Tucurrique, cantón de Jiménez en Cartago, y existe una cantidad también importante de productores en la Zona Sur (Corredores). En el mercado nacional existen relativamente pocas industrias para la transformación de la fruta del pejibaye; su mayor comercialización se da como fruta cruda en las "ferias de los agricultores" o mercados de mayoreo y su comercialización como fruta cocinada tiene lugar en las principales cadenas de supermercados. Productos como la harina de pejibaye, empanadas y cajetas, se producen de manera artesanal debido a su baja demanda (Quirós, 2007).

Según el estudio realizado por Quirós (2007), el área dedicada en promedio por productor al cultivo de pejibaye es de 2,5 ha, siendo 44 productores los que actualmente están afiliados al CAC-Tucurrique.

La mayor oferta de pejibaye se da en los meses de junio a octubre, siendo agosto el mes de mayor cosecha, principalmente por ser el momento de la transición en la producción de las diferentes zonas, ya que está finalizando la producción en la zona sur, inicia en la zona atlántica y está en producción en la zona de Tucurrique (Quirós, 2007).

El cultivo del pejibaye ofrece múltiples ventajas: una alta productividad por hectárea, un bajo costo de producción, un alto valor nutritivo y no se utilizan pesticidas en su

producción, haciendo del pejibaye un producto muy atractivo para la búsqueda de nuevas alternativas de industrialización (Alfaro, 1988).

Una buena estrategia comprende todos los usos potenciales con viabilidad técnico económica exitosa para la exportación, ya que se asegura el beneficio para los productores del pejibaye y que esta nueva industria sea sostenible y ambientalmente beneficiosa. Además, el aporte del pejibaye en vitamina A ayuda a disminuir la deficiencia de consumo de esta vitamina demostrada por Gómez (1990), lo que justifica el desarrollo de productos a base de pejibaye con ingredientes disponibles en la zona y fáciles de preparar. Algunos posibles productos basados en el pejibaye son la harina, alimentos de uso animal, aceite y el etanol como combustible.

La harina obtenida del pejibaye puede ser utilizada como sustituto en pan, salsas, *gravis*, sopas, entre otros, teniendo un gran impacto económico ya que, actualmente, en Costa Rica se importa el 100% del trigo y la sustitución de éste puede ser de 10 a 50% según el producto (Shultz, 1987). Se podrían obtener beneficios económicos y sociales como son el ahorro de divisas, una menor dependencia del trigo, la generación de empleos y la utilización de materias primas locales; además de los beneficios de índole nutricional (CITA, 1984; Ugalde & Pineda, 2004).

2.3 Procesamiento

Las operaciones de acondicionamiento tales como selección, clasificación, higienización, empaque, transporte y almacenamiento dan al producto las características requeridas para la comercialización (Piedrahita, 1993).

Cuando el pejibaye se deja en racimo, no hay ningún empaque, quedando el fruto desprotegido, exponiéndolo a daño mecánico y biológico. En condiciones ambientales (15-20 °C), el periodo de conservación de pejibaye varía de 5-6 días, cuando comienza a presentarse el deterioro, el cual se acelera especialmente por el ataque de hongos. El fruto se conserva por un periodo de 15 días, bajo condiciones de almacenamiento refrigerado de 6 °C con una humedad relativa de 75%. Si la fruta en racimo se almacena en bolsas de polietileno perforadas, se conserva por 18 días, ya que permite la aireación y, por tanto, evita la condensación del agua dentro de la bolsa, factor que favorece el ataque de hongos y el desarrollo de olores desagradables (Piedrahita, 1993).

Teniendo los cuidados anteriores, se pueden obtener diferentes productos a partir del pejibaye como harina, frutos en salmuera y almíbar, llenando así los requerimientos nutricionales de algunos sectores de la población (IMANI, 1999). Sin embargo, presenta la desventaja de que es un fruto perecedero, por lo tanto es necesario buscar nuevas posibilidades que permitan prolongar su vida útil, como son la conservación en salmueras o secado de la masa molida, para ser utilizada posteriormente (Zapata, 1978). Además, se obtiene una mayor conservación del producto desgranado encerado cuando éste se almacena con su bráctea floral, ya que la carencia de esta lo hace susceptible a ataques microbianos y mayores pérdidas de peso (Naranjo & Franco, 1989).

En estudios realizados por Ugalde (2002) se comparó el almacenamiento del fruto a temperatura ambiente contra frutos almacenados en refrigeración (5 °C) y se encontró que el fruto almacenado a 5 °C conserva por más tiempo el color y el olor fresco. El almacenamiento en refrigeración reduce la respiración y otras actividades metabólicas, como las que producen degradación de los carotenoides y el desarrollo de aromas anormales, permitiendo un aumento en la vida útil. Por el contrario, el producto almacenado a temperatura ambiente fue más susceptible al daño causado por los hongos y en tres días se visualizó la aparición de pequeñas manchas blancas. Por lo tanto, si se requiere almacenar la materia prima a utilizar para la elaboración de harina se recomienda que sea refrigerada para que el producto final tenga mejores características.

Algunos estudios han demostrado que el tiempo óptimo de escaldado para la desactivación de la peroxidasa es de 20 min, con una temperatura del agua en ebullición de 105 °C, a la cual la reacción de peroxidasa es negativa y así se evitan problemas futuros en el almacenamiento en relación con la rancidez de la harina (Gallardo & Sierra, 1980)

El pejibaye entero, cocido, congelado y almacenado por seis meses, al descongelarse a temperatura ambiente presenta un deterioro en la textura de la pulpa, por lo que se recomienda utilizarlo exclusivamente en las preparaciones que incorporen algún procesamiento del pejibaye (Blanco *et al.*, 1992).

Entre los productos secos que se han desarrollado con pejibaye se encuentra la harina de pejibaye, cuyo proceso de elaboración es simple y representa una buena alternativa para aumentar la vida útil. En el secado el pejibaye disminuye su contenido de

humedad, logrando así concentrar más sus nutrientes y prolongar su periodo de almacenamiento (Gallardo & Sierra, 1980).

La deshidratación reduce la actividad de agua, contribuyendo con la conservación y se disminuye el peso y el volumen, facilitando el transporte y el almacenamiento (Brennan & Cowell, 1998), el trabajo requerido es mínimo y los costos de distribución reducidos (Desrosier, 1995).

El procesamiento de alimentos tiene un rol importante en la preservación y biodisponibilidad de los compuestos bioactivos. La información acerca de los cambios que sufren estos compuestos durante el procesamiento es escasa, ya que la mayor parte del trabajo se ha realizado sobre los compuestos de manera individual, como las vitaminas (Puupponen-Pimiä *et al.*, 2005). En alimentos, la oxidación es una de los principales procesos de deterioro a considerar, ya que puede afectar la inocuidad, el color, el sabor y la textura del producto. El daño en las proteínas produce una modificación en las propiedades funcionales del alimento, siendo éste el principal interés de la aplicación tecnológica de los antioxidantes. Desde el punto de vista nutricional, la actividad de antioxidantes naturales tiene como objetivo proteger moléculas como lípidos, ADN y proteínas del cuerpo, las cuales son susceptibles al ataque oxidativo (Pérez-Mateos *et al.*, 2005).

Según Puupponen-Pimiä *et al.* (2005), para el caso de la espinaca, dentro de los denominados compuestos bioactivos, la fibra dietética no se ve afectada por tratamientos térmicos como el escaldado, pero sí las vitaminas y antioxidantes, los cuales son más sensibles al calor. Estos autores indican que ocurre un aumento de concentración de compuestos bioactivos como los carotenoides y esteroides después del proceso, presentando una disminución gradual durante el almacenamiento en refrigeración. La pérdida de vitamina C depende de la planta, alcanzando pérdidas de hasta 30% en el proceso de escaldado.

Rodríguez-Amaya (1997) explica el impacto que distintas operaciones de procesamiento de los alimentos pueden tener en el contenido y la calidad de los compuestos bioactivos. Este autor señala que procesos como microondas, escaldado, ebullición y salteado de los alimentos provocan pérdidas de compuestos provitamina A y que procesos como la fritura, la cocción prolongada, la combinación de diversos métodos

de preparación/procesamiento, el horneado y el encurtido dan como resultado pérdidas sustantivas de compuestos bioactivos.

Este mismo autor expone que la ebullición durante 30 min retuvo el 47 y 60% del β -caroteno inicial en lechuga y zanahorias, respectivamente, y que alimentos como la espinaca presentan un 100% de retención de este mismo compuesto. Otro aspecto importante a considerar es que el modo de realizar la cocción favorece la biodisponibilidad de los carotenoides al no ser sometidos los alimentos a condiciones extremas que provocan la pérdida de este tipo de componente, como intervalos prolongados entre la manipulación de la materia prima y la cocción, así como el tiempo prolongado del tratamiento térmico (Rodríguez-Amaya, 1997). El intervalo prolongado de manipulación podría provocar pérdida de los carotenoides por la oxidación que estos sufren al estar expuestos a la luz y al oxígeno del aire.

A partir de los resultados de las investigaciones en distintos productos de origen vegetal, se esperaría que el proceso de elaboración de la harina de pejibaye afecte el contenido, la actividad y biodisponibilidad de los compuestos bioactivos, principalmente por los niveles de enzimas endógenas, actividad del agua, presión del oxígeno y energía térmica aplicada (De-Sá & Rodríguez-Amaya, 2003).

2.4 Composición química de la fruta del pejibaye

El pejibaye es considerado como uno de los alimentos tropicales de mayor valor nutritivo, constituyéndose en un importante aporte vegetal a la dieta humana (Gallardo & Sierra, 1980). De acuerdo con Tracy (1985), el pejibaye es probablemente la fruta del trópico más balanceada y, dada la composición nutricional que presenta este fruto y su elevada aceptabilidad, podría ser usado en la prevención de algunas de las principales enfermedades de la población costarricense, como son las cardiovasculares y el cáncer. Además, los precursores de vitamina A que aporta el pejibaye son particularmente importantes debido a la deficiencia en la dieta de los países tropicales, que causa problemas en dientes, ojos y piel (Fernández *et al.*, 1990).

En vista de la cantidad de variedades de pejibaye, existe una gran variabilidad en la composición química de los frutos debido probablemente a su origen y tiempo de cosecha. Diversos estudios que se han llevado a cabo concuerdan en que los

componentes nutricionales más importantes de este fruto son las grasas, almidones, carotenoides, fibra y el aporte energético (Gómez *et al.*, 1998b; Yangüez, 1975). Varios autores son los que destacan la composición química tan particular del pejibaye, mostrándose en el **Cuadro 1** el detalle de su composición de acuerdo con estos autores.

Cuadro 1. Variación de la composición química del pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K) de diferentes procedencias geográficas.

Componente nutricional	Contenido
Humedad (%)	36,0 - 76,4
Proteína (%)	0,37 - 7,1
Grasa (%)	1,6 - 9,4
Carbohidratos (%)	34,5 – 83,4
Almidón (%)	64,9 – 82,1
Fibra cruda (%)	0,8 – 2,6
Fibra dietética (%)	12,2 -20,8
Cenizas (%)	3,2 – 4,4
Valor energético (Kcal/ 100 b.s.)	196 – 459

Fuente: Blanco *et al.* (1990); Baracaldo (1980); Morton (1987); Murillo y Kronenberg (1983); Sánchez (1981); Gallardo y Sierra (1980); Blaak (1976); Hammond y Wenchi (1982); Clement, 1995; Pérez *et al.* (2006).

2.4.1 Carbohidratos

Los carbohidratos están ampliamente distribuidos en la tierra y se presentan en mayor cantidad que otros componentes como la proteína y la grasa (Belitz & Grosch, 1997). Además, representan la mayor fuente de energía en la dieta, siendo indispensables para que el organismo pueda desarrollar sus actividades normales (Blanco *et al.*, 1992). En el pejibaye los carbohidratos son el principal componente (Gallardo & Sierra, 1980), cuya característica nutricional más importante es su alto porcentaje de fibra dietética, la cual contempla la lignina (Blanco *et al.*, 1992).

Según el **Cuadro 1**, el contenido de carbohidratos en el pejibaye varía de 34,5 a 83,4 g en 100 g de fruto, superando la cantidad de carbohidratos presente en otros frutos

y vegetales; además puede ser comparado con otras fuentes de energía como los cereales, granos y tubérculos (Fernández, 1988), siendo su aporte entre 196 y 459 Kcal / 100 g. Su contenido de fibra, componente bioactivo beneficioso para la salud, y de material estructural como los polisacáridos, que son de interés tecnológico para la industria alimentaria, puede ser considerable y, por tanto, es necesaria su cuantificación.

Los polisacáridos son carbohidratos que, de acuerdo con la estructura del polímero y, por tanto, con su función, se subdividen en: pectinas, celulosa y hemicelulosa (Buckeridge & Tiné, 2001). Los polisacáridos pueden ser de dos tipos: digeribles y no digeribles, y poseen gran importancia por cumplir funciones como:

- Materiales de estructura (celulosa, hemicelulosa y pectinas en plantas).
- Sustancias de reserva (almidón, dextrinas, fructanos, galactomananos y glucógeno).
- Agentes capaces de retener agua (agar, pectinas y alginatos) (Belitz & Grosch, 1997).

2.4.1.1 Polisacáridos digeribles

El almidón es un homopolisacárido de reserva y es la fuente más importante de energía de la alimentación humana. Las cadenas de almidón pueden ser sencillas o complejas con distinto espesor, tamaño (2-150 μm), distribución y forma. Estas cadenas están formadas por moléculas de amilosa (cadenas lineales) y amilopectina (cadenas ramificadas) (Belitz & Grosch, 1997).

El interés comercial del pejibaye se ha incrementado en los últimos años por su importante valor nutricional y en especial por su contenido de almidón, lo que ha dado lugar a investigaciones acerca de las propiedades funcionales del almidón y su correspondiente estructura química para realizar su aislamiento y evaluar alternativas de utilización (Jane *et al.*, 1992). La cantidad de almidón presente en el pejibaye puede variar de 64,9 a 82,1 g / 100 g b.s. (**Cuadro 1**), dependiendo de la variedad de pejibaye analizada (Blanco *et al.*, 1990).

En el estudio realizado por Jane *et al.* (1992) se reporta en el pejibaye un rendimiento de recuperación de almidón de 37%, con una estructura de gránulo diferente

para cada una de las variedades estudiadas; además, estos autores indican la facilidad de aislamiento del almidón, así como las propiedades que corresponden a la temperatura de gelatinización y cambios de entalpía. La temperatura de gelatinización del almidón de pejibaye es de 49 a 53 °C, menor que la temperatura de gelatinización del almidón de maíz (62-72 °C), trigo (57-64 °C) y papa (59-68 °C). Esto puede tener un gran impacto en la industria de alimentos al encontrar alternativas que podrían generar una disminución de los costos de producción al requerir un menor consumo energético, al ser más baja la temperatura de gelatinización del almidón de pejibaye.

Los amilogramas para el pejibaye proveniente de Sarapiquí, Limón, Guápiles, Parrita y Turrialba son muy distintos unos de otros, lo que se debe a los distintos contenidos de amilosa. Otra variable afectada por la variedad del pejibaye es la fuerza del gel; el almidón con menor fuerza corresponde a la variedad de pejibaye con almidón de bajo contenido de amilosa, siendo la variedad con mayor cantidad de amilosa, la que presenta un patrón de hinchamiento limitado (Jane *et al.*, 1992).

Según Carrera (1999), el contenido de amilosa en el almidón de pejibaye varía de 12,11 a 27,31%, con temperaturas de gelatinización entre 52,0 y 58,9 °C. Sin embargo, algunas variedades de pejibaye presentan longitudes de cadenas menores que participan en la formación de matrices cristalinas de amilopectina y, al ser más pequeñas, dan más libertad a la estructura para hincharse, lo que implica una menor temperatura de gelatinización, lo cual es un buen comportamiento para algunas aplicaciones en la industria alimentaria como embutidos (Jane *et al.*, 1992).

2.4.1.2 Polisacáridos no digeribles

En este grupo de polisacáridos no digeribles se encuentran los polisacáridos estructurales, los cuales conforman la pared celular en vegetales y frutas, con características específicas según su ubicación en la planta (Buckeridge & Tiné, 2001). Se utilizan en forma nativa o modificada en el procesado tecnológico de muchos alimentos como espesantes y gelificantes (almidón, alginatos y pectinas), estabilizantes de emulsiones y dispersiones, materiales de revestimiento para alimentos sensibles, así como material de relleno inerte para incrementar la proporción de fibra dietética (Belitz & Grosch, 1997).

En términos generales, la pared celular de los vegetales es una matriz compleja de polímeros de azúcares que suelen subdividirse según su diferente función en: pectinas, celulosa, hemicelulosa y proteínas (Buckeridge & Tiné, 2001).

Aunque las proporciones y la forma de organización de los compuestos en la pared suele variar en función del tipo de planta, e incluso del tejido del que se trate, generalmente se encuentra, a partir de la membrana celular, una pared primaria sostenida por una estructura de microfibrillas de celulosa, seguida de una laminilla media que une cada célula con la pared de la siguiente (**Figura 3**). En algunos casos y como capas posteriores se constituye una pared secundaria, característica de la “madera” (xilema), del esclerénquima, así como de las esclereidas que se presentan en algunos frutos (células modificadas presentes en peras y guayabas). La pared secundaria es particularmente lignificada (Vaillant, 2000).

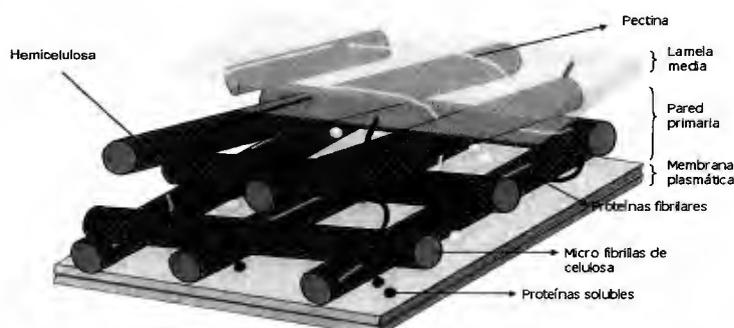


Figura 3. Estructura básica de la pared celular de frutas y vegetales.

Fuente: Nicholas y McCann, 2000

Dada la necesidad de rápido crecimiento de los frutos y flexibilidad de los tejidos, las paredes suelen ser del tipo primario (Vaillant, 2000). Aunque esto depende del tipo de tejido, al ser generalmente parénquimas de reserva, la existencia de lignificación es baja. Por otra parte, suele ser bastante importante la proporción de laminilla media (Vaillant, 2000). Los principales componentes de la pared se encuentran asociados a diferentes funciones y varían a lo largo de la maduración del fruto. A continuación se describen los polisacáridos estructurales presentes en los vegetales y las frutas.

Celulosa: es el componente principal de las paredes de las células vegetales, donde se encuentra asociada a hemicelulosa, pectina y lignina, y constituye la parte no digestible de los alimentos, denominada fibra cruda (Belitz & Grosch, 1997). Es un polímero fuertemente agregado de largas cadenas de unidades de glucosa, unidas por enlaces β 1- 4 glucosídicos. Estas largas cadenas lineales se encuentran unidas entre sí por enlaces de hidrógeno intramolecular, conformando microfibrillas. Su largo (basado en el tipo de unión β) y ancho (entre 4 y 30 nm) varían en función de la fuente del material vegetal. Cada microfibrilla cuenta con una subestructura con regiones más ordenadas (cristalinizadas) y otras más amorfas (menos polimerizadas). Las paredes primarias suelen tener menor grado de polimerización (Vaillant, 2000; Cosgrove, 1997; Ryugo, 1993). Esta estructura confiere a la celulosa propiedades importantes como gran resistencia física, estabilidad química y relativa resistencia a la hidrólisis enzimática (Cosgrove, 1997).

Hemicelulosa: es un grupo heterogéneo de glicanos no cristalinos que tienen poca sujeción en la pared. Aunque existen algunas moléculas lineales, lo más común es que se formen con gran cantidad de ramificaciones (Whistler & BeMiller, 1997), presentando enlaces covalentes con la lignina o enlaces de hidrógeno con la celulosa (Vaillant, 2000). La más común y estudiada de las hemicelulosas es el xiloglucano, una estructura ramificada cuya columna es un 1- 4 β -D-glucopiranosil con cadenas cortas que contienen xilosa y galactosa (Cosgrove, 1997).

Pectina: es un conjunto de sustancias cuya presencia se marca en la laminilla media y el resto del espacio intercelular, siendo muy importantes en la pared primaria de las frutas. Este polisacárido es el más soluble de la pared (Berk, 1980) y se conforma de un esqueleto común poligalacturónico de ácidos galacturónicos unidos por enlaces α 1- 4 (Vaillant, 2000). Su subestructura general puede ser esquematizada en regiones con características diferenciadas: una parte de “zonas lisas”, compuesta de homogalacturanos, y otras zonas “erizadas”, compuestas de ramnogalacturonanos, de donde se insertan diferentes tipos de ramificaciones. Estas ramificaciones distinguen los tipos de pectina, siendo las más comunes: los arabinanos, galactanos y arabinogalactanos (Pérez-Almeida & Carpita, 2006; Vaillant, 2000).

La lignina no es un polisacárido; sin embargo, es parte de los componentes de la pared celular y fibra dietética. Es un polímero tridimensional de fenoles de base

denominados monolignoles, los cuales se derivan de los ácidos *p*-cumárico, ferúlico y sinápico y pueden establecer diferentes tipos de enlaces entre sí, además de ligar otro tipo de moléculas, complejizando la estructura, siendo un compuesto característico de las paredes secundarias que confiere la mayor rigidez a los tejidos (Sarni-Manchado & Cheynier, 2006).

Las **proteínas estructurales** de la pared son bastante variadas y se vinculan a los fenómenos de transporte y biocatálisis. Se clasifican en función de su amino-ácido predominante y generalmente se encuentran glicosiladas, como por ejemplo las proteínas ricas en hidroxiprolina (HRGPs), las proteínas ricas en prolina (PRPs) o las proteínas ricas en glicina (GRPs) (Vaillant, 2000; Cosgrove, 1997). En la compleja red de polisacáridos y proteínas estructurales también es posible encontrar diversas proteínas solubles con actividad enzimática, además de ácidos fenólicos, taninos, ceras que, aunque poco importantes desde un punto de vista cuantitativo, pueden tener importantes efectos en los procesos tecnológicos (Vaillant, 2000). Tal como comentan Buckeridge y Tiné (2001), la pared celular se presenta como una especie de *super-polímero* de estructura cuaternaria con características dinámicas.

Todos estos polisacáridos y la lignina son parte de la denominada fibra dietética, componente que representa en el pejibaye entre un 12,2 y 20,8% de su masa seca de acuerdo con la variedad (Blanco & Muñoz, 1992). La fibra dietética consiste en remanentes de polisacáridos celulares, lignina y sustancias resistentes a la hidrólisis enzimática en el proceso de digestión humano y, por lo tanto, no le provee energía al cuerpo (Gallardo & Sierra, 1980).

Existen dos tipos de fibra dietética: soluble e insoluble. La fibra soluble se disuelve en agua y pasa por el aparato digestivo más despacio que la fibra insoluble. La fibra soluble, junto con una dieta baja en grasa, puede ayudar a bajar el nivel de colesterol en la sangre de algunas personas. También es posible que mantenga en equilibrio el nivel de la glucosa. Además, es un excelente laxante natural, ya que provee volumen y absorbe agua, haciendo que las heces sean suaves y fáciles de eliminar (Spoon, 2007).

La fibra insoluble consiste principalmente de compuestos que forman la estructura de las células de las plantas y de las capas de salvado de los granos y cereales. La fibra insoluble no se disuelve en agua, proporciona volumen y pasa por el aparato digestivo

rápidamente. Estimula el movimiento de los músculos del intestino, lo cual ayuda a mantener la regularidad. La fibra insoluble se encuentra principalmente en el pan y en los cereales hechos con grano integral, en la cáscara comestible de algunas frutas como la manzana y la pera, en las raíces y en los vegetales de hoja (Spoon, 2007).

En el estudio realizado por Carrera (1999) se determinó, en varios tipos de pejibaye agrupados por su color, presencia o ausencia de cicatrices, un contenido de fibra de 0,03 a 1,78% b.h. para pejibaye rojo y verde, respectivamente, con el mismo comportamiento para el contenido de almidón.

Los alimentos ricos en fibra dietética incluyen las frutas, los vegetales, las legumbres, los frijoles, las nueces y guisantes. Se puede obtener una gran cantidad de fibra dietética de frutas como la manzana, la naranja y el pejibaye (Blanco & Muñoz, 1992), de legumbres como el brócoli, la zanahoria y el maíz, de leguminosas como el frijol y las lentejas, de nueces como el cacahuate y la almendra, y de productos hechos de grano entero como el pan, cereal y arroz integral, encontrándose la mayoría en la cáscara (Spoon, 2007).

2.4.2 Grasa

Los ácidos grasos monoinsaturados son los que se encuentran en mayor proporción en el fruto de pejibaye, con ámbitos que oscilan de 53,6 a 70,2% sobre el contenido total de materia grasa, valor dado principalmente por el ácido oléico (41,0 a 62,0%) y ácido palmitoleico (29,6%). Los ácidos anteriores son los mayoritarios en los frutos del pejibaye, seguidos por el ácido linoleico (12,5%), ácido linolénico (1,8%) y el ácido esteárico (trazas) (Badui, 1981).

Con respecto a los ácidos grasos saturados, se ha informado que su perfil se determina por contenidos de 18,3 hasta 46,3%, siendo el ácido palmítico el que se encuentra en mayor cantidad (17,9 a 44,8%). Los ácidos grasos poliinsaturados son los que se encuentran en menor cantidad, con valores que oscilan entre 1,3 a 14,3%, dado este valor principalmente por el ácido linolénico (1,3 a 12,5%). El contenido de ácidos grasos en el pejibaye disminuye al aplicar el tratamiento térmico para su cocción, el cual es un proceso que afecta el valor nutritivo del pejibaye (Fernández *et al.*, 1995; Clement, 1995).

La cantidad de aceite presente en el pejibaye puede apreciarse fácilmente al hervirlo, cuando queda flotando parte de ésta sobre el agua, ya que su punto de fusión es cercano a los 40 °C; además, presenta un excelente sabor y un color amarillo rojizo oscuro debido al alto contenido de carotenoides (Zapata, 1978).

Como se puede observar en el **Cuadro 2**, el análisis del extracto etéreo realizado por Murillo (1990) indica que el contenido y composición de la grasa contenida en la semilla es diferente al de la pulpa, la cual posee un mayor porcentaje de ácidos grasos saturados.

Cuadro 2. Contenido de ácidos grasos en la pulpa y semilla de pejibaye (por 100 g de ácidos grasos) (Murillo, 1990).

Ácidos grasos	Pulpa (%)	Semilla (%)
Caprílico	-	0,5
Cáprico	-	0,6
Láurico	-	33,3
Mirístico	-	28,4
Palmítico	29,6	10,4
Esteárico	Trazas	3,1
Araquidónico	-	-
Total de ácidos grasos saturados (S)	29,6	76,3
Palmitoleico	5,3	-
Oleico	50,3	18,2
Linoleico	12,5	5,1
Linolénico	1,8	-
Total de ácidos grasos insaturados (P)	69,9	23,3

Según Fernández (1988), la importancia nutricional de la composición de los ácidos grasos se fundamenta en el contenido de ácidos grasos monoinsaturados y la relación Poliinsaturados / Saturados (P/S), ya que una relación mayor que 1 indica un menor riesgo de enfermedades cardiovasculares. Un índice entre 1,0 y 2,2 y un alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados son factores importantes presentes en el pejibaye que podrían ser beneficiosos para reducir las enfermedades cardiovasculares, con la ventaja

de que, por ser el pejibaye un alimento de origen vegetal, no contiene colesterol (Blanco *et al.*, 1992).

La relación P/S para la pulpa de pejibaye, según los datos reportados en el **Cuadro 2**, es de 2,4, sin embargo, esta relación depende de la variedad de la palma de pejibaye, pues su contenido total de grasa y su composición puede variar tanto en la pulpa como en la semilla del fruto (Fernández, 1988).

2.4.3 Proteína

Las proteínas desempeñan un papel muy importante en las funciones biológicas del organismo humano, entre las que se cuentan principalmente la regeneración y formación de tejidos, la síntesis de enzimas, anticuerpos y hormonas, por la presencia de nitrógeno (Badui, 1981). El valor nutritivo de las proteínas depende de su digestibilidad, que depende a su vez de la composición de aminoácidos; estos, a su vez, determinan el valor biológico, es decir, el mayor aprovechamiento fisiológico de una proteína por el organismo (Matissek *et al.*, 1998). Como consecuencia del reconocimiento de la importancia de los aminoácidos esenciales, ha surgido la necesidad de analizar las proteínas y evaluar su contenido en los aminoácidos indispensables, siendo algunas proteínas de mayor calidad que otras (Zapata, 1978).

El contenido total de proteína del pejibaye llama la atención, ya que, al tratarse de una fruta, su aporte es considerado importante. El tenor de aminoácidos indispensables la convierte en una proteína excelente para el humano. Unos ocho aminoácidos son esenciales para la nutrición del hombre, debido a que el cuerpo humano es incapaz de sintetizarlos partiendo de otras materias; así pues, el valor nutritivo de las proteínas depende, hasta cierto punto, de la presencia en cantidad suficiente de estos aminoácidos que son: lisina, fenilalanina, treonina, valina, metionina, leucina e isoleucina y triptófano (Matissek *et al.*, 1998).

El contenido de aminoácidos del pejibaye se detalla en el **Cuadro 3**, según lo reportado por Yuyama *et al.* (2003). La presencia de estos aminoácidos hace de la proteína del pejibaye un producto valioso desde el punto de vista nutricional (Fernández *et al.*, 1990; Baracaldo, 1980; Zapata, 1978).

Cuadro 3. Composición de aminoácidos de la proteína del mesocarpio del pejibaye (*Bactris gasipaes*) comparado con los valores diarios recomendados por FAO y OMS.

Aminoácido		Ingesta diaria recomendada (%g N) ¹	Contenido del pejibaye (% g N)
Esenciales	Leucina	7,0	3,6
	Fenilalanina	6,0	2,0
	Lisina	5,5	4,3
	Valina	5,0	3,1
	Isoleucina	4,0	2,3
	Treonina	4,0	3,0
	Metionina	3,5	1,5
	Triptófano	1,0	0,9
No esenciales	Prolina		2,8
	Ácido aspártico		4,8
	Serina		3,7
	Ácido glutámico		5,5
	Glicina		4,3
	Alanina		3,9

Fuente: Yuyama *et al.* (2003).

1: Ingesta diaria recomendada por FAO / OMS (2008)

Según Delgado *et al.* (1988), mencionado por Yuyama *et al.* (2003), la proteína del pejibaye tiene un valor biológico bajo, con la metionina y lisina como los aminoácidos azufrados más limitados; esto es común en productos de origen vegetal. En el **cuadro 3** se observa que la metionina presenta el segundo menor contenido; sin embargo, por ser el pejibaye una fruta, su aporte de proteína es importante para la dieta diaria del humano, ya que representa una fuente de los ocho aminoácidos esenciales, lo que incluye los aminoácidos azufrados.

2.4.4 Minerales

Con respecto al contenido de minerales, Fernández (1988) reporta que el pejibaye se destaca por su contenido de fósforo que se encuentra en cantidades relativamente altas. Según este autor, en mayor proporción se encuentra el potasio, el cual corresponde a la tercera parte de la ceniza presente en el pejibaye, seguido del magnesio, calcio, sodio, hierro y zinc. Los resultados de Yuyama *et al.* (2003), mostrados en el **Cuadro 4**, indican que el potasio, cromo y selenio serían los principales minerales componentes del pejibaye; la presencia de selenio, el único mineral con capacidad antioxidante, refuerza el valor nutricional del pejibaye.

Cuadro 4. Contenido de minerales presentes en 100 g de fruta de pejibaye cocinada

Mineral	Contenido
Calcio (mg)	10,2 – 24,7
Potasio (mg)	206,4 – 289,3
Sodio (mg)	0,2 – 12,6
Magnesio (mg)	16,9 - 17,6
Manganeso (µg)	82,6 – 115,1
Zinc (µg)	258,5 – 278,3
Selenio (µg)	3,3 – 11,4
Hierro (µg)	565,6 – 739,3
Cromo (µg)	8,2 – 13,9

Fuente: Yuyama *et al.*, (2003).

A pesar de que el contenido de minerales esenciales presente en el pejibaye es bajo respecto a las necesidades, según lo definido por FAO/OMS (2008), se puede considerar como una alternativa importante para complementar la dieta.

2.4.5 Factores antinutricionales (FAN) presentes en el pejibaye

Los factores antinutricionales son sustancias no fibrosas que al ser ingeridas pueden interferir con la utilización de los nutrientes, afectando el crecimiento y la salud.

Estas sustancias pueden inhibir enzimas digestivas, dañar la mucosa intestinal o modificar los nutrientes de tal manera que se impide su absorción (Hammond & Wenchi, 1982).

Entre los factores antinutricionales se encuentran las lectinas, los inhibidores de tripsina y quimiotripsina, polifenoles, saponinas, inhibidores de amilasa y el ácido oxálico. Los **FAN** están ampliamente distribuidos en los alimentos de origen vegetal como lentejas, frijoles, sorgo, soya y pejibaye (Blanco, 1992).

Las lectinas son proteínas o glucoproteínas de origen no inmunológico formadas por más de una subunidad proteica, que se caracteriza por ligar carbohidratos o glucoconjugados con alta especificidad, uniéndose de manera reversible sin alterar su estructura covalente. Lo anterior se evidencia por su capacidad de aglutinar eritrocitos. Su efecto primario como factor antinutricional se relaciona con el hecho de que se unen a la mucosa de la pared intestinal alterando la capacidad de absorber nutrientes. Las lectinas han sido asociadas con efectos tóxicos y en la disminución de la tasa de crecimiento observada al alimentar animales de laboratorio con plantas o semillas comestibles que contienen lectina cruda. Este efecto es eliminado generalmente por medio de un tratamiento térmico adecuado; sin embargo, en la práctica no siempre se alcanza la destrucción completa del efecto tóxico de la lectina (Gómez *et al.*, 1998a).

Los inhibidores de tripsina son polipéptidos o proteínas capaces de inhibir la acción catalítica de esta enzima. Se ha detectado su presencia en las células de casi todas las formas de vida, principalmente como componentes del citoplasma, secreciones y fluidos intercelulares de muchos órganos y tejidos. En el caso del pejibaye, no puede ser comido crudo debido a la presencia de un componente que quema la boca y un inhibidor de enzimas proteicas que bloquea el proceso de digestión al inhibir la tripsina (Blanco, 1992).

Por ello, es importante eliminar la presencia de los factores antinutricionales en el pejibaye. Se ha evidenciado que estos factores producen efectos adversos en los animales alimentados con harina de pejibaye cruda, presentándose una menor ganancia de peso, disminución de la digestión y la absorción de nutrientes, además de darse una conversión alimenticia menos eficiente entre los animales que ingirieron extracto de pejibaye entero crudo; esta tendencia fue más marcada en el grupo que consumió el extracto con cáscara (Hammond & Wenchi, 1982). Este efecto se elimina al someter el

fruto de pejibaye a altas temperaturas por tiempos prolongados, a pesar de que este proceso también disminuye el contenido de nutrientes (Porrás, 1998; Murillo *et al.*, 1991).

Al evaluar la actividad de la tripsina en presencia de diferentes extractos de pejibaye, Gómez *et al.* (1998b) demostraron una inhibición de más del 50% con el extracto de cáscara de pejibaye, así como del 5,8 y 6,7% con los extractos de pejibaye entero crudo y semilla, respectivamente. Por el contrario, con los extractos de pejibaye entero cocido y de pulpa, se evidencia una estimulación de la actividad proteolítica de la tripsina, presentando un aumento del 38% con el extracto de pejibaye cocinado y de un 36% con el extracto de pulpa. Esto sugiere que el inhibidor de tripsina se encuentra principalmente en la cáscara del fruto y que se destruye con el calor.

Dada la presencia de estos inhibidores, es de vital importancia establecer un método que permita inactivar todo compuesto antinutricional presente en el fruto del pejibaye. Alfaro (1988) establece que el calor seco no inactiva el inhibidor de tripsina, por el contrario, la inmersión en agua en ebullición por 15 min o la cocción a 115 °C por 5 min son operaciones que se pueden utilizar para eliminar este problema (Ugalde, 2002), siendo equivalente también el tratamiento en húmedo a 96 °C por 30 min.

Como conclusión, las ventajas nutricionales del pejibaye pueden resumirse en los siguientes puntos (Blanco *et al.*, 1992):

1. Fuente rica de energía.
2. Alto contenido en precursores de vitamina A.
3. Fuente de fibra dietética.
4. Rico en vitamina C.
5. Fuente de ácidos grasos mono insaturados.
6. Rico en potasio.
7. Rico en carbohidratos complejos, pobre en azúcares.
8. Forma parte de los hábitos alimenticios de muchas áreas desde Honduras hasta Bolivia.

2.5 Compuestos bioactivos beneficiosos para la salud y su capacidad antioxidante

El término “alimentos funcionales” apareció en Japón hace más de 20 años para definir no solo el valor nutricional, sino los beneficios potenciales de estos productos en la salud. Este tipo de alimentos son similares en apariencia a los alimentos convencionales y se consumen como parte de la dieta usual. Por otro lado, los nutracéuticos son productos producidos a partir de alimentos pero vendidos bajo la presentación de cápsulas, tabletas, polvos o soluciones (Vallejo *et al.*, 2003). A estos productos también se les llama alimentos fortificados o enriquecidos con concentraciones elevadas de fitonutrientes con un efecto beneficioso en el cuerpo más allá de una adecuada nutrición. Estos compuestos pueden ser añadidos o propios de su composición, como lo son los antioxidantes (carotenoides, polifenoles), ácidos grasos omega 3, vitaminas (C, E, A), minerales, fibra y prebióticos (Pérez-Mateos *et al.*, 2005; Puupponen-Pimiä *et al.*, 2005; Vallejo *et al.*, 2003).

Las frutas y las hortalizas se han ganado el estatus de “alimentos funcionales” capaces de promover la buena salud y prevenir o aliviar enfermedades. Este tipo de alimentos puede brindar una óptima mezcla de fitoquímicos tales como antioxidantes naturales y fibras entre otros compuestos biológicos (Kaur & Kapoor, 2001).

2.5.1 Actividad antioxidante de las frutas

Las tendencias mundiales de la alimentación de los últimos años indican un interés acentuado de los consumidores hacia ciertos alimentos que, además del valor nutritivo, aporten beneficios a las funciones fisiológicas del organismo humano (Alvidrez *et al.*, 2002). Estas variaciones en los patrones de alimentación han generado una nueva área de desarrollo en la ciencia de los alimentos para caracterizar propiedades en los alimentos, como la capacidad antioxidante.

Distintos ensayos clínicos han demostrado una correlación inversa entre la ingesta de frutas y vegetales y la incidencia de enfermedades como inflamación, enfermedades cardiovasculares, cáncer y desórdenes del envejecimiento. Una dieta rica en antioxidantes como polifenoles, vitamina E, vitamina C y carotenoides es efectiva en la prevención del estrés oxidativo asociado a estas enfermedades. Por ello, en los últimos años se ha dado un incremento del interés por parte de los investigadores en conocer la

capacidad antioxidante de los compuestos presentes en los alimentos (Huang *et al.*, 2005; Cheng *et al.*, 2006).

Las células y tejidos del cuerpo son continuamente amenazados por el daño causado por radicales de oxígeno y especies reactivas de oxígeno, las cuales se originan tanto del metabolismo normal del oxígeno como por agentes exógenos al organismo. A esta condición se suman los factores ambientales tales como polución, radiación, fumado de cigarrillos, herbicidas, etc., que pueden también generar radicales libres, que en exceso, causan serios daños celulares y genéticos (Cheng *et al.*, 2006).

Los antioxidantes son componentes tales como vitaminas, minerales (selenio), pigmentos naturales y otros compuestos vegetales y enzimas que tienen la capacidad de retardar o prevenir la oxidación de las moléculas orgánicas al disminuir las reacciones químicas que involucran oxígeno, o sea, son capaces de neutralizar la acción oxidante de moléculas inestables o radicales libres (Alpízar, 2002). El sistema de defensa antioxidante del organismo es complejo y comprende muchos antioxidantes enzimáticos (catalasa, superperóxido dismutasa y glutatión peroxidasa) y no enzimáticos (glutatión, urato, ubiquinol, proteínas plasmáticas, entre otros compuestos) y puede darse un efecto sinérgico con compuestos de distinta actividad antioxidante (Stahl & Sies, 2005).

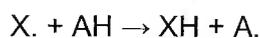
Cuando la producción de radicales libres en el cuerpo supera la capacidad de las “barreras de defensa antioxidante” se produce lo que se conoce como “estrés oxidativo”, por lo que se induce la liberación de enzimas como respuesta protectora del organismo, causando, sin embargo, daño celular. Bajo esta situación, las especies reactivas del oxígeno y radicales libres, permanecen activos atacando lípidos de las membranas celulares, proteínas nucleares, membranas celulares, enzimas y material genético (ADN y ARN), jugando un papel en la patología de numerosas enfermedades crónicas (Cheng *et al.*, 2006).

La acción de los nutrientes con propiedades antioxidantes se debe a su estado reducido, por tanto, a su capacidad para donar electrones a los radicales libres como peróxidos, que son compuestos oxidativos, neutralizando así su efecto (Blakhina *et al.*, 2003); esto permite estabilizar el sistema de dobles enlaces conjugados presentes en las moléculas de los compuestos antioxidantes, como es el caso de los carotenoides (Stahl & Sies, 2005).

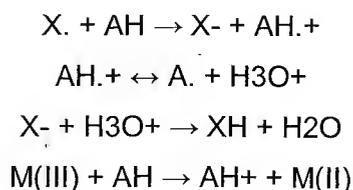
En el campo de la tecnología de alimentos, el control de los radicales libres es importante en el proceso de oxidación o desarrollo de la rancidez. La peroxidación lipídica lleva a la aparición de compuestos químicos que provocan aromas y sabores desagradables (Suja *et al.*, 2004). El organismo es incapaz de neutralizar estos radicales, esto fomenta el consumo de antioxidantes exógenos o de alimentos con la capacidad de contrarrestarlos (Cheng *et al.*, 2006).

Los antioxidantes pueden desactivar radicales libres básicamente por medio de dos mecanismos de acción: neutralización de radicales libres por transferencia de átomos de hidrógeno (HAT) y por transferencia simple de electrones (SET) para reducir algún compuesto, incluyendo metales, carbonilos y radicales, siendo la energía de disociación del enlace (BDE) y el potencial de ionización (IP) los factores más importantes para determinar los mecanismos y la eficacia de los antioxidantes (Prior *et al.*, 2005). Estos mecanismos pueden ocurrir en forma paralela, aunque el mecanismo dominante en un sistema dado estará determinado por la estructura y propiedades del antioxidante, solubilidad, coeficiente de partición y el sistema solvente (Cheng *et al.*, 2006).

Los métodos basados en transferencia de átomos de hidrógeno miden la habilidad de un antioxidante de atrapar radicales libres por donación de hidrógeno, donde AH = cualquier donador de hidrógeno y X cualquier radical libre (Prior *et al.*, 2005):



Mientras que los métodos basados en la transferencia de electrones, miden la habilidad de un antioxidante potencial para transferir un electrón para reducir cualquier compuesto, incluyendo metales, carbonilos y radicales:



Para determinar la actividad antioxidante en los alimentos, se han desarrollado varias metodologías basadas en la neutralización de un radical libre producida por los antioxidantes contenidos en el alimento; esta degradación se correlaciona proporcionalmente con una disminución de la absorbancia luego de un periodo de incubación (Suja *et al.*, 2004). Uno de estos compuestos es el DPPH (2,2-difenil – picril – hidracilo), ampliamente utilizado debido a la estabilidad del reactivo, la simplicidad del sistema de reacciones que se da entre el radical y el antioxidante, además que no hay interferencias de enzimas y no es afectado por múltiples radicales (Suja *et al.*, 2004).

Este compuesto puede utilizarse para determinar el poder antioxidante en jugos, tanto en sustancias lipofílicas como hidrofílicas, dependiendo del solvente orgánico utilizado para la extracción (Suja *et al.*, 2004). La capacidad antioxidante se reporta como el valor IC₅₀, el cual corresponde a los microlitros de jugo necesarios para producir una disminución de intensidad de absorción del control de 50% (Suja *et al.*, 2004).

Otro método actualmente muy utilizado es el *Oxygen Radical Antioxidant Capacity* (ORAC), el cual es un método de espectrofotometría de fluorescencia, siguiendo la cinética de reacción. Este método consiste en el ataque de la fluoresceína por un radical libre, lo que causa una disminución en la fluorescencia de dicha disolución. La muestra con poder antioxidante contrarresta el ataque del radical libre, protegiendo así la disolución de fluoresceína (Prior *et al.*, 2005; Wu *et al.*, 2004a; Huang *et al.*, 2002). Este método utiliza una disolución de Trolox como solución patrón de antioxidante, por ser un análogo soluble en agua de la vitamina E, y como fuente de radicales libres se utiliza una sustancia con doble enlace de nitrógeno llamada 2,2 – azobis (aminidinopropano) dihidrocloruro (AAPH) (Huang *et al.*, 2002).

Una alternativa de técnica de análisis ha sido la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), que permite analizar retinoides, carotenoides y tocoferoles en distintas matrices, cuantificando la cantidad de los mismos en su estado natural y separándolos de sus formas oxidadas (Alpízar, 2002).

2.5.2 Carotenoides

Desde hace mucho tiempo, diferentes estudios epidemiológicos han sugerido que el consumo de vegetales y frutas que contienen pigmentos como los carotenoides tiene

efectos preventivos en el desarrollo de algunos tipos de cáncer. Algunos carotenoides son convertidos en vitamina A dentro del organismo y su presencia se ha relacionado con un aumento de la respuesta del sistema inmune y con un alto potencial antitumoral, siendo asociados con una disminución del riesgo de enfermedades degenerativas tales como cáncer, enfermedad cardiovascular, degeneración macular relacionada con la edad y formación de cataratas (Feltl *et al.*, 2005; Rodríguez-Amaya, 1997). Estos efectos biológicos son independientes de la actividad de provitamina A y se han atribuido a una propiedad antioxidante de los carotenoides a través de la desactivación o captura de los radicales libres de oxígeno (átomos o grupos de átomos que poseen un electrón no compartido) (Rodríguez-Amaya, 1997).

Se ha observado que pacientes con diferentes tipos de cáncer, incluyendo el cáncer de hígado, tienen niveles de carotenoides y vitamina A inferiores a los encontrados en individuos normales. Es por ello que se ha sugerido que la deficiencia de compuestos derivados de estas moléculas podría ser la causa del crecimiento anormal en ciertos órganos como el hígado, principalmente por el efecto que estos compuestos poseen sobre los procesos de diferenciación y proliferación celular (Feltl *et al.*, 2005). Esto se debe a su capacidad de neutralizar especies reactivas de oxígeno gracias a su actividad antioxidante, disminuyendo el daño en moléculas de ADN, reduciendo las mutaciones genéticas y mejorando las funciones inmunológicas; todas estas reacciones pueden ayudar a proteger de riesgos cancerígenos (Zhang *et al.*, 1999). La capacidad de los carotenoides para capturar radicales libres se relaciona con el sistema de dobles enlaces conjugados y los que tienen nueve o más enlaces dobles otorgan la máxima protección (Rodríguez-Amaya, 2007).

Los carotenoides son tetraterpenoides sintetizados por las plantas y otros organismos fotosintéticos y no fotosintéticos como bacterias, levaduras y hongos, los cuales constituyen un grupo de compuestos diferentes estructuralmente que, de acuerdo con su composición química, se categorizan en carotenos y xantófilas. Muchos de los carotenoides están compuestos por una cadena central de carbono en que se alternan simples y dobles enlaces que le dan la estabilidad a la estructura, los cuales pueden variar en número y configuración *cis* o *trans* y diferentes grupos cíclicos o no cíclicos al final (**Figura 4**) (Badui, 1981).

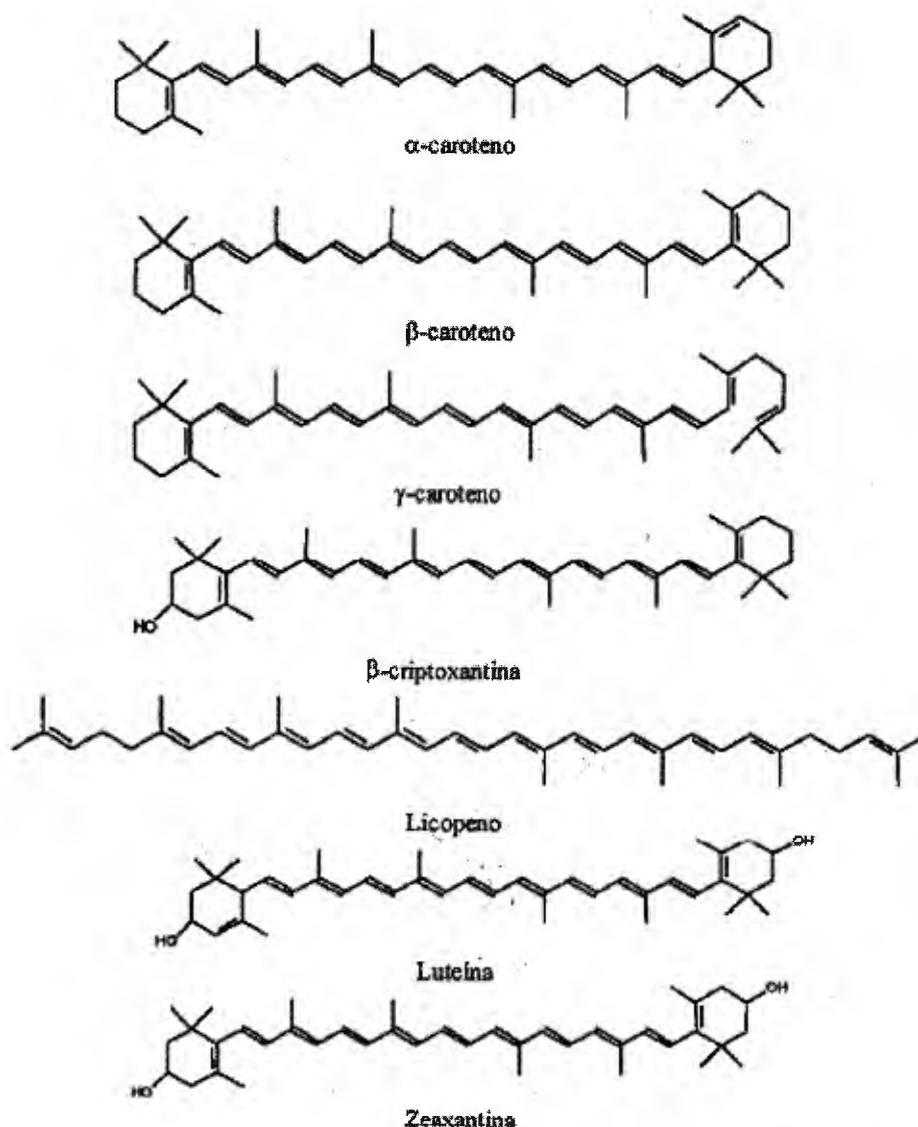


Figura 4. Estructuras generales de los carotenoides.

El β -caroteno, α -caroteno y licopeno son miembros del grupo de carotenos y son los tres isómeros fundamentales, los cuales incluyen compuestos que presentan solo átomos de carbono e hidrógenos, son compuestos liposolubles de color amarillo, naranja y rojo. Las xantofilas tienen al menos un átomo de oxígeno (Stahl & Sies, 2005; Leffingwell, 2002). La configuración *trans* es más estable termodinámicamente y predominante en la naturaleza sobre la *cis*, la cual se presenta mucho en la sangre y los tejidos. Su función

bioquímica está determinada por la extensión del sistema en la conjugación de los dobles enlaces, los cuales también son responsables del color (Britton, 1995a).

La cadena de dobles enlaces también es responsable de la capacidad de los carotenoides de absorber luz en la región visible y, en consecuencia de su gran capacidad de coloración. Se requieren al menos siete enlaces dobles conjugados para que un carotenoide produzca color como en el γ -caroteno, el cual es amarillo suave. El fitoflueno con cinco de tales enlaces es incoloro. El color se acentúa a medida que se extiende el sistema conjugado, esto genera la coloración roja del licopeno con 11 dobles enlaces conjugados. La ciclación causa algún impedimento, por tanto, el β -caroteno y el γ -caroteno son de color naranja y rojo-naranja, respectivamente, aunque tienen el mismo número de enlaces dobles conjugados que el licopeno. La intensidad y el matiz de los colores en los alimentos dependen de cuáles carotenoides están presentes, sus concentraciones y estado físico (Rodríguez-Amaya, 1997).

Irónicamente, la cadena de dobles enlaces es la causa de la inestabilidad de los carotenoides incluyendo su susceptibilidad a la oxidación e isomerización geométrica. El calor, la luz y los ácidos promueven la isomerización de los carotenoides *trans* -su configuración habitual en la naturaleza- a la forma *cis*. La oxidación, la causa principal de las pérdidas de carotenoides, depende del oxígeno disponible, los carotenoides involucrados y su condición física. La luz, calor, metales, enzimas y peróxidos estimulan la oxidación, la cual es inhibida por los antioxidantes tales como tocoferoles (vitamina E) y ácido ascórbico (vitamina C), presentes también en el mismo alimento (Rodríguez-Amaya, 1997).

Los carotenoides pueden ser precursores o no de la vitamina A, siendo el mayor precursor el β -caroteno y también el α -caroteno, los que previenen la deficiencia de vitamina A. Su contribución a este factor depende del consumo de otros alimentos y de la disponibilidad de los carotenoides en las frutas y vegetales. Sin embargo, debe relacionarse la equivalencia y evaluar la porción de carotenoides ingeridos que son absorbidos y transformados a retinol (Stahl & Sies, 2005; Leffingwell, 2002). Este porcentaje de absorción puede oscilar entre 40 – 60%, siendo afectado por la concentración y el origen de la grasa de la dieta, la cantidad de carotenoides y digestibilidad de los alimentos. Otro aporte de los carotenoides es su función en el ensamble intracelular necesario para coordinar las funciones bioquímicas en organismos

multicelulares, además participan en la destoxificación de carcinógenos (Stahl & Sies, 2005; Leffingwell, 2002).

Un anillo β no sustituido con una cadena poliénica de 11 carbonos es el requerimiento mínimo para la actividad de la vitamina A. Por lo tanto, no son provitamina A ni el fitoflueno ni el licopeno, los cuales carecen de anillos β ; tampoco la zeaxantina, luteína, violaxantina y astaxantina, en los cuales ambos anillos β tienen sustituyentes hidroxí, epoxi o ceto. Sin embargo, el γ -caroteno, α -caroteno, β -criptoxantina y α -criptoxantina, los cuales tienen un anillo β no sustituido, tienen actividad de vitamina A y poseen aproximadamente la mitad de la bioactividad del β -caroteno. No obstante su menor biopotencia en comparación con el β -caroteno, la β -criptoxantina también merece atención dado que es el principal carotenoide de muchas frutas como duraznos, nectarinas, papayas, naranja, y tomate de árbol (Rodríguez-Amaya, 1997). Esta condición limita su función como provitamina A, pero no su capacidad antioxidante.

La dieta proporciona la vitamina A en forma de vitamina A preformada (retinil éster, retinol, retinal, 3-dehidroretinol y ácido retinoico) a partir de alimentos de origen animal como por ejemplo hígado, leche y productos lácteos, pescado y carne, o como carotenoides que se pueden transformar biológicamente a vitamina A (provitaminas A), generalmente a partir de alimentos de origen vegetal. También la provitamina A tiene la ventaja de convertirse a vitamina A sólo cuando el cuerpo lo requiere, evitando así, la toxicidad potencial de una sobredosis de vitamina A (Rodríguez-Amaya, 1997).

La fuente más importante de los carotenoides son las plantas, donde el color brillante de los carotenoides está enmascarado por la clorofila, la cual decrece conforme madura la planta dejando expuestos los carotenoides, dando color a las frutas, flores, animales marinos y pájaros. En la mayoría de las frutas carotenogénicas, la maduración está acompañada de un aumento de la biosíntesis de carotenoides, la cual aumenta considerablemente los niveles de los carotenoides, incluyendo las provitaminas A. Sin embargo, las frutas donde el color en la etapa de maduración se debe a las antocianinas, como por ejemplo cerezas amarillas, grosella roja, aceituna y fresa, y en frutas que retienen el color verde, como por ejemplo kiwi, el contenido de carotenoides disminuye durante la maduración. La misma tendencia se observa con algunas frutas como por ejemplo el banano, las cuales se tornan amarillentas debido a que la degradación de la clorofila desenmascara los carotenoides (Rodríguez-Amaya, 1997).

En la mayoría de las frutas y vegetales frutales que contienen carotenoides, la maduración se ve acompañada por un aumento de la biosíntesis de carotenoides como por ejemplo en el mango, la naranja, el melón, la papaya, la mandarina y el tomate. A medida que la clorofila se descompone y los cloroplastos se convierten en cromoplastos, el patrón de carotenoides de los cloroplastos se transforma en una composición compleja y los carotenoides aumentan en forma significativa, especialmente los pigmentos principales. La carotenogénesis puede continuar después de la cosecha en frutas, vegetales frutales y cultivos de raíces intactos. Sin embargo, en hojas y algunos otros vegetales prevalece la degradación durante el almacenamiento post-cosecha, especialmente a temperaturas elevadas y bajo condiciones favorables a la marchitez (Rodríguez-Amaya, 1997).

El pejibaye presenta un elevado contenido de precursores de vitamina A, reportándose valores de carotenos que oscilan entre 6,3 a 34,0 $\mu\text{g/g}$ b.h. para la pulpa del pejibaye cocinado; este contenido corresponde a la cuantificación total del α -caroteno, β -caroteno y γ -caroteno (Rodríguez-Amaya, 1996). El color anaranjado de la pulpa se relaciona directamente con la cantidad de carotenos y es tan alto su contenido en este fruto que se ha recomendado como fuente industrial de esta sustancia (Ugalde, 2002).

El hecho significativo de que el pejibaye representa una rica fuente de carotenoides y que la deficiencia dietética de esta vitamina ha persistido durante décadas en la población costarricense, motiva a evaluar en el presente estudio los cambios en el contenido de los carotenoides durante el procesamiento del pejibaye. La conversión de los carotenoides en vitamina A oscila entre 14-50%, estimando que un adulto requiere consumir un solo pejibaye para satisfacer las necesidades diarias de vitamina A (Blanco & Muñoz, 1992).

Los carotenoides pueden verse afectados por las etapas de procesamiento al que son sometidas las frutas y los vegetales que los contienen, como el pejibaye. En un estudio realizado por De-Sá y Rodríguez-Amaya (2004) se indica que, después de un tratamiento térmico, la concentración de carotenoides aumenta, debido probablemente al ablandamiento de la pared celular, lo que hace más fácil la extracción de los carotenoides, a la oxidación enzimática de los carotenoides en el alimento crudo, a la pérdida de sólidos solubles y a la pérdida de humedad, lo que provoca un concentración por unidad de peso mayor. Según estos mismos autores, el contenido de carotenoides puede aumentar aún

después de la cosecha de las frutas, ya que las enzimas responsables de la carotenogénesis continúan activas hasta ser inactivadas con el tratamiento térmico. Esto sucede en el tomate, donde se da un aumento en la concentración del licopeno después de su procesamiento (Abushita *et al.*, 2000).

En plantas y animales los carotenoides se encuentran bajo la forma de cristales o sólidos amorfos, en solución en medios lipídicos, en dispersión coloidal o en combinación con proteínas en fase acuosa. Aparte de permitir el acceso a los medios acuosos, la asociación de los carotenoides con las proteínas estabiliza el pigmento y cambia su color, En la cocción, la desnaturalización de la proteína libera la astaxantina y aparece el color rojo (Rodríguez-Amaya, 1997).

Es por esta razón que, durante el procesamiento de la harina de pejibaye, el contenido de carotenoides puede aumentar si se compara el pejibaye crudo y cocinado, y que se dé un cambio en la configuración de los mismos, debido al efecto de isomerización *cis/trans* provocado por la temperatura y que induce a la formación de diferentes carotenoides (Puupponen-Pimiä *et al.*, 2005).

2.5.3 Polifenoles

El posible beneficio para la salud de los polifenoles incluye la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, cáncer y diabetes, además de su importante función en la calidad de los alimentos, impartiendo un sabor amargo o astringencia, importantes para la sensación en la boca y la textura y, en las plantas, protegiendo de los rayos ultravioleta (Wrolstad *et al.*, 2005).

Algunos polifenoles carecen de color, por lo que no pueden incluirse todos en la categoría pigmentos, aunque muchos de ellos pasan a color café en el transcurso de reacciones de oxidación enzimática, dadas sus propiedades antioxidantes, características a la que se debe el interés que se les otorga hoy en día. En un tiempo, los polifenoles fueron considerados como no nutrientes por la formación de complejos con proteínas y reducir el valor nutricional.

Estas sustancias se forman en el reino vegetal a partir de la fenilalanina y la tirosina, combinados con unidades de acetato, como producto del metabolismo secundario de la planta, siendo sintetizados como respuesta al ataque de patógenos como hongos y

bacterias o por la exposición prolongada a alta energía de radiación (Wrolstad *et al.*, 2005). El modo de acción de defensa puede presentarse de dos maneras: por efectos tóxicos directos (por ejemplo la producción de fitoalexinas) o por una activa y rápida deposición de lignina en la pared celular como barrera defensiva al progreso del parásito (Sarni-Manchado & Cheynier, 2006).

La estructura básica está formada por un anillo bencénico unido a un heterociclo, el cual, en el carbono 2, se une a un grupo fenil como sustituyente. La estructura química de los compuestos fenólicos les confiere su capacidad para actuar como captosres de radicales libres, ya sea por su capacidad de donar hidrógeno o también como quelantes de iones metálicos, previniendo la formación de metales catalizadores, o inhibiendo las especies radicales. El tipo de compuesto, el grado de metoxilación y el número de grupos hidroxilo son algunos de los parámetros que determinan esta capacidad antioxidante, siendo los de estructura flavonoidea los compuestos con mayor actividad (Valls, 2007).

Desde hace algunas décadas, el interés en los polifenoles presentes en algunos vegetales, incluyendo los flavonoides, se ha incrementado considerablemente, especialmente por parte de nutricionistas, epidemiólogos y tecnólogos de alimentos. Esto es debido al descubrimiento de varias propiedades biológicas de estos compuestos, a saber, los efectos antioxidantes y su posible papel en la prevención de varias enfermedades crónicas que involucran el estrés oxidativo, siendo los antioxidantes más abundantes en nuestra dieta (Georgé *et al.*, 2005).

Los flavonoides son transportados hasta el hígado, donde se conjugan con grupos sulfatos o grupos metilo o ambos a la vez. La adición de estos grupos aumenta el tiempo de eliminación en circulación y probablemente disminuye la toxicidad. Se ubican en la membrana en la interface lípido/agua, por tanto son los primeros en reaccionar con los radicales libres formados en estas áreas. El tipo de conjugación y la localización de los flavonoides en el organismo, determina la capacidad de inhibición enzimática y su capacidad antioxidante (Valls, 2007).

La cuantificación de los polifenoles se efectúa usualmente por HPLC, empleando un detector con arreglo de diodos. Sin embargo, numerosas estructuras no se han identificado, por lo que la cuantificación de polifenoles totales está subestimada. A pesar de este inconveniente, el método utilizado por Vinson *et al.* (2001) ha dado buenos

resultados y se basa en un método colorimétrico que mide la reacción de Folin –Ciocalteu con los compuesto reductores (polifenoles, vitamina C y azúcares simples), seguido de una extracción que permite separar los polifenoles y medir la reacción colorimétrica entre el Folin – Ciocalteu y las interferencias del método (vitamina C y azúcares simples), lo que permite cuantificar los polifenoles por diferencia (Georgé *et al.*, 2005).

En el caso del pejibaye, es necesario determinar el contenido de polifenoles en las etapas de procesamiento de la harina, ya que estudios realizados por Puupponen-Pimiä *et al.* (2005) demuestran que los tratamientos térmicos generan variaciones en la concentración de compuestos fenólicos y una disminución de la actividad enzimática, lo que hace suponer que puede darse un cambio en estas variables con el tratamiento de cocción del pejibaye y la etapa de secado para la elaboración de la harina.

2.6. Harina de pejibaye

El trigo es difícil de producir en muchos países en desarrollo que no poseen las condiciones climáticas ni suelos idóneos para la producción de las variedades de trigo utilizadas para la panificación (Pinstrup – Anderson & Cohen, 1998). Como consecuencia, estos países gastan gran cantidad de divisas en la importación de trigo ó la harina necesaria para suplir su demanda interna, con la consiguiente desventaja en sus balanzas de pago (CITA, 1984). Desde hace muchos años existe interés en la utilización de materias primas como sustitutos parciales de la harina de trigo en métodos de panificación y repostería (Arias, 1976).

Entre los productos secos que se han desarrollado con pejibaye, se encuentra la harina de pejibaye, cuyo proceso de elaboración es simple y representa una buena alternativa para aumentar la vida útil, ya que la deshidratación reduce la actividad de agua, contribuyendo con la conservación, además se disminuye el peso y el volumen, facilitando el transporte y el almacenamiento (Brennan & Cowell, 1998). Los productos deshidratados son menos costosos de producir, el trabajo requerido es mínimo y los costos de distribución reducidos (Desrosier, 1995).

La harina de pejibaye podría llegar a formar parte importante de la dieta de los costarricenses, ya que conserva gran parte del valor alimenticio del fruto fresco, se puede almacenar fácilmente y es muy versátil, dado que se puede emplear para elaborar

productos tales como galletas, queques, panecillos, budín, tamales, cremas y otros. El proceso de elaboración de la harina de pejibaye es simple y representa una buena alternativa, especialmente para aquellas empresas que procesen frutas secas y harinas, debido a que el costo de inversión es el mínimo al contar con todo o la mayor parte del equipo necesario para su producción (Blanco *et al.*, 1992).

La elaboración de harina comprende las etapas representadas en las **Figuras 5 y 6** (páginas 47 y 48), donde se describe el flujo de proceso. El objetivo de la cocción es eliminar los factores antinutricionales e inactivar las enzimas endógenas del fruto, las cuales causan cambios químicos durante el procesamiento del fruto. Durante la cocción se acentúa el color de la pulpa. Esta cocción se puede realizar en agua por 30 min contados a partir de que el agua con el fruto comienza a hervir; otro medio es el uso del vapor y requiere de tan solo 15 min, pero es más costoso (IMANI, 1999).

Ugalde y Pineda (2002) recomiendan como condiciones de secado con aire caliente una temperatura de 72 °C, velocidad de 3,5 m/s y una humedad de 12 g agua/kg aire seco, utilizando una carga en bandeja de 6,14 Kg/m², hasta alcanzar una humedad final de 10%, tomando alrededor de 2 h 20 min de proceso. Luego el pejibaye seco se muele por medio de un molino de martillos utilizando una malla con una abertura de 0,084 cm, empacando la harina en bolsas de polietileno metalizado para ser almacenada a 5 °C con el fin de minimizar su deterioro, especialmente la oxidación de las grasas.

En dicho estudio se evaluó la sustitución de la harina de trigo por harina de pejibaye en niveles de 10, 15, 20 y 25% en la elaboración de un queque seco, indicando que solo al 25% se encontró diferencia significativa en la dureza del producto; sin embargo, esta no es una variable que afecte la aceptación de los queques por parte de los consumidores. Además, el nivel de sustitución de 25% representa una ventaja adicional para el consumidor si se toman en cuenta las excelentes propiedades nutricionales del pejibaye, siendo agradable la formulación para más del 55% de los consumidores, lo que indica que existe un mercado potencial al cual se puede dirigir este tipo de producto (Ugalde & Pineda, 2002).

Aparte se encuentran los posibles beneficios económicos y sociales que la sustitución de la harina de trigo podría reportar, como son: ahorro de divisas, menor dependencia del trigo, generación de empleos y utilización de materias primas locales;

podrían también derivarse beneficios de índole nutricional (CITA, 1984; Blanco *et al.*, 1992).

Al ser la grasa un componente importante, la harina de pejibaye se puede ver deteriorada durante el almacenamiento, dando como resultado un producto rancio por dos mecanismos distintos. El primero es la rancidez hidrolítica, donde los triglicéridos son hidrolizados formándose ácidos grasos libres. El segundo tipo es la rancidez oxidativa, la cual comprende la oxidación de los ácidos grasos insaturados para producir hidroperóxidos (Kopper, 1994). Los radicales libres no sólo afectan el sabor y el aroma de los alimentos como el pejibaye, también pueden reaccionar y blanquear ciertos pigmentos y destruir las vitaminas C, E y compuestos pro vitamina A, esta última ampliamente distribuida en el pejibaye. La degradación oxidativa de los carotenoides genera sustancias aromáticas como cetonas no saturadas y la α - ionona (Belitz & Grosch, 1997), que pueden dar aromas no deseados en la harina. El contenido de grasas insaturadas de la harina es de 64% (49% monoinsaturados y 15% poliinsaturados) (Fernández, 1988), lo que la hace susceptible a la pérdida de calidad por reacciones de rancidez.

En estudios realizados por Piedrahita (1993) se encontró que la harina de pejibaye puede ser almacenada hasta un año en envases opacos y herméticamente sellados a una humedad máxima de 12%. A humedades superiores se presentan problemas como la presencia de hongos y la molienda se dificulta. Se pueden obtener dos tipos de harina: la harina blanca hecha con frutos amarillos y la harina anaranjada hecha con frutos rojos, las cuales pueden ser utilizadas en un gran número de productos y como sustituto de la harina de trigo hasta en un 20% (Dibari, 1997; Gallardo y Sierra, 1980). Para su molienda se recomienda que su humedad no sea mayor al 12%, empleando un molino de martillos, controlando además durante el almacenamiento las plagas e higroscopicidad. El secado no debe ser mayor a 70 °C para no alterar su valor vitamínico y proteico (Piedrahita, 1993).

Por otro lado, el mercado de productos orgánicos ha mostrado interés en este producto, particularmente por la harina anaranjada y su alto contenido de vitamina A, su producción orgánica y excelente sabor (Dibari, 1997). El pejibaye usado entero o como subproducto de la extracción de aceites, podría llenar parte del faltante nacional de materias primas debido a su gran valor nutritivo, alta productividad por hectárea y otras características que hacen de esta fruta un producto de gran potencial.

En el **Cuadro 5** se detalla la composición de diferentes harinas de pejibaye, donde se observa que existen diferencias especialmente en el contenido de fibra y proteína, debido a que una de ellas contempla la cáscara del fruto.

Cuadro 5. Composición proximal y mineral de dos diferentes tipos de harina de pejibaye

Constituyente (%)	Harina de pejibaye entero	Harina de pulpa de pejibaye
Materia seca	88,6	88,0
Proteína cruda	5,1	6,4
Fibra cruda	6,3	1,3
Extracto etéreo	9,3	17,9
Cenizas	2,0	2,8
Fósforo	0,05	0,05
Calcio	0,5	Nd
Magnesio	0,045	Nd

Fuente: Murillo y Zumbado (1986). Nd: No detectado

De acuerdo con Murillo y Zumbado (1986), la harina de pejibaye proveniente del fruto completo parece ser una muy importante fuente energética. Esta fruta presenta excelentes valores para grasa, ácidos grasos esenciales y carbohidratos, y constituye una buena fuente de energía metabolizable.

La utilización del pejibaye en forma de harina es una forma de aprovechar el fruto en diferentes áreas de la industria alimentaria de la región. Es recomendable elaborar la harina de pejibaye molido con cáscara, ya que representa una menor pérdida de materia prima y, según los análisis realizados por García (1985), contiene porcentajes mayores de proteína, cenizas y grasa, que la hace más nutritiva que la harina molida sin cáscara. Al utilizar temperaturas de secado entre 70-72 °C en el pejibaye y con el tiempo adecuado, se disminuye el porcentaje de humedad de la harina hasta 10%, lo que permite una conservación mayor. Su color amarillo intenso y su olor no se pierden después de tres meses de almacenamiento (García, 1985).

Como se observa en el **Cuadro 6**, la harina de pejibaye presenta un alto contenido nutricional con una gran variedad de vitaminas y minerales esenciales, a la vez que se caracteriza por ser un producto que aporta un alto valor energético.

Cuadro 6. Composición química de la harina de pejibaye en 100 g de harina fresca

Componente	Contenido
Energía, cal	413,5
Humedad, g	12,0
Proteína, g	3,8
Grasa, g	8,9
Ceniza, g	1,3
Fibra cruda, g	2,1
Carbohidratos, g	72,1
Vitamina A, µg eq	1,2
Vitamina B1, mg	0,1
Vitamina B2, mg	0,3
Vitamina C, mg	62,2
Niacina, mg	2,5
Hierro, mg	6,1
Calcio, mg	10,9
Sodio, mg	2,7
Potasio, mg	162,8
Magnesio, mg	11,7
Zinc, mg	2,1

Fuente: Blanco *et al.* (1992).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización

El proyecto se realizó en el Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) de la Universidad de Costa Rica (UCR), ubicado en San Pedro de Montes de Oca.

La elaboración de la harina de pejibaye se llevó a cabo en la planta piloto de procesamiento de alimentos del CITA. La medición de las dimensiones de la fruta y los análisis químicos para determinar el contenido de material insoluble en alcohol (MIA), material insoluble en alcohol y agua (MIAA), lignina y polisacáridos parietales, carotenoides totales, polifenoles totales, la capacidad antioxidante y la identificación de carotenoides se realizaron en el Laboratorio de Química del CITA. La identificación de los minerales se realizó con la colaboración del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA).

Los análisis químicos de humedad, grasa, proteína, pH, acidez, °Brix, almidón total, cenizas y color (L^* , a^* , b^* , *hue* y *chroma*) fueron realizados con el apoyo del Laboratorio de Química del CITA.

3.2 Obtención y características de la materia prima

Con el fin de trabajar con frutos de pejibaye de calidad homogénea, se definieron especificaciones para la materia prima como estado maduro, textura firme, color de la cáscara naranja – rojo y sin estrías.

Para establecer las condiciones de procesamiento para la obtención de harina de pejibaye con y sin cáscara, dentro del primer objetivo del proyecto, se trabajó con pejibaye proveniente de Tucurrique, provincia de Cartago, plantación ubicada a 763 m.s.n.m. y con una temperatura que varía entre 22 y 26 °C.

Para los restantes objetivos se utilizaron 5 lotes de pejibayes de 40 kg cada uno; dos lotes fueron adquiridos en el Mercado Central de San José, los cuales fueron cosechados en la plantación del Centro Agrícola Cantonal de Jiménez, Tucurrique, provincia de Cartago. Los otros 3 lotes fueron cosechados en Pérez Zeledón, plantación ubicada a 703 m.s.n.m. y con una temperatura media de 23 °C, obtenidos a través de uno de los

proveedores de pejibaye para el Mercado Central de San José y el Centro Nacional de Abastecimiento y Distribución de Alimentos (CENADA).

La obtención de los lotes se realizó de manera independiente cada 15 días para realizar el análisis comparativo tanto cuantitativo como cualitativo del pejibaye crudo, pejibaye cocinado, harina con cáscara y harina sin cáscara, de acuerdo con los objetivos planteados.

El mismo día de recolección del lote de pejibaye se realizó el procesamiento de la fruta para la obtención de la harina de pejibaye. Se tomaron las muestras necesarias en cada etapa con el fin de evaluar el efecto del proceso sobre el contenido de compuestos bioactivos beneficiosos para la salud, además de obtener la pulpa de pejibaye crudo y cocinado que permitió determinar la composición de la pared celular.

Se procesaron dos tipos de harina, con y sin cáscara, en cada uno de los 5 lotes, para evaluar el aporte de la cáscara sobre el contenido de compuestos bioactivos como carotenoides, polifenoles, actividad antioxidante y fibra.

Para la identificación de carotenoides, se trabajó con un lote de 40 kg de pejibaye de la zona de Tucurrique el cual fue sometido al proceso de elaboración de harina de pejibaye sin cáscara, tomando muestras de la pulpa de pejibaye crudo, pulpa de pejibaye cocinado y harina de pejibaye.

3.3 Diseño experimental y análisis estadístico

3.3.1 Definición de las condiciones de elaboración de la harina de pejibaye con y sin cáscara

En el proceso de elaboración de la harina de pejibaye intervienen tres etapas de proceso importantes desde el punto de vista de rendimiento de proceso y de calidad nutricional del producto, siendo estas etapas: 1/ la cocción, 2/ el pelado para el caso de la harina sin cáscara, y 3/ el secado. Para cada una de estas etapas las pruebas se realizaron por triplicado.

3.3.1.1 Cocción: se determinó mediante pruebas preliminares la cantidad de agua necesaria para realizar la cocción de los pejibayes. Para ello, se determinó la capacidad de la marmita donde se realizaría la cocción (**Cuadro 7**), pesando la cantidad de pejibaye

que se coloca en la marmita y por último determinando el peso del agua necesaria para lograr la inmersión completa de los frutos; con estos datos se obtiene la relación pejibaye/agua como condición de operación estándar para la elaboración de la harina con y sin cáscara en los 5 lotes. Además de establecer esta relación, la cocción se llevó a cabo a temperatura de ebullición por un periodo de 30 min, para garantizar la eliminación de los factores antinutricionales presentes en el pejibaye (Ugalde, 2002; Ugalde & Pineda, 2004; Rodríguez, 2004).

3.3.1.2 Pelado: para esta etapa se evaluó el rendimiento obtenido al realizar la etapa de pelado de manera manual y utilizando un pelador abrasivo (**Cuadro 7**). Para ello se midió la masa de pejibaye inicial, masa de pejibaye pelado y se calculó el rendimiento de la operación. Los resultados obtenidos para ambos procesos fueron evaluados aplicando una t de Student.

Cuadro 7. Equipo utilizado en la elaboración de la harina de pejibaye con cáscara y sin cáscara.

Equipo	Descripción
Marmita	Marca Groen, modelo 14/TA –10SP
Pelador abrasivo	Marca Hobart, modelo 6115, # serie 13-001-811
Procesador de alimentos	Marca Hobart, Modelo 4812, # serie 11-336-667, # plato 1/8 plg (3 mm), cuchilla 0,25 cm
Horno	Marca Dicte, modelo HF 65X4516
Molino de martillos	Marca Fitz mill, modelo Homoloid machine JT6, # serie 10310, malla 0,084 cm.

3.3.1.3 Secado: Para la elaboración de la harina se empleó un horno a escala piloto (**Cuadro 7**), el cual consta de 7 bandejas, con un área de secado total de 2,09 m². El estudio no se realizó en un secador piloto dado que no se contaba con este equipo y optimizar el proceso de secado no era un objetivo del trabajo, pero sí estandarizar las

condiciones de secado para los dos tipos de harina (con y sin cáscara) y poder realizar el análisis comparativo entre ambas, además de evaluar el efecto del proceso.

Previo al secado se evaluó una etapa de disminución de tamaño para los trozos de pejibaye. Esto se realizó por medio de un procesador de alimentos, probando dos distancias de cuchilla (0,25 cm y 0,50 cm), según pruebas realizadas por Ugalde (2002). Para definir el tamaño de cuchilla se realizó un análisis comparativo cualitativo de los trozos obtenidos.

Por referencia del estudio realizado por Ugalde (2002), el secado se realizó con una temperatura fija de 72 °C, una carga por bandeja de 6,14 Kg/ m² y siguiendo el flujo de proceso detallado en las **Figuras 5 y 6**, hasta llegar a un 10% de humedad final, tanto para la harina de pejibaye sin cáscara como con cáscara.

Los trozos secos fueron molidos con un molino de martillos (**Cuadro 7**), utilizando una malla de 0,084 cm. Con esto se logró obtener la harina de pejibaye, la cual fue empacada en bolsas metalizadas al vacío, para protegerla de la acción de la luz y el oxígeno, y almacenada a temperatura de refrigeración para evitar su descomposición por oxidación.

3.3.2 Características morfológicas y composición físico - química del pejibaye (*Bactris gasipaes*)

Para determinar si existe variación en la composición físico - química del pejibaye disponible comercialmente, el día de recolección de cada uno de los 5 lotes, se determinó la masa, diámetro ecuatorial y diámetro longitudinal en 40 frutas frescas.

Posteriormente se pelaron los pejibayes, se homogenizó la pulpa de pejibaye fresco crudo y se determinó humedad, pH, °Brix, color, grasa, acidez total y carotenoides totales. La muestra homogenizada fue congelada para luego realizar los análisis de ceniza, proteína y almidón total. La determinación de polifenoles totales y capacidad antioxidante se realizó a partir de muestra homogenizada congelada en nitrógeno líquido y liofilizada, la cual se mantuvo en congelación a -20°C. Estos análisis se realizaron por duplicado para la composición físico-química y por triplicado para carotenoides, polifenoles y capacidad antioxidante.

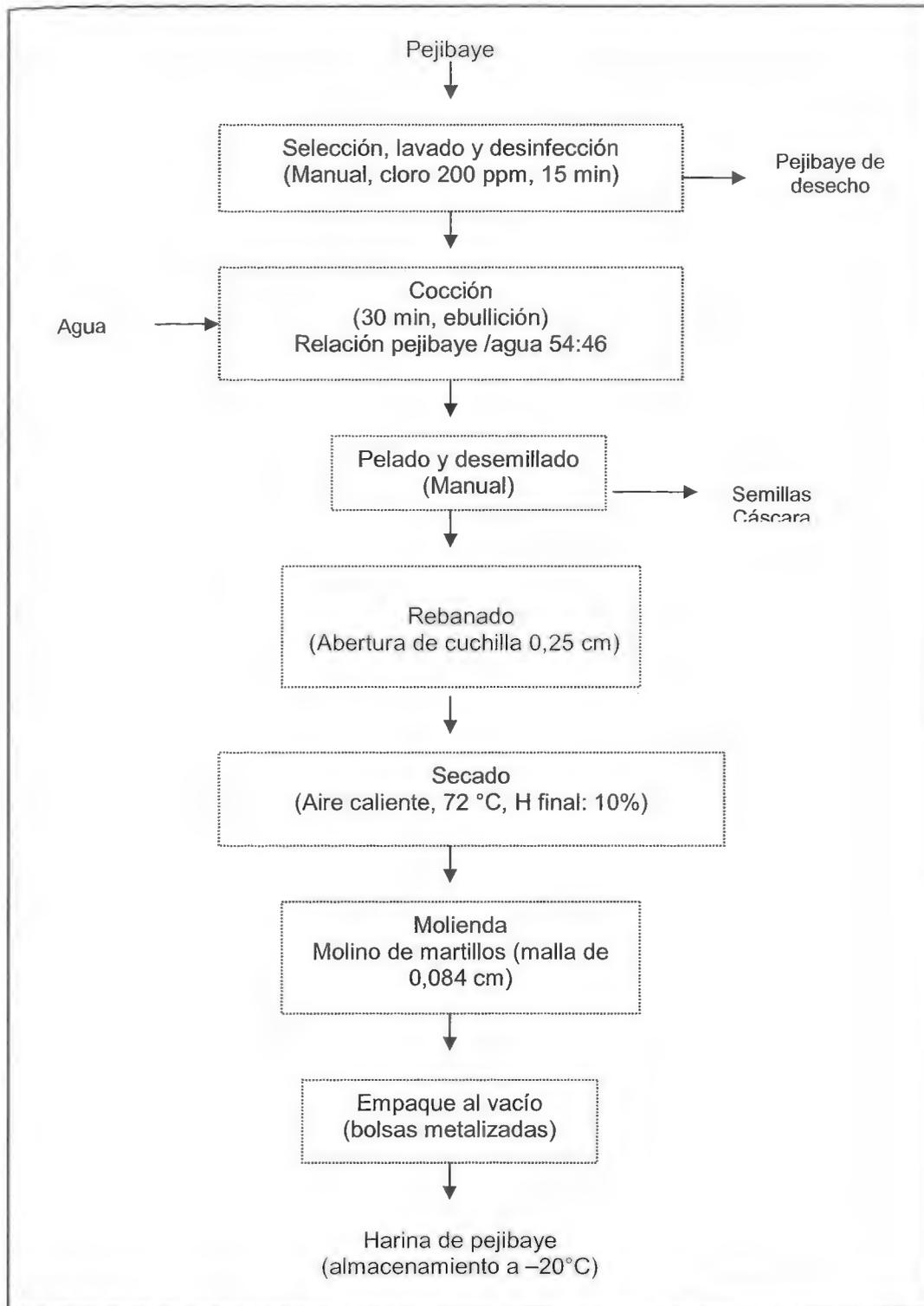


Figura 5. Flujo de proceso para la elaboración de harina de peji-baye sin cáscara.

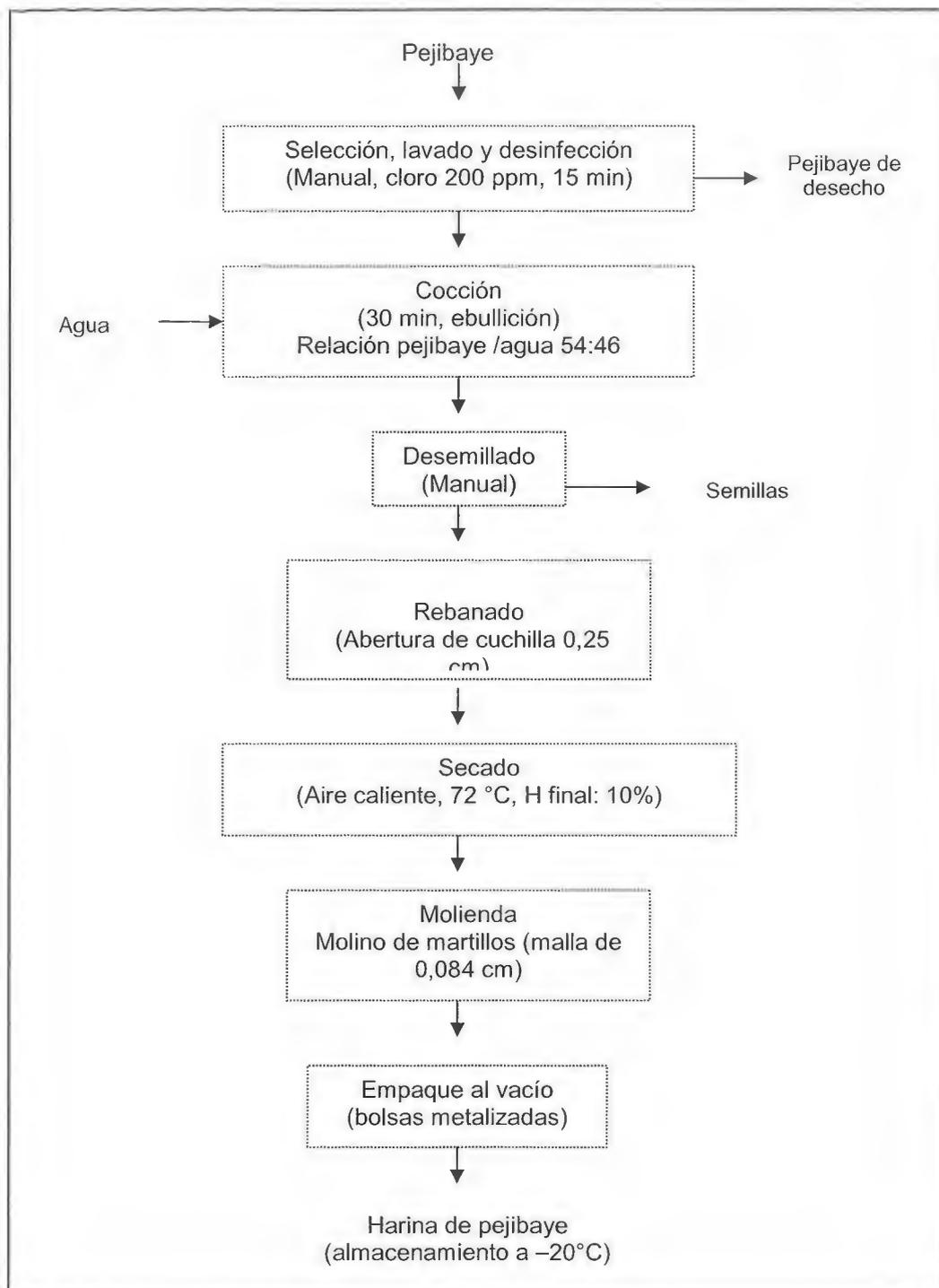


Figura 6. Flujo de proceso para la elaboración de harina de peji-baye con cáscara.

Para el análisis de este objetivo se planteó un diseño experimental irrestricto aleatorio con 5 tratamientos (correspondientes al número de lotes). Los resultados obtenidos fueron evaluados utilizando un Análisis de Varianza (ANDEVA) y los promedios fueron comparados por medio de una prueba de Tukey con un valor de $p = 0,05$, con el fin de determinar si existía diferencia significativa entre las características morfológicas y la composición físico - química de los lotes.

3.3.3 Efecto del proceso de elaboración de harina de pejibaye sobre la composición físico - química y contenido de compuestos antioxidantes

Para evaluar el efecto del proceso en la elaboración de la harina de pejibaye, el mismo día de recolección de los pejibayes se lavaron, desinfectaron, cocinaron y se realizó el proceso de secado y molienda, de acuerdo con las condiciones expuestas en la **Figura 5**.

Para determinar el efecto del proceso fue necesario realizar el análisis de composición físico - química en la pulpa de pejibaye cruda, pulpa de pejibaye cocinada y harina de pejibaye sin cáscara. Los datos obtenidos en el punto 3.3.2 permiten tener la información necesaria para la pulpa de pejibaye cruda.

Durante el proceso, posterior a la etapa de cocción, se tomó la muestra de pejibaye cocinado necesaria para los análisis de esta etapa. Los frutos cocidos fueron pelados y homogenizados utilizando una licuadora doméstica. En la pulpa de pejibaye cocinado se determinó humedad, pH, °Brix, color, grasa, acidez total y carotenoides totales. La muestra homogenizada fue congelada para luego realizar los análisis de ceniza, proteína y almidón total. La determinación de polifenoles totales y capacidad antioxidantes se realizó a partir de muestra homogenizada congelada en nitrógeno líquido y liofilizada, la cual se mantuvo en congelación a -20°C . Estos análisis se realizaron por duplicado para la composición físico - química y por triplicado para carotenoides, polifenoles y capacidad antioxidante.

Después de la etapa de cocción se procedió al pelado y rebanado de los pejibayes para luego ser sometidos al proceso de secado hasta la obtención de un 10% de humedad. Los pejibayes deshidratados fueron molidos para obtener la harina de pejibaye

sin cáscara, la cual se empacó en bolsas metalizadas con barrera a la humedad, para luego realizar los análisis mencionados en el caso de la pulpa de pejibaye cocinado.

Para el análisis de estos resultados se aplicó un diseño irrestricto aleatorio con tres tratamientos (pulpa de pejibaye crudo, pulpa de pejibaye cocinado y harina de pejibaye). La variable lote se trató como bloque ya que con base en otras investigaciones científicas y los resultados obtenidos en el punto 3.3.1.2 se evidencia la gran variabilidad que existe en el pejibaye, por lo que se pretende eliminar el efecto que puede tener el lote. Los resultados fueron evaluados utilizando un Análisis de Varianza (ANDEVA) y los promedios fueron comparados por medio de una prueba de Tukey con un valor de $\alpha = 0,05$.

3.3.4 Aporte de la cáscara al valor nutricional de la harina de pejibaye y en el contenido de compuestos bioactivos beneficiosos para la salud

Para determinar el aporte de la cáscara en la harina de pejibaye se realizó el análisis de minerales, carotenoides, polifenoles, capacidad antioxidante y fibra dietética en harina de pejibaye elaborada con y sin cáscara.

La harina de pejibaye con cáscara se obtuvo del procesamiento de los pejibayes descrito en el punto 3.3.1.3, a partir de los mismos 5 lotes utilizados para la preparación de harina sin cáscara. Después del proceso de cocción, los pejibayes fueron rebanados, secados, molidos y empacados de acuerdo con las condiciones que se indican en la **Figura 6**, que son las mismas para la obtención de la harina sin cáscara.

La muestra de harina con y sin cáscara fue homogenizada, empacada en bolsas metalizadas de alta densidad y almacenada en congelación a -20°C para luego realizar los análisis de ceniza, proteína, almidón total, minerales y fibra dietética. La determinación de humedad, pH, °Brix, color, grasa, acidez total y carotenoides totales se realizaron sobre la muestra de harina fresca. En este caso, por tener la harina una humedad de alrededor del 10%, no fue necesaria la liofilización de la muestra para los análisis de polifenoles y capacidad antioxidantes, pero sí su almacenamiento a -20°C .

La determinación del contenido de minerales se realizó en pulpa de pejibaye cocinado y en harina de pejibaye con cáscara y sin cáscara para los 5 lotes muestreados. Los

minerales determinados fueron fósforo, nitrógeno, calcio, magnesio, potasio, azufre, sodio, hierro, cobre, zinc, manganeso y boro.

Para el análisis de estos resultados se aplicó un diseño irrestricto aleatorio con dos tratamientos (harina con cáscara y harina sin cáscara) y la variable lote tratada como bloque, ya que con base a otras investigaciones científicas y los resultados obtenidos en el punto 3.3.2 se evidencia la gran variabilidad que existe en el pejibaye, por lo que se pretende eliminar el efecto que puede tener el lote. Los resultados fueron evaluados aplicando un análisis de t de Student con el fin de determinar si existe diferencia significativa en la composición físico - química y contenido de compuestos bioactivos entre la harina de pejibaye con y sin cáscara.

3.3.5 Identificación del perfil de carotenoides del pejibaye

Para realizar la identificación de perfil de carotenoides, se obtuvieron los extractos a partir de la metodología de cuantificación de carotenoides descrito por Britton (1995b) y Rodríguez-Amaya (2001). La saponificación se realizó a temperatura ambiente, en oscuridad y por 15 h con el fin de no modificar la configuración de los carotenoides. Cada extracto se almacenó en viales de color ámbar y en congelación a -20°C por un día para su análisis por HPLC. La identificación de carotenoides se efectuó tomando como referencia el método descrito por De Rosso y Mercadante (2007). Este análisis se realizó en pulpa de pejibaye crudo, pulpa de pejibaye cocinado y harina de pejibaye sin cáscara, preparando cada extracto por triplicado e inyectando cada extracto por duplicado.

Los carotenoides se cuantificaron por HPLC usando la curva de calibración externa de β -caroteno con un mínimo de seis niveles de concentración y con un $R^2=0,9926$, reportando la concentración de cada carotenoide como equivalente de β -caroteno. Además se utilizó el factor de conversión de *National Academy of Sciences* (NAS-NRC, 1989) y el porcentaje relativo de bioactividad descrito por Rodríguez-Amaya (2001) para calcular el valor equivalente de vitamina A (1 RE = 6 μg β -caroteno, 1 UI = 0,3 μg de retinol). La cuantificación de los carotenoides identificados se expresaron como μg β -caroteno equivalente / g b.s. Se realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA) y los promedios fueron comparados por medio de una prueba de Tukey con un valor de $\alpha = 0,05$.

3.3.6 Composición de la pared celular de la pulpa de pejibaye crudo y cocinado

El análisis de la pared celular se realizó en la pulpa de pejibaye crudo y en la pulpa de pejibaye cocinado, por triplicado. La muestra de pulpa de pejibaye crudo y pejibaye cocinado se obtuvieron el mismo día de recolección de los lotes, antes y después de la etapa de cocción del proceso de elaboración de la harina. Las muestras fueron congeladas a -20°C , liofilizada, homogenizada y almacenada a -20°C hasta su análisis.

La caracterización del pejibaye se realizó con el objetivo de conocer los componentes de la fracción de fibra dietética con propiedades beneficiosas para la salud. Con el fin de caracterizar y cuantificar los componentes constituyentes de la pared celular del pejibaye, se procedió a extraer el material insoluble en alcohol (MIA), según el esquema de la **Figura 7**; en este paso se determina la pectina soluble en la solución final del lavado de la MIA. El extracto de MIA es lavado con agua destilada a 4°C con el fin de separar los componentes insolubles en agua y obtener el MIAA, el cual se compone de celulosa, hemicelulosa, lignina, proteína, almidón y pectina insoluble. El extracto MIAA es tratado con ácido sulfúrico con el fin de determinar el contenido de lignina. Debido a la presencia del almidón no se pudo determinar el contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa de manera independiente.

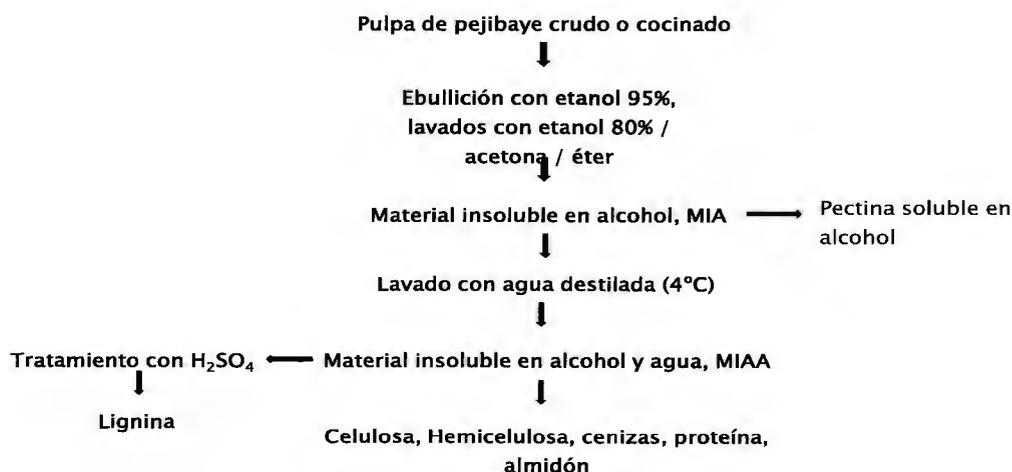


Figura 7. Esquema de análisis de la pared celular en frutas.

3.4 Análisis químicos

En el **Cuadro 8** se detallan las variables de la caracterización del pejibaye, los métodos de análisis utilizados así como la matriz en que se realizaron.

Cuadro 8. Métodos de análisis utilizados en el estudio de la variabilidad, efecto del proceso de elaboración de harina de pejibaye con y sin cáscara y polisacáridos parietales.

Matriz	Análisis	Referencia *	Unidad
Fruto entero	Masa	Medición directa en balanza semi analítica	g
	Diámetro ecuatorial y longitudinal	Medición directa con un calibrador	cm
Pulpa de pejibaye cruda Pulpa de pejibaye cocinada Harina de pejibaye con cáscara Harina de pejibaye sin cáscara	Color	Hunter Lab	Valor L*, a*, b*., hue y chroma
	pH	981.12 AOAC, 1999	-
	Acidez total	942.15 AOAC, 1999	g ácido cítrico / 100 g b.s.
	Sólidos solubles	932.12 AOAC, 1999	° Brix
	Sólidos totales	920.151 AOAC, 1999	%Humedad (g/100 g)
	Grasa	991.20 AOAC, 1999	g / 100 g b.s.
	Cenizas	940.26 AOAC, 1999	g / 100 g b.s.
	Proteína	920.152 AOAC, 1999	(N*6,25) g / 100 g b.s.
Pulpa de pejibaye cocinada Harina de pejibaye con y sin cáscara	Minerales	999.10 AOAC, 2002	g / 100 g b.s.
		995.11 AOAC, 2002	mg / Kg b.s.
Harina de pejibaye con y sin cáscara	Fibra dietética	985.29 AOAC, 1999	g / 100 g b.s.

Matriz	Análisis	Referencia *	Unidad
Pulpa de pejibaye cruda y cocinada	Pared celular	Brillouet <i>et al.</i> , 1988 Voragen <i>et al.</i> , 1983 Dubois <i>et al.</i> , 1956 Effland, 1977 Van Soest <i>et al.</i> , 1981	g / 100 g b.s.
Pulpa de pejibaye cruda Pulpa de pejibaye cocinada	Cuantificación polifenoles	Slinkard y Singleton, 1977 Georgé <i>et al.</i> , 2005	mg ácido gálico / g b.s.
Harina de pejibaye con cáscara Harina de pejibaye sin cáscara	Capacidad antioxidante hidrofílica	Ou <i>et al.</i> , 2002 Huang <i>et al.</i> , 2002	μmoles Trolox equivalente / g b.s.
Pulpa de pejibaye cruda Pulpa de pejibaye cocinada Harina de pejibaye con cáscara Harina de pejibaye sin cáscara	Carotenoides: cuantificación identificación	Britton, 1995b Rodríguez-Amaya, 2001 Dhuique-Mayer <i>et al.</i> , 2005 Dhuique-Mayer <i>et al.</i> , 2007 Schweiggert <i>et al.</i> , 2005 Schweiggert <i>et al.</i> , 2007 De Rosso y Mercadante, 2007	μg β-caroteno / g b.s.

*Anexo 1: Fundamento de los métodos de análisis físico – químicos utilizados.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Estudio de las condiciones adecuadas para el proceso de elaboración de harina de pejibaye (*Bactris gasipaes*)

La harina de pejibaye puede llegar a formar parte importante de la dieta de los costarricenses gracias a que, además de que el costarricense está habituado al consumo del pejibaye cocido, es un producto estable que conserva gran parte del valor alimenticio del fruto fresco, se puede almacenar fácilmente y es muy versátil, además de poderse emplear para elaborar productos tales como galletas, queques, panecillos, budín, tamales, cremas y otros (Blanco, 1992). La harina de pejibaye representa una alternativa de materia prima interesante en la industria de alimentos como sustituto de harinas de maíz y trigo. El proceso de elaboración de harina de pejibaye es simple y representa una buena opción, especialmente para las empresas que procesan frutas secas y harinas, debido a que el costo de inversión sería mínimo al contar con todo o la mayor parte del equipo necesario para su producción (Ugalde, 2002).

Por ello, Ugalde (2002) partió de estas consideraciones para realizar un estudio detallado sobre la deshidratación del pejibaye por medio de aire caliente, determinando las cinéticas de secado que caracterizan el proceso, combinando las variables de temperatura, humedad y velocidad del aire. El objetivo del estudio de esta autora fue la obtención de una harina con características adecuadas y pocas pérdidas de color, ya que este parámetro está ligado con las pérdidas de carotenoides y, por lo tanto, con una disminución del valor nutricional del producto final. Sin embargo, Ugalde (2002) realizó el estudio de cinética en un equipo de secado piloto marca *National*, el cual consiste en una cámara de secado conectada a un sistema neumático que permite conocer la masa del producto a través del tiempo y controlar; además de la temperatura, la humedad y la velocidad de aire. Este equipo no se encontraba instalado en el momento del presente estudio, por lo que se debió tomar como referencia la información de Ugalde (2002) para ser aplicada en un horno convencional, donde el único parámetro que se controla es la temperatura, manteniendo una misma velocidad de aire.

Aunque el objetivo no fue la optimización del proceso de elaboración de harina, sí se decidió trabajar en condiciones apropiadas para un proceso industrial, y es por ello que se realizaron las pruebas necesarias para definir las condiciones de cada una de las etapas del proceso, iniciando con la etapa de pelado.

4.1.1 Pelado del pejibaye

Se determinaron las condiciones de eliminación de la cáscara utilizando el pelado abrasivo para comparar el rendimiento de esta operación contra el rendimiento obtenido por un pelado manual, el cual no es conveniente para el escalamiento a nivel industrial por el alto costo de mano de obra que ésta puede implicar.

El rendimiento obtenido con el pelador abrasivo fue de $50,5\% \pm 0,4$, menor significativamente ($p < 0,05$) al rendimiento del pelado manual ($63,9\% \pm 1,8$). En el pelado abrasivo, se evaluaron distintos tiempos del pelado (2, 1,5 y 1 min). Aunque el tiempo se disminuyó, el rendimiento fue menor y muy bajo; esto se debe a que la textura suave del pejibaye cocinado provocó que durante el pelado algunos frutos se desintegraran al chocar contra las paredes y salieran junto con el agua de lavado. Por el contrario, el pelado manual se realizó con cuchillos, donde la eliminación de la cáscara removía una parte mínima de la pulpa, permitiendo obtener mayor rendimiento, Para este estudio se decidió entonces realizar la operación de manera manual.

En caso del pelador abrasivo, es importante evaluar velocidades del pelador y flujo de agua, considerando que éste es un factor importante ya que puede adicionar humedad al pejibaye, lo que dificultaría el proceso de rebanado e incorporaría humedad que debe ser eliminada en la etapa de secado. Sin embargo, para efectos del escalamiento industrial, se propone evaluar otros equipos de pelado, molienda y secado donde se establezcan las condiciones óptimas del proceso y poder ser comparadas para elegir aquellas con las mejores condiciones tecnológicas.

4.1.2 Condiciones de cocción

En la primera prueba se llevó a cabo la cocción por 15 min en agua a ebullición en una marmita con una capacidad de 50 Kg de pejibaye; este tiempo es suficiente para eliminar los factores antinutricionales presentes en forma natural en el pejibaye (Blanco, 1992). Sin embargo, se decidió realizar una segunda prueba ampliando el tiempo de cocción a 30 min, ya que según Gallardo y Sierra (1980), la presencia de un sabor amargo en el pejibaye se logra eliminar al pasar de 15 a 30 min de cocción en ebullición.

Se realizó una tercera prueba en la que el pejibaye fue pelado en forma abrasiva antes de cocinarlo, con el fin de evaluar si los rendimientos en la etapa de pelado se

incrementaban. Sin embargo, el pejibaye pelado crudo en contacto con el agua presenta una pérdida de nutrientes importante durante la cocción, siendo evidente una coloración naranja fuerte del agua de cocción, probablemente por la presencia de los carotenoides; además, la corteza del pejibaye se deshidrata y se inicia una gelatinización del almidón en la etapa de pelado del pejibaye crudo al estar en contacto con el agua.

Para determinar la proporción de pejibaye / agua, se colocó una masa conocida de pejibayes a la cual se le adicionó agua medida hasta lograr la inmersión total de los pejibayes, estableciendo una relación pejibaye / agua de 54/46. Con esta relación, se estandarizó el proceso de cocción para todo el estudio con un tiempo de 30 min a partir de la ebullición.

4.1.3 Condiciones de secado

Antes de realizar la operación de secado del pejibaye, fue importante definir las condiciones de deshidratación con base en estudios previos. Según Ugalde (2002), quien determinó las cinéticas de secado de este fruto, la carga adecuada por bandeja es de 6,14 Kg/m²; esta carga mantiene el comportamiento típico de la cinética de secado del pejibaye.

Por otra parte, esta misma autora evaluó tres temperaturas de secado a 60 °C, 70 °C y 80 °C. En el caso de 80 °C, el tiempo de secado fue menor que el obtenido a 70 °C y aún menor que en el caso de 60 °C, siendo el tiempo de esta última temperatura diferente significativamente a los tiempos de 70 °C y 80 °C, no habiendo diferencia entre ellos. Esto se debe a que la temperatura del aire cede al producto la energía necesaria para la difusión y evaporación de la humedad (Van Arsdel *et al.*, 1973). Un aumento en la temperatura de secado provoca un incremento en la temperatura del producto y en el coeficiente de difusión del agua, consiguiendo que la velocidad de secado sea apreciablemente menor (Bimbenet *et al.*, 1984). Dado todo lo anterior, el proceso de secado del presente estudio se llevó a cabo a 72 °C, ya que una temperatura mayor favorecería la pérdida de nutrientes como los carotenoides, compuestos que se quieren conservar en la harina de pejibaye, producto final de interés de este estudio.

Otra condición del proceso de secado del pejibaye que debió ser definida es el tipo de corte adecuado, de manera que el pejibaye cocido pueda ser secado rápidamente y homogéneamente, con el fin de mantener las características nutricionales del pejibaye al

llegar a un 10% de humedad, valor establecido para harinas en la norma CODEX STAN – 155 (1985).

Según las pruebas realizadas por Ugalde (2002), en el secado del pejibaye por aire caliente el tiempo de deshidratación disminuye conforme el grosor de los trozos es menor, siendo el grosor de 0,25 cm el que presenta el menor tiempo de secado (0,5 h) para una carga por bandeja de 5,41Kg/m². De acuerdo con Bustamante (1994), el producto a deshidratar debe ser del menor tamaño posible, ya que de esta manera se produce una mayor área de exposición al medio de calentamiento y al escape de humedad. Además, con trozos de menor tamaño se reduce la distancia que debe recorrer el calor para llegar al centro del producto y la del agua para alcanzar la superficie (Ugalde, 2002), por tanto, la degradación de nutrientes sensibles al calor podría ser menor.

Tomando como base estos resultados, se realizaron en el presente trabajo pruebas de secado del pejibaye con y sin cáscara, aplicando un proceso de troceado con una apertura de cuchilla de 0,25 cm y 0,50 cm. No se determinó diferencia significativa en el tiempo de secado para alcanzar el 10% de humedad, además del hecho de que cambiar el tamaño no tiene implicaciones en rendimientos o costos del proceso, ya que es solo acondicionar el equipo a este tamaño. El equipo de secado utilizado no tenía control de la velocidad del aire, por lo que este parámetro se mantuvo constante, tomando un tiempo de secado tanto para la harina con cáscara como sin cáscara de aproximadamente 3 h en ambos tipos de corte. Por tanto, se eligió una apertura de cuchilla de 0,25 cm para realizar el rebanado del pejibaye cocinado con y sin cáscara.

Una vez seco el pejibaye, se procedió a molerlo empleando un molino de martillos con una abertura de malla de 0,033 plg, con la cual se logró un nivel de molienda que permite triturar la cáscara sin obtener rastros de la misma en la harina.

4.1.4 Rendimiento de proceso para la elaboración de harina de pejibaye con y sin cáscara

Se determinó el rendimiento por etapa y de proceso en cada uno de los muestreos llevados a cabo. Se observa en el **Cuadro 9** que el rendimiento promedio de la operación de pelado manual para el pejibaye crudo fue de 61%. Sin embargo, este resultado no tiene importancia tecnológica, ya que, como se mencionó en el apartado 4.1.2., la cocción del pejibaye crudo pelado no es factible desde el punto de vista técnico, dado que en

estas condiciones se favorece la pérdida de carotenoides en el agua de cocción, además de favorecerse la gelatinización del almidón, lo que altera las características físicas del producto final.

Para el caso del pelado del pejibaye cocinado, su rendimiento de operación fue de 60%, similar al rendimiento de pelado del pejibaye crudo. Este rendimiento es relativamente bueno, pero la dificultad que se presenta es que el pelado debe ser manual y esto implica un alto costo de mano de obra en el proceso que se arrastra hasta la obtención del producto final y afecta la rentabilidad del proceso. Sin embargo, los distintos métodos mecánicos producen una pérdida mayor de materia prima al desintegrarse el producto, además de una mayor pérdida de nutrientes y de las características físicas adecuadas.

Cuadro 9. Rendimiento por etapa del proceso para la elaboración de harina de pejibaye sin cáscara.

Porcentaje de rendimiento	Pelado de pejibaye crudo	Pelado de pejibaye cocinado	Rebanado	Secado	Rendimiento proceso
Lote 1	66	63	99	47	29
Lote 2	66	63	100	48	30
Lote 3	66	65	98	50	32
Lote 4	63	62	97	40	24
Lote 5	48	52	99	45	23
Promedio	61 ± 8	60 ± 6	99 ± 1	46 ± 4	28 ± 4

En estas condiciones de proceso (**Cuadro 9**), aplicando un pelado manual, se obtiene como rendimiento general un 28%; este rendimiento es bajo dado que durante el proceso se elimina la semilla y la cáscara. Además, en la operación de secado se pierde una gran parte de la humedad que tenía el producto, ya que se requiere disminuir su contenido

desde aproximadamente 56% hasta 10% de humedad final, valor que le confiere estabilidad al producto final.

En el **Cuadro 10** se muestra que, al conservar la cáscara, se logra un mejor aprovechamiento del fruto, teniendo como resultado final un rendimiento global de proceso de 42% para la obtención de harina. Este rendimiento sigue siendo bajo, pero es un valor normal dentro de un proceso de elaboración de harina de pejibaye; al respecto Flores (2007) reporta un rendimiento del proceso de obtención de harina de pejibaye con cáscara del 38%. El producto con cáscara es más rentable ya que hay un mayor aprovechamiento de la materia prima, no hay costo en mano de obra por la operación de pelado y además tiene un impacto positivo en el ambiente al reducir los desechos del proceso. Esto es especialmente válido por el tipo de residuo que representa la cáscara, ya que dentro de su composición se encuentra la lignina, componente muy difícil de degradar. Otro aporte importante al considerar la cáscara del pejibaye es el aumento del valor nutricional por su contenido de carotenoides y de fibra.

Cuadro 10. Rendimiento por etapa del proceso para la elaboración de harina de pejibaye con cáscara.

Porcentaje de rendimiento	Desemillado de pejibaye	Rebanado	Secado	Rendimiento proceso
Lote 1	91	97	48	42
Lote 2	92	94	49	42
Lote 3	92	98	54	48
Lote 4	89	99	43	38
Lote 5	90	97	47	41
Promedio	91 ± 1	97 ± 2	48 ± 4	42 ± 4

Una vez obtenidos los rendimientos de proceso para harina sin y con cáscara, se lograron estandarizar las condiciones de producción para el estudio del efecto del proceso, con el fin de determinar el comportamiento físico - químico de la materia prima y los cambios en el contenido de compuestos bioactivos beneficiosos para la salud.

Además, la estandarización del proceso permite desarrollar productos a partir de la harina que representen una buena fuente de vitaminas, minerales y antioxidantes con gran impacto en el bienestar de la salud de los costarricenses.

4.1.5 Conclusiones

- ✓ El pelado abrasivo no representa una buena opción ya que se tiene un rendimiento menor y además provoca un aumento en la humedad del pejibaye, lo cual no es conveniente para las etapas de rebanado y de secado.
- ✓ El pelado del pejibaye previo a la cocción no es adecuado debido a la pérdida de nutrientes como carotenoides en el agua de cocción, así como la gelatinización del almidón durante la cocción.
- ✓ El tamaño del troceado (0,25 y 0,50 cm) no tiene efecto sobre el tiempo de secado del pejibaye con y sin cáscara.
- ✓ Se elige la operación de pelado manual por consideraciones técnicas, dado que se obtuvo un rendimiento global del proceso de 42% para la harina con cáscara, en comparación con el rendimiento alcanzado para la harina sin cáscara (28%).
- ✓ La etapa de proceso que tiene mayor influencia sobre el rendimiento final del proceso es la etapa de secado, ya que implica la reducción de la humedad de un 56% (valor promedio de los cinco lotes) hasta un 10% de humedad.

4.1.6 Referencias

- BIMBENET, J.J., DAUDIN, J.D. & WOLF, E. 1984. Air drying kinetics of biological particles. In proceeding Fourth International Drying Symposium, Kyoto.
- BLANCO, A. 1992. Pejibaye: Recetas, valor nutritivo, conservación e industrialización, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- BUSTAMANTE, M. 1994. Cómo determinar condiciones óptimas de secado de alimentos con aire caliente. Centro de Investigaciones en Tecnología de Alimentos, MAG-UCR, San José.
- CODEX. 1985. Norma del CODEX para la harina del trigo CODEX-STAN 152-1895. Codex Alimentarius (OMS/FAO). Washington, D.C.

- FLORES, W. 2007. Desarrollo de un snack tipo tortilla a base del fruto de pejibaye: Diagnóstico y recomendaciones del proceso de obtención de harina de pejibaye en el Centro Agrícola Cantonal de Tucurrique, Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, UCR. San José.
- GALLARDO, V. & SIERRA, C. 1980. Condiciones óptimas de secado para la obtención de harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*). Tesis Ingeniería Agrícola, Universidad del Valle, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- UGALDE, H. 2002. Estudio de la deshidratación del pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K) para la elaboración de harina y su utilización en la formulación de una premezcla para queques. Tesis Lic. Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica. San José.
- VAN ARSDEL, W.B., COPLEY, M.J. & MORGAN, A.I. 1973. Food dehydration. 2 ed. A.V.I, Connecticut.

4.2 Determinación de la composición físico - química, contenido de antioxidantes y capacidad antioxidante del pejibaye (*Bactris gasipaes*) Fresco disponible comercialmente en Costa Rica

Rojas Carolina¹, Pérez Ana M¹, Vaillant Fabrice², Pineda M. Lourdes³

¹ Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), Universidad de Costa Rica
² Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le développement (CIRAD-PERSYST), Montpellier, Francia

³ Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica

4.2.1 Resumen

Se determinó la variabilidad de la composición físico – química del pejibaye fresco comercializado en Costa Rica. Se analizaron 5 lotes de pejibaye provenientes de dos zonas de Costa Rica: Tucurrique (lotes 1 y 2) y Pérez Zeledón (lotes 3, 4 y 5). Se encontró que existe diferencia ($p < 0,05$) en la masa (24-59) g, largo (3,1-6,06) cm y ancho (3,1-4,9) cm del fruto entre los lotes. La humedad promedio de los frutos de Tucurrique (55,14%) fue menor a la humedad de los frutos de Pérez Zeledón (57,16%), siendo los lotes 1 y 2 diferentes significativamente a los lotes 3, 4 y 5. El valor promedio de la grasa fue $13,5 \pm 2,7\%$ b.s., los lotes 4 y 5 son los únicos que no presentaron diferencia significativa entre sí y, a la vez, son distintos a los lotes 1, 2 y 3. El contenido de proteína de los pejibayes presentó valores promedio de 4,05% y 6,4% b.s. para los frutos de Tucurrique y Pérez Zeledón, respectivamente. El almidón fue la única variable química que no presentó variabilidad entre lotes, siendo el contenido promedio de 70 ± 4 g/100g b.s. En cuanto al contenido de compuestos antioxidantes, el rango del contenido de carotenoides totales osciló entre 109 y 202 μg β -caroteno equiv./g b.s. mientras que el contenido de polifenoles totales varió en un rango de 54-106 mg GAE /100 g b.s., presentándose gran variabilidad entre los 5 lotes estudiados para estos dos componentes. La capacidad antioxidante hidrofílica medida por el método ORAC presentó una menor variabilidad al ser el valor del lote 3 el único diferente a los cuatro lotes restantes. La capacidad antioxidante hidrofílica promedio fue de 37 ± 7 $\mu\text{moles TE equiv.}/\text{g}$ b.s.

4.2.2 Introducción

El pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K) es una planta nativa de la Amazonia que se adapta a un amplio rango de condiciones ecológicas prevalecientes en las regiones del trópico húmedo, cuyo cultivo se extiende desde Honduras hasta Brasil, Bolivia y ciertas islas de las Antillas, principalmente Trinidad y Tobago. Sin embargo, su crecimiento y producción son notablemente superiores en lugares con una elevación de 200 – 700

m.s.n.m., lluvia durante todos los meses del año, pH de suelos de 4,0 hasta 6,0 y suelos de origen aluvial (Tracy, 1985). Sus palmas son árboles cuyas ramas pueden alcanzar más de 20-30 m de altura y un diámetro de 15-30 cm. El número de racimos por árbol varía entre 10-25, pero se reportan hasta más de 35 (Mora-Urpí *et al.*, 1997; Clement, 1995). Estas condiciones, más su origen y tiempo de cosecha, provocan mucha variabilidad en los frutos de pejibaye en cuanto a forma (cónica, ovoide o elipsoide), tamaño (pequeños de 20-30 g a muy grandes de 100 g o más), así como en su color (Camacho, 1992).

El cultivo de esta palmera recibió su máxima atención y desarrollo durante la época precolombina en las poblaciones del Amazonia Oriental, cuando posiblemente se constituyó en el principal alimento para numerosas tribus del geotrópico (Fernández *et al.*, 1995; Tracy, 1996; Camacho, 1992; Blaak, 1976).

Diversos estudios reportan que los componentes nutricionales más importantes de este fruto son las grasas, almidones, carotenoides (especialmente β -caroteno) y fibra, destacándose por su alto valor energético (Gómez *et al.*, 1998; Yangüez, 1975; Clement *et al.*, 2004; Da Silva & Clement, 2005; Leterme *et al.*, 2005), además de su bajo contenido de sodio y azúcares (Fernández *et al.*, 1990). Su aporte en vitamina A es muy importante, dado que la deficiencia de esta vitamina es muy común en localidades tropicales, causando problemas de dientes, ojos y piel (Dibari, 1997). De acuerdo con Tracy (1985), el pejibaye es probablemente la fruta del trópico más balanceada. Además, el pejibaye presenta un importante contenido de vitamina C, selenio y zinc que, al igual que los carotenoides, tienen actividad antioxidante, que permite proteger moléculas como lípidos, ADN y proteínas del cuerpo del ataque oxidativo (Pérez-Mateos *et al.*, 2005). La presencia de este tipo de compuestos en el pejibaye vuelve atractivo su consumo, puesto que los antioxidantes han sido asociados con una menor incidencia de ciertos tipos de cáncer y enfermedades del corazón (De Sá & Rodríguez-Amaya, 2003), que constituyen algunas de las principales enfermedades que afectan la población costarricense.

Las tendencias mundiales de la alimentación en los últimos años indican un interés acentuado de los consumidores hacia alimentos que, además del valor nutritivo, aporten beneficios a las funciones fisiológicas del organismo humano (Alvídrez *et al.*, 2002). Esto ha llevado a recomendar el incremento en el consumo de frutas y vegetales ricos en compuestos antioxidantes (Abushita *et al.*, 2000). El fruto del pejibaye constituye una

alternativa interesante por presentar contenidos relevantes de carotenoides, fibra y vitamina C, lo que ha motivado el interés de varios investigadores, quienes se han enfocado en la determinación de su valor nutritivo y de su potencial para la domesticación (Leakey, 1999). Además, su consumo puede coadyuvar a resolver la deficiencia dietética de la vitamina A que ha persistido durante décadas en la población costarricense (Dibari, 1997).

A pesar de que los estudios de caracterización físico – química han sido considerables, aún es necesario conocer la composición de los frutos disponibles en el mercado local, sobre todo desde el punto de vista del contenido de compuestos bioactivos que determinan su valor como alimento funcional y su capacidad antioxidante.

Por otro lado, tanto los consumidores como el sector agroindustrial están interesados principalmente en la calidad del fruto, pero la variabilidad de la materia prima se vuelve importante cuando se trata de lograr la estandarización de un proceso, por lo que fue objetivo de esta investigación determinar la composición físico - química del pejibaye como fruta fresca disponible comercialmente, proveniente de dos distintas zonas del país.

4.2.3 Materiales y métodos

4.2.3.1 Materia prima:

Se utilizaron 5 lotes de pejibayes de 40 kg cada uno; dos lotes fueron adquiridos en el Mercado Central de San José, procedentes de la plantación del Centro Agrícola Cantonal de Jiménez, Tucurrique, provincia de Cartago ubicada a 763 m.s.n.m. y con una temperatura de 22-26 °C. Los otros 3 lotes fueron cosechados en Pérez Zeledón, en una plantación ubicada a 703 m.s.n.m. y con una temperatura media de 23 °C, obtenidos a través de uno de los proveedores de pejibaye para el Mercado Central de San José y el Centro Nacional de Abastecimiento y Distribución de Alimentos (CENADA).

4.2.3.2 Preparación de la muestra

Cada lote se peló y desemilló, se homogenizó la pulpa de pejibaye fresco crudo y se determinó humedad, grasa y carotenoides totales. La muestra homogenizada fue

congelada para luego realizar los análisis de proteína y almidón total. La determinación de polifenoles totales y capacidad antioxidante se realizó a partir de la muestra homogenizada congelada en nitrógeno líquido y liofilizada, la cual se empacó al vacío en bolsas metalizadas con barrera a la humedad y a la luz, para luego ser almacenada en congelación a -20 °C. Estos análisis se realizaron por duplicado para la composición físico – química y por triplicado para carotenoides totales, polifenoles totales y capacidad antioxidante.

4.2.3.3 Reactivos

Ácido sulfúrico, ácido bórico, hidróxido de sodio, metanol ACS, hidróxido de potasio ACS, acetona ACS 99.8%, éter etílico ACS 99% y hexano ACS 99% fueron obtenidos de J.T. Baker (México). α -amiloglucosidasa (E.C.3.2.1.3), glucooxidasa, glucosa, carbonato de sodio, ácido gálico, reactivo de Folin–Ciocalteu, ácido 2-carboxílico 6-hidroxi 2,5,7,8-tetrametilcromano, fluoresceína de sodio, 2,2'-azobis (2-amidinopropano) dihidrocloruro (AAPH), fosfato de sodio monobásico ACS y fosfato de sodio dibásico ACS se obtuvieron de Sigma-Aldrich Chemical Co. (St. Louis, MO).

4.2.3.4 Métodos de análisis

Características dimensionales: se tomaron 40 frutos frescos de manera aleatoria para cada uno de los lotes y se determinó la masa, el diámetro ecuatorial y el diámetro longitudinal.

Humedad: el contenido de humedad se determinó por medio del método oficial de la AOAC (920.151) por secado de la muestra en una estufa de vacío a 95 °C hasta obtención de peso constante (AOAC, 1999).

Almidón: el contenido de almidón fue determinado siguiendo el método descrito por Southgate (1976) por medio de hidrólisis enzimática.

Grasa: el contenido de grasa se obtuvo por medio de la extracción del material seco en un sistema Soxhlet, según el método de la AOAC 991.20 (AOAC, 1999).

Proteína: se midió según el método recomendado por la AOAC (920.152), conocido como método de Kjeldahl (AOAC, 1999).

Carotenoides totales: se preparó el extracto de carotenoides siguiendo la metodología descrita por Britton (1995a) y Rodríguez-Amaya (2001). Se realizó la saponificación a temperatura ambiente por 24 h en una mezcla de éter etílico y KOH alcohólico al 5%, para eliminar la interferencia de la clorofila, y en oscuridad para evitar la degradación de los carotenoides. Los carotenoides fueron extraídos de la pulpa con acetona, éter etílico/n-hexano y, finalmente, con n-hexano. El análisis se llevó a cabo en un espectrofotómetro UV-visible Shimadzu PharmaSpec UV-1700 (Kyoto, Japón) a una longitud de onda de 450 nm. El contenido de carotenoides se expresó como μg de β -caroteno / g b.s.

Polifenoles totales: el contenido de polifenoles totales se determinó siguiendo el método descrito por Slinkard y Singleton (1977), modificado por Georgé *et al.* (2005), por medio de la reacción del reactivo de Folin – Ciocalteu con los polifenoles. Se eliminó la interferencia de ácido ascórbico y azúcares reductores mediante el uso de cartuchos OASIS® (Waters). Se utilizó ácido gálico como estándar. La absorbancia se midió usando un espectrofotómetro UV-visible Shimadzu PharmaSpec UV-1700 (Kyoto, Japón) a 765 nm contra un blanco. El contenido de polifenoles fue expresado como mg equivalentes de ácido gálico (GAE) / 100 g b.s. a partir de la curva de calibración de ácido gálico en un rango de 10-80 mg/L ($r^2=0.9996$).

Capacidad antioxidante (ORAC): el análisis de la capacidad antioxidante mediante el método ORAC hidrofílico (*Oxygen Radical Absorbance Capacity*) fue llevado a cabo en un espectrofotofluorómetro BIOTEK Synergy HT (Winooski, U.S.A), basado en la metodología de Ou *et al.* (2001) y Huang *et al.* (2002). El valor ORAC fue expresado como μmoles de equivalentes de Trolox (TE) / g b.s. a partir de la curva de calibración de Trolox en un rango de 4,0-32,3 $\mu\text{mol TE/L}$ ($r^2=0,9993$).

Color: el color de la pulpa de pejibaye cruda se determinó utilizando el colorímetro Hunter Lab (Hunter lab Resto VA, USA) para los valores de a^* , b^* y L^* . Los valores de *hue*, *chroma* y ΔE^* (diferencia total de color entre los lotes), fueron obtenidos a partir de las fórmulas de cálculo descritas por Gonnet (1998).

4.2.3.5 Diseño experimental y análisis estadístico

Para evaluar la variabilidad de la composición físico – química del pejibaye se utilizó un diseño irrestricto aleatorio con cinco tratamientos (5 lotes), utilizando un análisis de

varianza (ANDEVA), y los promedios fueron comparados por medio de una prueba de Tukey con un valor de $\alpha = 0,05$. Los datos fueron expresados como el promedio \pm desviación estándar. Se realizó un análisis de correlación entre las variables con un $\alpha=0,05$.

4.2.4 Resultados y discusión

Características dimensionales: La masa promedio para los 5 lotes de pejibaye fue de 41 ± 7 g, variando en un rango de (24–59) g (**Cuadro 11**), más de 140% de diferencia entre el pejibaye más ligero y el pejibaye con más masa. Se encontró que para un nivel de significancia de 5% existe diferencia significativa en la masa de los pejibayes entre los lotes 1 y 2, los cuales son de la zona de Tucurrique, mientras que entre todos los lotes cosechados, los lotes 2, 3 y 4 o lotes 1, 4 y 5 no presentaron diferencia significativa. Esto se debe a la variabilidad del fruto mencionada por Camacho (1992), la cual puede darse entre palmeras e inclusive entre racimos, generando altas desviaciones estándar e intervalos de confianza. Por lo que, no encontrar diferencia significativa entre algunos de los lotes estudiados, no indica que es una característica dimensional menos variable, sino que, debido a la gran variedad de pejibayes, las condiciones climáticas de cosecha y variabilidad en un mismo racimo, se produce un amplio rango de masas entre todos los lotes.

Para el largo del pejibaye se presentó un rango de medida de 3,1 a 6,0 cm, casi un 100% de diferencia entre los pejibayes, inclusive para frutos de un mismo lote, como es el caso del lote 1 donde el valor mínimo fue de 3,3 cm y el máximo fue de 6,0 cm (**Cuadro 11**). Por otro lado, a pesar de esta variabilidad, es el lote dos el que presentó un rango de dimensiones de largo menor, dándose una diferencia de 23% entre el valor más bajo y el más alto. No se encontró diferencia significativa entre los lotes 1 y 2 procedentes de Tucurrique, ni entre los lotes 3, 4 y 5 que son de la zona de Pérez Zeledón; solo los lotes 2 y 4 son diferentes significativamente, y los lotes 1, 4 y 5 no son diferentes. El largo encontrado coincide con Blanco *et al.* (1990), quienes reportan que el largo del pejibaye de Costa Rica puede variar de 4 a 6 cm.

Respecto al ancho, su medida oscila entre 3,1 y 4,9 cm, siendo los lotes 1 y 2 de la zona de Tucurrique diferentes significativamente entre sí; éstos son diferentes a su vez de los lotes 4 y 5. El lote 3 es diferente a sus homólogos en origen, lotes 4 y 5, que no presentan

diferencia entre ellos y que presentan similitud con el lote 1, el cual es de otra zona. De la misma manera que la variable del largo, el rango de medidas del ancho dentro de un mismo lote es tan amplio, que provoca que no se encuentren diferencias entre todos los lotes, sin embargo, rangos tan amplios evidencian la gran variedad de pejibayes presentes inclusive en una misma zona.

Cuadro 11. Variación de las características dimensionales del pejibaye en cinco lotes con diferente origen (Lotes 1 y 2 procedentes de Tucurrique; lotes 3, 4 y 5 de Pérez Zeledón).

Propiedad		Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5	General
Masa (g)	Rango	24-57	35-55	27-55	29-59	32-49	24-59
	Promedio	37 ± 8 ^b	45 ± 5 ^a	42 ± 8 ^{a,c}	40 ± 9 ^{a,b}	39 ± 4 ^{b,c}	41 ± 7
Largo (cm)	Rango	3,3-6,0	3,7-4,8	3,3-4,9	3,2-4,5	3,1-5,0	3,1-6,0
	Promedio	4,1 ± 0,5 ^{1,2}	4,3 ± 0,3 ¹	4,1 ± 0,3 ^{1,2}	3,9 ± 0,4 ²	4,1 ± 0,4 ^{1,2}	4,1 ± 0,4
Ancho (cm)	Rango	3,5-4,9	4,2-4,7	3,5-4,5	3,1-4,5	3,4-4,7	3,1-4,9
	Promedio	4,0 ± 0,4 ^f	4,4 ± 0,2 ⁺	4,2 ± 0,3 ^f	3,8 ± 0,3 ⁺	3,8 ± 0,3 ⁺	4,0 ± 0,4

Valores horizontales con letra, número o signo distinto son diferentes significativamente ($p < 0,05$), para $n=40$.

Humedad. El contenido de humedad de la pulpa de pejibaye cruda varía de 50,3 a 63,2% (**Figura 8**), siendo diferente ($p < 0,05$) para los tres lotes originarios de Pérez Zeledón, con un valor de humedad promedio de 55,14%; para los lotes de Tucurrique, la humedad promedio fue de 57,16%. Los lotes 1 y 2 no presentaron diferencia entre ellos, pero sí son diferentes de los lotes 3, 4 y 5. Se puede concluir que la humedad es uno de los parámetros que puede presentar una gran variabilidad en la composición debido a la gran variedad de pejibayes que existe. Esta variabilidad en el contenido de humedad concuerda con lo encontrado por otros autores como Blanco *et al.* (1990), Baracaldo (1980), Morton (1987), Murillo y Kronenberg (1983), Sánchez (1981), Gallardo y Sierra (1980), Blaak (1976), Hammond y Wenchi (1982), Clement (1995) y Pérez *et al.* (2006), quienes reportan valores que van desde 36 a 76%.

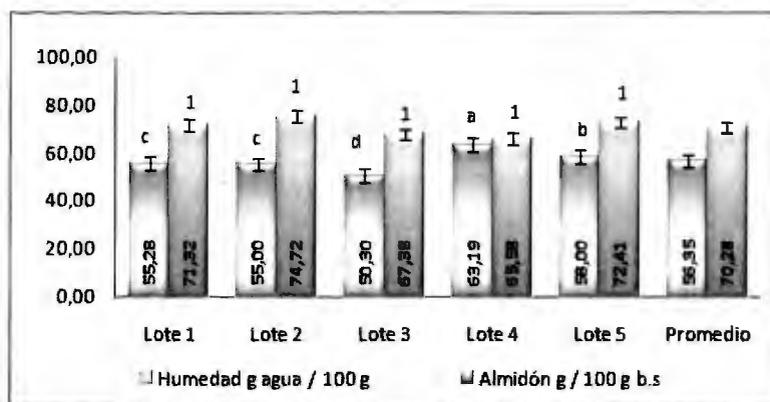


Figura 8. Contenido de humedad y almidón del pebibaye disponible comercialmente. Lotes 1 y 2 son de Tucurrique, lotes 3, 4 y 5 son de Pérez Zeledón. Los datos son el promedio \pm intervalo de confianza, en base seca. Para un mismo componente, promedios con letra ó número distinto son diferentes significativamente ($p < 0,05$), $n=2$.

Almidón: De todas las variables analizadas, solo el contenido de almidón no presenta diferencia significativa entre los lotes evaluados (**Figura 8**), encontrándose un contenido de almidón promedio de $70,3 \pm 3,9\%$ b.s. El pebibaye puede tener gran variabilidad en el contenido de almidón al presentar valores de 64 a 82% b.s. (Blanco *et al.*, 1990; Jane *et al.*, 1992; Murillo & Kronenberg, 1983; Blaak, 1976; Hammond & Wenchi, 1982). Esta variabilidad se debe principalmente al tipo o variedad de pebibaye (descrito por características físicas externas tales como rayado, macho o sin rayas) utilizado en los estudios.

Grasa: En la **Figura 9** se observa que el contenido de grasa es menor para los frutos de la zona de Tucurrique (9,5-12,0% b.s.), mientras que en la zona de Pérez Zeledón se presentan contenidos que van de 13,8 a 16,4% b.s. Los lotes 1, 2 y 3 son diferentes significativamente entre ellos y diferentes a los lotes 4 y 5, siendo estos dos últimos iguales, por lo que se puede concluir que cada lote presenta un contenido diferente de grasa y esto podría estar relacionado con la variedad del pebibaye estudiada. Este componente químico del fruto podría definir la variabilidad del pebibaye disponible comercialmente, ya que solamente los lotes 4 y 5 no fueron diferentes significativamente entre ellos, pero sí de los demás lotes del estudio.

Otro aspecto importante de rescatar es que, gracias al alto contenido de grasa en el pejibaye de Costa Rica (9,5-16,4% b.s.), los carotenoides del pejibaye pueden tener mayor biodisponibilidad, ya que los lípidos presentes estimulan la absorción de este tipo de compuesto pro vitamina A (Rodríguez-Amaya, 1996).

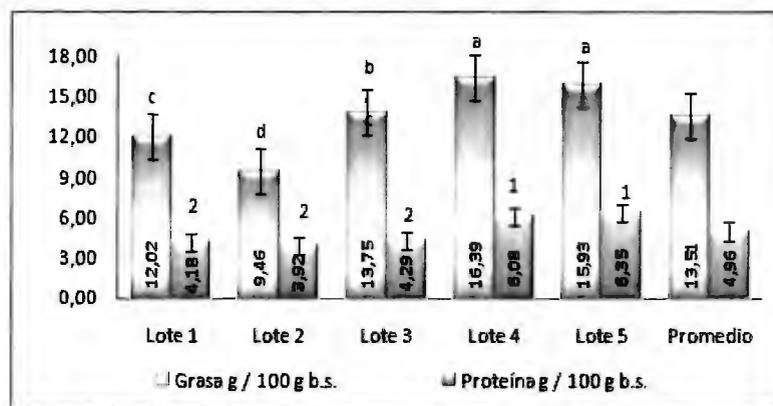


Figura 9. Contenido de grasa y proteína del pejibaye disponible comercialmente. Lotes 1 y 2 son de Tucurrique, lotes 3, 4 y 5 son de Pérez Zeledón. Los datos son el promedio \pm intervalo de confianza, en base seca. Para un mismo componente, promedios con letra ó número distinto son diferentes significativamente ($p < 0,05$), $n=2$.

Proteína: El contenido de proteína de la pulpa de pejibaye cruda osciló entre 3,9 y 6,4% b.s. (**Figura 9**), valor mayor que el reportado por Yuyama *et al.* (2003) para pejibaye de tres zonas distintas de la Amazonia, correspondiente a 1,8-2,7% en fruta fresca, es decir, 3,8 a 5,3% en base seca. Este contenido de proteína hace que el fruto de pejibaye se vuelva interesante, ya que como estos mismos autores indican, el pejibaye es fuente de los 8 aminoácidos esenciales y, a pesar de que su contenido de aminoácidos es menor al recomendado en la ingesta diaria mínima por la FAO/OMS, es importante considerar esta fruta como una fuente para suplir las necesidades diarias de proteína en adultos y niños. Sin embargo, el pejibaye no puede consumirse crudo por el efecto de los factores anti nutricionales que contiene. Por ello la comparación de la ingesta diaria con el aporte de pejibaye debe realizarse una vez que esta fruta haya recibido la etapa de cocción por inmersión en agua, la cual es la forma tradicional de consumo de pejibaye en Costa Rica. Para los pejibayes de este estudio se presentó diferencia significativa ($p < 0,005$) en el

contenido de proteína solo entre los lotes 1, 2 y 3, con respecto a los lotes 4 y 5, estos dos últimos sin diferencia significativa entre ellos, a pesar de que los lotes de una misma zona podrían ser de una variedad distinta. Esto podría deberse a las condiciones de cosecha, aunado a las condiciones climáticas y de suelos en la región, lo cual tiene gran influencia en el crecimiento y desarrollo del fruto (Blanco *et al.*, 1990).

Carotenoides totales: la presencia de carotenoides en el pejibaye imparte una coloración que varía de amarillo a rojo en la cáscara y anaranjado pálido en la pulpa del fruto crudo. Al ser este tipo de compuestos de naturaleza lipofílica, podría esperarse que el comportamiento de la variabilidad en el contenido de carotenoides de los cinco lotes de estudio sea similar al comportamiento obtenido para el contenido graso. Sin embargo, al observar la **Figura 10**, la diferencia significativa entre lotes es distinta para ambos componentes del pejibaye, presentándose una menor variación en el contenido de carotenoides que en el contenido de grasa. Se observa (**Figura 10**) que existen lotes que no presentan diferencia ($p > 0,05$) en el contenido de carotenoides, como los lotes 1 y 3 que son de origen distinto, los lotes 1 y 2 (de la zona de Tucurrique) y los lotes 3 y 4; solo el lote 5 fue distinto de todos los lotes del estudio.

Sin embargo, un rango de 109 a 202 μg β -caroteno equiv./g b.s., con un coeficiente de variación de ± 21 μg β -caroteno equiv./g b.s., demuestra gran variabilidad en el contenido de carotenoides en general, ya que este componente puede variar en más de 90 μg β -caroteno equiv./g, siendo los extremos del rango valores obtenidos para lotes de una misma zona de origen (lotes 4 y 5). Esta variabilidad es demostrada por Jatunov *et al.* (2010) quienes encontraron que para seis variedades distintas de pejibaye, el contenido de carotenoides totales en pejibaye crudo osciló entre 1,1 mg / 100 g a 22,3 mg / 100 g b.h, donde el menor y mayor contenido lo presentaron la variedad de Guatuso y Bolivia, respectivamente.

El pejibaye de Costa Rica tiene un mayor contenido de carotenoides, en comparación con otras frutas como la piña y la papaya, con un contenido de carotenoides de 25,2 μg /g b.s. y 106,7 μg /g b.s., respectivamente (Kok & Ishak, 1991). El contenido de carotenoides en base húmeda del pejibaye crudo de Costa Rica oscila de 46,0 - 94,6 $\mu\text{g}/\text{g}$; este contenido es mayor al reportado por Rodríguez Amaya (1996) para frutas frescas como el mango cv Tommy Atkins (13 ± 1 μg /g), la papaya cv solo ($2,5 \pm 1,0$ μg /g), la acerola (26 ± 4 μg /g) e inclusive pejibayes procedentes de Brasil, los cuales tienen un contenido de 22 ± 12 μg /g.

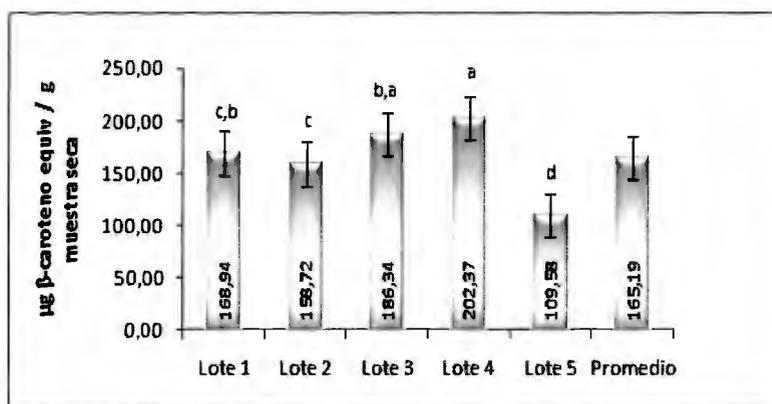


Figura 10. Variación del contenido de carotenoides totales del pejibaye. Lotes 1 y 2 son de Tucurrique, lotes 3, 4 y 5 de Pérez Zeledón. Los datos son el promedio \pm intervalo de confianza, en base seca. Para un mismo componente, promedios con letra ó número distinto son diferentes significativamente ($p < 0,05$)

El contenido de carotenoides puede relacionarse con los parámetros de color, ya que, gracias a su estructura de dobles enlaces, estos compuestos son capaces de generar coloraciones anaranjadas y rojas, siendo más intenso el color en el caso de los carotenoides con mayor número de dobles enlaces (Britton, 1995b). Además, entre más alta sea la concentración de carotenoides, más elevados serán los valores de a^* (verde-rojo) y b^* (azul-amarillo) de acuerdo al tipo de carotenoide que los compone, por lo que el comportamiento del contenido de carotenoides debería verse reflejado en las variables de color. En el **Cuadro 12** se pueden observar los resultados obtenidos para los parámetros de color del pejibaye crudo de los 5 lotes evaluados.

Al comparar en el **Cuadro 12** los resultados obtenidos, se observa que el comportamiento para L^* , a^* y b^* no está relacionado con la variación en el contenido de carotenoides de los cinco lotes. La diferencia significativa entre lotes que presentan estos parámetros de color es diferente a la tendencia de diferencia significativa entre lotes del contenido de carotenoides; esto se corrobora al realizar el análisis de correlación, donde el valor de la correlación entre los parámetros de color y el contenido de carotenoides es, en todos los casos, menor que 0,85.

Cuadro 12. Variabilidad de los parámetros de color en el pejibaye fresco disponible comercialmente en Costa Rica.

Pulpa de pejibaye crudo (n=2)	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5
L*	75,39 ± 0,01 b	74,7 ± 0,2 c	76,3 ± 0,0 a	75,43 ± 0,03 b	75,2 ± 0,3 b
a*	16,47 ± 0,06 c	18,9 ± 0,2 a	14,80 ± 0,06 d	18,2 ± 0,1 a,b	17,9 ± 0,4 b
b*	52,00 ± 0,2 b	60,51 ± 0,05 a	50,16 ± 0,05 b	50,6 ± 0,2 b	51,0 ± 1,1 b
Hue	72,41 ± 0,01 b	72,6 ± 0,2 b	73,56 ± 0,07 a	70,27 ± 0,02 d	70,67 ± 0,01 c
Chroma	54,5 ± 0,2 b	63,48 ± 0,01 a	52,29 ± 0,03 c	53,8 ± 0,3 b,c	54,0 ± 1,2 b,c

En una misma fila valores con letra distinta son diferentes significativamente ($p < 0,05$), para $n=3$.

Sin embargo, en el caso del lote 4, que presenta el contenido de carotenoides más alto, tiene un valor de a^* elevado, tonalidad roja fuerte y el valor b^* bajo, es decir con una tendencia hacia una menor tonalidad amarilla. Esto puede deberse a una mayor composición de carotenoides con un alto número de dobles enlaces como el licopeno, el cual tiene 11 dobles enlaces conjugados, o como el β -caroteno, que presentan 9 dobles enlaces en su cadena de carbonos (Britton, 1995b), siendo, además, el carotenoide que está presente en mayor proporción en el pejibaye (De Rosso & Mercadante, 2007). Este comportamiento también se justifica porque en el lote 4, al haber mayor contenido de carotenoides, la expresión del color de los carotenoides en los valores a^* y b^* se intensifica, al estar estos compuestos liberados de las macromoléculas del fruto. De acuerdo con el tipo de alimento, si el contenido de carotenoides es bajo, hay menor posibilidad de expresión del color y por ende no se expresa la coloración total debida a los carotenoides (Nicoli *et al.*, 1990).

En general, cada uno de los parámetros de color tiene un comportamiento distinto para cada lote. Esto se visualiza en el **Cuadro 13**, donde se presentan los valores para la diferencia total de color (ΔE^*) entre cada uno de los lotes, valor que se genera a partir de los valores de L^* , a^* y b^* . De acuerdo con Castellar *et al.* (2006), el valor de ΔE^* debe ser igual o mayor a 5 para poder distinguir diferencias de color entre dos muestras. El lote 2 tiene valores de ΔE^* mayores a 5 con respecto a los demás lotes, por lo que es el único donde se puede percibir un color de pulpa distinto a los restantes lotes. Esto se debe

probablemente al valor b^* , el cual es mayor que en los demás lotes en 10 unidades ($60,51 \pm 0,05$); este valor de b^* indica que los frutos tienen una tonalidad de amarillo más intensa. Además presenta el valor de luminosidad menor ($74,7 \pm 0,2$).

Cuadro 13. Diferencia de color de la pulpa de 5 lotes de pejibaye crudo disponible en Costa Rica.

ΔE^*	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5
Lote 1	8,91	2,63	2,16	1,72
Lote 2	--	11,26	9,96	9,58
Lote 3	--	--	3,50	3,37
Lote 4	--	--	--	0,51

Polifenoles totales: El contenido de polifenoles presenta una tendencia distinta al contenido de carotenoides, dándose una similitud mayor en el contenido de polifenoles totales entre los lotes en comparación con el comportamiento dado en el contenido de carotenoides, ya que en el caso de los carotenoides solo 2 de cinco lotes son iguales, mientras que en el contenido de polifenoles 3 de 5 lotes no presentan diferencia.

El contenido de polifenoles totales promedio para los cinco lotes es de 72 ± 18 mg GAE /100 g b.s. con un intervalo de confianza de 8 mg GAE /100 g; el contenido de carotenoides totales promedio es de 165 ± 33 μ g β -caroteno equiv. / g b.s. con un intervalo de confianza de 21 μ g β -caroteno equiv. / g. Mientras que el valor mínimo de polifenoles varía en 18 unidades en 100 g de pejibaye b.s. (0,18 / g), el contenido de carotenoides puede variar en 33 unidades por g de pejibaye b.s. Además, el intervalo de confianza de los polifenoles es menor, lo que indica que hay menor rango de variación en el contenido de polifenoles.

El lote 4 es diferente a todos los demás y es el que presenta el mayor contenido de polifenoles (104 ± 5 mg GAE /100 g b.s.), mientras que los lotes 1,3 y 5 no presentan diferencia ($p > 0,05$). Tampoco se encontró diferencia entre los lotes 2 y 3, provenientes de las dos zonas estudiadas, por lo que podría decirse que el origen de los pejibayes no tiene influencia en el contenido de polifenoles a pesar de la gran cantidad de variedades de pejibaye existentes. Las variaciones en el contenido de los distintos lotes analizados

podrían deberse a factores de pre cosecha y a estructuras internas del pejibaye que permiten mayor o menor extracción de los mismos y por ende dificultan la cuantificación de los mismos (Cozzano, 2007).

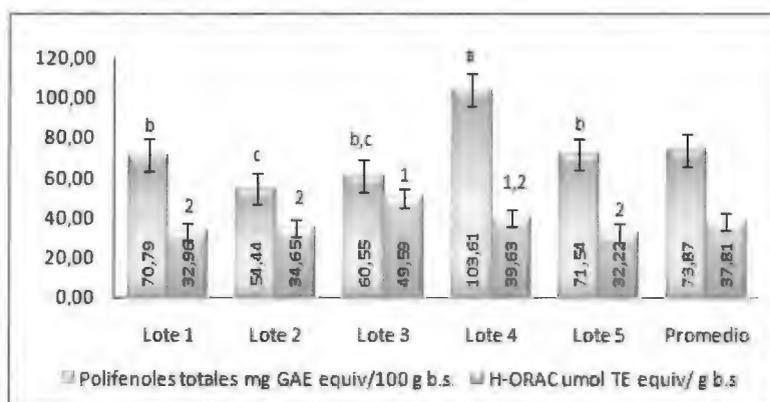


Figura 11. Variación del contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante hidrofílica del pejibaye. Lotes 1 y 2 son de Tucurrique, lotes 3, 4 y 5 de Pérez Zeledón. Los datos son el promedio \pm intervalo de confianza, en base seca. Para un mismo componente, promedios con letra ó número distinto son diferentes significativamente ($p < 0,05$)

Para este estudio, el contenido de polifenoles de los pejibayes osciló entre 54 y 104 mg GAE /100 g b.s., este contenido es mayor que el reportado por Vinson *et al.* (2001) en frutas como melón cv. Cantaloupe (25,6 mg GAE /100 g b.s.) y naranja (40,6 mg GAE /100 g b.s.). En el caso de algunos de los lotes evaluados, el contenido de polifenoles equivale al encontrado por Vinson *et al.* (2001) en sandía (63,8 mg GAE /100 g b.s.) y aguacate (101,5 mg GAE /100 g b.s.). No se pudo comparar el contenido de polifenoles de pejibayes originarios de Costa Rica, con pejibayes de otras procedencias ya que no existen reportes de este tipo de componente en la literatura. A pesar de ello, aunque el contenido de polifenoles encontrado en pejibaye es menor al de frutas como ciruela, fresa y mora de la variedad vino cultivada en Costa Rica, se puede considerar como una posible fuente de este tipo de compuestos, que tienen efecto positivo sobre la salud humana debido a su efecto antioxidante (Issa *et al.*, 2006).

Capacidad antioxidante: la capacidad antioxidante en el pejibaye puede deberse a la presencia de compuestos como los carotenoides, polifenoles, vitamina C y minerales

como el selenio y el zinc (Leterme *et al.*, 2005). Los carotenoides son de naturaleza lipofílica, mientras que los polifenoles, vitamina C, selenio y el zinc son antioxidantes de naturaleza hidrofílica. La capacidad antioxidante determinada en la pulpa de pejibaye cruda mediante el método H-ORAC corresponde a la dada por los compuestos hidrofílicos, obteniéndose valores que van de 32,2 a 49,6 $\mu\text{moles TE/g b.s.}$ Esta capacidad antioxidante del pejibaye fresco es mayor a la reportada por Wu *et al.* (2004) para la capacidad antioxidante total (lipofílica e hidrofílica) de frutas como el melón (30,1 $\mu\text{moles TE/g b.s.}$) y la sandía (16,9 $\mu\text{moles TE/g b.s.}$), que son fuente de carotenoides. En el caso de frutas ricas en materia grasa como el aguacate, Wu *et al.* (2004) reportan una capacidad antioxidante hidrofílica de 48,5 $\mu\text{moles TE/g b.s.}$, muy similar a la presentada por el pejibaye crudo. Respecto a la variabilidad en la capacidad antioxidante de la pulpa de pejibaye, se puede observar en la **Figura 11** que existe diferencia significativa entre el lote 1 y 2 respecto al lote 3 y de este último respecto al lote 5, mientras que los lotes 1, 2, 4 y 5 no presentan diferencia significativa entre sí, a pesar de que algunos de ellos son de zonas de origen distintas.

4.2.5 Conclusiones

- ✓ El pejibaye presenta una gran variabilidad reflejada en el amplio rango de mediciones de las dimensiones obtenidas, inclusive dentro de un mismo lote.
- ✓ La variabilidad de la composición físico – química del pejibaye crudo depende del componente en estudio, ya que el comportamiento de diferencia significativa entre lotes es distinto para cada una de las variables estudiadas.
- ✓ A pesar de la variabilidad encontrada entre los lotes en el contenido de humedad, el contenido promedio obtenido ($56,4 \pm 4,5$) coincide con el reportado por otros autores para otras variedades estudiadas.
- ✓ Aunque se encontraron diferencias significativas en el contenido de carotenoides, polifenoles y la capacidad antioxidante, en cada componente solo uno de los lotes fue diferente a todos los lotes del estudio, siendo 2/5, 3/5 y 4/5 lotes iguales entre sí, respectivamente.
- ✓ No se observaron diferencias en el contenido de almidón de los distintos lotes y los resultados obtenidos indican que este componente no se ve afectado por la zona de origen.

- ✓ Finalmente, los resultados obtenidos muestran que el fruto de pejibaye disponible comercialmente en Costa Rica constituye una buena fuente de compuestos antioxidantes como carotenoides y polifenoles, siendo la capacidad antioxidante hidrofílica mayor a la reportada en frutas como melón y sandía..

4.2.6 Referencias

- ABUSHITA, A., DAOOD, H. & BIACS, P. 2000. Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 2075-2081.
- ALVÍDREZ, A., GONZÁLEZ, B. & JIMÉNEZ, Z. 2002. Tendencias en la producción de alimentos: alimentos funcionales. *Revista Salud Pública y Nutrición* 3: 1-6.
- A.O.A.C. 1999. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 16ed. Rev 5. AOAC International, Maryland.
- BARACALDO, R. 1980. El Chontaduro o cachipay: un cultivo promisorio de América intertropical. Instituto Colombiano de la Reforma Agraria. INCORA. Ministerio de Agricultura, Bogotá.
- BLAAK, G. 1976. Pejibaye: Review article. *Abstract of Tropical Agriculture* 2: 9-17.
- BLANCO, A., LOWERY, M., MONTERO, M., MORA – URPÍ, J. & ROJAS, M. 1990. El pejibaye: su uso en la alimentación humana. Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud (INCIENSA), San José.
- BRITTON, G. 1995a. Carotenoids: Isolation and analysis. In BRITTON, G., LIAAEN-JENSEN, S., PFANDER, H. (Eds). *Carotenoids: spectroscopy*, vol 1A. Birkhauser Verlag, Basel, 95: 102-107.
- BRITTON, G. 1995b. Structure and properties of carotenoids in relation to function. *Journal of Faseb* 9: 1551-1558.
- CAMACHO, E. 1992. El Pejibaye (*Guilielma gasipaes* H.B.K.) L.H. Bailey. Centro Tropical de Enseñanza e Investigación (CATIE), Turrialba.
- CASTELLAR, M., OBÓN, J. & FERNÁNDEZ, J. 2006. The isolation and properties of a concentrated red-purple betacyanin food colourant from *Opuntia stricta* fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86: 122-128.

- CLEMENT, C. 1995. Pejibaye *Bactris gasipaes* (Palmae). Evolution of crop plants. 2 ed. Logman, London.
- CLEMENT, C., WEBER, J.C., VAN LEEUWEN, C., ASTORGA, D.M., COLE, L.A. & ARGUELLO, H. 2004. Why extensive research and development did not promote use of peach palm fruit in Latin America agroforestry systems 61: 195-206.
- COZZANO, S. 2007. Impacto del proceso de microfiltración tangencial sobre el valor de la mora (*Rubis spp*) como alimento funcional. Tesis M.Sc. Ciencia de Alimentos. Sistema de Estudios de Posgrado, Universidad de Costa Rica. San José.
- Da SILVA, J. B. & CLEMENT, C.H. 2005. Wild pejibaye (*Bactris gasiapas* Kunth var. chichagui) in Southeastern Amazonia. Acta Botanica Brasilica 19 (2): 281-284.
- DE ROSSO, V. & MERCADANTE, A. 2007. Identification and quantification of carotenoids by HPLC-PDA-MS/MS, from Amazonian Fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry 55: 5062-5072.
- DE SÁ, M. & RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 2003. Carotenoid composition of cooked green vegetables from restaurants. Food Chemistry 83: 595-600.
- DIBARI, F. 1997. Ecological flour with pupunha. Intermediate Technology Food Chain 20: 7-10.
- FERNÁNDEZ, M., BLANCO, A. & MORA – URPI, J. 1990. Definición de las características químico – nutricionales de cuatro poblaciones de pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K). Boletín Informativo 2(1):6-9.
- FERNÁNDEZ, M., BLANCO, A. & MORA, J. 1995. Contenido de ácidos grasos en cuatro poblaciones de pejibaye, *Bactris gasipaes* (Palmae). Biología Tropical 43 (1): 61-66.
- GALLARDO, V. & SIERRA, C. 1980. Condiciones óptimas de secado para la obtención de harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*). Tesis Ingeniería Agrícola. Universidad del Valle, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- GEORGÉ, S., BRAT, P., ALTER, P. & AMIOT, M. 2005. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant – derived products. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53: 1370-1373.
- GÓMEZ, G., QUESADA, S. & NANNE, C. 1998. Efecto de factores antinutricionales en el pejibaye (*Bactris gasipaes*) sobre el metabolismo de ratas jóvenes. Agronomía Costarricense 22(2): 191-198.

- GONNET, J. 1998. Colour effects of copigmentation of anthocyanins revisited – I.A colourmetric definition using the CIELAB scale. *Food Chemistry* 63: 409-441.
- HAMMOND, G. & WENCHI, P. 1982. Fatty acid composition and gliceride structure of the mesocarp and kernel oils of the pejobaye palm (*Bactris gasipaes* H.B.K). *Biología Tropical* 30: 91-93.
- HUANG, D., OU, B., HAMPSWODILL, M., FLANAGAN, J. & PRIOR, R. 2002. High – throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handing system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 4437-4444.
- ISSA, A.Y., VOLATE, S.R., & WARGOVICH, M.J. 2006. The role of phytochemicals in inhibition of cancer and inflammation: New directions and perspectives. *Journal of Food Composition and Analysis* 19(5): 405-419.
- JANE, J., SHEN, L. & AGUILAR, F. 1992. Characterization of pejobaye starch. *Cereal Chemistry* 69 (1): 96-100.
- JATUNOV, S., QUESADA, S., DÍAZ, C. & MURILLO, E. 2010. Carotenoid composition and antioxidant activity of the raw and boiled fruit mesocarp of six varieties of *Bactris gasipaes*. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 60(1): 99-104.
- KOK, N. & ISHAK, S. 1991. Carotenoid and anthocyanin contents of papaya and pineapple: influence of blanching and oredrying treatments. *Food Chemistry* 39: 175-185.
- LEAKEY, R. 1999. Potential for novel food products from agro forestry trees: a review. *Food Chemistry* 66: 1-14.
- LETERME, P., GARCÍA, M.F., LONDOÑO, A., ROJAS, M., BULDGEN, A. & SOUFFRANT, W. 2005. Chemical composition and nutritive value of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) in rats. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85: 1505-1512.
- MORA-URPÍ, J., WEBER, J. & CLEMENT, C. 1997. Peach Palm, *Bactris gasipaes* Kunth. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetic and Crop Plant Reserch. Gatersleben International Plan Genetic Resources Institute. Italy.

- MORTON, J. 1987. Pejibaye. In: Fruits of warm climates. Creative Resource Systems, Miami, Florida. pp: 12-17.
- MURILLO, M. & KRONEBERG, A. 1983. Estudio preliminar sobre factores inhibidores de enzimas proteolíticas en la harina de pejobaye (*Bactris gasipaes*). Revista de Biología Tropical 31(2): 227-231.
- NICOLI, M.C., ANESE, M. & PARPINEL, M. 1999. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. Trends in Food Science and Technology 10: 94-100.
- OU, B., HAMPSCH-WOODILL, M. & PRIOR, R. 2001. Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. Journal of Agricultural and Food Chemistry 49: 4619-4626.
- PÉREZ, A.M., AYÍ, D., FLORES, W., QUESADA, S., TORRES, M. & VAILLANT, F. 2006. Physico-chemical composition and antioxidant content changes of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) during processing. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica, San José.
- PÉREZ-MATEOS, M., BRAVO, L., GOYA, L., GÓMEZ-GUILLÉN, C. & MONTERO, P. Quercetin properties as a functional ingredient in omega-3-enriched fish gels fed to rats. Journal of the Science of Food and Agriculture 85: 1651-1659.
- RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 1996. Assessment of the provitamin A contents of foods – The brazilian experience. Journal of Food Composition and Analysis 9(0028): 196-230.
- RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 2001. A guide to carotenoid analysis in foods. Universidade Estadual de Campinas, Brasil.
- SÁNCHEZ, N. 1981. Aspectos fenológicos del pejobaye (*Bactris gasipae* H.B.K.). Universidad de Costa Rica, San José.
- SLINKARD, K. & SINGLETON, V. 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. American Journal of Enology and Viticulture 28(1): 49-55.

- SOUTHGATE, D.A., 1976. Determination of food carbohydrates. Cap. 8. Selected Methods. Applied Science Publishers. Londres.
- TRACY, M. 1985. The Pejibaye fruit: problems and prospects for its development in Costa Rica. Tesis. Master of Arts. Universidad de Texas, Austin.
- TRACY, M. 1996. Harina de pejobaye una opción prometedora. Boletín Informativo RETADAR 23(1): 3.
- VINSON, J., SU, X., ZUBIK, L. & BOSE, P. 2001. Phenol antioxidant quantity and quality in foods: fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry 49: 5315-5321.
- WU, X., GU, L., HOLDEN, J., HAYTOWITZ, D., GEBHARDT, S., BEECHER, G. & PRIOR, R. 2004. Development of a database for total antioxidant capacity in foods: a preliminary study. Journal of Food Composition and Analysis 17: 407-422.
- YANGÜEZ, J. 1975. Distribución, importancia económica y domesticación de la palma chonta (*Bactris gasipaes*). Revista Colombiana de Antropología 19: 397-421.
- YUYAMA, L., AGUIAR, J., YUYAMA, K., CLEMENT, C., MACEDO, S., FÁVARO, D., AFONSO, C., VASCONCELLOS, M., PIMENTEL, S., BADOLATO, E. & VANNUNCCHI, H. 2003. Chemical composition of the fruit mesocarp of three peach palm (*Bactris gasipaes*) populations grown in Central Amazonia, Brazil. International Journal of Food Science and Nutrition 54 (1): 49-56.

4.3 Evaluación del efecto del proceso de elaboración de harina de pejibaye (*Bactris gasipaes*) sobre la composición físico – química, compuestos antioxidantes y capacidad antioxidante.

Rojas Carolina¹, Pérez Ana M¹, Vaillant Fabrice², Pineda M. Lourdes³

¹ Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), Universidad de Costa Rica

² Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le développement (CIRAD-PERSYST), Montpellier, Francia

³ Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica

4.3.1 Resumen

Se determinó el efecto de la cocción y el secado en la elaboración de harina de pejibaye sobre el contenido de humedad, almidón, proteína, grasa, carotenoides totales, polifenoles totales, capacidad antioxidante hidrofílica y los parámetros de color. Se encontró que no existe diferencia significativa ($p > 0,05$) en el contenido de grasa, proteína y almidón, siendo el contenido de grasa en la harina de $13,4 \pm 2,3$ g/100 b.s., proteína $5,0 \pm 1,0$ g/100 b.s. y almidón 67 ± 7 g/100 b.s. Por efecto de la cocción se dio un aumento significativo ($p < 0,05$) de un 5% de la humedad, así como un aumento significativo de un 17% en los carotenoides totales (b.s.) respecto al contenido de carotenoides en la pulpa de pejibaye cruda. El cambio total en el contenido de carotenoides no es significativamente diferente, siendo la disminución provocada por la etapa de secado compensada por el aumento de los carotenoides después de la cocción. Los parámetros de color a^* , b^* y L^* presentaron diferentes valores para cada una de las etapas ($p < 0,05$), obteniendo una diferencia total de color (ΔE^*) perceptible al ojo humano con un valor de 25 entre la pulpa de pejibaye cruda y la pulpa cocinada, y un $\Delta E^* = 8$ entre la pulpa cocinada y la harina. No hubo un efecto del proceso de elaboración de la harina de pejibaye sobre el contenido de polifenoles ni de la capacidad antioxidante hidrofílica, presentando valores de $0,6 \pm 0,3$ mg GAE / g b.s. y de 36 ± 10 μ moles Trolox equiv. / 100 g b.s., respectivamente.

4.3.2 Introducción

El pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K) es una planta nativa del trópico americano de regiones con alta precipitación cuyo cultivo se extiende desde Honduras hasta Brasil, Bolivia y ciertas islas de las Antillas, principalmente Trinidad y Tobago (Fernández *et al.*, 1995; Tracy, 1996; Camacho, 1992; Blaak, 1976). En América Central, el pejibaye se encuentra principalmente en la región Atlántica, área a la que parece muy bien adaptado (Camacho, 1992).

Este fruto es considerado como uno de los alimentos tropicales de mayor valor nutritivo dado su alto contenido de fibra, β -caroteno y vitamina A, bajo contenido de sodio y azúcares (Fernández *et al.*, 1990), y alto valor energético por su contenido de almidón y grasa (Clement *et al.*, 2004; Da Silva & Clement, 2005; Leterme *et al.*, 2005), además de ser fuente de los ocho aminoácidos esenciales para el humano (Yuyama *et al.*, 2003), constituyéndose en un importante aporte vegetal a la dieta humana (Gallardo & Sierra, 1980).

Para que el pejibaye pueda llegar a constituir un componente regular de la dieta, es necesario buscar formas de elaborar productos estables que conserven el valor nutritivo del fruto fresco, que puedan almacenarse fácilmente, que sean de sabor agradable y que puedan obtenerse a precio razonable, como lo es la harina de pejibaye, a partir de la cual existe una gran gama de productos que pueden desarrollarse y comercializarse.

El pejibaye es probablemente la fruta del trópico más balanceada y, dada la composición nutricional que presenta y su elevada aceptabilidad, puede ser usado en la prevención de algunas de las principales enfermedades de la población costarricense (Jane *et al.*, 1992).

Se ha descubierto que muchos productos alimenticios tradicionales contienen componentes que pueden resultar beneficiosos para la salud (Alvidrez *et al.*, 2002; Puupponen-Pimiä *et al.*, 2005); asimismo, se ha demostrado que existe una correlación inversa entre la ingesta de frutas y vegetales y la incidencia de enfermedades severas como las cardiovasculares, oftalmológicas, ciertos desórdenes neurodegenerativos y algunos tipos de cáncer (Van Duyn & Pivonka, 2000). Esto ha llevado a que se recomiende incrementar el consumo de frutas y vegetales ricos en compuestos bioactivos (Abushita *et al.*, 2000), siendo el fruto del pejibaye una posibilidad bastante interesante, por presentar contenidos de carotenoides y polifenoles, compuestos con comprobada actividad antioxidante (Alpizar, 2002; Georgé *et al.*, 2005).

Los antioxidantes son componentes tales como vitaminas, minerales (selenio), pigmentos naturales (carotenoides y antocianinas), o enzimas y otros compuestos vegetales que tienen la capacidad de retardar o prevenir la oxidación de las moléculas orgánicas al disminuir las reacciones químicas que involucran oxígeno, o sea, son capaces de neutralizar la acción oxidante de moléculas inestables o radicales libres

(Alpizar, 2002; Georgé *et al.*, 2005). El sistema de defensa antioxidante del organismo es complejo y comprende muchos antioxidantes enzimáticos (catalasa, superperóxido dismutasa y glutatión peroxidasa) y no enzimáticos (glutatión, urato, ubiquinol, proteínas plasmáticas, entre otros compuestos), dándose un efecto sinérgico con compuestos de distinta actividad antioxidante (Stahl & Sies, 2005).

En el campo de la tecnología de alimentos, el control de los radicales libres es importante para prevenir el proceso de oxidación o desarrollo de la rancidez. La peroxidación lipídica lleva a la aparición de compuestos químicos que provocan aromas y sabores desagradables (Suja *et al.*, 2004). En el caso de los polifenoles, estos compuestos influyen en la calidad de los alimentos, impartiendo amargor o astringencia en las bebidas, importantes para la sensación en la boca y la textura (Wrolstad *et al.*, 2005). Por otro lado, el procesamiento de alimentos tiene un rol importante en la preservación y biodisponibilidad de los compuestos bioactivos.

Según Puupponen-Pimiä *et al.* (2005), dentro de los denominados compuestos bioactivos, la fibra dietética no se ve afectada por tratamientos térmicos como el escaldado, pero sí las vitaminas y los antioxidantes como carotenoides y antocianinas, los cuales son más sensibles al calor, hay un aumento de concentración de compuestos bioactivos como los carotenoides y esteroides después del proceso, pero también un cambio en la calidad de los mismos (Rodríguez-Amaya, 1997). Procesos como calentamiento o secado por microondas, escaldado, ebullición y salteado de los alimentos provocan pérdidas de compuestos provitamina A, y procesos como la fritura en profundidad, la cocción prolongada, la combinación de diversos métodos de preparación/procesamiento, el horneado, el secado y el encurtido dan como resultado pérdidas sustantivas de compuestos provitamina A (Rodríguez-Amaya, 1997).

También, algunos autores como Pérez-Mateos *et al.* (2005), Puupponen-Pimiä *et al.* (2005), De Sá y Rodríguez-Amaya (2003), De Sá y Rodríguez-Amaya (2004) y Abushita *et al.* (2000) han realizado estudios en frutas y vegetales como el mango, la papaya el tomate, el brócoli y la espinaca. Estos autores han demostrado que el contenido y la capacidad antioxidante se alteran al someterse a procesos de transformación que involucran etapas como aplicación o eliminación de calor. Se reportan cambios en el contenido final de compuestos bioactivos como los carotenoides y los polifenoles en el

producto final, lo que hace suponer que el contenido de los compuestos bioactivos puede variar durante el proceso de elaboración de la harina de pejibaye.

Estas modificaciones podrían ser causadas principalmente por el ablandamiento de la pared celular, lo que hace más fácil la exposición de los antioxidantes y, por tanto, el contacto con mayores niveles de enzimas endógenas, a la actividad del agua, la presión del oxígeno y la energía térmica (De-Sá & Rodríguez-Amaya, 2003; De-Sá & Rodríguez-Amaya, 2004).

Debido a la ausencia de literatura respecto al contenido de distintos compuestos bioactivos del pejibaye, es interés de este trabajo generar información sobre los cambios que se dan en el contenido de compuestos bioactivos durante el procesamiento del pejibaye para la producción de harina, tales como polifenoles, carotenoides y capacidad antioxidante.

4.3.3 Materiales y métodos

4.3.3.1 Materia prima

Se trabajó con 5 lotes de pejibaye cosechados en estado maduro, textura firme, color de la cáscara naranja – rojo y sin estrías. Dos lotes fueron obtenidos en el Mercado Central de San José, provenientes de la plantación del Centro Agrícola Cantonal de Jiménez, Tucurrique. Los restantes lotes fueron cosechados en Pérez Zeledón y obtenidos a través de uno de los proveedores de pejibaye para el Mercado Central de San José y el Centro Nacional de Abastecimiento y Distribución de Alimentos (CENADA).

4.3.3.2 Preparación de la muestra

Cada lote de pejibaye crudo se lavó y desinfectó por inmersión de cinco minutos con cloro a 150 ppm; posteriormente se realizó la cocción por inmersión en agua por un periodo de 30 min en ebullición. El pejibaye cocinado se peló y desemilló para luego ser rebanado y secado hasta alcanzar aproximadamente un 10% de humedad final; finalmente se molió para obtener la harina de pejibaye. Se obtuvo muestra homogenizada de la pulpa de pejibaye fresco crudo, pulpa de pejibaye cocinado y harina de pejibaye para determinar humedad, grasa y carotenoides totales. Cada muestra homogenizada fue congelada para luego realizar los análisis de proteína y almidón total. La determinación de polifenoles

totales y capacidad antioxidantes se realizó a partir de la muestra homogenizada congelada en nitrógeno líquido y liofilizada, la cual se mantuvo en congelación a -20 °C. Las muestras congeladas y liofilizadas se empacaron en bolsas con protección a la humedad, a la luz y al vacío. Estos análisis se realizaron por duplicado para la composición físico – química y por triplicado para los análisis de carotenoides, polifenoles y capacidad antioxidante.

4.3.3.3 Reactivos

Ácido sulfúrico, ácido bórico, hidróxido de sodio, metanol ACS, hidróxido de potasio ACS, acetona ACS 99.8%, éter etílico ACS 99% y hexano ACS 99% fueron obtenidos de J.T. Baker (México D.F), α -amiloglucosidasa (E.C.3.2.1.3), glucooxidasa, glucosa, carbonato de sodio, ácido gálico, Folin–Ciocalteu, ácido 2-carboxílico 6-hidroxy 2,5,7,8-tetrametilcromano, fluoresceína de sodio, AAPH: 2,2'-azobis (2-amidinopropano) dihidrocloruro, fosfato de sodio monobásico ACS y fosfato de sodio dibásico ACS se obtuvieron de Sigma-Aldrich Chemical Co. (St. Louis, MO).

4.3.3.4 Métodos de análisis

Humedad: el contenido de humedad se determinó por medio del método oficial de la AOAC (920.151) por secado de la muestra en una estufa de vacío a 95 °C (AOAC 1999).

Almidón: el contenido de almidón fue determinado siguiendo el método descrito por Southgate (1976) por medio de hidrólisis enzimática.

Grasa: el contenido de grasa se obtuvo por medio de la extracción del material seco en un sistema Soxhlet, según el método de la AOAC 991.20 (AOAC 1999).

Proteína: se midió según el método recomendado por la AOAC (920.152) conocido como método de Kjeldahl (AOAC 1999).

Carotenoides totales: se preparó el extracto de carotenoides siguiendo la metodología descrita por Britton (1995a) y Rodríguez-Amaya (2001). Se realizó la saponificación a temperatura ambiente por 24 h en una mezcla de éter etílico y KOH alcohólico al 5%, con el fin de eliminar la interferencia de la clorofila, y en oscuridad para evitar la degradación

de los carotenoides. Los carotenoides fueron extraídos de la pulpa con acetona, éter etílico/n-hexano y finalmente con n-hexano. El análisis se llevó a cabo en un espectrofotómetro UV-visible Shimadzu PharmaSpec UV-1700 (Kyoto, Japón) a una longitud de onda de 450 nm. El contenido de carotenoides se expresó como μg de β -caroteno equivalente/ g b.s.

Polifenoles totales: el contenido de polifenoles totales se realizó siguiendo el método descrito por Slinkard y Singleton (1977), modificado por Georgé *et al.* (2005) por medio de la reacción del reactivo Folin – Ciocalteu con los polifenoles. Se eliminó la interferencia de ácido ascórbico y azúcares reductores mediante el uso de cartuchos OASIS® (Waters). Se utilizó ácido gálico como estándar. La absorbancia se midió usando un espectrofotómetro de UV-visible Shimadzu PharmaSpec UV-1700 (Kyoto, Japón) a 765 nm contra un blanco. El contenido de polifenoles fue expresado como mg equivalentes de ácido gálico (GAE) / g b.s. a partir de la curva de calibración de ácido gálico en un rango de 10-80 mg/L ($r^2=0.9996$).

Capacidad antioxidante (ORAC): el análisis de la capacidad antioxidante mediante el método ORAC hidrofílico (*Oxygen Radical Absorbance Capacity*) fue llevado a cabo en un espectrofotofluorómetro BIOTEK Synergy HT (Winooski, U.S.A), basado en la metodología de Ou *et al.* (2001) y Huang *et al.* (2002). El valor ORAC fue expresado como μmoles de equivalentes de Trolox (TE) / g b.s. a partir de la curva de calibración de Trolox en un rango de 4,0-32,3 $\mu\text{mol TE/L}$ ($r^2=0,9993$).

Color: El color se determinó utilizando el colorímetro Hunter Lab (Hunter lab Resto VA, USA) para los valores de a^* , b^* y L^* . Los valores de *hue*, *chroma* y ΔE^* (diferencia total de color), fueron obtenidos a partir de las fórmulas de cálculo descritas por Gonnet (1998).

4.3.3.5 Diseño experimental y análisis estadístico

Para evaluar el efecto del proceso de elaboración de la harina de pejibaye sobre la composición físico – química y el contenido de compuestos bioactivos se utilizó un diseño irrestricto aleatorio con tres tratamientos (pulpa de pejibaye crudo, pulpa de pejibaye cocinado y harina de pejibaye), analizado con un análisis de varianza (ANDEVA); la variable lote fue tratada como un bloque debido a la variabilidad que existe entre los frutos. Los promedios se compararon con una prueba de Tukey con un valor de $p<0,05$.

4.3.4 Resultados y discusión

Se estudió el cambio en la composición físico – química, el contenido de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante durante las etapas del proceso de elaboración de la harina de pejibaye. En el **Cuadro 14** se presenta la composición físico - química del pejibaye crudo, pejibaye cocinado y la harina de pejibaye obtenida luego de aplicar las etapas de cocción por inmersión en agua y de deshidratación con aire caliente.

Cuadro 14. Efecto del proceso en la elaboración de la harina de pejibaye en la composición físico - química y contenido de compuestos bioactivos.

Componente g / 100g b.s.		Pulpa pejibaye crudo	Pulpa pejibaye cocido	Harina sin cáscara
Humedad		56 ± 5 b	59 ± 4 a	13 ± 3 c
Grasa		14 ± 3 a	13 ± 3 a	13 ± 2 a
Proteína		5,0 ± 1,1 a	5,0 ± 1,1 a	5,0 ± 1,0 a
Almidón		70 ± 4 a	68 ± 4 a	67 ± 7 a
Color	L*	75,4 ± 0,6 a	61 ± 5 c	69 ± 3 b
	a*	17 ± 2 c	27 ± 2 a	24 ± 2 b
	b*	53 ± 4 b	71 ± 5 a	69 ± 5 a
	Hue	72 ± 1 a	69,0 ± 0,7 c	70,6 ± 0,7 b
	Chroma	56 ± 4 b	76 ± 5 a	73 ± 5 a
Carotenoides *		168 ± 34 b	197 ± 45 a	142 ± 22 b
Polifenoles **		0,7 ± 0,2 a	0,7 ± 0,3 a	0,6 ± 0,3 a
H-ORAC ***		38 ± 7 a	38 ± 8 a	36 ± 10 a

Valores horizontales con letra distinta son diferentes significativamente ($p < 0,05$), para $n=3$

* μg de β -caroteno equivalente / g b.s.

** mg GAE/ g b.s.

*** $\mu\text{moles TE}$ / g b.s.

Según el **Cuadro 14**, se da un aumento significativo en el contenido de humedad después de la etapa de cocción, lo cual es de esperarse pues los pejibayes están en contacto directo con el agua, dándose una sensibilización de la pared celular que favorece la transferencia de agua hacia la pulpa. Esto permite que carbohidratos como el almidón, celulosa y hemicelulosa absorban agua durante la cocción (Fernández *et al*, 1995).

Posteriormente, se da una fuerte disminución de la humedad en la etapa de secado; el contenido en la pulpa de pejibaye crudo pasa de $56,4 \pm 4,5$ g / 100 g a $58,9 \pm 3,5$ g / 100 g

en la pulpa cocinada y finalmente se alcanza una humedad de $12,8 \pm 2,5$ g / 100 g en la harina, valor que se debe alcanzar según lo establece la norma para harina del CODEX STAN – 155 (1985). Esta disminución de humedad representa un cambio de 78% en el contenido de humedad final en la harina lo que se asocia a la obtención de un rendimiento total del proceso bajo, ya que lo que se espera es eliminar el agua.

Los contenidos de grasa, de proteína y de almidón no se ven afectados significativamente por las etapas de cocción y de secado en la elaboración de harina de pejibaye. Este comportamiento no coincide con lo reportado por Fernández *et al.* (1995) y Clement (1995) para el caso del contenido graso, ya que los autores reportan una disminución del contenido de grasa en más de un 20%, debido a que por el punto de fusión de los ácidos grasos (40 °C), estos se transfieren al agua en una capa superficial. Aunque la cantidad de materia grasa no cambia en el proceso de elaboración de la harina de pejibaye, podría darse un cambio en la configuración de los ácidos grasos producto del tratamiento térmico recibido; por ello la calidad de las grasas poliinsaturadas podría cambiar debido a la transformación de moléculas en su isómero *trans* (Belitz & Grosch, 1997).

El contenido de proteína tampoco presentó cambio durante las etapas de elaboración de harina; esto es importante ya que, al ser el pejibaye una fruta, el contenido de este constituyente no es muy elevado y si las variaciones en el contenido de proteína se minimizan a lo largo del proceso, se puede disponer de una fuente de los ocho aminoácidos esenciales (Yuyama *et al.*, 2003).

El contenido de proteína en el pejibaye cocinado, forma tradicional de consumo, es de 2,05 g/100g b.s. Según Hernández (2010), la ingesta necesaria para mantener el balance de nitrógeno en el organismo es de 75 mg de nitrógeno por kg de peso corporal, esto se puede equiparar con los requerimientos nutricionales de proteínas dietarias, el cual en adultos mayores de 18 años corresponde a 0,80 g proteína/kg de peso corporal/día. Esto significa que para una persona con un peso de alrededor de 60 kg, al consumir al menos dos pejibayes con una masa promedio de 50 g está satisfaciendo en un 4,3% sus necesidades diarias proteicas, con la ventaja de que el pejibaye aporta los 8 aminoácidos esenciales.

Se obtuvo un contenido de almidón en la pulpa de pejibaye cocinado de 68 ± 4 g/100g b.s., que no es diferente ($p > 0,05$) al contenido de almidón en la harina (**Cuadro 14**), por lo

que tampoco hubo efecto de la etapa de cocción y de secado sobre este componente. Sin embargo, el tratamiento térmico pudo haber ocasionado cambios químicos que no son evidentes al determinar el contenido total de almidón como lo es la gelatinización, que modifica la textura y las propiedades del pejibaye como materia prima (Jane *et al.*, 1992). Esto es importante si se considera esta fruta como una posible alternativa para la extracción del almidón para aplicaciones alimenticias, esto por su menor temperatura de gelatinización en comparación con la del almidón de maíz, papa y trigo; esta característica hace llamativo el eventual uso del almidón del pejibaye para sustituir materia prima en la elaboración de embutidos o productos de panadería y disminuir el costo energético del proceso (Jane *et al.*, 1992).

En el caso del contenido de carotenoides, se observa un efecto significativo ($p < 0,05$) de la cocción y la etapa de secado. Se determinó un aumento de 17% en el contenido de carotenoides al pasar de pulpa cruda a pulpa cocinada. Esto se debe a la mayor disposición de los carotenoides producto del tratamiento térmico que genera el rompimiento de macromoléculas que encapsulan a los carotenoides (Rodríguez, 2004; Britton, 1995b; Jatunov *et al.*, 2010) y, por tanto, luego de la cocción, se favorece la extracción de los carotenoides al sensibilizar la pared celular, cromoplastos y estructuras internas. Este comportamiento es distinto al reportado por Jatunov *et al.* (2010) quienes indican que no hay efecto de la cocción por inmersión en agua por 30 min en ebullición, sobre el contenido de carotenoides totales de seis variedades distintas de pejibaye. Estas variedades pueden ser distintas a las utilizadas en este estudio y por tanto la disposición de los carotenoides en la matriz puede depender de las asociaciones que se dan con las proteínas y lípidos del fruto de pejibaye (Jatunov *et al.*, 2010)

La etapa de secado provoca una disminución significativa de 28% del contenido de carotenoides en la harina respecto al pejibaye cocinado, lo que puede deberse a la oxidación de los carotenoides por procesos enzimáticos, reacciones oxidativas y a la degradación de las moléculas por el efecto del calor (Rodríguez-Amaya, 1997). La disminución de 15% en el contenido de carotenoides de la harina respecto al contenido en la materia prima (pulpa de pejibaye crudo) no es significativa ($p > 0,05$). Es decir, de manera general en el proceso de elaboración de harina, la etapa de cocción provoca un aumento del contenido de carotenoides en la pulpa de pejibaye cocinado a un valor que compensa la pérdida de carotenoides observada en la etapa de secado.

Se determinó una concentración de carotenoides totales de 123 y 79 μg de β -caroteno equivalente / g b.h. en la harina y la pulpa de pejibaye cocinado, respectivamente. Estos valores son mayores al contenido de carotenoides encontrado por Almeida *et al.* (2006) en banano cv "comprida" (10,62 μg de β -caroteno/g b.h.), guayaba (42,98 μg de β -caroteno/g b.h.), mango cv "rosa" (24,98 μg de β -caroteno/g b.h.), melón cv "japonés" (23,97 μg de β -caroteno/g b.h.), papaya cv "Hawai" (46,39 μg de β -caroteno/g b.s.) espinaca (36,96 μg de β -caroteno/g b.h.) y sandía 40,09 μg de β -caroteno/g b.h.), lo que señala al pejibaye como una rica fuente de compuestos antioxidantes provitamina A.

El efecto del proceso sobre el contenido de carotenoides se hace evidente también en el cambio del color anaranjado pastel de la pulpa de pejibaye crudo a anaranjado fuerte en la pulpa de pejibaye cocinado, dándose un incremento en la tonalidad roja (a^*) que pasa de un valor de 17,3 en la pulpa de pejibaye cruda a 27,0 en la pulpa de pejibaye cocinado, mientras que la tonalidad amarilla (b^*) aumenta de 52,9 a 70,5, producto de la mayor exposición de los carotenoides en la matriz del pejibaye cocinado que genera un aumento en la intensidad del color rojo y amarillo; por tanto, aumenta la intensidad del color. Además, se observa la disminución de la luminosidad (L^*), esto quiere decir que hay una menor cantidad de blanco en el color de la pulpa de pejibaye cocinado, siendo este cambio en el color diferente significativamente ($p < 0,05$) en cada uno de los parámetros de color (**Cuadro 14**). El cambio de color en la pulpa de pejibaye cocinado se debe, además del aumento en el contenido de carotenoides, al efecto de la cocción donde se pierde la asociación que existe entre los carotenoides y las proteínas, las cuales al desnaturalizarse liberan carotenoides que generan una coloración roja (valor de a^*) más fuerte (Rodríguez-Amaya, 1997).

Respecto al comportamiento general del color en las etapas del proceso de elaboración de la harina de pejibaye, se observa del **Cuadro 14** que existe un efecto de la cocción y del secado sobre la luminosidad (L^*), tonalidad roja (a^*) y la tonalidad amarilla (b^*) del pejiabye en cada una de las etapas, presentando todos diferencia significativa, excepto para el valor b^* que se mantiene constante en la pulpa de pejibaye cocinado y la harina.

En el caso del ángulo *hue*, éste se ve afectado significativamente ($p < 0,05$) por la etapa de cocción, donde se da una disminución de su valor tras la cocción y después un incremento significativo ($p < 0,05$). El ángulo *hue* corresponde a la preponderancia de radiaciones determinadas de ciertas longitudes de onda sobre otras (Gonnet, 1988). Un

ángulo de 90° representa un *hue* amarillo y una disminución de este valor representa colores más rojos; esto podría explicar la tonalidad anaranjada pastel inicial de la pulpa de pejibaye cruda, al ser un valor menor a 90° , y la tonalidad anaranjada fuerte en la pulpa de pejibaye cocinada generada por el aumento de los carotenoides y que provocan una disminución del ángulo *hue* al intensificar el color rojo de la pulpa. Al darse una disminución en el contenido de carotenoides después de la etapa de secado, disminuye la tonalidad del color rojo y, por tanto, el ángulo vuelve a aumentar pero siempre a un valor menor que el de la pulpa de pejibaye cruda.

El valor de *chroma* aumenta significativamente después de la etapa de cocción y no se ve afectado por la etapa de secado. Debido a que el color de la pulpa de pejibaye cruda pasa de un anaranjado pálido a un anaranjado fuerte en la pulpa de pejibaye cocinada y en la harina de pejibaye, es de esperar que el valor *chroma* aumente, tal y como se muestra en el **Cuadro 14**. Un aumento en el valor *chroma* indica un aumento en la intensidad del color y por ello la pulpa de pejibaye cocinada tiene una coloración anaranjada más intensa. La diferencia total de color (ΔE^*) entre la pulpa cruda y la pulpa de pejibaye es de 25 y entre la pulpa de pejibaye cocinada y la harina el ΔE^* es igual a 8, lo cual indica que es evidente el cambio de color al ojo humano según Castellar *et al.* (2006), quienes establecen un mínimo de $\Delta E^* = 5$ para que esto sea posible.

Por otro lado, determinar si existe un efecto del tratamiento térmico sobre los carotenoides va a depender del tipo de alimento, ya que pueden darse distintas interacciones entre los componentes de la matriz, por lo que el nivel de degradación depende además del perfil de carotenoides, de las condiciones de pH, contenido de oxígeno disuelto, catálisis y exposición a rayos UV (Dhuique *et al.*, 2007). Por ejemplo, este mismo autor muestra una cinética de degradación de carotenoides presentes en el jugo de naranja, donde se alcanzaron niveles de 18% de disminución con un tratamiento a 55°C por 15 min para carotenoides del grupo de carotenos y un nivel de disminución de hasta 60% para los carotenoides del grupo de las xantofilas. En el caso del procesamiento del pejibaye para la elaboración de harina de pejibaye, después de la etapa de cocción se da un aumento del 17% y una disminución después de la etapa de secado de la harina respecto a la pulpa cocinada del 28%. Se estima que en el caso del pejibaye este porcentaje de cambio se debe principalmente a la acción sobre carotenoides del grupo carotenos, ya que el pejibaye es una matriz lipofílica, aunque estos niveles de aumento y reducción podría

deberse en su mayoría a la menor estabilidad al calor de las xantofilas (Dhuique *et al.*, 2007).

En el caso del contenido de polifenoles, el pejibaye cocinado y la harina de pejibaye presentan un contenido de polifenoles de 72 ± 30 mg GAE /100 g b.s. y 60 ± 30 mg GAE /100 g b.s., respectivamente. Este resultado es importante ya que no existen reportes previos de polifenoles en el pejibaye por la errada percepción de su inexistencia en esta fruta, por lo que es necesario considerar al pejibaye como fuente de polifenoles a pesar de presentar un contenido menor que otros alimentos lipofílicos como el aguacate, el cual presenta un contenido de polifenoles de 667 mg GAE /100 g b.s. (Wu *et al.*, 2004). El contenido de polifenoles obtenido potencia la percepción del pejibaye como un alimento con un aporte de antioxidantes importante.

En el **Cuadro 14** se observa que no existe diferencia significativa ($p > 0,05$) en el contenido de polifenoles totales del pejibaye cocinado y de la harina. Era de esperarse una reducción del contenido de polifenoles después de las etapas de cocción y secado ya que puede darse una disminución de estos compuestos antioxidantes al estar involucrados en la reacción de Maillard (Djilas & Milic, 1994); además, las etapas de pelado y rebanado pueden inducir una rápida disminución de compuestos antioxidantes por reacciones enzimáticas y de oxidación (Nicoli *et al.*, 1999). Sin embargo, el contenido de polifenoles no sufre variación y esto podría explicarse porque el aumento de la temperatura durante la cocción y el secado favorece una oxidación parcial de las moléculas de polifenoles que mantienen la habilidad de donar un átomo de hidrógeno del grupo aromático con hidroxilo, lo que permite que reaccione con el reactivo Folin-Ciocalteu utilizado en el análisis de cuantificación (Nicoli *et al.*, 1999).

Al observar el comportamiento de la capacidad antioxidante hidrofílica (**Cuadro 14**), se determina que el proceso de elaboración de harina de pejibaye no tiene efecto sobre la capacidad antioxidante debida a compuestos hidrofílicos, entre ellos polifenoles, vitamina C, selenio y zinc, esto porque no se encontró diferencia significativa para la capacidad antioxidante entre la pulpa de pejibaye crudo y la harina de pejibaye. La capacidad antioxidante puede ser afectada por la aplicación de tratamientos térmicos, que causan una pérdida de carotenoides, vitamina C y polifenoles. Sin embargo, la obtención de un valor constante de capacidad antioxidante durante el proceso de elaboración de harina de pejibaye puede atribuirse a la formación de compuestos polifenólicos durante la cocción

en un estado intermedio de oxidación, por reacciones enzimáticas o químicas que generan moléculas capaces de estabilizar el sistema de electrones π en el anillo aromático, lo que provoca su alta propiedad antioxidante (Nicoli *et al.*, 1999). Además, los productos de la reacción de Maillard generados por un tratamiento térmico drástico como la cocción o el secado presentan alta capacidad antioxidante dando estabilidad al producto final (Nicoli *et al.*, 1999). Por tanto, a pesar de que puede darse una pérdida de compuestos antioxidantes durante el procesamiento de la harina de pejibaye, la capacidad antioxidante se mantiene gracias a la generación de nuevas moléculas que presentan actividad antioxidante y compensan la pérdida de compuestos como los carotenoides, polifenoles y vitamina C.

Es importante destacar que la capacidad antioxidante en cada una de las etapas está subestimada, por tratarse de un análisis que contempla solamente los componentes hidrofílicos, y no toma en cuenta la actividad antioxidante debida a los carotenoides. Por ello sería necesario determinar la capacidad antioxidante lipofílica para conocer el aporte total del pejibaye como alimento antioxidante.

Al comparar con los valores reportados por varios autores para otras frutas, se observa que la capacidad antioxidante de la pulpa de pejibaye cocinado (38,10 μ moles de TE/g b.s.) y la de la harina (36,40 μ moles de TE/g b.s.), es menor al determinado para frutas como arándanos azules, mora y arándanos rojos, donde sus valores oscilan entre 90,00 y 160,00 μ moles de TE/g b.s., pero mayor a la reportada para frutas como sandía, melón y mango (Wu *et al.*, 2004). Aún así, no debe desestimarse el efecto antioxidante que presenta el pejibaye sabiendo que, si se determina su acción contemplando el contenido de carotenoides, éste podría llegar a los niveles antioxidantes de las frutas mencionadas.

4.3.5 Conclusiones

- ✓ No existe efecto significativo de las etapas de elaboración de la harina de pejibaye sobre el contenido de grasa, proteína, almidón, polifenoles totales y la capacidad antioxidante, lo cual es una ventaja ya que permite mantener el valor nutricional que presenta el fruto de pejibaye durante su procesamiento.
- ✓ La pérdida de carotenoides que se da en la harina después de la etapa de secado se compensa por el aumento presentado en la etapa de cocción, por ello no hay

diferencia significativa en el contenido de carotenoides entre la pulpa de pejibaye cruda y la harina de pejibaye.

- ✓ Por su contenido de carotenoides totales, polifenoles totales y capacidad antioxidante hidrofílica, el pejibaye cocinado y la harina se pueden considerar una fuente de compuestos bioactivos beneficiosos para la salud.

4.3.6 Referencias

- ABUSHITA, A., DAOOD, H. & BIACS, P. 2000. Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 2075-2081.
- ALMEIDA, E., ARROXELAS, V. & SUCUPIRA, M. 2006. Polyphenol, ascorbic acid and total carotenoids in common fruits and vegetables. *Brazilian Journal of Food Technology* 2(9): 89-94.
- ALPÍZAR, S. 2002. Determinación de vitaminas liposolubles antioxidantes en suero de pacientes con alto riesgo para cáncer gástrico en Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 1-53.
- ALVÍDREZ, A., GONZÁLEZ, B. & JIMÉNEZ, Z. 2002. Tendencias en la producción de alimentos: alimentos funcionales. *Revista Salud Pública y Nutrición* 3: 1-6.
- A.O.A.C. 1999. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 16 ed. Rev 5. AOAC International, Maryland.
- BELITZ, H. & GROSCH, W. 1997. *Química de Alimentos*. 2 ed. Acribia, Zaragoza.
- BLAAK, G. 1976. Pejibaye: Review article. *Abstract of Tropical Agriculture* 2: 9-17.
- BRITTON, G. 1995a. Carotenoids: Isolation and analysis. In BRITTON, G., LIAAEN-JENSEN, S., PFANDER, H. (Eds). *Carotenoids: spectroscopy*, vol 1A. Birkhauser Verlag, Basel, 95: 102-107.
- BRITTON, G. 1995b. Structure and properties of carotenoids in relation to function. *Journal of FASEB* 9: 1551-1558.
- CAMACHO, E. 1992. El Pejibaye (*Guilielma gasipaes* H.B.K.) L.H. Bailey. Centro Tropical de Enseñanza e Investigación (CATIE), Turrialba.

- CASTELLAR, M., OBÓN, J. & FERNÁNDEZ, J. 2006. The isolation and properties of a concentrated red-purple betacyanin food colourant from *Opuntia stricta* fruits. *Journal of the Science of food and Agriculture* 86: 122-128.
- CLEMENT, C. 1995. Pejibaye *Bactris gasipaes* (Palmae). *Evolution of crop plants*. 2 ed. Logman, London.
- CLEMENT, C., WEBER, J.C., VAN LEEUWEN, C., ASTORGA, D.M., COLE, L.A. & ARGUELLO, H. 2004. Why extensive research and development did not promote use of peach palmfruit in Latin America *Agroforestry Systems* 61: 195-206.
- CODEX. 1985. Norma del CODEX para la harina del trigo CODEX-STAN 152-1895. *Codex Alimentarius (OMS/FAO)*, Washington, D.C.
- Da SILVA, J. B. & CLEMENT, C.H. 2005. Wild pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth var. chichagui) in Southeastern Amazonia. *Acta Botanica Brasilica* 19 (2): 281-284.
- DE SÁ, M. & RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 2003. Carotenoid composition of cooked green vegetables from restaurants. *Food Chemistry* 83: 595-600.
- DE SÁ, M. & RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 2004. Optimization of HPLC quantification of carotenoids in cooked green vegetables – Comparison of analytical and calculated data. *Journal of Food Composition and Analysis* 17: 37-51.
- DHUIQUE-MAYER, D., TBATOU, M., CARAIL, M., CARIS-VEYRAT, C., DORNIER, M. & AMIOT, M.J. 2007. Thermal degradation of antioxidant micronutrients in citrus juice: kinetics and newly formed compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55 (10): 4209-4216.
- DJILAS, S. & MILIC, B. 1994. Naturally occurring phenolic compounds as inhibitors of free radical formation in the Maillard reaction, In *Maillard Reactions in Chemistry, Food and Health*; Labuza, T. P., Reineccius, G. A., Monier, V. M., O'Brien J., Baynes J. W., (Eds.); The Royal Society of Chemistry, Cambridge. pp: 75-80.
- FERNÁNDEZ, M., BLANCO, A. & MORA-URPÍ, J. 1990. Definición de las características químico – nutricionales de cuatro poblaciones de Pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K). *Boletín Informativo* 2(1):6-9.
- FERNÁNDEZ, M., BLANCO, A. & MORA, J. 1995. Contenido de ácidos grasos en cuatro poblaciones de pejibaye, *Bactris gasipaes* (Palmae). *Biología Tropical* 43 (1): 61-66.

- GALLARDO, V. & SIERRA, C. 1980. Condiciones óptimas de secado para la obtención de harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*). Tesis Ingeniería. Agrícola. Universidad del Valle, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- GEORGÉ, S., BRAT, P., ALTER, P. & AMIOT, M. 2005. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant – derived products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 1370-1373.
- GONNET, J. 1998. Colour effects of copigmentation of anthocyanins revisited – I.A colourmetric definition using the CIELAB scale. *Food Chemistry* 63: 409-441.
- HERNÁNDEZ, M. 2010. Recomendaciones nutricionales para el ser humano: actualización. Departamento de Bioquímica Clínica del Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos. La Habana, La Habana.
- HUANG, D., OU, B., HAMPSWODILL, M., FLANAGAN, J. & PRIOR, R. 2002. High – throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handing system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 4437-4444.
- JANE, J., SHEN, L. & AGUILAR, F. 1992. Characterization of pejobaye starch. *Cereal Chemistry* 69 (1): 96-100.
- JATUNOV, S., QUESADA, S., DÍAZ, C. & MURILLO, E. 2010. Carotenoid composition and antioxidant activity of the raw and boiled fruit mesocarp of six varieties of *Bactris gasipaes*. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 60(1): 99-104.
- LETERME, P., GARCÍA, M.F., LONDOÑO, A., ROJAS, M., BULDGEN, A. & SOUFFRANT, W. 2005. Chemical composition and nutritive value of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) in rats. *Journal of Science and Food Agricultural* 85: 1505-1512.
- NICOLI, M.C., ANESE, M. & PARPINEL, M. 1999. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends on Food Science and Technology* 10: 94-100.
- OU, B., HAMPSCH-WOODILL, M. & PRIOR, R. 2001. Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 4619-4626.

- PÉREZ-MATEOS, M., BRAVO, L., GOYA, L., GÓMEZ-GUILLÉN, C. & MONTERO, P. Quercetin properties as a functional ingredient in omega-3-enriched fish gels fed to rats. *Journal of the Science of Food and Agricultural* 85: 1651-1659.
- PUUPPONEN-PIMIA, R., HAKKINEN, S., AARNI, M., SUORTTI, T., LAMPI, A-M., EUROOLA, M., PIIRONEN, V., NUUTILA, A.M. & OKSMAN-CALDENTY, K-M. Blanching and long-term freezing effect various bioactive compounds of vegetables in different ways. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83: 1389-1402.
- RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 1997. Carotenoides y Preparación de Alimentos: La retención de los carotenoides provitamina A en los alimentos preparados, procesados y almacenados. Departamento de Ciencia de Alimentos, Facultad de Ingeniería de Alimentos, Universidad Estatal de Campinas, Brasil.
- RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 2001. A guide to carotenoid analysis in foods. Universidade Estadual de Campinas, Brasil.
- RODRÍGUEZ, V. 2004. Estimación de la vida útil de harina de pejibaye obtenida por deshidratación Tesis Lic. Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica. San José.
- SLINKARD, K. & SINGLETON, V. 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture* 28(1): 49-55.
- SOUTHGATE, D.A., 1976. Determination of food carbohydrates. Cap. 8. Selected Methods. Applied Science Publishers. Londres..
- STAHL, W. & SIES, H. 2005. Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. *Biochimica et Biophysica* 1740: 101-107.
- SUJA, K., JALAYEKSHMY, A. & ARUMUGHAN, C. 2004. Free radical scavenging behaviour of antioxidant compounds of sesame (*Sesamun indicum L*) in DPPH system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 912-915.
- TRACY, M. 1996. Harina de pejibaye una opción prometedora. *Boletín Informativo RETADAR* 23(1): 3.
- VAN DUYN, M. A. & PIVONKA, E. 2000. Overview of the health benefits of fruit and vegetables consumption for the dietetics professional: selected literature. *Journal of the American Dietetic Association* 100: 1511-1521.

- WROLSTAD, R., ACREE, T., DECKER, E., RENNER, M., REID, D., SCHWARTZ, S., SHOEMAKER, C., SMITH, D. & SPORNS, P. 2005. Handbook of food analytical chemistry: pigments, colorants, flavors, texture and bioactive components. Wiley – Interscience. New Jersey.
- WU, X., BEECHER, G., HOLDEN, J., HAYTOWITZ, D., GEBHARDT, S. & PRIOR, R. 2004. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 4026-4037.
- YUYAMA, L., AGUIAR, J., YUYAMA, K., CLEMENT, C., MACEDO, S., FÁVARO, D., AFONSO, C., VASCONCELLOS, M., PIMENTEL, S., BADOLATO, E. & VANNUNCCHI, H. 2003. Chemical composition of the fruit mesocarp of three peach palm (*Bactris gasipaes*) populations grown in Central Amazonia, Brazil. *International Journal of Food Science and Nutrition* 54 (1): 49-56.

4.4 Evaluación del aporte de la cáscara en la harina de pejibaye (*Bactris gasipaes*) sobre la composición físico – química, contenido de minerales y compuestos bioactivos beneficiosos para la salud

Rojas Carolina¹, Pérez Ana M¹, Vaillant Fabrice², Pineda M. Lourdes³

¹ Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), Universidad de Costa Rica

² Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le développement (CIRAD-PERSYST), Montpellier, Francia

³ Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica

4.4.1 Resumen

Dado que se ha sugerido que la cáscara del pejibaye es fuente de carotenoides y fibra por la presencia de polisacáridos estructurales y lignina, se estudió el efecto de la presencia de la cáscara al elaborar la harina de pejibaye (*Bactris gasipaes*) sobre la composición físico - química, su contenido de compuestos bioactivos como carotenoides, polifenoles y fibra, así como sobre la actividad antioxidante. Se encontró un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el contenido de grasa, proteína y ceniza de la harina al emplearse pejibayes con cáscara para su elaboración, siendo el aumento de 7,7%, 20,0% y 9,0%, respectivamente. En el caso de los compuestos bioactivos, la utilización de los frutos enteros con cáscara produjo un efecto positivo sobre el contenido de carotenoides y de fibra, obteniéndose valores de $253 \pm 77 \mu\text{g } \beta\text{-caroteno equivalente / g b.s.}$ y $12 \pm 1 \text{ g/100 g b.s.}$, respectivamente. El contenido de polifenoles obtenido para la harina con cáscara fue de $0,7 \pm 0,3 \text{ mg GAE / g b.s.}$, mientras que la capacidad antioxidante hidrofílica fue de $36 \pm 12 \mu\text{moles TE / g b.s.}$, no habiendo un efecto significativo ($p > 0,05$) de la presencia de la cáscara sobre ambas variables nutricionales.

4.4.2 Introducción

El crecimiento en la población mundial ha hecho necesario aumentar la producción y el rendimiento de las materias primas alimentarias como el trigo. Esto también ha generado el desarrollo de productos a base de mezclas de harina de trigo con otros granos (De Oliveira *et al.*, 2005).

El trigo es difícil de producir en muchos países en desarrollo pues no poseen las condiciones climáticas ni de suelos idóneos para la producción de las variedades de trigo utilizadas para la panificación (Pinstrup – Anderson & Cohen, 1998). Como consecuencia, estos países gastan gran cantidad de divisas en la importación de trigo o la harina

necesaria para suplir su demanda interna, con la consiguiente desventaja en sus balanzas de pago (CITA, 1984). Desde hace muchos años existe interés en la utilización de materias primas como sustitutos parciales de la harina de trigo en productos de panificación y repostería (Arias, 1976), siendo la harina de pejibaye una alternativa interesante para este objetivo.

La harina de pejibaye es utilizada en las comunidades nativas para la producción de pan y otros tipos de productos (De Oliveira *et al.*, 2005), sin embargo, para que el pejibaye pueda llegar a constituir un componente regular de la dieta, es necesario buscar formas de elaborar productos estables que conserven el valor nutritivo del fruto fresco, que puedan almacenarse fácilmente, que sean de sabor agradable y que puedan obtenerse a precio razonable (Camacho, 1992).

El proceso de elaboración de la harina de pejibaye es un proceso simple y representa una buena alternativa para aumentar la vida útil, ya que la deshidratación reduce la actividad de agua, contribuyendo con la conservación y disminuyendo el peso y el volumen, lo cual facilita el transporte y el almacenamiento (Brennan & Cowell, 1998); además, el trabajo requerido es mínimo y los costos de distribución reducidos (Desrosier, 1995). Desde el punto de vista nutricional, la harina de pejibaye tiene un alto contenido de β -carotenos, minerales, aminoácidos esenciales y aceites, mejorando el valor nutricional de los productos (De Oliveira *et al.*, 2005) tales como: galletas, queques, panecillos, budín, tamales, cremas y otros (Ugalde & Pineda, 2004). Por otro lado, el contenido de grasa insaturada de la harina es de 64% (49% monoinsaturados y 15% poliinsaturados) (Fernández, 1988), lo que la hace susceptible a la pérdida de calidad por reacciones de enranciamiento (Belitz & Grosch, 1997).

Se pueden obtener dos tipos de harina: la harina blanca hecha con frutos amarillos y la harina anaranjada hecha con frutos rojos, las cuales pueden ser utilizadas en un gran número de productos y como sustituto de la harina de trigo hasta en un 20% (Dibari, 1997; Gallardo & Sierra, 1980). Para su molienda se recomienda que la humedad no sea mayor al 12%, empleando un molino de martillos, controlando además las plagas e higroscopicidad durante el almacenamiento. La temperatura de secado no debe ser mayor a 70 °C para no alterar el valor vitamínico y proteico (Piedrahita, 1993).

De acuerdo con Murillo *et al.* (1991), la harina de pejibaye proveniente del fruto completo tiene un alto contenido nutricional con una gran variedad de vitaminas y minerales y es una muy importante fuente energética dada por excelentes valores de grasa, ácidos grasos esenciales y carbohidratos, lo que constituye una buena fuente de energía metabolizable.

La utilización del pejibaye en forma de harina es una forma de aprovechar el fruto en diferentes áreas de la industria alimenticia de la región. Es recomendable elaborar la harina de pejibaye molido con cáscara, ya que representa una menor pérdida de materia prima y, según los análisis realizados por García (1985), contiene porcentajes mayores de proteína, cenizas y grasa, lo cual la hace más nutritiva que la harina molida sin cáscara, además de aumentar el contenido de carotenoides al aprovechar aquellos que se encuentran en la cáscara.

Por ello, es objetivo de este estudio determinar el aporte nutricional que puede tener la cáscara en la harina de pejibaye, en lo referente al contenido de compuestos bioactivos beneficiosos para la salud como fibra, carotenoides y polifenoles, además de determinar su capacidad antioxidante hidrofílica, información que no se encuentra actualmente disponible en la literatura.

4.4.3 Materiales y métodos

4.4.3.1 Materia prima

Se utilizaron 3 lotes de pejibayes de 40 kg cada uno, procedentes de una plantación en Pérez Zeledón ubicada a 703 m.s.n.m. y con una temperatura media de 23 °C, obtenidos a través de uno de los proveedores de pejibaye para el Mercado Central de San José y del Centro Nacional de Abastecimiento y Distribución de Alimentos (CENADA).

4.4.3.2 Preparación de la muestra

Cada lote de pejibaye crudo se lavó y desinfectó con cloro a 150 ppm por 5 min por inmersión, posteriormente se realizó la cocción por inmersión en agua por un periodo de 30 min en ebullición. La mitad del pejibaye cocinado se peló y desemilló para luego ser rebanado y secado a 72 °C hasta un 10% de humedad final, posteriormente se molió para

obtener la harina de pejibaye. La otra mitad siguió el mismo proceso pero sin la eliminación de la cáscara con el fin de obtener harina de pejibaye con cáscara. Se obtuvo una muestra de cada tipo de harina de pejibaye para determinar humedad, grasa y carotenoides totales en muestra fresca. Cada muestra fue congelada y almacenada a -20 °C, para luego realizar los análisis de proteína, ceniza y almidón total. La determinación de polifenoles totales y capacidad antioxidante se realizó a partir de muestra homogenizada congelada en nitrógeno líquido, la cual se mantuvo en congelación a -20 °C. Las muestras congeladas se empacaron en bolsas de aluminio y polietileno de alta densidad con protección a la humedad y a la luz y en condiciones de vacío. Estos análisis se realizaron por duplicado para la composición físico – química y por triplicado para carotenoides, polifenoles y capacidad antioxidante.

4.4.3.3 Reactivos

Ácido sulfúrico, ácido bórico, hidróxido de sodio, metanol ACS, hidróxido de potasio ACS, acetona ACS 99,8%, éter etílico ACS 99%, hexano ACS 99%, ácido nítrico ACS y peróxido de hidrogeno se obtuvieron de J.T Baker (México), α –amilasa, proteasa, α -amiloglucosidasa (E.C.3.2.1.3), glucooxidasa, glucosa, carbonato de sodio, ácido gálico, Folin–Ciocalteu, ácido 2-carboxílico 6-hidroxy 2,5,7,8-tetrametilcromano, fluoresceína de sodio, 2,2'-azobis (2-amidinopropano) dihidrochloruro AAPH, fosfato de sodio monobásico y fosfato de sodio dibásico ACS se obtuvieron de Sigma-Aldrich Chemical (St. Louis, MO).

4.4.3.4 Métodos de análisis

Humedad: el contenido de humedad se determinó por medio del método oficial de la AOAC (920.151) por secado de la muestra en una estufa de vacío a 95°C (AOAC, 1999).

Almidón: el contenido de almidón fue determinado siguiendo el método enzimático descrito por Southgate (1976).

Grasa: el contenido de grasa se obtuvo por medio de la extracción del material seco en un sistema Soxhlet, según el método de la AOAC 991.20 (AOAC, 1999).

Proteína: se midió según el método recomendado por la AOAC (920.152) conocido como método de Kjeldahl (AOAC, 1999).

Ceniza: el contenido de ceniza se determinó aplicando el método de la AOAC 940.26 (AOAC, 1999), por incineración de la muestra en una mufla a 500 °C.

Fibra: la determinación de fibra se obtuvo siguiendo la metodología planteada por el método 985.29 de la AOAC (1999).

Minerales: la cuantificación de minerales se determinó mediante espectrometría de absorción atómica con digestión en microondas, siguiendo la metodología planteada por AOAC (2002), métodos 999.10, y 995.11.

Carotenoides totales: se preparó el extracto de carotenoides siguiendo la metodología descrita por Britton (1995a) y Rodríguez-Amaya (2001). Se realizó la saponificación a temperatura ambiente por 24 h en una mezcla de éter etílico y KOH alcohólico al 5%, para eliminar la interferencia de la clorofila y en oscuridad para evitar la degradación de los carotenoides. Los carotenoides fueron extraídos de la harina con acetona, éter etílico/n-hexano y finalmente con n-hexano. El análisis se llevó a cabo en un espectrofotómetro UV-visible Shimadzu PharmaSpec UV-1700 (Kyoto, Japón) a una longitud de onda de 450 nm. El contenido de carotenoides se expresó como μg de β -caroteno equivalente / g b.s.

Polifenoles totales: el contenido de polifenoles totales se midió siguiendo el método descrito por Slinkard y Singleton (1977), modificado por Georgé *et al.* (2005) por medio de la reacción del reactivo Folin – Ciocalteu con los polifenoles. Se eliminó la interferencia de ácido ascórbico y azúcares reductores mediante el uso de cartuchos OASIS® (Waters). Se utilizó ácido gálico como estándar. La absorbancia se midió usando un espectrofotómetro de UV-visible Shimadzu PharmaSpec UV-1700 (Kyoto, Japón) a 765 nm contra un blanco. El contenido de polifenoles es expresado como mg equivalentes de ácido gálico (GAE) / g b.s. a partir de la curva de calibración de ácido gálico en un rango de 10-80 mg/L ($r^2=0.9996$).

Capacidad antioxidante (ORAC): el análisis de la capacidad antioxidante hidrofílica mediante el método ORAC (*Oxygen Radical Absorbance Capacity*) fue llevado a cabo en un espectrofotofluorómetro BIOTEK Synergy HT (Winooski, U.S.A), basado en la metodología de Ou *et al.* (2001) y Huang *et al.* (2002). El valor ORAC se expresa como μmoles equivalentes de Trolox (TE) / g b.s. a partir de la curva de calibración de Trolox en un rango de 4,0-32,3 $\mu\text{mol TE/L}$ ($r^2= 0,9993$).

Color: El color de la harina se determinó utilizando el colorímetro Hunter Lab (Hunter Lab

Resto Vab, USA) para los valores de a^* , b^* y L^* . Los valores de *hue*, *chroma* y ΔE^* para ambos tipos de harina fueron obtenidos a partir de las fórmulas de cálculo descritas por Gonnet (1998).

4.4.3.5 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño irrestricto aleatorio con dos tratamientos (harina con cáscara y harina sin cáscara) con la variable lote tratada como un bloque. Los resultados fueron evaluados aplicando un análisis de t de Student con el fin de determinar si existe diferencia significativa en la composición físico – química y contenido de compuestos bioactivos entre la harina de pejibaye con y sin cáscara. Los datos fueron expresados como el promedio \pm desviación estándar.

4.4.4 Resultados y discusión

Se evaluó el aporte de la cáscara en la composición físico - química de la harina de pejibaye con y sin cáscara, así como el efecto sobre el contenido de compuestos bioactivos beneficiosos para la salud como fibra, polifenoles y carotenoides, cuyos resultados se muestran en el **Cuadro 15**.

Entre los componentes principales, se obtuvo que la cáscara no aporta al contenido de almidón de la harina ($p>0,05$), lo que indica que el almidón proviene principalmente de la pulpa de pejibaye (**Cuadro 15**). El contenido de grasa, proteína y ceniza si se ve influenciado por la presencia de la cáscara en la harina, provocando en todos estos componentes nutricionales un aumento significativo ($p<0,05$), de 7,7, 20,0 y 9,0%, respectivamente.

En el caso de la proteína y de la grasa, su comportamiento es contrario al indicado por Murillo y Zumbado (1986), quienes reportan un contenido menor en la harina de pejibaye con cáscara para ambos componentes nutricionales. Este comportamiento puede explicarse por una diferencia de origen de los pejibayes, ya que los autores realizaron su estudio con pejibayes de Tucurrique mientras que los pejibayes de este estudio son procedentes de Pérez Zeledón, esto aunado a la gran cantidad de variedades de pejibayes presentes en una misma región (Da Silva & Clement, 2005), lo que provoca una

gran variabilidad en la composición físico – química de este fruto. Lo anterior, más el efecto que tiene la cocción, influyen en la estabilidad de la matriz y por tanto en su composición química.

Cuadro 15. Composición físico - química y contenido de compuestos bioactivos en la harina elaborada a partir de pejibaye con o sin cáscara.

Componente g/100g muestra seca		Harina sin cáscara	Harina con cáscara
Humedad		13 ± 3 a	13 ± 4 a
Grasa		13 ± 2 b	14 ± 3 a
Proteína		5 ± 1 b	6 ± 1 a
Ceniza		1,78 ± 0,03 b	1,94 ± 0,07 a
Almidón		67 ± 7 a	66 ± 2 a
Fibra		11 ± 1 b	12 ± 1 a
Color	L*	69 ± 3 a	65 ± 5 b
	a*	24 ± 2 b	26 ± 3 a
	b*	69 ± 5 a	70 ± 2 a
	Hue	70,6 ± 0,7 a	69 ± 2 b
	Chroma	73 ± 5 b	75 ± 3 a
Carotenoides *		142 ± 22 b	253 ± 77 a
Polifenoles **		0,6 ± 0,3 a	0,7 ± 0,2 a
H-ORAC ***		36 ± 10 a	36 ± 12 a

Valores horizontales con letra distinta son diferentes significativamente ($p < 0,05$), para $n=3$

* μg de β -caroteno equivalente / g b.s.

** mg GAE / g b.s.

*** $\mu\text{moles TE}$ / g b.s.

Respecto a la fibra, considerado uno de los componentes bioactivos de la harina, existe un aporte significativo ($p < 0,05$) de la cáscara al emplear pejibayes enteros para su elaboración (**Cuadro 15**). Se debe destacar el alto contenido de fibra en ambos tipos de harina, constituyendo éste un argumento para incentivar su consumo. Esto porque la disponibilidad de fibra en la dieta permite un mejor control del sistema digestivo humano,

mejorando la eliminación de triglicéridos de baja densidad, así como la disminución de problemas de estreñimiento (Manach *et al.*, 2004; Spoon, 2007).

El aporte más considerable de la cáscara se da en el contenido de carotenoides; la harina de pejibaye sin cáscara presenta un contenido de $142 \pm 22 \mu\text{g}$ β -caroteno / g b.s., mientras que al considerar la cáscara en el proceso, la presencia de carotenoides en la harina aumenta en un 78%, siendo el contenido final de la harina de pejibaye con cáscara de $253 \pm 77 \mu\text{g}$ β -caroteno / g b.s. Este contenido es mucho mayor al reportado por Morera *et al.* (2008) para la harina de maíz, donde se menciona un contenido de $25,4 \mu\text{g}$ β -caroteno / g b.s.; los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian la gran fuente de carotenoides que representa la harina de pejibaye tanto sin cáscara como con cáscara.

El contenido de carotenoides en la harina de pejibaye es importante desde el punto de vista nutricional por las propiedades antioxidantes de estos compuestos, que permiten retardar el deterioro de la harina al disminuir las reacciones de rancidez de las grasas (Belitz & Grosch, 1997). Al ser la grasa un componente presente en alta cantidad en la harina de pejibaye, ésta se puede ver deteriorada durante el almacenamiento, dando como resultado un producto rancio por dos mecanismos distintos: rancidez hidrolítica y rancidez oxidativa (Kopper, 1994). Los radicales libres no sólo afectan el sabor y el aroma de los alimentos como el pejibaye, también pueden reaccionar y blanquear otros pigmentos, así como destruir las vitaminas C, E y provitamina A, esta última ampliamente distribuida en el pejibaye (Fernández, 1988), así como carotenoides y polifenoles, causando una disminución en la capacidad antioxidante. Por otro lado, la degradación oxidativa de los carotenoides genera sustancias aromáticas como cetonas no saturadas y la α - ionona (Belitz & Grosch, 1997), que pueden dar aromas no deseados en la harina. De allí, el beneficio de tener el mayor contenido de compuestos antioxidantes posible, con el fin de retardar dichos efectos negativos.

Otro aspecto importante de señalar en relación con el alto contenido de carotenoides en la harina de pejibaye con cáscara, es que diferentes estudios reportan la asociación entre la ingesta de estos compuestos y la reducción de enfermedades como cáncer y problemas cardiovasculares, al interactuar con los radicales libres del cuerpo generados por el estrés oxidativo (Huang *et al.*, 2005; Cheng *et al.*, 2006). Además de haber una mayor cantidad de carotenos que pueden ser precursores de vitamina A, factor que está ligado a

estructuras macromoleculares y a la biodisponibilidad de estos compuestos (Scalbert *et al.*, 2005).

El contenido de carotenoides está ligado al color de los alimentos por la coloración amarillo, naranja y roja de estos compuestos generada por la presencia de los dobles enlaces (Rodríguez-Amaya, 1997). En el **Cuadro 16**, se observa una disminución significativa ($p < 0,05$) en la luminosidad del color (L^*) y en el valor *hue* (h^*), y un aumento en los valores de a^* ($p < 0,05$) y *chroma* al incluir la cáscara en la harina. Esto significa que el color de la harina de pejibaye se vuelve más fuerte en su expresión del color rojo pero con mayor opacidad. La disminución del ángulo *hue* representa colores más rojos, lo que concuerda con el aumento en el valor de a^* que corresponde a las tonalidades azul-rojas del alimento, y la disminución del valor L^* corresponde a colores con un componente grisáceo más fuerte, es decir, más oscuros (Gonnet, 1988).

Los datos obtenidos dan como resultado una diferencia de color total (ΔE^*) de 4,88 entre ambos tipos de harinas, valor inferior a 5, el cual, según Castellar *et al.* (2006), es el valor mínimo necesario para que el ojo humano pueda distinguir una diferencia de color. Sin embargo, visualmente se pudo apreciar una diferencia de color al incluir la cáscara en la harina, lo cual concuerda con lo postulado por Gonnet (1988), quien indica que un $\Delta E^* = 1$ es la mínima diferencia total de color necesaria para marcar una diferencia de color perceptible al ojo humano. Esto es importante desde el punto de vista sensorial, donde se espera que el consumidor no rechace la posibilidad de adquirir productos con alto contenido de fibra y carotenoides en vista de la presencia de la cáscara en la harina que cambia el color del producto.

Ni el contenido de polifenoles totales ni la capacidad antioxidante hidrofílica se vieron favorecidos por la presencia de la cáscara, ya que ninguno de estos dos componentes presentó diferencia significativa ($p > 0,05$) entre ambos tipos de harina, por lo que podría suponerse que los polifenoles y los compuestos antioxidantes hidrofílicos están presentes principalmente en la pulpa del pejibaye. El aumento en el contenido de carotenoides gracias a la cáscara no puede reflejarse en la capacidad antioxidante pues esta está determinada contemplando únicamente los compuestos hidrofílicos tales como polifenoles, vitamina C (Pérez-Mateos *et al.*, 2005) y minerales como el zinc y el selenio, los cuales, de acuerdo con Leterme *et al.* (2006), se encuentran en el pejibaye.

La actividad antioxidante presente en ambos tipos de harinas se debe a la integración de distintos componentes antioxidantes más que a la presencia de un compuesto específico (Wu *et al.*, 2004), siendo los polifenoles los que podrían aportar más a la actividad antioxidante debido a la gran variedad de compuestos existentes de este tipo (Huang *et al.*, 2002). Además, el hecho de que los polifenoles presenten una elevada propiedad antioxidante se debe a su estructura química que permite captar radicales libres (Valls, 2007), inclusive en aquellos polifenoles que por efecto de tratamiento térmico, como la cocción y el secado en el caso de la harina, pueden estar en un estado intermedio de oxidación, el cual se ha demostrado puede presentar inclusive mayor capacidad antioxidante que la forma no oxidada (Nicoli *et al.*, 1999). Esto compensa la posible pérdida de compuestos antioxidantes durante el procesamiento de la harina de pejiabye, ya sea con o sin cáscara.

Se debe tomar en cuenta que la matriz de la harina de pejibaye con y sin cáscara tiene condiciones físicas y químicas (Aw, pH, etc.), que bajo un proceso térmico (aplicación de altas temperaturas) o de almacenamiento (condiciones de humedad, exposición a la luz y al oxígeno), pueden potenciar o disminuir reacciones químicas entre los compuestos antioxidantes y prooxidantes (Nicoli *et al.*, 1999; Manach *et al.*, 2004), por lo que la combinación de todos estos factores da como resultado la capacidad antioxidante final en la harina de pejibaye.

Los resultados obtenidos sobre el contenido de minerales en la pulpa de pejibaye cocinado y el efecto de la presencia de la cáscara en la harina se detallan en el **Cuadro 16**. No hay un efecto significativo ($p > 0,05$) de la presencia de la cáscara sobre el contenido de minerales en la harina de pejibaye, manteniendo la concentración de cada uno de los minerales analizados. Por otro lado, se determinó que la harina de pejibaye con cáscara tiene un contenido significativamente ($p < 0,05$) mayor de calcio, hierro y zinc que la harina sin cáscara, lo cual implica que la cáscara tiene una concentración de estos micronutrientes importante, siendo el aumento de 35, 14 y 47%, respectivamente, en la harina que fue procesada sin realizar el pelado de los pejibayes.

El nitrógeno, fósforo, magnesio, potasio, azufre, cobre y boro no se ven aumentados por la presencia de la cáscara en la harina, por lo que su fuente se debe principalmente a la presencia de estos minerales en la pulpa de pejibaye cocinado.

Cuadro 16. Contenido de minerales en la pulpa de pejibaye cocinado y en la harina de pejibaye con y sin cáscara. n= 3.

Mineral	Pejibaye cocinado	Harina sin cáscara	Harina con cáscara
N*	0,8 ± 0,2 a	0,9 ± 0,2 a Δ	0,9 ± 0,2 Δ
P*	0,078 ± 0,004 a	0,074 ± 0,005 a Δ	0,084 ± 0,008 Δ
Ca*	0,028 ± 0,004 a	0,026 ± 0,005 a +	0,040 ± 0,007 Δ
Mg*	0,042 ± 0,004 a	0,042 ± 0,004 a Δ	0,044 ± 0,005 Δ
K*	0,66 ± 0,06 a	0,66 ± 0,04 a Δ	0,70 ± 0,07 Δ
S*	0,11 ± 0,01 a	0,102 ± 0,008 a Δ	0,11 ± 0,01 Δ
Na*	ND	ND	ND
Fe**	15 ± 2 a	15 ± 2 a +	18 ± 1 Δ
Cu**	4 ± 2 a	4,6 ± 0,6 a Δ	5 ± 1 Δ
Zn**	3,6 ± 0,9 a	3,2 ± 0,5 a +	6 ± 1 Δ
Mn**	ND	ND	ND
B**	2,2 ± 0,5 a	2,0 ± 0,7 a Δ	2,2 ± 0,5 Δ

Valores en una misma línea con letras o símbolos distintos son diferentes significativamente ($p < 0,05$).

ND: No detectado

* expresado como g / 100 g b.s.,

** expresado como mg / Kg b.s.

En el caso de la pulpa de pejibaye cocinado Blanco *et al.* (1990), reportan un contenido de $9,1 \pm 0,6$ mg / 100 b.s. de sodio, lo cual no corresponde a lo determinado en este estudio, ya que ni siquiera se logró la detección de este tipo de mineral. Estos mismos autores reportan un contenido de $0,549 \pm 0,005$ g / 100 g b.s. de potasio y $6,5 \pm 1,1$ mg / 100 g b.s. de zinc, los cuales son mayores, y un contenido de $0,037 \pm 0,009$ g / 100 g b.s. de calcio, menor al obtenido en este estudio (**Cuadro 16**).

Con respecto a los datos reportados por Blanco *et al.* (1992), el contenido de magnesio ($16,6 \pm 4,1$ mg / 100 g b.s.) y el contenido de hierro ($0,8 \pm 0,0$ mg / 100 g b.s.) son menores al obtenido en este estudio. Sin embargo, estas diferencias pueden deberse a la variedad de pejibaye utilizada y condiciones climáticas, de suelos y ambientales. Esto se demuestra al comparar los resultados obtenidos con Yuyama *et al.* (2003), ya que estos autores reportan un contenido de magnesio, zinc y hierro menor, un contenido de calcio similar y un contenido de potasio mayor al encontrado en este estudio.

El análisis de la pulpa de pejibaye cocinada es importante ya que esta es la forma tradicional de consumo en Costa Rica y, por tanto, una manera directa de adquirir los micronutrientes de este alimento. A pesar de que el contenido de minerales en la harina de pejibaye especialmente con cáscara es mayor que en la pulpa cocinada, la harina sería una materia prima para la elaboración de un producto final donde su contenido de minerales se va a ver reducido por el efecto de combinación con otros componentes de la formulación. Sin embargo, la harina presenta una buena alternativa por el aporte de micronutrientes al producto final.

Al considerar la ingesta diaria de minerales recomendada por la FAO (Hernández, 2010), se observa del **Cuadro 17** que el requerimiento de este tipo de micronutrientes es mucho mayor a lo que pueden aportar 100 g de pulpa de pejibaye cocinada (b.h.).

Cuadro 17. Aporte nutricional de la pulpa de pejibaye cocinado a la ingesta diaria recomendada. n= 3.

Mineral	Pulpa de pejibaye cocinado	DRI *	% contribución
N	0,34		—
P	0,03	1,25 g	3
Ca	0,01	1,3 g	1
Mg	0,02	0,42 g	4
K	0,27	2,0 g	14
S	0,04	--	--
Na	ND	0,5 g	0
Fe	0,6	18 mg	3
Cu	0,17	0,9mg	19
Zn	0,15	11, mg	1
Mn	0,09	2,3 mg	4
B	0,09	20 mg	0

***DRI: *dietary reference intakes* (Hernández, 2010).

De acuerdo con el reglamento técnico RTCR: 135:2002 Etiquetado Nutricional de los Alimentos Pre envasados (MEIC-MS, 2002), la declaración de nutrientes se puede realizar cuando estos se encuentran en cantidades que aporten al menos el 5% de la ingesta

diaria recomendada por 100 g. Considerando al pejibaye cocinado como un producto final, solo podría declararse en su etiqueta el aporte que este tiene en potasio y cobre pues su contribución corresponde a un 14 y 19%, respectivamente., Sin embargo, el pejibaye es una buena alternativa para complementar la dieta del costarricense junto con otros alimentos que en conjunto aporten el 100% de la ingesta mínima de minerales recomendada por la FAO.

4.4.5 Conclusiones

- ✓ El contenido de almidón en la harina de pejibaye, depende del contenido inicial de este componente en la pulpa de pejibaye, ya que su concentración no aumenta al emplear frutos enteros con cáscara en el proceso de elaboración de la harina.
- ✓ La presencia de la cáscara en la harina genera un aumento en el valor nutricional al encontrarse un incremento significativo en el contenido de grasa, proteína y cenizas.
- ✓ El eventual consumo de la harina con cáscara tiene un impacto en la salud humana al obtener un aumento significativo en el contenido de fibra y carotenoides en el producto final, siendo ambos compuestos bioactivos beneficiosos para la salud.
- ✓ La harina con cáscara contiene un 78% más de carotenoides que la harina sin cáscara, esto permite disponer de una mayor cantidad de carotenoides provitamina A, y a la vez mayor actividad antioxidante que puede contrarrestar el efecto de los radicales libres que se generan del estrés oxidativo.
- ✓ Debido a que la diferencia total del color al incluir la cáscara en la elaboración de harina es mayor a 1, y de acuerdo con Gonnet (1988), sería perceptible al ojo humano, es necesario evaluar si éste sería un factor que limite la aceptación de la harina por parte del consumidor.
- ✓ En la elaboración de la harina de pejibaye, la cáscara no tiene ningún aporte sobre el contenido de polifenoles ni sobre la capacidad antioxidante debida a compuestos hidrofílicos.
- ✓ El impacto de incluir la cáscara en la elaboración de harina de pejibaye es realmente importante cuando se busca fuentes de antioxidantes, ya que el aumento en estos compuestos es muy elevado, mientras que los minerales,

polifenoles y capacidad antioxidante no cambia, con excepción del calcio, hierro y zinc.

4.4.6 Referencias

- A.O.A.C. 1999. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 16 ed. Rev 5. AOAC International, Maryland.
- A.O.A.C. 2002. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 16 ed. Rev 5. AOAC International, Maryland.
- ARIAS, L. 1976. Contribución al conocimiento del estado actual de las harinas compuestas en varios países latinoamericanos. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. San José.
- BELITZ, H. & GROSCH, W. 1997. Química de Alimentos. 2 ed. Acribia, Zaragoza.
- BLANCO, A., LOWERY, M., MONTERO, M., MORA – URPI, J. & ROJAS, M. 1990. El pejibaye: su uso en la alimentación humana. Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud (INCIENSA), San José.
- BRENNAN, J. B. & COWELL, N. 1998. Las operaciones de la ingeniería de los alimentos. 3 ed. Zaragoza, Acribia.
- BRITTON, G. 1995. Carotenoids: Isolation and analysis. In BRITTON, G., LIAAEN-JENSEN, S., PFANDER, H. (Eds). Carotenoids: spectroscopy, vol 1A. Birkhauser Verlag, Bassel, 95: 102-107.
- CAMACHO, E. 1992. El pejibaye (*Guilielma gasipaes* H.B.K.) L.H. Bailey. Centro Tropical de Enseñanza e Investigación (CATIE), Turrialba.
- CASTELLAR, M., OBÓN, J. & FERNÁNDEZ, J. 2006. The isolation and properties of a concentrated red-purple betacyanin food colourant from *Opuntia stricta* fruits. Journal of the Science of food and Agriculture 86: 122-128.
- CENTRO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS (CITA). 1984. Utilización de harina de maíz en panificación. Universidad de Costa Rica. San José.
- CHENG, Z., MOORE, J. & YU, L. 2006. High-throughput relative DPPH radical scavenging capacity assay. Journal of Agricultural and Food Chemistry 54: 7429-7436.

- Da SILVA, J. B. & CLEMENT, C.H. 2005. Wild pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth var. chichagui) in Southeastern Amazonia. *Acta Botanica Brasilica* 19 (2): 281-284.
- De OLIVEIRA, M., MARTINEZ-FLORES, H., De ANDRADE, J., GARNICA-ROMO, M. & CHANG, Y. 2006. Use of pejibaye flour (*Bactris gasipaes* Kunth) in the production of food pastas. *International Journal of Food Science and Technology* 41(8): 933-937.
- DESROSIER, N. 1995. Conservación de alimentos. Continental, México, D.F.
- DIBARI, F. 1997. Ecological flour with pupunha. *Intermediate Technology Food Chain* 20: 7-10.
- FERNÁNDEZ, M. 1988. Definición de las características químico – nutricionales de cuatro poblaciones de pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K). Tesis Lic. En Tecnología de Alimentos. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, Carrera Interdisciplinaria en Tecnología de Alimentos. San José.
- GALLARDO, V. & SIERRA, C. 1980. Condiciones óptimas de secado para la obtención de harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*). Tesis Ingeniería. Agrícola. Universidad del Valle, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- GARCÍA, R. 1985. Utilización de la harina de Chontaduro en la elaboración de productos para consumo humano. Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas (INCIVA), Calí.
- GEORGÉ, S., BRAT, P., ALTER, P. & AMIOT, M. 2005. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant – derived products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 1370-1373.
- GONNET, J. 1998. Colour effects of copigmentation of anthocyanins revisited – I.A colourmetric definition using the CIELAB scale. *Food Chemistry* 63: 409-441.
- HERNÁNDEZ, M. 2010. Recomendaciones nutricionales para el ser humano: actualización. Departamento de Bioquímica Clínica del Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos. La Habana.
- HUANG, D., OU, B., HAMPSWODILL, M., FLANAGAN, J. & PRIOR, R. 2002. High – throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 4437-4444.

- HUANG, D., OU, B. & PRIOR, R. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 1841-1856.
- KOPPER, G. 1994. Como determinar la vida útil de un alimento. Taller regional sobre pequeña y mediana empresa alimentaria. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA). Universidad de Costa Rica, San José.
- LETERME, P., GARCÍA, M.F., LONDOÑO, A., ROJAS, M., BULDGEN, A. & SOUFFRANT, W. 2005. Chemical composition and nutritive value of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) in rats. *Journal of Science and Food Agricultural* 85: 1505-1512.
- MANACH, C., SCALBERT, A., MORAND, C., RÉMÉSY, C. & JIMÉNEZ, L. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition* 79: 727-747.
- MINISTERIO DE ECONOMÍA, INDUSTRIA Y COMERCIO & MINISTERIO DE SALUD (MEIC-MS)). 2002. RTCR: 135:2002 Etiquetado nutricional de alimentos preenvasados, Decreto N° 30256 MEIC-S. Gobierno de Costa Rica, San José.
- MORERA, Y., ARELLANO, S., RUIZ, J. & ESPINOSA, E. 2008. Características físico – químicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea mays* L.) amarillos cultivados en el Estado de México. *Agricultura Técnica en México* 34(3): 357-364.
- MURILLO, M., ZUMBADO, M., COOZ, A. & ESPINOZA, A. 1991. Evaluación de la harina de pejibaye (*Bactris gasipaes*) en dietas para pollas de reemplazo durante el periodo de iniciación y en gallinas ponedoras al inicio de postura. *Agronomía Costarricense* 15 (1/2) 135-141.
- MURILLO, M. & ZUMBADO, M. 1986. Composición química y valor nutritivo de la harina de pejibaye en la alimentación de las aves. Universidad de Costa Rica – Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, San José. 5-10.
- NICOLI, M.C., ANESE, M. & PARPINEL, M. 1999. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends in Food Science and Technology* 10: 94-100.
- OU, B., HAMPSCH-WOODILL, M. & PRIOR, R. 2001. Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 4619-4626.

- PÉREZ-MATEOS, M., BRAVO, L., GOYA, L., GÓMEZ-GUILLÉN, C. & MONTERO, P. Quercetin properties as a functional ingredient in omega-3-enriched fish gels fed to rats. *Journal of the Science of Food and Agricultural* 85: 1651-1659.
- PIEDRAHITA, C. 1993. Conservación de los frutos de la palma chontaduro (*Bactris gasipaes*, H.B.K.). Universidad del Valle, Cali.
- PINSTRUP-ANDERSEN, P. & COHEN, M. 1998. Aid to developing country agriculture: investing in poverty reduction and new export opportunities. *2020 Brief* 56. 159-169.
- RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 1997. Carotenoides y Preparación de alimentos: La retención de los carotenoides provitamina A en los alimentos preparados, procesados y almacenados. Departamento de Ciencia de Alimentos, Facultad de Ingeniería de Alimentos. Universidad Estatal de Campinas, Brasil.
- RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 2001. A guide to carotenoid analysis in foods. Departamento de Ciencia de Alimentos. Universidade Estatal de Campinas, Brasil.
- SCALBERT, A., JOHNSON, I. & SALTMARSH, M. 2005. Polyphenols: antioxidants and beyond. *American Journal of Clinical Nutrition* 81: 215S-217S.
- SLINKARD, K. & SINGLETON, V. 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture* 28(1): 49-55.
- SOUTHGATE, D.A., 1976. Determination of food carbohydrates. Cap. 8. Selected Methods. Applied Science Publishers. Londres.
- SPOON, M. 2007. Investigando la fibra dietética. Extensión Cooperativa de la Universidad de Nevada. Reno.
- UGALDE, H. & PINEDA, M. L. 2004. Efecto del grado de sustitución de harina de trigo con harina de pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K.) sobre las características sensoriales del queque seco. *REVITECA* 10: 8-13.
- VALLS, B. 2007. El papel antioxidante de los alimentos de origen vegetal. Vitaminas y Polifenoles. Universidad de Valencia. INTERNET. http://www.nutricion.org/publicaciones/revista_agosto_2003/
- WU, X., BEECHER, G., HOLDEN, J., HAYTOWITZ, D., GEBHARDT, S. & PRIOR, R. 2004. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 4026-4037.

4.5 Identificación y cuantificación de carotenoides por HPLC – DAD durante el proceso de elaboración de la harina de pejibaye (*Bactris gasipaes*)

Rojas Carolina¹, Pérez Ana M¹, Vaillant Fabrice², Pineda M. Lourdes³

¹ Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), Universidad de Costa Rica

² Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le développement (CIRAD-PERSYST), Montpellier, Francia

³ Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica

4.5.1 Resumen

Se identificaron y cuantificaron 14 compuestos de carotenoides durante el proceso de elaboración de harina de pejibaye, identificando 9, 14 y 13 carotenoides en la pulpa de pejibaye crudo, pulpa de pejibaye cocinado y harina de pejibaye, respectivamente. La detección de 5 compuestos carotenoides después de la etapa de cocción podría explicarse por reacciones de isomerización e hidroxilación. El carotenoide mayoritario a lo largo del proceso de elaboración de la harina fue el *all-trans*- β -caroteno presente en el pejibaye crudo en una concentración de $96,0 \pm 1,7 \mu\text{g } \beta\text{-caroteno} / \text{g b.s.}$; este compuesto disminuye de forma significativa ($p < 0,05$) durante las etapas de cocción y deshidratación con aire caliente alcanzando un contenido final de $33,3 \pm 1,0 \mu\text{g } \beta\text{-caroteno} / \text{g b.s.}$ en la harina. El procesamiento de pejibaye tiene un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el contenido total de carotenoides, obteniéndose un porcentaje de retención final de 63,7%. El contenido total de carotenoides pasa de 373,4 en la pulpa de pejibaye crudo a $237,7 \mu\text{g } \beta\text{-caroteno} / \text{g b.s.}$ en la harina de pejibaye. El valor de provitamina A también disminuye de forma significativa de 2723 equivalentes de retinol (RE) / 100 g en la pulpa de pejibaye crudo a 1614 RE / 100 g en el pejibaye cocinado y a 1289 RE / 100 g en la harina de pejibaye.

4.5.2 Introducción

Los carotenoides representan un grupo de pigmentos que pueden encontrarse en muchas plantas. Estos compuestos son frecuentemente los responsables del color rojo, naranja y amarillo de frutas y vegetales, y también son encontrados en muchos vegetales verdes oscuros (Sass-Kiss *et al.*, 2005).

Diferentes estudios epidemiológicos han sugerido que el consumo de vegetales y frutas que contienen pigmentos como los carotenoides está relacionado a un aumento en la respuesta del sistema inmune y un alto potencial antitumoral, además del efecto

preventivo en el desarrollo de enfermedades degenerativas como las enfermedades cardiovasculares, degeneración de la mácula relacionada a la edad y formación de cataratas (De Rosso & Mercadante, 2007; Feltl *et al.*, 2005; Meléndez *et al.*, 2010; Gama & Sylos, 2005).

Se sabe que algunos carotenoides son convertidos en vitamina A dentro del organismo, por medio de mecanismos de oxidación o de fragmentación de la molécula que es capturada por las células del cuerpo, generando retinol o ácido retinoico. Cada carotenoide tiene su propio patrón de absorción, de transporte y de metabolismo, el cual va a depender de la isomerización de la molécula y de su estructura (Parker, 1996).

Los carotenoides son absorbidos por las células de la mucosa intestinal por medio de un mecanismo de difusión pasiva, además de otros que son incorporados dentro de las quilomicras que luego pasan al torrente sanguíneo para ser convertidos en retinal (Parker, 1996; Bendich & Olson, 1989). El transporte de los carotenoides en el plasma es exclusivo de las lipoproteínas y se da de acuerdo con las propiedades físicas de los carotenoides. Por otro lado, el tipo de producto originado del metabolismo de los carotenoides depende de factores como la especie, mecanismo de reacción (oxidación o fragmentación central o asimétrica de la cadena), la fracción de la célula donde es absorbido, cofactores y otras moléculas químicas presentes junto con los carotenoides (Parker, 1996)

Los carotenoides más abundantes en la dieta humana son β -caroteno, α -caroteno, γ -caroteno, licopeno, luteína, β -criptoxantina, zeaxantina y astaxantina. Carotenoides como β -caroteno, α -caroteno y β -criptoxantina son convertidos en vitamina A o retinol (forma inactiva de la vitamina A) en el cuerpo, siendo el β -caroteno el compuesto provitamina A más importante, principalmente por su prevalencia en los alimentos consumidos por humanos y porque es el compuesto provitamina A con la mayor bioactividad (Sass-Kiss *et al.*, 2005).

Estos efectos biológicos son independientes de la actividad provitamina A y se han atribuido a una propiedad antioxidante de los carotenoides que permite la desactivación o captura de los radicales libres de oxígeno (átomos o grupos de átomos que poseen un electrón no compartido) (Rodríguez-Amaya, 1997). Dada esta capacidad de los carotenoides de neutralizar especies reactivas de oxígeno, se reduce el daño en las

moléculas de ADN, mutaciones genéticas y mejoran las funciones inmunológicas; todas estas reacciones pueden ayudar a proteger de riesgos cancerígenos (Zhang *et al.*, 1999).

La capacidad de los carotenoides para capturar radicales libres se relaciona con el sistema de dobles enlaces conjugados, siendo los que tienen nueve o más enlaces dobles los que otorgan la máxima protección (Rodríguez-Amaya, 1997).

Irónicamente, la cadena de dobles enlaces es la causa de la inestabilidad de los carotenoides, incluyendo su susceptibilidad a la oxidación e isomerización geométrica. El calor, la luz y los ácidos promueven la isomerización de los carotenoides *trans* -su configuración habitual en la naturaleza- a la forma *cis*. La oxidación, causa principal de las pérdidas de carotenoides, depende del oxígeno disponible, los carotenoides involucrados y su condición física. La luz, calor, metales, enzimas y peróxidos estimulan la oxidación, la cual es inhibida por los antioxidantes, tales como tocoferoles (vitamina E) y ácido ascórbico (vitamina C), presentes también en el mismo alimento (Rodríguez-Amaya, 1997).

Otro aporte de los carotenoides es su función en el ensamble intracelular necesario para coordinar las funciones bioquímicas en organismos multicelulares, además de participar en la detoxificación de carcinógenos (Stahl & Sies, 2005; Leffingwell, 2002) y juegan un papel importante en la fotosíntesis para generar color a partir de la clorofila en algunas plantas y biosíntesis en vertebrados como el camarón (Meléndez *et al.*, 2010).

El hecho significativo de que el pejibaye representa una rica fuente de carotenoides y que la deficiencia dietética de la vitamina A ha persistido durante décadas en la población costarricense, ha motivado la evaluación de los cambios en el contenido de carotenoides durante el proceso de elaboración de la harina de pejibaye. La conversión de carotenoides a vitamina A varía de 14-60%, considerando que un adulto requiere consumir un solo pejibaye (aproximadamente 50 g) para satisfacer las necesidades diarias de vitamina A (Blanco & Muñoz, 1992).

La contribución en carotenoides de los alimentos en la prevención de la deficiencia de la vitamina A depende del contenido de carotenoides en frutas y vegetales. Sin embargo, debe relacionarse la equivalencia de vitamina A y evaluar la porción de carotenoides ingeridos que son absorbidos y transformados a retinol (Stahl & Sies, 2005; Leffingwell, 2002). Este porcentaje de absorción puede oscilar entre 40 – 60%, siendo

afectado por la concentración y el origen de la grasa de la dieta, la cantidad de carotenoides y digestibilidad de los alimentos (Blanco & Muñoz, 1992).

En América Central el pejibaye se encuentra principalmente en la región Atlántica, área a la que parece muy bien adaptado. En Costa Rica, se encontró en la región limítrofe con Panamá; la presencia de numerosas semillas de pejibayes en los sitios arqueológicos de la vertiente del Caribe (Guácimo) y del Pacífico (Jacó), datan de hace aproximadamente 2000 años, lo que indica que se constituyó en el principal cultivo de los indígenas del trópico húmedo del país (Camacho, 1992). Aunque con posterioridad a la época colonial española la importancia del pejibaye decayó notablemente, en los últimos años ha habido un interés creciente en vista del potencial alimenticio que representa la fruta (Tracy, 1996).

Se ha visto que los carotenoides pueden verse afectados por las etapas de procesamiento al que son sometidas las frutas y los vegetales que los contienen. En un estudio realizado por De-Sá y Rodríguez-Amaya (2004) se indica que, después de un tratamiento térmico, la concentración de carotenoides aumenta, debido probablemente al ablandamiento de la pared celular, lo que hace más fácil la extracción de los carotenoides durante su análisis. Por otro lado, la oxidación enzimática de los carotenoides en el alimento crudo, la pérdida de sólidos solubles y la pérdida de humedad, puede provocar una concentración por unidad de peso mayor, además de que las enzimas responsables de la carotenogénesis continúan activas hasta ser inactivadas en el tratamiento térmico (Abushita *et al.*, 2000). Puupponen-Pimiä *et al.* (2005) demostraron que después de un tratamiento térmico en las zanahorias se da un aumento en la concentración de carotenoides pero con una reducción gradual durante el tiempo de almacenamiento.

Rodríguez-Amaya (1997) ha demostrado el impacto que varias operaciones del procesamiento de alimentos pueden tener en el contenido y la calidad de los compuestos bioactivos. Procesos como el calentamiento con microondas, escaldado, ebullición, fritura profunda y horneado resultan en una pérdida sustancial de compuestos provitamina A. La cocción de zanahorias por 30 minutos presenta una retención del 60%, mientras que la espinaca presenta un nivel de retención del 100%.

El tratamiento térmico puede provocar un aumento en la disponibilidad de los carotenoides pero no en condiciones extremas o prolongados periodos de proceso que

resultan en una disminución del contenido de carotenoides (Rodríguez-Amaya, 1996). Esta misma autora ha cuantificado los carotenoides por HPLC como la suma de α , β , γ – caroteno en el pejibaye cocinado del Amazonia. De Rosso y Mercadante (2007) realizaron la identificación y cuantificación de carotenoides en pejibaye fresco por HPLC también de la Amazonia. Sin embargo, también es importante determinar el efecto del procesamiento del pejibaye en el perfil y en el contenido de los carotenoides en cada una de las etapas del procesamiento, ya que un incremento de la temperatura favorece las reacciones de isomerización *trans* / *cis* e induce a la formación de nuevos compuestos carotenoides (Puupponen-Pimiä *et al.*, 2005). También es importante determinar el efecto del proceso del pejibaye en el valor nutricional de la fruta como provitamina A, especialmente por tratarse de una fuente de compuestos bioactivos de fácil acceso para la población.

4.5.3 Materiales y métodos

4.5.3.1 Materia prima

Se utilizaron pejibayes cosechados en Tucurrique, en una plantación ubicada a 703 m.s.n.m. y con una temperatura media de 23 °C, obtenidos a través de un proveedor de pejibaye para el Mercado Central de San José y del Centro Nacional de Abastecimiento y Distribución de Alimentos (CENADA).

4.5.3.2 Preparación de la muestra

El pejibaye se sometió a las etapas de procesamiento de elaboración de la harina de pejibaye, tomando muestras en las etapas de pelado, cocción y secado. Se elaboró harina de pejibaye de acuerdo al flujo de proceso de la **Figura 5**, a partir de 60 Kg de pejibaye fresco. Inmediatamente se prepararon los extractos de carotenoides para ser analizados por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) y se realizó además la determinación de la humedad.

4.5.3.3 Reactivos y materiales

El hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, metanol, acetona, éter etílico y hexano usados en la extracción de carotenoides fueron grado reactivo y obtenidos de J.T Baker (México). En la identificación se utilizó hexano, éter metil-tert butílico (MTBE) y metanol, todos grado HPLC obtenidos de J.T.Baker (México), patrón β -caroteno 99% (Sigma Aldrich CO., USA). Las muestras y los solventes se pasaron por filtros Millipore de 0,22 μm (Billerica, MA) antes de inyectar al HPLC.

4.5.3.4 Métodos de análisis

Humedad: el contenido de humedad se determinó siguiendo el método oficial de la AOAC (920.151) por secado de la muestra en una estufa de vacío a 95 °C (AOAC, 1999).

Extracción de carotenoides: se preparó siguiendo la metodología descrita por Britton (1995a) y Rodríguez-Amaya (2001). Los carotenoides fueron extraídos con acetona, éter etílico/n-hexano y finalmente con n-hexano. Se realizó la saponificación a temperatura ambiente por 24 h en una mezcla de éter etílico y KOH alcohólico al 5%, para eliminar la interferencia de la clorofila, y en oscuridad para evitar la isomerización o degradación de los carotenoides. Estos extractos se guardaron en frascos color ámbar con atmósfera de nitrógeno y a -20 °C hasta su inyección en el HPLC un día después.

HPLC-DAD: El análisis se llevó a cabo en un equipo de HPLC marca Shimadzu (Kyoto, Japón), equipado con una bomba cuaternaria (modelo LC20AD) con desgasificador incorporado y acoplado a un detector de arreglo de diodos Shimadzu (SPD-M20A). El espectro se obtuvo en un rango de longitudes de onda de 200 a 600 nm y los cromatogramas se procesaron a 450 nm.

Para la separación de los carotenoides se empleó una columna C₃₀ YMC con un poro de 5 μm , 250 x 4,6 mm i.d (Waters, Wilmington, MA), utilizando como fase móvil MeOH/MTBE en un gradiente lineal de 95:5 a 70:30 en 30 min, 50:50 en 20 min y manteniendo esta proporción por 30 min, con un flujo de 0,9 mL/min y temperatura de columna a 22 °C. Cada carotenoide fue identificado con la siguiente información: orden de elución en la columna, comportamiento cromatográfico, espectro de absorción UV- visible (longitud de máxima absorción λ_{max}) y espectro de estructura fina (%III/II), el cual corresponde a la relación entre la altura del tercer y segundo pico del espectro del DAD.

Los carotenoides se cuantificaron por HPLC usando la curva de calibración externa de β -caroteno con un mínimo de seis niveles de concentración y con un $R^2=0,9926$, reportando la concentración de cada carotenoide como equivalente de β -caroteno. Para algunos de los picos presentes en el cromatograma del pejibaye crudo se realizó una identificación tentativa de acuerdo con su tiempo de retención y orden de aparición pero que no pudieron ser cuantificados. Además se utilizó el factor de conversión de *National Academy of Sciences* (NAS-NRC, 1989) y el porcentaje relativo de bioactividad descrito por Rodríguez-Amaya (2001) para calcular el valor equivalente de vitamina A expresado como equivalentes de retinol (1 RE = 6 μg β -caroteno, 1 UI = 0,3 μg de retinol).

4.5.3.5 Diseño experimental y análisis estadístico

Para evaluar el efecto de las etapas de procesamiento de elaboración de harina de pejibaye se realizó un análisis comparativo cualitativo de los carotenoides identificados en la pulpa de pejibaye crudo, pulpa de pejibaye cocinado y en la harina de pejibaye. Para el análisis cuantitativo se utilizó un diseño irrestricto aleatorio con tres tratamientos (pulpa de pejibaye crudo, pulpa de pejibaye cocinado y harina de pejibaye). Se aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) para comparar la concentración de carotenoides entre las etapas de elaboración de la harina de pejibaye. Los promedios fueron comparados por medio de una prueba de Tukey con un valor de $\alpha = 0,05$. Los datos fueron expresados como el promedio \pm desviación estándar.

4.5.4 Resultados y discusión

Identificación de carotenoides: Las características de los carotenoides identificados en el pejibaye se observan en el **Cuadro 18**. El perfil de carotenoides se muestra en las Figuras **12**, **13** y **14**, las cuales corresponden a los cromatogramas obtenidos para la pulpa de pejibaye crudo, pulpa de pejibaye cocinado y la harina de pejibaye, respectivamente.

Se lograron detectar 14 tipos de carotenoides presentes durante el procesamiento del pejibaye; 12 compuestos que fueron identificados pertenecen al grupo de los carotenos (picos 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14), los cuales se conforman solo de átomos de

carbono e hidrógeno, siendo compuestos liposolubles de color amarillo, naranja y rojo (Stahl & Sies, 2005; Leffingwell, 2002); un carotenoide (pico 1) es del grupo de las xantofilas, que tienen al menos un átomo de oxígeno (Stahl & Sies, 2005; Leffingwell, 2002), y un único carotenoide se detectó pero no fue posible identificar.

Cuadro 18. Identificación de los carotenoides presentes en el pejibaye de Costa Rica obtenido por HPLC-DAD.

# pico	Carotenoide	t _R (min)	λ max (nm)	% III / II
1	all- <i>trans</i> -α-criptoxantina *	21,75	417sh, 440, 470sh	29
2	15- <i>cis</i> -β-caroteno *	26,61	338, 411, 445, 474	6
3	13- <i>cis</i> -β-caroteno	27,77	338, 419, 444, 467	15
4	all- <i>trans</i> -α-caroteno	30,14	420, 445, 473	45
5	all- <i>trans</i> -β-caroteno	34,15	422, 451, 476	25
6	9- <i>cis</i> -β-caroteno	35,63	345, 421, 448, 475	20
7	(N.I)	36,15	417sh, 447, 472	-
8	<i>cis</i> -δ-caroteno *	39,54	429, 452, 481	45
9	all- <i>trans</i> -δ-caroteno	43,27	346sh, 428, 455, 486	48
10	<i>cis</i> -γ-caroteno 1 *	44,00	428, 451, 481	45
11	all- <i>trans</i> -γ-caroteno	49,63	433, 460, 489	65
12	<i>cis</i> -γ-caroteno 2	50,62	434, 460, 492	64
13	9- <i>cis</i> -licopeno	57,57	438, 465, 497	68
14	Licopeno *	71,61	442, 470, 502	68

N.I.: No identificado

* Carotenoides identificados y cuantificados después de la etapa de cocción.

sh: "shoulder"

Los carotenoides correspondientes a los picos 1, 4, 5, 9, 11 y 14 tienen configuración *trans*, la cual es más estable termodinámicamente y predominante en la naturaleza (Belitz & Grosch, 1997), mientras que la configuración *cis* se presenta en los compuestos 2, 3, 6, 8, 10, 12 y 13; esta última se presenta mucho en la sangre y en los tejidos (Britton, 1995b). Cada uno de estos picos coincide con los identificados por De Rosso y

Mercadante (2007), quienes realizaron la identificación y cuantificación de carotenoides en varias frutas del Amazonia, entre ellas el pejibaye crudo.

all-trans- α -criptoxantina (pico 1), cuyo nombre semi sistemático es β,ϵ -caroteno-3'-ol (Rodríguez-Amaya, 2001), fue identificado por su tiempo de retención, su espectro UV – visible donde presenta una longitud de onda máxima de 440 nm, y por la comparación con el reportado por De Rosso y Mercadante (2007). Este caroteno tiene como fórmula química $C_{40}H_{56}O$, con un grupo hidroxilo que se localiza en uno de los anillos alílicos, al lado del doble enlace (Mercadante & Egeland, 2004).

Isómeros de α -caroteno: fue encontrado en el pejibaye de Costa Rica solo en su configuración trans: all-trans- α -caroteno (pico 4), coincidiendo con De Rosso y Mercadante (2007), quienes también reportan solo la presencia de isómeros trans- α -caroteno. Este tipo de isómero tiene 9 dobles enlaces en su cadena y un doble enlace en el anillo (Rodríguez-Amaya, 2001).

Isómeros de β -caroteno: al analizar el espectro UV - visible de los picos 2, 3, 5 y 6, fueron identificados el 15-cis- β -caroteno, 13-cis- β -caroteno, all-trans- β -caroteno y 9-cis- β -caroteno, respectivamente, presentándose los dos tipos de configuración *cis* y *trans*. La diferencia entre los carotenoides de los picos 2, 3 y 6 es el número de carbono donde el doble enlace presenta configuración *cis*, mientras que en el all-trans- β -caroteno la totalidad de la cadena de carbono presenta la configuración más estable (Rodríguez-Amaya, 2001). Este carotenoide tiene 11 dobles enlaces, 2 de los cuales se ubican en cada uno de los anillos bencénicos (Rodríguez-Amaya, 2001).

Isómeros de δ -caroteno: o isómeros ϵ - ψ -caroteno, correspondiente al pico 8, identificado como cis- δ -caroteno, y el pico 9, correspondientes all-trans- δ -caroteno, presentándose en el pejibaye ambas tipos de configuración (*cis* y *trans*). Este tipo de isómero tiene un único anillo alílico en su extremo con una cadena de 10 dobles enlaces conjugados (Mercadante & Egeland, 2004; Rodríguez-Amaya, 2001).

Isómeros de γ -caroteno: para este tipo de isómero se identificaron los picos 10, 11 y 12, los cuales corresponden a cis- γ -caroteno 1, all-trans- γ -caroteno y cis- γ -caroteno 2, respectivamente, también con ambos tipos de configuración (*cis* y *trans*) e identificados de acuerdo con la comparación con los resultados reportados por De Rosso y Mercadante (2007) y Rodríguez-Amaya (2001). La diferencia de este tipo de isómero con el isómero δ

se debe solamente a la posición del doble enlace en el anillo bencénico, lo que imparte características de absorción distintas y una coloración naranja brillante (Mercadante & Egeland, 2004; Rodríguez-Amaya, 2001).

Isómeros de ψ -caroteno: se incluyen en esta categoría el 9-cis-licopeno y el licopeno (picos 13 y 14), ya que son ψ - ψ -carotenos. Son carotenoides sencillos, sin anillos cíclicos en sus cadenas alifáticas de 40 átomos de carbono con 11 dobles enlaces conjugados (Mercadante & Egeland, 2004; Rodríguez-Amaya, 2001), lo que le proporciona una coloración roja más fuerte que los demás carotenoides. Además, este carotenoide funciona como precursor biosintético del β -caroteno (Rodríguez-Amaya, 2001).

Efecto del tratamiento térmico sobre el perfil y el contenido de los carotenoides en la pulpa de pejibaye crudo, cocinado y harina de pejibaye

La **Figura 12** corresponde al cromatograma obtenido para la pulpa de pejibaye crudo donde se muestran 9 carotenoides identificados, todos ellos del grupo de los carotenos (**Cuadro 18**). Se observa que predomina la presencia del *all-trans*- β -caroteno (pico 5) seguido del *all-trans*- δ -caroteno (pico 9), *cis*- γ -caroteno 2 (pico 12) y *all-trans*- γ -caroteno (pico 11), siendo este mismo orden el que se presenta en el pejibaye fresco de la Amazonia (De Rosso & Mercadante, 2007).

En el pejibaye crudo, el *all-trans*- β -caroteno (pico 5) representa el 25,7% del contenido total de carotenoides en la pulpa de pejibaye crudo y los cinco carotenoides minoritarios representan el 41,3% del contenido total de carotenoides (373,4 μg β -caroteno equiv. / g b.s., **Cuadro 19**). Este comportamiento puede variar de acuerdo con la variedad de pejibaye analizada, tal y como lo indican Jatunov *et al.* (2010) quienes realizaron la identificación de carotenoides en seis variedades distintas de pejibaye obtenidos del Banco de Germoplasma de la Universidad de Costa Rica. Estos autores indican que para las variedades Brasil, Colombia y Guatuso, el carotenoide que se encuentra en mayor proporción es el *all-trans*- β -caroteno mientras que para las variedades Bolivia, Darién y Costa Rica, el carotenoide que se encuentra en mayor proporción es el *cis*- γ -caroteno.

De acuerdo con Sass-Kiss *et al.* (2005), la proporción de β -caroteno presente en el melocotón es alrededor de 60-70% del total del contenido de carotenoides, lo cual es mucho mayor que la proporción presente en el pejibaye fresco.

El contenido de carotenoides totales en el pejibaye crudo fresco (159,8 μg β -caroteno / g b.h.), es mayor que el encontrado por Rodríguez-Amaya (1996) quien reporta un contenido para el pejibaye cocinado de la Amazonia de 22 μg β -caroteno / g b.h. Por otro lado, De Rosso y Mercadante (2007) indican que el contenido de carotenoides en el pejibaye crudo de la misma zona es de 197,66 μg β -caroteno / g b.h., ligeramente mayor al contenido encontrado en el pejibaye costarricense de la zona de Tucurrique.

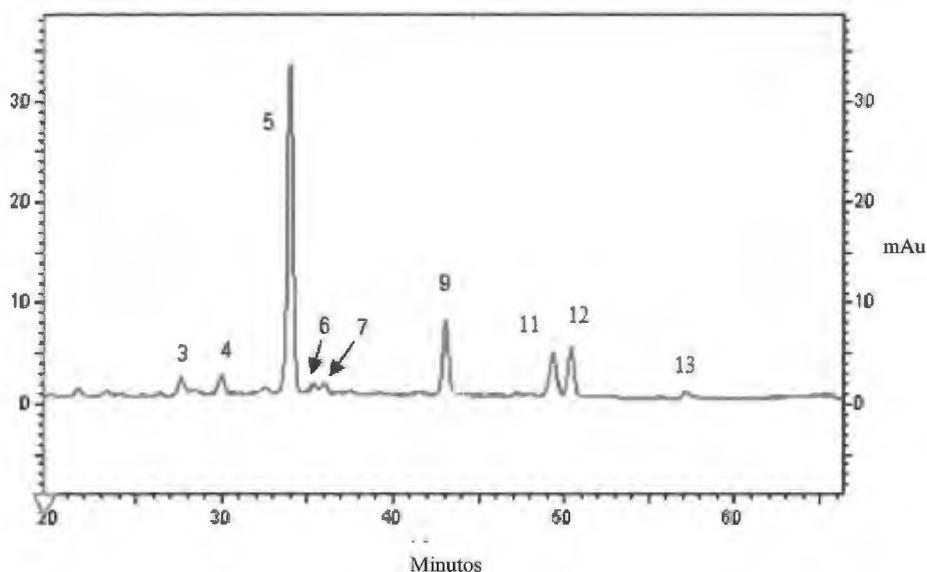


Figura 12. Cromatograma (procesado a 450 nm), obtenido por HPLC-DAD de los carotenoides de la pulpa de pejibaye crudo. La identificación de los picos y las características están dadas en el Cuadro 17.

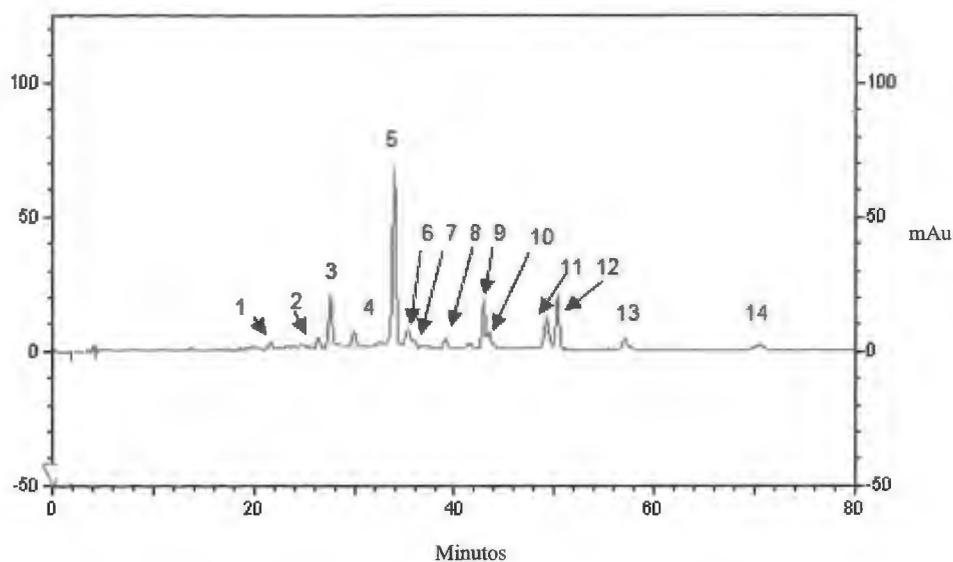


Figura 13. Cromatograma (procesado a 450 nm), obtenido por HPLC-DAD de los carotenoides de la pulpa de peji-baye cocinado. La identificación de los picos y las características están dadas en el Cuadro 17.

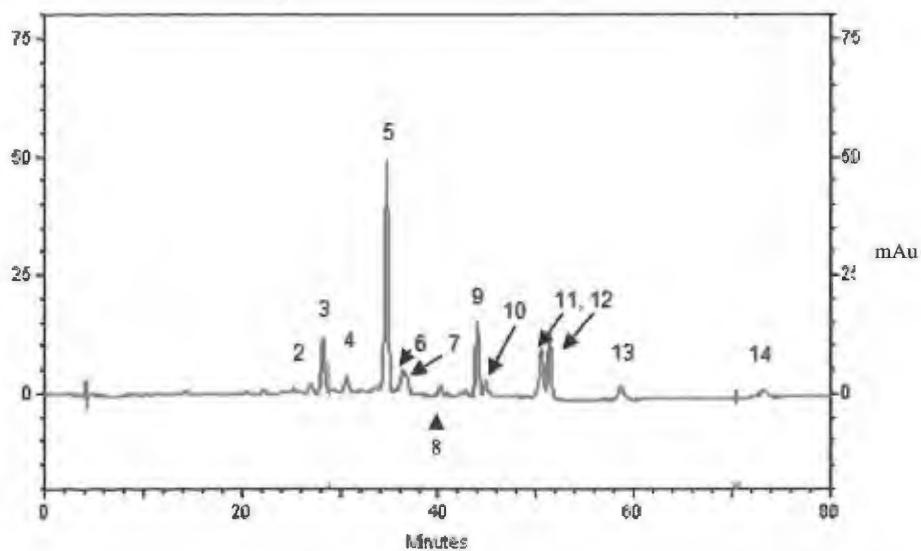


Figura 14. Cromatograma (procesado a 450 nm), obtenido por HPLC-DAD de los carotenoides de la harina de peji-baye. La identificación de los picos y las características están dadas en el Cuadro 17.

Para algunos picos podría darse una identificación tentativa a partir de su tiempo de retención únicamente, pero no pudieron ser cuantificados probablemente porque su nivel de concentración es tan bajo que no permite obtener un espectro UV – visible con el cual se determinen las longitudes de onda máximas. Entre los carotenoides tentativos posiblemente presentes en la fruta fresca están: epoxi- α -caroteno con $t_R = 20,02$ min, 15-*cis*- α -aroteno con $t_R = 21,63$ min, *all-trans*- α -criptoxantina con $t_R = 21,31$ min, epoxi- β -caroteno con $t_R = 23,00$ min y licopeno con $t_R = 70,61$ min. Estos cinco carotenoides sí fueron identificados y cuantificados por De Rosso y Mercadante (2007) también en pejibaye fresco.

Tres de los carotenoides (epoxy- α -caroteno, 15-*cis*- α .caroteno y epoxy- β -caroteno) fueron tentativamente identificados solo en el pejibaye fresco, lo que sugiere que durante la etapa de cocción se dieron mecanismos de degradación que generaron su desaparición (Rodríguez-Amaya, 2001). El efecto de la etapa de cocción sobre el perfil de los carotenoides se muestra en el cromatograma de la **Figura 13**, el cual corresponde al pejibaye cocinado. Puede observarse que el tratamiento térmico favorece la formación de cinco nuevos compuestos carotenoides, dado que se lograron identificar 14 picos en la pulpa después de la cocción (**Cuadro 19**).

Los compuestos *all-trans*- α -criptoxantina (pico 1) y licopeno (pico 14) también fueron tentativamente identificados en la fruta fresca, por lo que su presencia en la pulpa de pejibaye cocinado se debe probablemente a mecanismos de isomerización que incrementaron su concentración y, por ende, pudieron ser cuantificados por el método de análisis utilizado. Otros carotenoides que aparecen después del proceso de cocción son 15-*cis*- β -caroteno (pico 2), *cis*- δ -caroteno (pico 8) y *cis*- γ -caroteno 1 (pico 10). La concentración de estos cinco compuestos representa el 29,3% del contenido total de carotenoides en la pulpa de pejibaye cocinado, cuyo contenido total de carotenoides es de 286,9 μg β -caroteno / g b.s.

En el caso del compuesto *all-trans*- α -criptoxantina, el cual corresponde a uno de los carotenoides con identificación tentativa en la pulpa de pejibaye crudo, es el primer carotenoide nuevo que aparece en la pulpa cocinada, de acuerdo con orden en el tiempo de retención. Su aparición en la fruta pejibaye cocinada puede deberse a un aumento en la concentración dada, probablemente por la liberación de los carotenoides atrapados en macromoléculas que, al recibir el tratamiento térmico, liberan los carotenoides (Rodríguez-

Amaya, 1997). Un ejemplo de este comportamiento es la asociación que se da entre los carotenoides y las proteínas con el fin de estabilizar el pigmento. En la cocción, la desnaturalización de la proteína libera el carotenoide y aparece el color rojo (Rodríguez-Amaya, 1997), así como también se produce el rompimiento de su asociación con los lípidos presentes en la matriz del alimento (Parker, 1996).

Cuadro 19. Concentración de carotenoides en diferentes etapas del proceso de elaboración de harina de pejibaye. (n=6)

#	Carotenoide	µg β-caroteno equivalente / g b.s.			Proporción (%)		
		Crudo	Cocinado	Harina	Crudo	Cocinado	Harina
1	all-trans-α-criptoxantina	NC*	15,9 ± 0,1	--	--	5,5	--
2	15-cis-β-caroteno	--	16,6 ± 0,1 a	14,9 ± 0,3 b	--	5,8	6,3
3	13-cis-β-caroteno	31,5 ± 0,3 a	22,4 ± 0,7 b	19,8 ± 1,7 c	8,4	7,8	8,3
4	all-trans-α-caroteno	32,0 ± 0,5 a	17,7 ± 0,1 b	15,3 ± 0,3 c	8,6	6,2	6,4
5	all-trans-β-caroteno	96,0 ± 1,7 a	42,7 ± 2,4 b	33,3 ± 1,0 c	25,7	14,9	14,0
6	9-cis-β-caroteno	30,4 ± 0,1 a	17,8 ± 0,5 b	16,3 ± 0,8 c	8,1	6,2	6,9
7	N.I.	30,1 ± 0,2 a	17,1 ± 0,9 b	15,3 ± 0,2 c	8,1	6,0	6,4
8	cis-δ-caroteno	--	16,7 ± 0,3 a	14,9 ± 0,3 b	--	5,8	6,2
9	all-trans-δ-caroteno	47,2 ± 0,4 a	21,7 ± 1,8 b	20,7 ± 1,8 b	12,6	7,6	8,7
10	cis-γ-caroteno 1	--	17,5 ± 0,5 a	15,1 ± 0,5 b	--	6,1	6,3
11	all-trans-γ-caroteno	38,0 ± 0,1 a	22,0 ± 0,5 b	20,0 ± 1,3 b	10,2	7,7	8,4
12	cis-γ-caroteno 2	37,9 ± 0,3 a	23,4 ± 1,0 b	20,4 ± 1,6 c	10,2	8,1	8,6
13	9-cis-licopeno	30,3 ± 0,0 a	17,8 ± 0,2 b	16,0 ± 0,6 c	8,1	6,2	6,7
14	Licopeno	NC*	17,6 ± 1,3 a	15,7 ± 0,3 b	--	6,1	6,3
Concentración total b.s.		373,4 ± 0,5 a	286,9 ± 0,7 b	237,7 ± 0,6 c	100	100	100
Concentración total b.h.		159,8 ± 0,5 a	115,6 ± 0,7 b	212,7 ± 0,6 c			

Los promedios de una misma fila con letra diferente son diferentes significativamente ($p < 0,05$).

* El porcentaje de humedad de la pulpa de pejibaye crudo, pulpa de pejibaye cocinado y harina de pejibaye es de 57,2% m/m, 59,7% m/m y 10,5% m/m, respectivamente.

N.I.: no identificado

N.C.: tentativamente identificado por su tiempo de retención pero no cuantificado.

Otra alternativa de generación del all-trans-α-criptoxantina es por medio de una de las vías de biosíntesis a partir del all-trans-α-caroteno, donde se da un proceso de hidroxilación con las moléculas de agua de la cocción, que permiten el acople del grupo

OH⁻ al anillo bencénico del *all-trans-α*-caroteno (pico 4) (Rodríguez-Amaya, 2001). Es por ello que también ocurre una disminución significativa ($p < 0,05$) en la concentración de este carotenoide en la pulpa de pejibaye cocinado, respecto a su valor en la pulpa de pejibaye crudo (**Cuadro 19**).

La aparición del carotenoide 15-*cis*-β-caroteno podría explicarse por una ruta de isomerización (Rodríguez-Amaya, 2001) a partir del *all-trans*-β-caroteno, del 13-*cis*-β-caroteno o del 9-*cis*-β-caroteno, así como de la posible ciclización de algunos de los isómeros γ-caroteno (Rodríguez-Amaya, 2001), que también presentan una disminución de su concentración después de la etapa de cocción (**Cuadro 19**). Asimismo, el isómero *cis*-γ-caroteno 2 (pico 12) presente en el pejibaye crudo pudo haber sido isomerizado a isómero *cis*-γ-caroteno 1 (pico 10). La numeración 1 y 2 para los isómeros *cis*-γ-caroteno se debe al orden de aparición en el cromatograma.

Cuando un carotenoide se encuentra en su configuración *trans* es poco probable el cambio a configuración *cis*, por tanto la presencia del *cis*-δ-caroteno (pico 8) en el pejibaye cocinado probablemente se debe más a un mecanismo de ciclización a partir del licopeno (Rodríguez-Amaya, 2001), el cual se genera también en esta etapa del proceso, que a una ruta de isomerización del *all-trans*-δ-caroteno ya presente en la pulpa de pejibaye crudo (pico 9).

El licopeno fue detectado en el pejibaye cocinado y en la harina y, dado que ninguno de los compuestos precursores del licopeno fue identificado en el pejibaye crudo, es probable que este compuesto se encuentre presente en la fruta fresca en una concentración demasiado baja para su detección por HPLC. Además, el licopeno podría estar asociado a macromoléculas que no permiten su extracción hasta la etapa de cocción (Rodríguez-Amaya, 1996).

De acuerdo con Rodríguez-Amaya (2001), el fitoeno es el carotenoide a partir del cual se generan todos los carotenoides por medio de la biosíntesis a través de mecanismos como la desaturación, ciclización, hidroxilación, epoxidación y reordenamiento de epoxidofluranóxidos. Esta misma autora señala que el licopeno puede generarse a partir del neurosporeno, el cual se origina únicamente a partir del ζ-caroteno; éste a su vez se origina de manera exclusiva a partir del fitoflueno, el cual proviene del fitoeno.

Por otro lado, el compuesto 9-*cis*-licopeno (pico 13) detectado en la fruta cruda, puede dar origen al licopeno por medio de un proceso de isomerización durante la etapa de cocción que favorece el cambio de configuración de *cis* a *trans* del doble enlace del carbono número 9 (Rodríguez-Amaya, 2001). Es por ello que se da una disminución significativa en la concentración del 9-*cis*-licopeno después de la etapa de cocción, con una reducción del 41,3%, y se logra cuantificar el licopeno.

Al comparar el perfil de carotenoides entre la fruta cruda y cocinada (**Figuras 12 y 13, Cuadro 19**), se observa que los cuatro carotenoides mayoritarios del pejibaye crudo predominan también en el pejibaye cocinado, aunque en diferente proporción, siendo el all-*trans*- β -caroteno (pico 5) el mayoritario al representar el 14,9% del total de los carotenoides, seguido del *cis*- γ -caroteno 2 (pico 12), all-*trans*- γ -caroteno (pico 11) y el all-*trans*- δ -caroteno (pico 9), con una proporción de 8,1%, 7,7% y 7,6%, respectivamente, del contenido total de carotenoides en el pejibaye cocinado (286,9 μg β -caroteno equiv. / g b.s., **Cuadro 19**). Este valor es significativamente menor ($p < 0,05$) al contenido total de carotenoides en el pejibaye crudo, disminución que es de esperarse pues es conocida la labilidad de estos compuestos a las altas temperaturas y al oxígeno (Rodríguez-Amaya, 1996).

Este fenómeno de oxidación, más la ruta de isomerización, son las dos vías por las cuales puede darse la degradación de los carotenoides (Rodríguez-Amaya, 2001), lo que genera cambios en el perfil del contenido de carotenoides durante el procesamiento del pejibaye.

En el caso del pejibaye cocinado (forma tradicional de consumo), se obtuvo una concentración total de $115,6 \pm 0,7$ μg β -caroteno / g b.h. Este valor es mayor al contenido de carotenoides encontrado por Almeida *et al.* (2006) en banano cv "comprida" (10,62 μg de β -caroteno/g b.h.), guayaba (42,98 μg de β -caroteno/g b.h.), mango cv "rosa" (24,98 μg de β -caroteno/g b.h.), melón cv "japonés" (23,97 μg de β -caroteno/g b.h.), papaya cv "Hawai" (46,39 μg de β -caroteno/g b.h.), espinaca (36,96 μg de β -caroteno/g b.h.) y sandía 40,09 μg de β -caroteno/g b.h.).

En la **Figura 14**, se muestra el cromatograma del perfil de carotenoides de la harina de pejibaye obtenida. Se encontraron 13 de los 14 carotenoides presentes en la pulpa de pejibaye cocinado, siendo el all-*trans*- α -criptoxantina el único compuesto que desaparece. Después de la etapa de cocción, el secado es la segunda etapa donde el pejibaye se ve

sometido a un tratamiento térmico, influyendo en el contenido total de carotenoides en la harina de pejibaye. Esto se debe probablemente a que durante la etapa de secado el aumento en la temperatura provocó una isomerización y oxidación como mecanismos de degradación (Rodríguez-Amaya, 2001), lo que generó carotenoides epóxicos e inclusive apocarotenoides que luego se degradan a compuestos de bajo peso molecular como los aldehídos (Rodríguez-Amaya, 2001) y que no son identificados ni cuantificados por el método de análisis pues ya no son carotenoides.

A pesar de los distintos fenómenos de degradación o de isomerización que se presentan durante el procesamiento del pejibaye, los cuatro principales carotenoides de la harina son los mismos compuestos mayoritarios en la pulpa de pejibaye crudo y pejibaye cocinado. En el caso de la harina, sigue siendo el *all-trans*- β -caroteno el que se presenta en mayor proporción (14,0%), seguido del *all-trans*- δ -caroteno (8,7%), el *cis*- γ -caroteno 2 (8,6%), el *all-trans*- γ -caroteno (8,4%) y del 13-*cis*- β -caroteno (8,3%). Los restantes 8 carotenoides representan el 52,0% del contenido de carotenoides totales en la harina, cuyo valor es de 237,7 μg β -caroteno equivalente / g b.s. (**Cuadro 19**). Este valor también es significativamente menor ($p < 0,05$) que el contenido total de carotenoides en la pulpa de pejibaye cocinado.

Se observa en el **Cuadro 19** que existe una disminución del contenido de carotenoides totales después de la etapa de cocción y de la etapa de secado, siendo el cambio en la concentración de carotenoides de cada etapa distinta significativamente ($p < 0,05$). La reducción después de la etapa de cocción es de 23,2% y después de la etapa de secado de 17,1%, dándose una disminución total de 36,3%; esto representa un porcentaje de retención total de 63,7%.

Este comportamiento es distinto al reportado por Azizah *et al.* (2009), quienes encontraron un aumento del contenido de β -caroteno y de licopeno en la calabaza después de un tratamiento de ebullición y de un proceso de fritura. La cocción por 4 minutos generó un aumento de hasta 4,2 veces el contenido inicial de β -caroteno y de hasta 40 veces para el licopeno, lo que demuestra una mayor disponibilidad de los carotenoides después de procesos que incluyen tratamientos térmicos.

Estos mismos autores encontraron también una disminución del contenido de β -caroteno en la calabaza pues una ebullición mayor a los cuatro minutos provocó una disminución

del contenido de β -caroteno debido a un mayor tiempo de exposición al calor, luz y oxígeno. El contenido de carotenoides en el pejibaye disminuye después de la etapa de cocción y de secado lo cual puede deberse a la oxidación de los carotenoides por procesos enzimáticos, reacciones oxidativas y a la degradación de las moléculas por el efecto del calor (Rodríguez-Amaya, 1997).

Durante el proceso de elaboración de la harina, el pejibaye está expuesto a un tratamiento de cocción a ≈ 96 °C por 30 min y a un tratamiento de secado a 72 °C por 3 h, que provocan cambios en la estructura molecular de los carotenoides y originan nuevos compuestos, así como la disminución del contenido de carotenoides, ya que el secado es una etapa con tratamiento térmico prolongado.

Cada uno de los tipos de carotenoides se ve afectado en distinta manera por la etapa de cocción o de secado, lo que se refleja en la proporción en que se encuentran dichos compuestos en cada matriz del proceso de elaboración de harina de pejibaye (**Cuadro 19**). Se observa del **Cuadro 19** que existe diferencia significativa ($p < 0,05$) en la concentración de β -caroteno equivalente después de la etapa de cocción y después de la etapa de secado para los picos 3, 4, 5, 6, 7, 12 y 13, mientras que para los picos 9 y 11 el cambio en la concentración a partir de la etapa de cocción no es significativa ($p > 0,05$).

Efecto del tratamiento térmico sobre el valor nutricional durante la elaboración de harina de pejiabye

Con respecto al valor del pejibaye como provitamina A, y de acuerdo con el perfil de carotenoides encontrado, los compuestos *all-trans*- α -criptoxantina, 15-*cis*- β -caroteno, 13-*cis*- β -caroteno, *all-trans*- α -caroteno, *all-trans*- β -caroteno, 9-*cis*- β -caroteno, *cis*- γ -caroteno 1, *all-trans*- γ -caroteno y *cis*- γ -caroteno 2, son los que contribuyen a la actividad provitamina A (Rodríguez-Amaya, 1996), siendo solo el *all-trans*- β -caroteno el que tiene una actividad provitamina A de 100%, mientras que los demás carotenoides tienen distinto nivel de actividad (**Cuadro 20**), el cual, según Rodríguez-Amaya (1996), depende de su capacidad de generar moléculas de vitamina A o de ser carotenoides intermediarios en la síntesis de carotenoides provitamina A.

A pesar de que se considera que el β -caroteno es un compuesto fácil de cuantificar, la situación es totalmente diferente cuando se trata de compuestos provitamina A que se

encuentran en una matriz alimentaria compleja que contiene tanto carotenoides activos, como moderadamente activos e inactivos (Rodríguez-Amaya, 1996). En el caso del pejibaye, solo el *all-trans*- β -caroteno se puede considerar un carotenoide activo, a partir del cual se generan dos moléculas de vitamina A. En el caso del *all-trans*- α -criptoxantina, *15-cis*- β -caroteno, *13-cis*- β -caroteno, *all-trans*- α -caroteno, *9-cis*- β -caroteno, *cis*- γ -caroteno 1, *all-trans*- γ -caroteno y *cis*- γ -caroteno 2, estos son carotenoides moderadamente activos, ya que a partir de ellos solo se genera una molécula de vitamina A con una bioactividad específica. En el **Cuadro 20** se observa el efecto que tienen las etapas de cocción y secado en la elaboración de harina de pejibaye sobre el valor provitamina A de cada carotenoide y del total de carotenoides en el pejibaye.

La cocción y el secado causan una disminución del 40,7% y 52,7% en el valor de provitamina A (en base seca), respectivamente con respecto al pejibaye crudo. Estas pérdidas son reflejo del cambio significativo ($p < 0,05$) en el contenido total de carotenoides debido a la reducción de la concentración de cada uno de los carotenoides presentes en la pulpa de pejibaye crudo.

Cuadro 20. Cambio del valor de provitamina A del pejibaye en el proceso de elaboración de harina de pejibaye. (n=6)

Carotenoide	% Relativo bioactividad *	Retinol equivalente / 100 g b.s.			Retinol equivalente / 100 g b.h.		
		Crudo	Cocinado	Harina	Crudo	Cocinado	Harina
<i>all-trans</i> - α -criptoxantina	30	--	79	--	--	32	--
<i>15-cis</i> - β -caroteno	53	--	83	75	--	34	67
<i>13-cis</i> - β -caroteno	53	278	198	175	119	80	156
<i>all-trans</i> - α -caroteno	50	267	147	128	115	59	114
<i>all-trans</i> - β -caroteno	100	1600	711	555	686	287	497
<i>9-cis</i> - β -caroteno	38	192	113	103	82	45	93
<i>cis</i> - γ -caroteno 1	19	--	55	48	--	22	43
<i>all-trans</i> - γ -caroteno	42	266	154	140	114	62	126
<i>cis</i> - γ -caroteno 2	19	120	74	65	52	30	58
Equivalente de Retinol Total		2723	1614	1289	1168	651	1154
UI vitamina A		9077	5380	4297	3893	2170	3847

* Fuente: Rodríguez-Amaya (1996)

A pesar de la disminución del valor provitamina A, en cada una de las etapas de elaboración de harina de pejibaye el valor nutricional del pejibaye como fuente de provitamina A se debe principalmente a la presencia de *all-trans*- β -caroteno, lo cual es de esperarse, pues es el carotenoide presente en mayor concentración (**Cuadro 19**) y además el único carotenoide con una bioactividad relativa de 100% (Rodríguez-Amaya, 1996).

Es importante rescatar el valor de provitamina A obtenido en la pulpa de pejibaye cocinado y en la harina que sirve como materia prima para el desarrollo de productos de pejibaye. El valor de provitamina A obtenido en la pulpa de pejibaye crudo (**Cuadro 20**) es menor al reportado por De Rosso y Mercadante (2007) para pejibaye crudo de la zona de la Amazonia, cuyo valor es de 1491 RE / 100 g b.h., mayor en un 21% al valor de provitamina A del pejibaye crudo costarricense.

En comparación con otros alimentos, el valor de provitamina A del pejibaye cocinado (651 RE / 100 b.h.) es menor al de frutas y vegetales como el mamey (688 RE / 100 g b.h.) de la Amazonia (De Rosso & Mercadante, 2007) y que la zanahoria (1333 RE/100 g b.h.), reportado por Rodríguez-Burruezo y Nuez (2006). Sin embargo, el valor provitamina A encontrado para el pejibaye cocinado es mayor que el reportado para el pimiento dulce (94 RE/100 g), pimiento picante (120 RE/100 g), tomate (207 RE/100 g), kiwi (5 RE/100 g), naranja (33 RE/100 g) (Rodríguez-Burruezo & Nuez, 2006), mango cv Kiett (251 RE/100 g) (Mercadante & Rodríguez-Amaya, 1998) y la papaya (74 RE/100 g) (Wall, 2006).

Otro factor importante es el aporte del pejibaye a la dosis diaria mínima recomendada por la FDA (2008) para compuestos provitamina A. De acuerdo con los valores de provitamina A obtenidos, el consumo de 100 g de pejibaye cocinado puede aportar hasta más del 100% de la dosis diaria recomendada, la cual según FDA (2008) debe ser de 5000 UI.

4.5.5 Conclusiones

- ✓ Gracias a que el pejibaye es una rica fruta del trópico debido a su alto contenido de carotenoides, el principal objetivo de este estudio fue identificar y cuantificar la variedad de carotenoides presentes en el pejibaye, evaluando el impacto de las etapas críticas (cocción y deshidratación) sobre el contenido de carotenoides y su

perfil, además de demostrar el efecto del procesamiento sobre el valor nutricional del pejibaye como provitamina A.

- ✓ Los procesos térmicos (cocción y deshidratación) reducen el contenido de carotenoides en casi 36,5%, obteniendo una concentración final de $237,9 \pm 0,6 \mu\text{g}$ β -caroteno equivalente / g b.s. en la harina de pejibaye. Este valor final es una reducción de todos los valores obtenidos para los carotenoides identificados.
- ✓ La mayor cantidad de carotenoides identificados en la harina de pejibaye son una variedad de β -caroteno con diferente valor de bioactividad relativa provitamina A. El valor de equivalente de retinol para el pejibaye cocinado y harina de pejibaye es mayor que el valor reportado para frutas de alto consumo como las zanahorias, kiwi, papaya y mango.
- ✓ Productos obtenidos a partir del pejibaye pueden contribuir con más de un 100% en la ingesta diaria recomendada de provitamina A, a pesar de que este valor es afectado (38,5% después de la cocción y 50,6% después de la deshidratación) por el tratamiento térmico en el proceso de elaboración de la harina de pejibaye.

4.5.6 Referencias

- ABUSHITA, A., DAOOD, H. & BIACS, P. 2000. Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 2075-2081.
- ALMEIDA, E., ARROXELAS, V. & SUCUPIRA, M. 2006. Polyphenol, ascorbic acid and total carotenoids in common fruits and vegetables. *Brazilian Journal of Food Technology* 2(9): 89-94.
- A.O.A.C. 1999. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 16 ed. Rev 5. AOAC International, Maryland.
- AZIZAH, A.H., WEE, K.C., AZIZAH, O. & AZIZAH, M. 2009. Effect of boiling and stir frying on total phenolics, carotenoids and radical scavenging activity of pumpkin (*Cucurbita moschato*). *International Food Research Journal* 16: 45-51.
- BELITZ, H. & GROSCH, W. 1997. *Química de Alimentos*. 2 ed. Acribia, Zaragoza.

- BENDICH, A. & OLSON, J.A. 1989. Biological actions of carotenoids. *Faseb Journal* 3: 1927-1932.
- BLANCO, A. & MUÑOZ, L. 1992. Contenido y disponibilidad biológica de los carotenoides de pejibaye (*Bactris gasipaes*) como fuente de vitamina A. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 42(2): 146-153.
- BRITTON, G. 1995a. Carotenoids: Isolation and analysis. In BRITTON, G., LIAAEN-JENSEN, S., PFANDER, H. (Eds). *Carotenoids: spectroscopy*, vol 1A. Birkhauser Verlag, Bassel, 95: 102-107.
- BRITTON, G. 1995b. Structure and properties of carotenoids in relation to function. *Faseb Journal* 9: 1551-1558.
- CAMACHO, E. 1992. El Pejibaye (*Guilielma gasipaes* H.B.K.) L.H. Bailey. Centro Tropical de Enseñanza e Investigación (CATIE). Turrialba.
- DE ROSSO, V. & MERCADANTE, A. 2007. Identification and quantification of carotenoids, by HPLC-PDA-MS/MS, from Amazonian Fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 5062-5072.
- DE SÁ, M. & RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 2004. Optimization of HPLC quantification of carotenoids in cooked green vegetables – Comparison of analytical and calculated data. *Journal of Food Composition and Analysis* 17: 37-51.
- FELTL, L., PACÁKOVÁ, V., STULIK, K. & VOLKA, K. 2005. Reliability of Carotenoids Analysis: A review. *Current Analytical Chemistry* 1: 93-102.
- FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA). 2008. Guidance for industry: A food labelling guide. INTERNET. <http://www.cfsan.fda.gov/guidance.html>
- GAMA, J. & SYLOS, C. 2005. Major carotenoids composition of Brazilian Valencia orange juice: Identification and quantification by HPLC: *Food Research International*, 38, 899–903.
- JATUNOV, S., QUESADA, S., DÍAZ, C. & MURILLO, E. 2010. Carotenoid composition and antioxidant activity of the raw and boiled fruit mesocarp of six varieties of *Bactris gasipaes*. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 60(1): 99-104.
- LEFFINGWELL, J. 2002. Carotenoids as flavor & fragrance precursors. *Leffingwell Reports* 2 (3): 1-5.

- MELÉNDEZ, A., ESCUEDRO, M., VICARIO, I. & HEREDIA, F. 2010. Study of the influence of carotenoid structure and individual carotenoids in the qualitative and quantitative attributes for orange juice colour. *Food Research International* 43: 1289–1296.
- MERCADANTE, A. & RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 1998. Effects of ripening, cultivar differences and processing on the carotenoid composition of mango. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46: 128-130.
- MERCADANTE, A. & EGELAND, E. 2004. *Carotenoids: handbook*. Editorial Birkhauser. Switzerland.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NAS-NRC). 1989. *Recommended Dietary Allowances*. 10 ed. National Academy of Sciences, Washington, DC.
- PARKER, R. 1996. *Absorption, metabolism and transport of carotenoids: carotenoids 4*. Division of Nutritional Sciences. Cornell University, Ithaca.
- PUUPPONEN-PIMIA, R., HAKKINEN, S., AARNI, M., SUORTTI, T., LAMPI, A-M., EUROOLA, M., PIIRONEN, V., NUUTILA, A.M. & OKSMAN-CALDENTY, K-M. Blanching and long-term freezing effect various bioactive compounds of vegetables in different ways. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83: 1389-1402.
- RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 1996. Assessment of the provitamin A contents of foods – The Brazilian Experience. *Journal of Food Composition and Analysis* 9(0028): 196-230.
- RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 1997. Carotenoides y preparación de alimentos: La retención de los carotenoides provitamina A en los alimentos preparados, procesados y almacenados. Departamento de Ciencia de Alimentos, Facultad de Ingeniería de Alimentos, Universidad Estatal de Campinas. Brasil.
- RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 2001. *A guide to carotenoid analysis in foods*. ILSI Press, Washington DC.
- RODRÍGUEZ-BURRUEZO, A. & NUEZ, F. 2006. Mejora de la calidad en el pimiento. En: *Mejora genética de la calidad en plantas*. G. Liácer, M.J. Díez; J.M. Carrillo y M.L. Badenes (eds.); Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. pp. 361-391.
- SASS-KISS, A., KISS, J., MILOTAY, P., KEREK, M. & TOTH-MARKUS, M. 2005. Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. *Food Research International* 38: 1023–1029.

- STAHL, W. & SIES, H, 2005. Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. *Biochimica et Biophysica* 1740: 101-107.
- TRACY, M. 1996. Harina de pejibaye una opción prometedora. *Boletín Informativo RETADAR* 23(1): 3.
- WALL, M.M. 2006. Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana (*Musa* sp.) and papaya (*Carica papaya*) cultivars grown in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis* 19(5): 434-445.
- ZHANG, S. H., D, FORMARN, M., ROSNER, B., NSPEIZER, F., COLDITZ, G., MANSON, J., HANKINSON, S. & WILLETT, W. 1999. Dietary carotenoids and vitamins A, C and E, and risk of breast cancer. *Journal of the National Cancer Institute* 91 (6): 547-556.

4.6 Determinación de la composición de la pared celular en la pulpa de pejibaye (*Bactris gasipaes*) de Costa Rica en estado fresco y después de la cocción en agua

Rojas Carolina¹, Pineda, M. Lourdes², Vaillant Fabrice³, Pérez, Ana M¹.

¹ Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), Universidad de Costa Rica

² Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica

³ Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le développement (CIRAD-PERSYST), Montpellier, Francia

4.6.1 Resumen

Se determinó el contenido de material insoluble en alcohol (MIA) y el material insoluble en alcohol y agua (MIAA) del pejibaye crudo (29,3% b.s. y 10,6% b.s., respectivamente) y del pejibaye cocinado (31,6% b.s. y 13,8% b.s., respectivamente), encontrando un efecto significativo ($p < 0,05$) del tratamiento térmico de cocción por inmersión en agua en el contenido de ambos componentes. En ambos casos, el MIAA se conforma por más de un 80% b.s. de almidón y apenas de un 2,1% b.s. y 1,3% b.s. de proteína en el pejibaye crudo y pejibaye cocinado, respectivamente. No se logró determinar el contenido de componentes del MIAA como celulosa, hemicelulosa, cenizas, pectina insoluble y proteínas estructurales dada la dificultad para eliminar la interferencia del almidón. El contenido de todos estos componentes corresponde de forma integral, a un 14,4% b.s. y 18,7% b.s. en el pejibaye crudo y en el pejibaye cocinado, respectivamente.

4.6.2 Introducción

Las características de procesamiento dependen de las condiciones de cosecha, maduración y de almacenamiento; el almacenamiento prolongado de las materias primas por ejemplo, resulta en una disminución de la firmeza del alimento (Jiménez *et al.*, 2001; Femenia *et al.*, 1998). La variación en la firmeza dificulta los procesos de manufactura y la continuidad de la calidad de los productos. Esto se debe a que las propiedades de textura dependen de la organización del tejido (microestructura), la cual está determinada por la composición química de la pared celular en los alimentos y la física de interacción de las fuerzas internas (Walter & Palma, 1996).

La pared celular de las plantas es un complejo macromolecular de pectina, celulosa, hemicelulosa y proteínas (Coimbra *et al.*, 1996; Buckeridge & Tiné, 2001) que predomina en una matriz péctica (MacDougall *et al.*, 2001). Generalmente se encuentra a partir de la

membrana celular como una pared primaria sostenida de una estructura de microfibrillas de celulosa, seguida de una laminilla media que une cada célula con la siguiente pared y en algunos casos se constituye una segunda pared celular prácticamente lignificada (Vaillant, 2000).

Esta pared celular está formada por los polisacáridos parietales que conforman la fibra dietética, la cual es un conjunto de componentes que solo se encuentran en los alimentos de origen vegetal y no puede ser digerida por el organismo humano. Las moléculas que conforman la fibra son moléculas complejas como la celulosa, hemicelulosa, sustancias pécticas, almidón resistente y la lignina (AACC, 2001).

La lignina es un componente integral de la pared celular y es el componente químico comúnmente asociado a la poca digestibilidad de la fibra. La variación en la composición química de la lignina es causada por la variabilidad de tipos de puentes entre la lignina y los carbohidratos de la pared celular. Por lo tanto, la digestibilidad de la fibra se ve afectada más por las macromoléculas y composición de la lignina que por la cantidad en que está presente (Sudekum *et al.*, 1997). Desde hace muchos años se reportó la acción beneficiosa de la fibra dietética sobre las enfermedades intestinales en países desarrollados (Brillouet *et al.*, 1988).

La celulosa, por su parte, es un polisacárido que, debido a su alto grado de polimerización, posee una gran resistencia física, estabilidad química y relativa resistencia a la hidrólisis enzimática (Cosgrove, 1997). Por otro lado, la hemicelulosa es un polisacárido con ramificaciones y forma enlaces covalentes con la lignina o enlaces de hidrógeno con la celulosa (Vaillant, 2000). Por último, la pectina es el polisacárido más soluble de la pared y está presente en la laminilla media (Pérez-Almeida & Carpita, 2006).

Prácticamente la pared celular se compone de un 50% de pectina. Sin embargo, las proporciones y forma de organización de los compuestos en la pared suele variar en función del tipo de planta (Vaillant, 2000). Los polisacáridos pécticos son estructuralmente los polímeros más complejos dentro de la pared celular, gracias a las diferentes interacciones que se dan entre los componentes que influyen directamente en el comportamiento de la pared celular del alimento (MacDougall *et al.*, 2001).

Conocer la composición de la pared celular de las frutas favorece la búsqueda de alternativas para retardar la pérdida de textura y firmeza de la fruta antes de su

procesamiento o durante el almacenamiento. Una de las actuales aplicaciones para la conservación postcosecha de las materias primas de origen vegetal es el uso de atmósferas modificadas o controladas (Femenia *et al.*, 1998). Por otra parte, la determinación de la composición de la pared celular permite la selección de enzimas adecuadas para el tratamiento enzimático, como parte del procesamiento de las frutas para la elaboración de productos tipos puré o para aumentar la extracción de compuestos de interés de la pulpa.

Estudiar la pared celular del pejibaye y evaluar el efecto de la cocción sobre el pejibaye permitirá seleccionar un tratamiento enzimático adecuado para el desarrollo de productos a partir del pejibaye, fruto reconocido por su aporte importante en fibra y de compuestos antioxidantes como los carotenoides (Rodríguez-Amaya, 2001; Blanco *et al.*, 1992).

4.6.3 Materiales y métodos

4.6.3.1 Materia prima

Se utilizó pejibaye cosechado en Pérez Zeledón, en una plantación ubicada a 703 m.s.n.m. y con una temperatura media de 23 °C, obtenidos a través de uno de los proveedores de pejibaye para el Mercado Central de San José y el Centro Nacional de Abastecimiento y Distribución de Alimentos (CENADA).

4.6.3.2 Preparación de la muestra

El pejibaye se sometió a las etapas de pelado para el análisis en pulpa fresca y se aplicaron las etapas de cocción y pelado para el análisis de la pulpa de pejibaye cocinado. Cada muestra se homogenizó, liofilizó y se congeló hasta su posterior análisis.

4.6.3.3 Reactivos

La acetona y éter etílico fueron obtenidos de Sigma-Aldrich Chemical Co (St Louis, MO); el etanol 95% y ácido sulfúrico ACS se compraron de la marca J.T. Baker.

4.6.3.4 Métodos de análisis

Humedad: el contenido de humedad se determinó siguiendo el método oficial de la AOAC (920.151) por secado de la muestra en una estufa de vacío a 95°C (AOAC, 1999).

Almidón: el contenido de almidón fue determinado siguiendo el método enzimático descrito por Southgate (1976).

Proteína: se realizó por medio del método recomendado por la AOAC (920.152) conocido como método de Kjeldahl (AOAC, 1999).

Material insoluble en alcohol (MIA): se realizó siguiendo el método propuesto por Brillouet *et al.* (1988), el cual consiste en el lavado de la muestra en ebullición con etanol anhidro al 95%, seguido de lavados con etanol al 80% y finalmente con lavados de acetona para pesar el residuo después de ser secado.

Pectina soluble: se extrajo la pectina contenida en el MIA de acuerdo con el método reportado por Voragen *et al.* (1983), la cual se solubiliza en el etanol utilizado para la extracción del MIA.

Material insoluble en alcohol y agua (MIAA): se utilizó el método descrito por Voragen *et al.* (1983) el cual se basa en la realización de lavados del MIA con agua destilada a 4 °C hasta que la prueba de antrona, descrita por Dubois *et al.* (1956), de negativa.

Lignina, celulosa y hemicelulosa: se obtuvo por diferencia de peso al eliminar de la masa del MIAA el porcentaje de proteína y almidón presente, dado que al seguir el método descrito por Effland (1977) para la determinación de lignina y el método reportado por Van Soest *et al.* (1981) para la determinación de celulosa y hemicelulosa, no se obtuvieron datos reproducibles debido probablemente a la interferencia del almidón resistente presente en el pejibaye.

4.6.3.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño irrestricto aleatorio con dos tratamientos (pulpa de pejibaye cruda y pulpa de pejibaye cocinado). Los resultados fueron evaluados aplicando un análisis de t de Student con el fin de determinar si existe diferencia significativa en las distintas variables entre ambos tipos de pulpa. Los datos fueron expresados como el promedio \pm desviación estándar.

4.6.4 Resultados y discusión

Se realizó el estudio de la composición de la pared celular del pejibaye por medio de la determinación del material insoluble en alcohol (MIA) y el material insoluble en alcohol y agua (MIAA) de acuerdo con el esquema que se muestra en la **Figura 7**. Además se determinaron los polisacáridos parietales generales, que contemplan la celulosa, y hemicelulosa, además de la lignina y las proteínas estructurales (**Cuadro 22**). Para ello fue necesario determinar el contenido de almidón en el pejibaye crudo y cocinado, el cual corresponde a 65,4% y 63,8% (base seca), respectivamente (**Cuadro 21**). La **Figura 15**, representa los componentes que se lograron determinar en la pulpa de pejibaye cruda y cocinada.

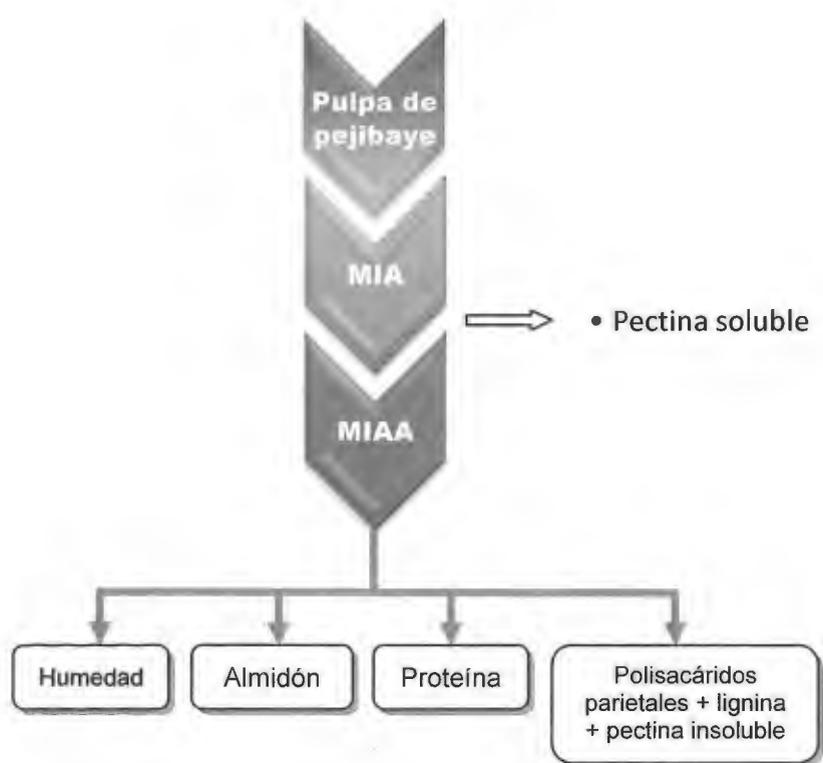


Figura 15. Esquema de caracterización de la pared celular del fruto del pejibaye

Se observa en el **Cuadro 21** que el pejibaye crudo se conforma de un 29,3% b.s. de MIA; éste a su vez se compone de un 37,4% de MIAA que se obtiene después de los lavados sucesivos del MIA con agua a 4 °C; el restante 62,6% del MIA correspondería a la pectina soluble en agua. Por otro lado, el MIAA representa el 10,6% b.s. del total de la composición del pejibaye crudo. Este contenido de MIAA correspondería a polisacáridos como celulosa y hemicelulosa, así como a pectinas estructurales y a lignina, los cuales todos juntos son parte de la denominada fibra dietética (Gallardo & Sierra, 1980). El contenido obtenido de MIAA (10,6%) evidencia el alto contenido de fibra que tiene el pejibaye, componente que ha sido reportado por autores como Gallardo y Sierra (1980) con valores entre 12,2 y 20,8%.

Cuadro 21. Efecto de la cocción sobre el contenido de material insoluble en alcohol (MIA) y material insoluble en alcohol y agua (MIAA) del pejibaye (n=3).

Matriz	% Almidón (b.s.)	% MIA / g pejibaye b.h.	% MIA / g pejibaye b.s.	% MIAA / pejibaye b.h.	% MIAA / pejibaye b.s.	%MIAA/MIA
Crudo	65,4 ± 2,1 a	13,7 ± 2,1 a	29,3 ± 6,1 a	5,0 ± 0,4 b	10,6 ± 0,8 b	37,4 ± 1,8 b
Cocinado	63,8 ± 1,4 a	13,8 ± 1,2 a	31,6 ± 1,7 a	6,0 ± 0,5 a	13,8 ± 0,8 a	43,8 ± 2,1 a

Valores de una misma columna con letra diferente son diferentes significativamente ($p < 0,05$).

El contenido de MIA (29,3%) y MIAA (10,6%) en el pejibaye crudo es mayor al de la mayoría de las frutas como la mora costarricense variedad "vino", la cual presenta un contenido de 2,9% de MIA y 1,5% de MIAA (Cozzano, 2007), casi 10 veces menor al contenido de MIA y MIAA en el pejibaye. Siempre comparado con la mora, la fracción de MIAA presente en el MIA del pejibaye es menor, ya que la mora presenta un 53% de MIAA y un 43% de pectina soluble en agua (Cozzano, 2007).

Autores como Voragen *et al.* (1983) reportan un contenido de MIA en manzana de 2%, en papaya de 2,6%, en mango de 2,5%, en piña de 1,3%, en pera de 1,5% y en zanahoria de 2,4% (todos b.s.). En el caso de la maracuyá, Florez *et al.* (2003) reporta un contenido apenas de 0,74% de MIA y de 0,63% de MIAA (b.s.). Por otro lado, Dávila (2007) reporta

que para la pitahaya variedad Lisa, el MIA representa el 12,9% b.s. del total de la pulpa sin semilla y Chan-Blanco (2007) reporta en el noni un MIA de 3,0% b.h., todos menores a los encontrados para el pejibaye crudo y cocinado de acuerdo a los datos del **Cuadro 21**.

El contenido de MIAA encontrado en el pejibaye es importante desde el punto de vista nutricional ya que indica que esta fruta, inclusive después del tratamiento térmico, constituye una rica fuente de fibra dietética. Esto permite señalar al pejibaye como una muy buena alternativa de alimento rico en un componente bioactivo beneficioso para la salud. Esto porque la disponibilidad de fibra en la dieta permite un mejor control del sistema digestivo humano, mejorando la eliminación de triglicéridos de baja densidad, así como la disminución de problemas de estreñimiento (Manach *et al.*, 2004; Spoon, 2007).

Según el **Cuadro 21**, la etapa de cocción solo tiene un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el contenido de MIAA en el pejibaye, el cual aumenta de 10,6 a 13,8% (b.s.), mientras que el material insoluble en alcohol no se ve afectado. Producto del aumento del MIAA, también hay un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre la fracción de MIAA que compone el MIA del pejibaye.

Este comportamiento podría deberse a un aumento de la lignina y el almidón resistente que se encuentran acomplejados en la pared celular secundaria y que después de la cocción se liberan de la matriz permitiendo su extracción con mayor facilidad (Blanco *et al.*, 1992; Martínez, 2006). Esto podría explicar el aumento de 4,3% (b.s.) en el valor de los polisacáridos parietales más la lignina que se observa en el **Cuadro 22**.

El pejibaye crudo presenta un alto contenido de almidón de 65,4% b.s. (**Cuadro 21**) y, a pesar de que la cocción provoca una disminución de 1,6%, debido probablemente a la pérdida de almidón que se solubiliza en el agua de cocción, el contenido de almidón en el pejibaye cocinado sigue siendo muy elevado pues no hay diferencia significativa ($p > 0,05$). Debido a la presencia de cantidades tan elevadas de almidón en el pejibaye, no fue posible realizar la caracterización específica del MIAA en cuanto a contenido de celulosa, hemicelulosa, lignina, cenizas y proteína estructural, ya que el almidón es capaz de reaccionar con los solventes utilizados en la cuantificación de estos componentes de manera individual.

Al analizar la composición del MIAA, se observa (**Cuadro 22**) que su mayor componente sigue siendo el almidón, inclusive después de la cocción, encontrando un 83,5% b.s. y

80,1% b.s. de este componente en el MIAA del pejibaye crudo y pejibaye cocinado, respectivamente. Este tipo de almidón puede ser el almidón resistente, el cual, después de un proceso de separación en alcohol y en agua, sigue siendo parte importante del pejibaye y, por ende, es uno de los componentes que fortalecen la función de la fibra como componente bioactivo (Blanco *et al.*, 1992).

Cuadro 22. Efecto de la cocción sobre la composición de MIAA del pejibaye (n=3)

Composición MIAA (%)	Pejibaye crudo	Pejibaye cocinado
Base húmeda		
Humedad	8,6	5,8
Almidón	76,4	75,4
Proteína	1,9	1,2
Polisacáridos parietales + lignina + pectina insoluble	13,1	17,6
Base seca		
Almidón	83,5	80,1
Proteína	2,1	1,3
Polisacáridos parietales + lignina + pectina insoluble	14,4	18,6

Retomando la información presentada en el **Cuadro 14**, se observa que el contenido de proteína en la pulpa de pejibaye es de $5,0 \pm 1,1$ % b.s., tanto cruda como cocinada, pues no hubo efecto del tratamiento de cocción sobre este componente. Asociando este dato con el contenido de proteína en el MIAA presentado en el **Cuadro 22**, la proteína estructural representa el 0,22% y 0,18% de la composición total de la pulpa de pejibaye cruda y cocinada, respectivamente. Se puede suponer que, en el caso de la pulpa de pejibaye cruda, 4,78% de la composición de la pulpa cruda corresponde a proteína disponible para su metabolización en el sistema digestivo, mientras que 0,22% correspondería a proteínas estructurales de la pared celular del pejibaye (Brillouet *et al.*, 1988).

Para la pulpa de pejibaye cocinado, a pesar de que no hubo efecto de la cocción en el contenido de proteína, sí hay cambios en la proporción del tipo de proteínas ya que solo 0,18% de la composición de la pulpa cocinada correspondería a proteína estructural, debido probablemente a la sensibilización de la matriz por el tratamiento térmico (Blanco *et al.*, 1992).

Dado que no existen reportes en la literatura acerca de la composición de la pared celular del pejibaye, no se pueden comparar estos resultados con otros estudios y, debido a la mejora que se debe realizar en la metodología de análisis para matrices ricas en almidón, no se pudo caracterizar la composición del MIAA. No obstante, la información generada permite evidenciar la importancia del pejibaye como fuente de fibra dietética (10,6%).

La aplicación de tratamientos enzimáticos en el pejibaye para desarrollar productos con alto contenido de compuestos bioactivos, como el puré de pejibaye, requiere la aplicación de preparados enzimáticos a base de amilasas, además de un complejo de enzimas que contenga pectinasas, celulasas y hemicelulasas, dado el elevado contenido de MIAA (18,7 % b.s.) en el pejibaye cocinado. El empleo de preparados enzimáticos permitirá mejorar la textura del producto deseado, al reducir el tamaño de las moléculas que componen la pared celular.

4.6.5 Conclusiones

- ✓ El alto contenido de MIA y MIAA obtenido para el pejibaye cocinado permite proponer esta fruta como una excelente alternativa para suplir las necesidades diarias de ingesta de fibra.
- ✓ Se requiere de una enzima tipo amilasa si se desea explotar el pejibaye desde el punto de vista industrial mediante la aplicación de tratamientos enzimáticos, debido a que su contenido de almidón es muy elevado, tanto en el pejibaye crudo como en el pejibaye cocinado.
- ✓ El contenido de MIA y MIAA en la pulpa de pejibaye crudo y cocinado es mucho mayor al reportado para otras frutas como la mora, manzana, papaya, mango, piña, pera, maracuyá y zanahoria, por lo que el pejibaye tiene una mayor contribución a la ingesta mínima recomendada de fibra.
- ✓ El efecto significativo de la cocción en agua sobre el contenido MIAA del pejibaye, se debe probablemente al rompimiento de macromoléculas después del

tratamiento térmico que generan compuestos de menor peso molecular como los oligosacáridos que también son parte de la denominada fibra dietética.

- ✓ Es probable que la presencia del almidón resistente del pejibaye sea la principal interferencia para la determinación de la lignina, celulosa y hemicelulosa.

4.6.6 Referencias

- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). 2001. The definition of dietary fiber. AACC Report 46(3): 112-126.
- A.O.A.C. 1999. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 16 ed. Rev 5. AOAC International, Maryland.
- BLANCO, A., FERNÁNDEZ, M. & MORA, J. 1992. Pejibaye palm fruit contribution to human nutrition. Costa Rican Institute of Research and Education of Health and Nutrition. School of Biology, University of Costa Rica. Principes 36 (2): 66-69.
- BRILLOUET, J., ROUAU, X., HOEBLER, C., BARRY, J., CARRÉ, B. & LORTA, E. 1988. A new method for determination of insoluble cell wall and soluble nonstarchy polydaccarides from plant materials. Journal of Agriculture and Food Chemistry 36 (5): 969-979.
- BUCKERIDGE, M. & TINÉ, A. 2001. Composição polisacárida: estrutura da parede celular e fibra alimentar. In Fibra dietética en Iberoamérica: Tecnología y Salud. Lajolo, F., Saura, F., Wittig, E. & Wenzel, E. (Eds.); Varela. Brasil. 43-60.
- CHAN-BLANCO, Y. 2007. Caractérisation du fruit de noni (*Morinda citrifolia*) au cours du processus de maturation et de sénescence et étude de l'impact de la microfiltration angentielle sur la composition du jus. These Doctorat Sciences des Procédés-Sciences des Aliments. Université Montpellier II, Montpellier.
- COIMBRA, M., WALDRON, K., DELGADILLO, I. & SELVENDRAN, R. 1996. Effect of processing on cell wall polysaccharides of green table olives. Journal of Agricultural and Food Chemistry 44: 2394-2401.
- COSGROVE, D. 1997. Assembly and enlargement of the primary cell wall in plants. Cell and Developmental Biology 13: 171-201.
- COZZANO, S. 2007. Impacto del proceso de microfiltración tangencial sobre el valor de la mora (*Rubís spp.*) como alimento funcional. Tesis M.Sc. Ciencia de Alimentos. Sistema de Estudios de Posgrado, Universidad de Costa Rica. San José.

- DÁVILA, I. 2007. Estudio sobre la obtención de jugo clarificado de pitahaya (*Hylocereus spp.*) mediante la aplicación de un tratamiento enzimático y microfiltración tangencial. Tesis M.Sc. Ciencia de Alimentos. Sistema de Estudios de Posgrado, Universidad de Costa Rica. San José.
- DUBOIS, M., HAMILTON, J., REBERS, P.A. & SMITH, F. 1956. Colorimeter method for determination of sugar and related substances. *Analytical Chemistry* 28: 300-356.
- EFFLAND, M. 1977. Modified Procedure to Determine Acid-insoluble Lignin: In Wood and Pulp. *TAPPI* 60 (10): 143-144.
- FEMENIA, A., SÁNCHEZ, E., SIMAL, S. & RESSELLÓ, C. 1998. Modification of Cell Wall Composition of Apricots (*Prunus armeniaca*) during Drying and Storage under Modified Atmospheres. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 4: 5248-5253.
- GALLARDO, V. & SIERRA, C. 1980. Condiciones óptimas de secado para la obtención de harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*). Tesis Ingeniería Agrícola. Universidad del Valle, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- FLOREZ, L.M., VAILLANT, F., HOLLANDER, H. & ARIZA-NIETO, M. 2003. Passion fruit sacs: biochemical characterization and enzymatic treatment. *Tropical Sciences* 43(1): 28-34.
- JIMÉNEZ, A., RODRÍGUEZ, R., FERNÁNDEZ, I. & GUILLÉN, R. 2001. Olive fruit cell wall: degradation of cellulosic and hemicellulosic polysaccharides during ripening. *Journal of Food Chemistry* 49: 2008-2013.
- MacDOUGALL, A., RIGBY, N., RYDEN, P., TIBBITS, W. & RING, S. 2001. Swelling behavior of the tomato cell wall network. *Biomacromolecules* 2: 450-455.
- MANACH, C., SCALBERT, A., MORAND, C., RÉMÉSY, C. & JIMÉNEZ, L. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition* 79: 727-747.
- MARTÍNEZ, D. 2006. Implicaciones digestivas y metabólicas del consumo de almidón resistente en cerdo. Tesis Doctorado de Producción Animal, Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra.
- PÉREZ-ALMEIDA, I. & CARPITA, N. 2006. Las β -galactosidasas y la dinámica de la pared celular. *Advertencia*, 31(7):476-483.

- RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 2001. A guide to carotenoid analysis in foods. ILSI Press, Washington, D.C.
- SOUTHGATE, D.A., 1976. Determination of food carbohydrates. Cap. 8. Selected Methods. Applied Science Publishers, Londres.
- SPOON, M. 2007. Investigando la fibra dietética. Extensión Cooperativa de la Universidad de Nevada. Reno.
- SUDEKUM, K., VOIGT, K., MONTIES, B. & STRAGASSINGER, M. 1997. Spectrophotometric investigations on lignin in wheat (*Triticum aestivum* L.): Influence of cell wall preparation, Solvent and Standard. Journal of Agricultural and Food Chemistry 45: 1220-1228.
- VAILLANT, F. 2000. Clarification et concentration de jus de fruits tropicaux pulpeaux associant traitements enzymatiques, microfiltration tangentielle et évaporation osmotique. Thèse de Doctorat, Spécialité Génie de Procédés. L'École Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires. Montpellier.
- VAN SOEST, P., ROBERTSON, J. & LEWIS, B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science 74(10): 3583-3597.
- VORAGEN, A., TIMMERS, J., LINSSEN, J., SCHOLS, H. & PILNIK, W. 1983. Methods of analysis for cell wall polysaccharides of fruit and vegetables. Z: Lebensm. Unters Forsh, 177: 251-256.
- WALTER, W. & PALMA, C. 1996. Effect of long term storage on cell wall neutral sugars and galacturonic acid of two sweetpotato cultivars. Journal of Agricultural and Food Chemistry 44: 278-281.

5. DISCUSIÓN GENERAL

La elaboración de harina de pejibaye puede considerarse como una interesante alternativa para la elaboración de productos tales como galletas, queques, panecillos, budín, tamales, cremas y otros (Blanco, 1992), con alto contenido de compuestos bioactivos beneficiosos para la salud. Además puede considerarse como una buena opción de materia prima en la industria de alimentos al utilizarse como sustituto de harinas de maíz y trigo.

Si bien es cierto el objetivo de este trabajo fue adecuar las condiciones de elaboración de la harina de pejibaye con base en estudios preliminares (apartado 4.1), es necesario realizar un estudio de optimización de las condiciones de operación de preparación de la materia prima (pelado y molienda) y de tratamiento térmico con el fin de disminuir el impacto sobre el contenido de compuestos bioactivos como los carotenoides, polifenoles y fibra, así como su capacidad antioxidante. Los parámetros de operación utilizados en este estudio fueron 30 min en ebullición para la cocción por inmersión en agua y una temperatura de secado de 72 °C con una carga por bandeja de 6,14 kg / m² hasta alcanzar un 10% de humedad.

En el caso de la cocción, se ha demostrado que se requieren al menos 15 minutos de escaldado o 15 min en ebullición por inmersión en agua con el fin de eliminar los factores antinutricionales (FAN) presentes naturalmente en el pejibaye (Blanco, 1992). Por otro lado, Gallardo y Sierra (1980) mencionan que es necesario aumentar el tiempo de cocción por inmersión en agua de 15 a 30 minutos con el fin de eliminar el sabor amargo que presenta el pejibaye. Por tanto, el estudio de optimización de los parámetros de los tratamientos térmicos debe asegurar un menor impacto sobre los componentes bioactivos de forma tal que se garantice la inactivación de los FAN y que sea sensorialmente aceptado.

La optimización del proceso de elaboración de harina de pejibaye debe considerar el método y tiempo de cocción así como la temperatura, carga por bandeja, humedad final y velocidad del aire de la etapa de deshidratación (Bustamante, 1994), las cuales fueron previamente estudiadas por Ugalde (2002). Sin embargo, el objetivo del estudio de Ugalde (2002) fue elegir condiciones de operación que disminuyeran el tiempo de secado sin contemplar el efecto de estas condiciones sobre el valor nutricional de la harina de pejibaye.

Una ventaja de la elaboración de la harina de pejibaye con cáscara es, además de proporcionar un mayor contenido de carotenoides, la eliminación de la etapa de pelado. En este estudio el mejor rendimiento se obtuvo con el pelado manual, sin embargo, a pesar de que este método permite un mayor aprovechamiento de la materia prima, no es conveniente para el escalamiento a nivel industrial por el alto costo de mano de obra que este puede implicar.

En caso de optimizar un proceso de elaboración de harina de pejibaye sin cáscara, es necesario contemplar la etapa de pelado como una etapa previa que debe optimizarse con el fin de seleccionar el método mecánico o manual y las condiciones que permitan obtener rendimientos adecuados para un proceso industrial al menor costo posible. Los resultados que se presentan en el apartado **4.1** muestran que el pelado abrasivo no es un método apropiado debido al bajo rendimiento y los inconvenientes presentados, como la incorporación de humedad al pejibaye, lo que dificultaría el proceso de rebanado y que luego tendría que ser eliminada en la etapa de secado.

Una de las condiciones que garantizan mantener los parámetros de calidad de un producto final es el establecimiento de las especificaciones de la materia prima, con el fin de mantener constantes las propiedades físico - químicas, ya que un cambio de la composición de la materia prima puede afectar el rendimiento de proceso, la calidad nutricional y las características sensoriales del producto final.

La variabilidad que el pejibaye presenta en cada uno de sus componentes se evidencia al analizar los valores muy amplios para cada uno de los componentes físico - químicos que se observan en el **Cuadro 1** y que concuerdan con lo reportado por diferentes autores (Blanco *et al.*, 1990; Baracaldo, 1980; Clement, 1995; Pérez *et al.*, 2006).

Los resultados obtenidos para los cinco lotes evaluados (apartado **4.2**), muestran diferencias significativas entre los lotes en las características dimensionales de masa, largo y ancho del fruto, así como en el contenido de humedad, proteína y grasa. Por tanto, sería importante ampliar el estudio de evaluación de la variabilidad del fruto del pejibaye en función de su genotipo; sin embargo, el grado de desarrollo de este cultivo no lo permite, dado que las poblaciones, tanto silvestres como cultivadas, presentan gran diversidad genética entre y dentro de ellas (Hernández-Ugalde *et al.*, 2007).

En el caso del almidón, es el único componente que no presentó diferencia significativa entre ninguno de los lotes. Esto permitiría visualizar aplicaciones para las industrias de productos de panificación y repostería donde el almidón juega un papel muy importante en las características de textura alcanzadas. El elevado contenido de almidón haría posible también el desarrollo de un proceso tecnológico industrial de extracción para su obtención como aditivo en la industria alimentaria.

Es interesante destacar que el contenido de carotenoides es igualmente variable en el pejibaye, pues se presentaron diferencias significativas incluso entre lotes de la misma zona de origen. Dado que el contenido total de carotenoides está asociado con el color del fruto y que aquellos carotenoides con mayor cantidad de dobles enlaces tienen coloraciones más fuertes (Britton, 1995a), sería interesante evaluar cuál es el aporte de cada uno de los carotenoides presentes en el pejibaye al color total de la pulpa. Además, podría establecerse si el comportamiento de variabilidad en los parámetros de color L^* , a^* y b^* para cada uno de los lotes está asociado con la variabilidad de la concentración de cada carotenoide de manera independiente, esto con el fin de reconocer cuáles son los carotenoides que contribuyen en mayor medida al color de la pulpa. El contenido total de carotenoides promedio ($165 \mu\text{g } \beta\text{-caroteno equiv./g b.s.}$) en la pulpa de pejibaye crudo fue mayor que el reportado para frutas de consumo tradicional como la papaya, mango, banano, entre otras.

El contenido de polifenoles totales promedio en la pulpa de pejibaye crudo para los cinco lotes evaluados fue de $72 \pm 18 \text{ mg GAE /100 g b.s.}$, con un intervalo de confianza de 8 mg GAE /100 g . Al observar la desviación estándar y el intervalo de confianza se demuestra la variabilidad que existe entre los lotes de pejibaye, siendo solo los lotes 1, 3 y 5 los que no presentaron diferencia significativa. En un posterior estudio sería importante determinar si la variación en el contenido de polifenoles se debe a un efecto de la zona, de tiempo de cosecha o condiciones de cultivo, con el fin de mejorar los parámetros que permitan un mayor contenido de polifenoles en el pejibaye.

Dado que la capacidad antioxidante obtenida para la pulpa de pejibaye crudo ($37 \text{ mg GAE /100 g b.s.}$) se debe a la presencia de compuestos hidrofílicos como polifenoles, vitamina C y minerales como el selenio y el zinc, es necesario realizar en otros estudios la cuantificación de cada uno de estos componentes y determinar cuál de ellos tiene mayor impacto sobre la capacidad antioxidante, además de establecer si el contenido cambia

entre los lotes. También, es necesario determinar la capacidad antioxidante lipofílica que es dada principalmente por los carotenoides, con el fin de conocer la capacidad antioxidante total de la pulpa de pejibaye y poder evaluar este fruto como fuente de antioxidantes. Asimismo, se debe esclarecer cómo los factores de cosecha o manejo del fruto afectan la capacidad antioxidante total del fruto del pejibaye.

De acuerdo con Serrano (2010) la variabilidad del pejibaye en el contenido de carotenoides y en la capacidad antioxidante puede deberse a un factor de días de floración a cosecha, por lo que se hace necesario conocer cómo todos estos factores afectan el valor nutricional del fruto. Es importante destacar que el pejibaye puede ser considerado como una fruta con alta capacidad antioxidante, ya que los valores obtenidos para los cinco lotes son superiores a los reportados para frutas como manzana, pera, banano, melón, tomate, kiwi y naranja (Wang *et al.*, 1996) y vegetales como cebolla, brócoli, zanahoria y espinaca (Ninfali & Bacchiocca, 2003). Sin embargo, la actividad antioxidante del pejibaye es superada por frutas como el arándano (Kalt *et al.*, 1999), la ciruela y la fresa (Wang *et al.*, 1996).

Dado que la forma tradicional de consumo de pejibaye es cocinado, la información sobre el contenido de carotenoides, polifenoles y capacidad antioxidante en la pulpa cruda permite identificar el pejibaye como una buena fuente de compuestos antioxidantes, pero debe ser evaluado una vez aplicada la etapa de cocción, con el fin de conocer el contenido de carotenoides y polifenoles disponibles en el fruto para su consumo. En busca de alternativas de desarrollo tecnológico y aprovechamiento del fruto para la elaboración de otros productos, se hace necesario buscar formas de procesamiento entre las cuales se incluye la obtención de harina de pejibaye. Al respecto, se requiere determinar el impacto de las etapas que involucran la aplicación de un tratamiento térmico, con el fin de conocer el efecto sobre la composición físico - química del producto final, además de su contenido de compuestos bioactivos.

El efecto del proceso de elaboración de la harina de pejibaye sobre la composición físico - química del pejibaye se abarca en el apartado 4.3. Se encontró que el contenido de grasa, de proteína y de almidón no se ven afectados por el proceso de cocción ni la deshidratación, lo cual es importante si se quiere valorizar el tipo de grasa que presenta el pejibaye, la cual se compone de alrededor de 40% de ácidos grasos poliinsaturados (Badui, 1981). Por otro lado, Fernández *et al.* (1995) y Clement (1995) indican que

después de la cocción se da una disminución del contenido graso del pejibaye, debido a que se alcanza la temperatura de fusión de los ácidos grasos y por ello se transfieren al agua de cocción en más de un 20%. En el caso del presente estudio, a pesar de que no se encontró una disminución significativa de la materia grasa durante la cocción del pejibaye para la elaboración de la harina, sería importante evaluar cómo se afecta la configuración de los ácidos grasos poliinsaturados presentes en el fruto, especialmente aquellos con configuración *cis*, la cual es menos estable en la naturaleza y que cambiaría a su isómero *trans* con la aplicación de tratamientos térmicos (Britton, 1995a; Belitz & Grosch, 1997).

El hecho de que no haya una disminución en el contenido de proteína es una ventaja ya que, en la mayoría de las frutas el contenido de este nutriente no es muy elevado y, si las variaciones en el contenido de proteína del pejibaye se minimizan a lo largo del proceso, se puede disponer de una fuente de los ocho aminoácidos esenciales (Yuyama *et al.*, 2003).

Se obtuvo un contenido de almidón en la pulpa de pejibaye cocinado de 68 ± 4 g/100 g b.s., que no es diferente ($p > 0,05$) al contenido de almidón en la harina. A pesar de que no se da un cambio después de la cocción, faltaría profundizar en el efecto que puede tener la cocción o la deshidratación sobre la calidad del almidón, el cual puede gelatinizarse durante la etapa de cocción y sufrir una posterior retrogradación, lo que modifica su configuración química. También es necesario conocer la proporción de almidón resistente que presenta el pejibaye, especialmente si lo que se busca es potenciar el pejibaye como un alimento fuente de compuestos bioactivos, ya que el almidón resistente forma parte de los componentes que conforman la fibra dietética (Martínez, 2006).

Respecto al efecto sobre el contenido de compuestos antioxidantes como los carotenoides y los polifenoles, se encontró que la etapa de cocción generó un aumento de 17% en el contenido total de carotenoides en la pulpa de pejibaye cocinado (197 ± 45 μ g de β -caroteno/g b.s.), incrementando en un 17% su contenido. Sin embargo, la etapa de secado provoca una pérdida de carotenoides, pues su contenido total en la harina es 28% menor (142 ± 22 μ g de β -caroteno/g b.s.) que en la pulpa cocinada. Restaría por conocer cuáles carotenoides son más sensibles a su degradación durante el proceso de elaboración de la harina de pejibaye y si están relacionados con el cambio en la

concentración de carotenoides totales en la harina de pejibaye. Por otra parte, es importante determinar también cuánto del contenido de carotenoides está realmente biodisponible de manera tal que el organismo sea capaz de absorberlo y permitir ejercer su acción como molécula antioxidante o como provitamina A.

En el caso del contenido de polifenoles totales, el contenido en el pejibaye cocinado y la harina de pejibaye fue de 72 ± 30 mg GAE /100 g b.s. y 60 ± 30 mg GAE /100 g b.s., respectivamente. Este resultado es importante ya que no existen reportes previos del contenido total de polifenoles en el pejibaye; esta fruta puede considerarse como fuente de polifenoles a pesar de presentar un contenido menor que otros alimentos lipofílicos como el aguacate, el cual presenta un contenido de polifenoles de 667 mg GAE /100 g b.s. (Wu *et al.*, 2004a). El contenido de polifenoles obtenido potencia la percepción del pejibaye como un alimento con un aporte de antioxidantes apreciable. Es importante realizar una cuantificación del contenido de polifenoles más exacta, ya que se ha demostrado que durante la etapa de cocción se forman compuestos intermedios productos del proceso de oxidación de los polifenoles y que tienen la capacidad de reaccionar con el reactivo de Folin-Ciocalteu (Nicoli *et al.*, 1999). Es por ello que se hace necesario aplicar en posteriores estudios otra metodología de análisis que no se vea afectada por la interferencia de compuestos que den probablemente una cuantificación de polifenoles sobreestimada.

Nuevamente, se debe resaltar la necesidad de realizar la determinación de la capacidad antioxidante total contemplando los compuestos lipofílicos ya que, de otra forma, el valor del pejibaye o de la harina de pejibaye como alimento antioxidante va a ser irreal, al no contemplar compuestos como los carotenoides. Se puede concluir que los compuestos hidrofílicos con capacidad antioxidante no se ven afectados por la etapa de cocción y deshidratación durante el proceso de elaboración de la harina de pejibaye.

Al comparar con los valores reportados por varios autores para otras frutas, se observa que la capacidad antioxidante de la pulpa de pejibaye cocinado (38,10 μ moles de TE/g b.s.) y la de la harina (36,40 μ moles de TE/g b.s.), es menor al valor determinado para frutas como arándanos azules, mora y arándanos rojos, que oscila entre 90,00 y 160,00 μ moles de TE/g b.s., pero mayor a la reportada para frutas como sandía, melón y mango (Wu *et al.*, 2004b). Aún así, no debe desestimarse el efecto antioxidante que

presenta el pejibaye sabiendo que, si se determina su potencial contemplando el contenido de carotenoides, éste podría llegar a incrementarse.

En busca de una alternativa de procesamiento del pejibaye que permita aumentar el contenido de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante en el producto final, se evaluó el aporte de la cáscara. Se encontró que al considerar la cáscara en la elaboración de la harina de pejibaye, aumenta el contenido de compuestos bioactivos como fibra y carotenoides, además de darse un aumento en el contenido de grasa y proteína. El contenido de almidón, polifenoles y capacidad antioxidante no se ve afectada por la presencia de la cáscara, por lo que podría indicarse que la fuente de estos componentes es la pulpa del pejibaye. El aporte más importante de la cáscara al valor nutricional del pejibaye se relaciona con el contenido de carotenoides en la harina, el cual aumenta en un 78% obteniendo como resultado final un contenido total de carotenoides de 253 ± 77 μg β -caroteno / g b.s. Este contenido es mucho mayor al reportado por Morera *et al.* (2008) para la harina de maíz, quienes mencionan un contenido de $25,4$ μg β -caroteno / g b.s.; los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian la gran fuente de carotenoides que representa la harina de pejibaye, tanto sin cáscara como con cáscara.

El valor nutricional que tiene el pejibaye o la harina de pejibaye se refuerza al determinar el contenido de minerales presente. Sin embargo, aún se hace necesario profundizar en el desarrollo de productos a partir de la pulpa y la harina de pejibaye que puedan ser de fácil acceso para el consumidor costarricense y, por tanto, logren cubrir necesidades nutricionales para el funcionamiento diario del organismo. Se deberá ampliar la determinación del contenido de minerales realizado en este estudio, para minerales como el selenio, elemento importante por sus funciones fisiológicas y antioxidantes. Asimismo, falta por evaluar el efecto de las diferentes etapas en la elaboración de un producto final sobre el contenido de cada uno de los minerales y también de otros compuestos antioxidantes como carotenoides y polifenoles.

Por otro lado, obtener altos contenidos de antioxidantes es importante ya que aumenta la proporción de compuestos carotenoides con acción provitamina A que pueden ser absorbidos y, por ende, aprovechados por el organismo humano. Inclusive, este segundo aspecto vuelve a ser relevante si se considera que cada uno de estos carotenoides presenta distinto porcentaje relativo de bioactividad (Rodríguez-Amaya, 2001).

En el apartado 4.5 se realiza un análisis de identificación de los carotenoides en la pulpa de pejibaye crudo, pulpa de pejibaye cocinado y en la harina de pejibaye con el fin de determinar el efecto de la cocción y de la deshidratación sobre el perfil y el contenido total de carotenoides, así como también evaluar la influencia de estas etapas en el valor del pejibaye como provitamina A.

Se identificaron tentativamente 9, 14 y 13 carotenoides en la pulpa de pejibaye crudo, pulpa de pejibaye cocinado y en la harina de pejibaye, respectivamente. Solo en la pulpa de pejibaye cocinado se cuantificó un carotenoide del grupo de las xantófilas (*all-trans- α -criptoxantina*), el cual desaparece después de la etapa de deshidratación probablemente debido a mecanismos de degradación como la oxidación enzimática (Rodríguez-Amaya, 2001).

Entre los carotenoides identificados, 12 carotenoides son parte del grupo de los carotenos. Dentro de este grupo se encuentra el *all-trans- β -caroteno*, el cual presenta el mayor porcentaje relativo de bioactividad (100%) y es capaz de generar dos moléculas de vitamina A (Britton, 1995a; Rodríguez-Amaya, 1996). La presencia de este carotenoide predomina después de la etapa de cocción y de deshidratación, siendo el carotenoide mayoritario dado que representa 25,7%, 14,9% y 14,0% sobre el contenido de carotenoides totales en la pulpa de pejibaye crudo, pulpa de pejibaye cocinado y harina de pejibaye, respectivamente, contenido total de carotenoides que, en este mismo orden es de $373,4 \pm 0,5 \mu\text{g } \beta\text{-caroteno equivalente / g b.s.}$, $286,9 \pm 0,7 \mu\text{g } \beta\text{-caroteno equivalente / g b.s.}$ y $237,7 \pm 0,6 \mu\text{g } \beta\text{-caroteno equivalente / g b.s.}$

En el caso del pejibaye cocinado (forma tradicional de consumo), se obtuvo un contenido total de carotenoides de $115,6 \pm 0,7 \mu\text{g } \beta\text{-caroteno / g b.h.}$. Este valor es mayor al contenido de carotenoides encontrado por Almeida *et al.* (2006) en banano cv "comprida" ($10,62 \mu\text{g de } \beta\text{-caroteno/g b.h.}$), guayaba ($42,98 \mu\text{g de } \beta\text{-caroteno/g b.h.}$), mango cv "rosa" ($24,98 \mu\text{g de } \beta\text{-caroteno/g b.h.}$), melón cv "japonés" ($23,97 \mu\text{g de } \beta\text{-caroteno/g b.h.}$), papaya cv "Hawai" ($46,39 \mu\text{g de } \beta\text{-caroteno/g b.h.}$), espinaca ($36,96 \mu\text{g de } \beta\text{-caroteno/g b.h.}$) y sandía $40,09 \mu\text{g de } \beta\text{-caroteno/g b.h.}$.

De los 14 carotenoides identificados, 9 presentan actividad provitamina A (**Cuadro 18**), ya sea de forma activa o moderadamente activa, al tratarse de compuestos que generan moléculas provitamina A o que son intermediarios en la síntesis de carotenoides

provitamina A (Rodríguez-Amaya, 1996). Tomando como base estos carotenoides, el valor de vitamina A del pejibaye cocinado se estima es de 1614 retinol equivalente / 100 g b.s., lo que corresponde a un valor de 5380 UI vitamina A.

Autores como Brown *et al.* (2004) indican que, además del valor provitamina A de los carotenoides, es importante el estado químico de cada uno, ya que se da una mejor absorción de los carotenoides por parte del organismo humano cuando se encuentran cristalizados. Por ello, es importante determinar cuáles de los carotenoides presentes en el pejibaye son realmente aprovechados por el ser humano.

Lo mismo sucede con compuestos bioactivos como la fibra, la cual es parte de los polisacáridos parietales que conforman la pared celular de las frutas y vegetales (AACC, 2001). En el apartado **4.6** se analiza la proporción de polisacáridos presentes en la pulpa de pejibaye cruda y pulpa de pejibaye cocinado, con el fin de determinar si la cocción en agua tiene un efecto significativo sobre la pared celular.

Se determinó el contenido de material insoluble en alcohol (MIA), el cual corresponde a 29,3% y 31,6% de los sólidos secos de la pulpa de pejibaye crudo y pulpa de pejibaye cocinado, respectivamente. Estos a su vez presentan un contenido de material insoluble en alcohol y agua o MIAA (**Cuadro 21**) que demuestra el valor nutricional del pejibaye, ya que la celulosa, hemicelulosa, las pectinas insolubles y la lignina conforman el MIAA y son parte de la denominada fibra dietética (Gallardo & Sierra, 1980).

Para determinar la causa del aumento significativo en el MIA y MIAA después de la etapa de cocción, es necesario cuantificar cada uno de los componentes del MIAA. Esto no fue posible de realizar en el pejibaye debido a la presencia de un alto contenido de almidón, puesto que, aunque una parte de este componente se pierde con los lavados con alcohol y agua, no logra extraerse en su totalidad. Esto hace necesario el desarrollo de un método para la determinación de polisacáridos parietales que sea efectivo en matrices con alto contenido de almidón.

El análisis de la composición del pejibaye en cuanto al contenido de MIA, MIAA y un grupo de componentes conformado por celulosa, hemicelulosa, pectina insoluble y lignina es importante, ya que no hay literatura científica que reporte la composición del pejibaye en estos componentes. Por ello, la información que se abarca en el apartado **4,6** permite plantear mejoras en el método de análisis físico - químico de esta fruta y proporciona información de referencia para la cuantificación individual de cada

componente de la pared celular, además de demostrar el alto contenido de fibra dietética presente en el pejibaye.

Los resultados del presente estudio demuestran que, en la búsqueda de alternativas para el desarrollo de productos a base de pejibaye con alto contenido de compuestos bioactivos mediante la aplicación de tratamientos enzimáticos, es necesario el empleo de enzimas como la amilasa, además de preparados de pectinasas, celulasas y hemicelulasas. Esto debido al elevado contenido de MIAA (18,7 % b.s.) en el pejibaye cocinado, con el objetivo de mejorar la textura del producto por medio de la reducción de tamaño de las moléculas que componen la pared celular.

6. CONCLUSIONES GENERALES

La variabilidad en la composición físico - química del fruto del pejibaye, que está relacionada con la variabilidad genética del fruto y factores agroclimáticos como el tiempo de floración y cosecha, o zona de origen, ha sido reportada por otros autores y fue comprobada también en este estudio. Al respecto, se debe señalar que se determinaron los contenidos de componentes bioactivos como carotenoides y polifenoles, además de su capacidad antioxidante, estableciendo la variación en el contenido del fruto de pejibaye disponible comercialmente en el país.

Evaluar el efecto de la etapa de cocción en agua permitió determinar la pérdida en compuestos bioactivos y conocer el aporte nutricional del pejibaye a la dieta cuando se prepara bajo la forma tradicional de consumo. Es importante destacar que el contenido de carotenoides totales encontrado en la pulpa de pejibaye cocinado ($197 \pm 45 \mu\text{g } \beta \text{ caroteno/ g b.s.}$) es mayor al reportado para frutas de alto consumo como mango, papaya, banano y tomate, entre otras, superando también el contenido de carotenoides determinado en pejibaye de la zona de la Amazonia. Este resultado demostró que el pejibaye es una fuente alternativa de micronutrientes con gran valor nutricional en la dieta tradicional del costarricense, constituyendo además una fruta de fácil acceso al consumidor que puede paliar la deficiencia de vitamina A reportada desde hace varias décadas.

Valorizar el pejibaye cocido por su contenido de carotenoides totales, polifenoles totales ($70 \pm 20 \text{ mg GAE/100 g b.s.}$) y su capacidad antioxidante ($38 \pm 8 \mu\text{moles TE/g b.s.}$) permitirá generar argumentos para incentivar su consumo entre la población costarricense.

Por otra parte, el estudio realizado sobre los cambios en los compuestos bioactivos a lo largo del proceso de producción de la harina de pejibaye es una importante contribución en la búsqueda de alternativas de industrialización de esta fruta, para desarrollar productos con alto contenido de compuestos bioactivos destinados al mercado local. Se demostró que la elaboración de harina de pejibaye con cáscara facilita el procesamiento de la fruta, aumenta los rendimientos del proceso, minimiza la generación de residuos y permite la obtención de un producto con mayor contenido de compuestos bioactivos. Finalmente, es necesario resaltar que la harina de pejibaye con cáscara puede

ser una materia prima con alto valor nutricional, el cual está relacionado con su elevado contenido de proteína (6 ± 1 g/ 100 g b.s.), fibra dietética (12 ± 1 g/100 g b.s.), carotenoides totales (253 ± 77 μ g β caroteno/ g b.s.) y alta capacidad antioxidante (36 ± 12 μ moles TE/ g b.s.).

7. RECOMENDACIONES

1. Desarrollar y validar la metodología de determinación de la capacidad antioxidante mediante el método $ORAC_L$, que incluye el aporte de los compuestos antioxidantes lipofílicos, con el fin de conocer la capacidad antioxidante total del pejibaye.
2. Caracterizar el almidón del pejibaye en contenido de amilosa, amilopectina y temperatura de gelatinización, así como en almidón digerible, ligeramente digerible y resistente, con el fin de evaluar alternativas tecnológicas aplicables en el área de alimentos y su efecto sobre el índice glicémico de los alimentos.
3. Desarrollar y validar la metodología de análisis de la pared celular con el fin de lograr caracterizar completamente la composición de los polisacáridos parietales presentes en el pejibaye, eliminando las interferencias del alto contenido de almidón, y conocer con exactitud el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina del fruto.
4. Realizar el estudio de caracterización de la pared celular en la cáscara del pejibaye con el fin de conocer su composición y evaluar la aplicación de preparados enzimáticos en la elaboración de productos a partir del pejibaye.
5. Realizar un estudio de variabilidad de la composición físico – química del pejibaye en función de la zona de origen para un mismo genotipo y de ser posible entre genotipos disponibles en cada zona. Para ello se recomendaría emplear materiales del Banco de Germoplasma ubicado de la Universidad de Costa Rica ubicado en Guápiles.
6. Evaluar los cambios en los gránulos de almidón durante el procesamiento del pejibaye, a nivel de microscopía electrónica.
7. Estudiar la biodisponibilidad de los carotenoides presentes en el pejibaye mediante modelos ex vivo con animales.

8. REFERENCIA GENERAL CITADA

- ABUSHITA, A., DAOOD, H. & BIACS, P. 2000. Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *Journal of Agricultural of Food Chemistry* 48: 2075-2081.
- ALFARO, I. 1988. Elaboración de harina de pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K) para consumo animal. Tesis. Lic. En Tecnología de Alimentos. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, Carrera Interdisciplinaria en Tecnología de Alimentos, San José.
- ALMEIDA, E., ARROXELAS, V. & SUCUPIRA, M. 2006. Polyphenol, ascorbic acid and total carotenoids in coomon fruits and vegetables. *Brazilian Journal of Food Technology* 2(9): 89-94.
- ALPÍZAR, S. 2002. Determinación de vitaminas liposolubles antioxidantes en suero de pacientes con alto riesgo para cáncer gástrico en costa Rica. Tesis Maestría en ciencias Biomédicas, Universidad de Costa Rica. 1-53.
- ALVÍDREZ, A., GONZÁLEZ, B. & JIMÉNEZ, Z. 2002. Tendencias en la producción de alimentos: alimentos funcionales. *Revista Salud Pública y Nutrición* 3: 1-6.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). 2001. The definition of dietary fiber. *AACC Report* 46(3): 112-126.
- A.O.A.C. 1999. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 16 ed. Rev 5. AOAC International, Maryland.
- A.O.A.C. 2002. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 16 ed. Rev 5. AOAC International, Maryland.
- ARIAS, L. 1976. Contribución al conocimiento del estado actual de las harinas compuestas en varios países Latinoamericanos. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. San José.
- ASTORGA, G. 1988. Caracterización de dos poblaciones de pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K) procedentes de Costa Rica y Panamá. Tesis Lic. Ingeniería Agronómica, Universidad de Costa Rica. San José.
- AYI, D. 2008. Desarrollo de un snack tipo tortilla a base de fruto de pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth). Tesis Lic. Tecnología de alimentos, Universidad de Costa Rica. San José.

- AZIZAH, A.H., WEE, K.C., AZIZAH, O. & AZIZAH, M. 2009. Effect of boiling and stir frying on total phenolics, carotenoids and radical scavenging activity of pumpkin (*Cucurbita moschato*). International Food Research Journal 16: 45-51.
- BADUI, S. 1981. Química de los alimentos. Acribia, Zaragoza.
- BARACALDO, R. 1980. El chontaduro o cachipay: un cultivo promisorio de América intertropical. Instituto Colombiano de la Reforma Agraria. INCORA. Ministerio de Agricultura, Bogotá.
- BELITZ, H. & GROSCH, W. 1997. Química de Alimentos. 2 ed. Acribia, Zaragoza.
- BENDICH, A. & OLSON, J. A. 1989. Biological actions of carotenoids. Faseb Journal 3: 1927-932.
- BERK, Z. 1980. Introducción a la bioquímica de los alimentos. 2 ed. Manual Moderno, México, D.F.
- BIMBENET, J.J., DAUDIN, J.D. & WOLF, E. 1984. Air drying kinetics of biological particles. In proceeding Fourth International Drying Symposium, Kyoto.
- BLAAK, G. 1976. Pejibaye: Review article. Abstract of Tropical Agriculture 2: 9-17.
- BLAKHINA, O., VIROLAINEN, E. & FAGERSTED, T.K. 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. Annals of Botany 91: 179-194.
- BLANCO, A. 1992. Pejibaye: Recetas, valor nutritivo, conservación e industrialización, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago..
- BLANCO, A., FERNÁNDEZ, M. & MORA, J. 1992. Pejibaye palm fruit contribution to human nutrition. Costa Rican Institute of Research and Education of Health and Nutrition. School of Biology, University of Costa Rica. Principes 36 (2): 66-69.
- BLANCO, A. & MUÑOZ, L. 1992. Contenido y disponibilidad biológica de los carotenoides de pejiabaye (*Bactris gasipaes*) como fuente de vitamina A. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 42(2): 146-153.
- BLANCO, A., LOWERY, M., MONTERO, M., MORA – URPÍ, J. & ROJAS, M. 1990. El pejiabaye: su uso en la alimentación humana. Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud (INCIENSA), San José.

- BRENNAN, J. B. & COWELL, N. 1998. Las operaciones de la ingeniería de los alimentos. 3 ed. Zaragoza, Acribia.
- BRILLOUET, J., ROUAU, X., HOEBLER, C., BARRY, J., CARRÉ, B. & LORTA, E. 1988. A new method for determination of insoluble cell wall and soluble nonstarchy polydactharides from Plant Materials. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 36 (5): 969-979.
- BRITTON, G. 1995a. Structure and properties of carotenoids in relation to function. *Journal of Faseb* 9: 1551-1558.
- BRITTON, G. 1995b. Carotenoids: Isolation and analysis. In BRITTON, G., LIAAEN-JENSEN, S., PFANDER, H. (Eds). *Carotenoids: spectroscopy*, vol 1A. Birkhauser Verlag, Bassel, 95: 102-107.
- BROWN, M., FERRUZZI, M., NGUYEN, M., COOPER, D., ELDRIDGE, A., SCHWARTZ, S. & WHITE, W. 2004. Carotenoid bioavalability is higher from salads ingested with full-fat than with fat-reduce salad dressing as measured with electrochemical detection. *American Journal of Clinical Nutrition* 80(2): 396-403.
- BUCKERIDGE, M. & TINÉ, A. 2001. Composição polisacárida: estrutura da parede celular e fibra alimentar. In *Fibra dietética en Iberoamérica: Tecnología y Salud*. Lajolo. M. (Eds).; Varela, Brasil. 43-60.
- BUSTAMANTE, M. 1994. Cómo determinar condiciones óptimas de secado de alimentos con aire caliente. Centro de Investigaciones en Tecnología de Alimentos, MAG-UCR, San José.
- CAMACHO, E. 1992. El Pejibaye (*Guilielma gasipaes* H.B.K.) L.H. Bailey. Centro Tropical de Enseñanza e Investigación (CATIE). Turrialba.
- CARRERA, L. 1999. Isolation and characterization of pejibaye starch. *Journal of Applied Botany* 73: 122-127.
- CASTELLAR, M., OBÓN, J. & FERNÁNDEZ, J. 2006. The isolation and properties of a concentrated red-purple betacyanin food colourant from *Opuntia stricta* fruits. *Journal of the Science of food and Agriculture* 86: 122-128.
- CENTRO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS (CITA). 1984. Utilización de harina de maíz en panificación, Universidad de Costa Rica. San José.

- CHAN-BLANCO, Y. 2007. Caractérisation du fruit de noni (*Morinda citrifolia*) au cours du processus de maturation et de sénescence et étude de l'impact de la microfiltration angentielle sur la composition du jus. These Doctorat Sciences des Procédés-Sciences des Aliments. Université Montpellier II, Montpellier.
- CHENG, Z., MOORE, J. & YU, L.. 2006. High-throughput relativee DPPH radical scavenging capacity assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 7429-7436.
- CLEMENT, C. 1995. Pejibaye *Bactris gasipaes* (Palmae). Evolution of crop plants. 2 ed. Logman, London.
- CLEMENT, C., WEBER, J.C., VAN LEEUWEN, C., ASTORGA, D.M., COLE, L.A. & ARGUELLO, H. 2004. Why extensive research and development did not promote use of peach palmfruit in Latin America *Agroforestry Systems* 61: 195-206.
- CODEX. 1985. Norma del CODEX para la harina del trigo CODEX-STAN 152-1895. Codex Alimentarius (OMS/FAO). Washington, D.C.
- COIMBRA, M., WALDRON, K., DELGADILLO, I. & SELVENDRAN, R. 1996. Effect of processing on cell wall polysaccharides of green table olives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44: 2394-2401.
- COSGROVE, D. 1997. Assembly and enlargement of the primary cell wall in plants. *Cell and Developmental Biology* 13: 171-201.
- COZZANO, S. 2007. Impacto del proceso de microfiltración tangencial sobre el valor de la mora (*Rubis spp*) como alimento funcional. Tesis M.Sc. Ciencia de Alimentos. Sistema de Estudios de Posgrado, Universidad de Costa Rica. San José.
- DÁVILA, I. 2007. Estudio sobre la obtención de jugo clarificado de pitahaya (*Hylocereus spp.*) mediante la aplicación de un tratamiento enzimático y microfiltración tangencial. Tesis M.Sc. Ciencia de Alimentos. Sistema de Estudios de Posgrado, Universidad de Costa Rica. San José.
- Da SILVA, J. B. & CLEMENT, C.H. 2005. Wild pejibaye (*Bactris gasiapes* Kunth var. chichagui) in southeastern amazonia. *Acta Botanica Brasilica* 19 (2): 281-284.
- De OLIVEIRA, M., MARTINEZ-FLORES, H., De ANDRADE, J., GARNICA-ROMO, M. & CHANG, Y. 2006. Use of pejibaye flour (*Bactris gasipaes* Kunth) in the production of food pastas. *International Journal of Food Science and Technology* 41(8): 933-937.

- DE ROSSO, V. & MERCADANTE, A. 2007. Identification and quantification of carotenoids, by HPLC-PDA-MS/MS, from Amazonian fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 5062-5072.
- DE SÁ, M. & RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 2003. Carotenoid composition of cooked green vegetables from restaurants. *Food Chemistry* 83: 595-600.
- DE SÁ, M. & RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 2004. Optimization of HPLC quantification of carotenoids in cooked green vegetables – Comparison of analytical and calculated data. *Journal of Food Composition and Analysis* 17: 37-51.
- DESROSIER, N. 1995. *Conservación de alimentos*. Continental, México, D.F.
- DHUIQUE-MAYER, D., CARIS-VEYRAT, C., OLLITRAULT, P., CURK, F. & AMIOT, M.J. 2005. Varietal and interspecific influence on micronutrient contents in citrus from the mediterranean area. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53(6): 2140-2145.
- DHUIQUE-MAYER, D., TBATOU, M., CARAIL, M., CARIS-VEYRAT, C., DORNIER, M. & AMIOT, M.J. 2007. Thermal degradation of antioxidant micronutrients in citrus juice: kinetics and newly formed compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55 (10): 4209-4216.
- DIBARI, F. 1997. Ecological flour with pupunha. *Intermediate Technology Food Chain* 20: 7-10.
- DJILAS, S. & MILIC, B. 1994. Naturally occurring phenolic compounds an inhibitors of free radical formation in the Maillard reaction, In *Maillard Reactions in Chemistry, Food and Health*; Labuza, T. P., Reineccius, G. A., Monier, V. M., O'Brien J., Baynes J. W., Eds.; The Royal Society of Chemistry, Cambridge, pp: 75-80.
- DUBOIS, M., HAMILTON, J., REBERS, P.A. & SMITH, F. 1956. Colorimeter method for determination of sugar and related substances. *Analytical Chemistry* 28: 300-356.
- EFFLAND, M. 1977. Modified Procedure to Determine Acid-insoluble Lignin: In *Wood and Pulp*. TAPPI 60 (10): 143-144.
- EUROPEAN FOOD INFORMATION COUNCIL (EUFIC). 2006. *Alimentos Funcionales*. España. INTERNET. www.eufic.org/article/es/page/BARCHIVE/expid/basics-alimentos-funcionales/

- FAO. 2008. Nutrición Humana en el Mundo en Desarrollo Capítulo10: Minerales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Departamento de Agricultura. Roma. INTERNET. <http://www.fao.org/docrep/006/w0073s/w0073s0e.htm>.
- FELTL, L., PACÁKOVÁ, V., STULIK, K. & VOLKA, K. 2005. Reliability of carotenoids analysis: A review. *Current Analytical Chemistry* 1: 93-102.
- FEMENIA, A., SÁNCHEZ, E., SIMAL, S. & RESSELLÓ, C. 1998. Modification os cell wall composition of apricots (*Prunus armeniaca*) during drying and storage under modified atmospheres. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 4: 5248-5253.
- FERNÁNDEZ, M. 1988. Definición de las características químico – nutricionales de cuatro poblaciones de pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K). Tesis. Lic. En Tecnología de Alimentos. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, Carrera Interdisciplinaria en Tecnología de Alimentos, San José.
- FERNÁNDEZ, M., BLANCO, A. & MORA-URPÍ, J. 1990. Definición de las características químico – nutricionales de cuatro poblaciones de Pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K). *Boletín Informativo* 2(1):6-9.
- FERNÁNDEZ, M., BLANCO, A. & MORA-URPÍ, J. 1995. Contenido de ácidos grasos en cuatro poblaciones de pejibaye, *Bactris gasipaes* (Palmae). *Biología Tropical* 43 (1): 61-66.
- FLORES, W. 2007. Desarrollo de un snack tipo tortilla a base del fruto de pejibaye: Diagnóstico y recomendaciones del proceso de obtención de harina de pejibaye en el Centro Agrícola Cantonal de Tucurrique. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, UCR. San José
- FLOREZ, L.M., VAILLANT, F., HOLLANDER, H. & ARIZA-NIETO, M. 2003. Passion fruit sacs: biochemical characyterization and enzymatic treatment. *Tropical Sciences* 43(1): 28-34.
- FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA). 2008. Guidance for industry: A food labelling guide. INTERNET. <http://www.cfsan.fda.gov/guidance.html>
- GALLARDO, V. & SIERRA, C. 1980. Condiciones óptimas de secado para la obtención de harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*). Tesis Ingeniería Agrícola. Universidad del Valle, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

- GAMA, J. & SYLOS, C. 2005. Major carotenoids composition of Brazilian Valencia orange juice: Identification and quantification by HPLC: Food Research International 38: 899-903.
- GARCÍA, R. 1985. Utilización de la harina de Chontaduro en la elaboración de productos para consumo humano. Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas (INCIVA), Cali.
- GEORGÉ, S., BRAT, P., ALTER, P. & AMIOT, M. 2005. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in Plant – derived products. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53: 1370-1373.
- GÓMEZ, G. 1990. Desarrollo y evaluación de un alimento infantil a base de pejibaye (*Bactris gasipaes*). Tesis Lic. En Nutrición. Escuela de Nutrición, Universidad de Costa Rica. San José.
- GÓMEZ, G., QUESADA, S. & NANNE, C. 1998a. Efecto de factores antinutricionales en el pejibaye (*Bactris gasipaes*) sobre el metabolismo de ratas jóvenes. Agronomía Costarricense 22(2): 191-198.
- GÓMEZ, G., VARGAS, R. & QUESADA, S. 1998b. Crecimiento y conversión alimenticia de ratas *Sprage-Dawley* sometidas a la ingesta de extractos acuosos de pejibaye (*Bactris gasipaes*). Agronomía Costarricense 22(2): 185-189.
- GONNET, J. 1998. Colour effects of copigmentation of anthocyanins revisited – I.A colourmetric definition using the CIELAB scale. Food Chemistry 63: 409-441.
- HAMMOND, G. & WENCHI, P. 1982. Fatty acid composition and gliceride structure of the mesocarp and kernel oils of the pejibaye palm (*Bactris gasipaes* H.B.K). Biología Tropical 30: 91-93.
- HERNÁNDEZ, M. 2010. Recomendaciones nutricionales para el ser humano: actualización. Departamento de Bioquímica Clínica del Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos. La Habana.
- HERNÁNDEZ-UGALDE, J.A, MORA-URPÍ, J. & ROCHA-NÚÑEZ, O. 2007. Diversidad genética y relaciones de parentesco de las poblaciones silvestres y cultivadas de pejibaye (*Bactris gasipaes*, Palmae) utilizando marcadores microsatelitales. Biología Tropical 56(1): 1-29.

- HUANG, D., OU, B., HAMPSWODILL, M., FLANAGAN, J. & PRIOR, R. 2002. High – throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 4437-4444.
- HUANG, D., OU, B. & PRIOR, R. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 1841-1856.
- INSTITUTO AMAZÓNICO DE INVESTIGACIONES (IMANI). 1999. Reconversión Económica en la Amazonia Colombiana. Universidad Nacional de Colombia, Santa Fe de Bogotá. pp. 6-23.
- ISSA, A.Y, VOLATE, S.R., & WARGOVICH, M.J. 2006. The role of phytochemicals in inhibition of cancer and inflammation: New directions and perspectives. *Journal of Food Composition and Analysis* 19(5): 405-419.
- JANE, J., SHEN, L. & AGUILAR, F. 1992. Characterization of Pejibaye Starch. *Cereal Chemistry* 69 (1): 96-100.
- JATUNOV, S., QUESADA, S., DÍAZ, C. & MURILLO, E. 2010. Carotenoid composition and antioxidant activity of the raw and boiled fruit mesocarp of six varieties of *Bactris gasipaes*. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 60(1): 99-104.
- JIMÉNEZ, A., RODRÍGUEZ, R., FERNÁNDEZ, I. & GUILLÉN, R. 2001. Olive Fruit Cell Wall: Degradation of Cellulosic and Hemicellulosic Polysaccharides during Ripening. *Journal of Food Chemistry* 49: 2008-2013.
- KALT, W., FOMEY, F.C., MARTIN, A. & PRIOR, R.L. 1999. Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics and anthocyanins after fresh storage of small fruits. *Journal of Agricultural and food Chemistry* 41: 4638-4644.
- KAUR, C., & KAPOOR, H. 2001. Review: antioxidants in fruit and vegetables-the millennium's health. *International Journal of Food Science and Technology* 36: 703-725.
- KOK, N. & ISHAK, S. 1991. Carotenoid and anthocyanin contents of papaya and pineapple: influence of blanching and oredrying treatments. *Food Chemistry* 39: 175-185.
- KOPPER, G. 1994. Como determinar la vida útil de un alimento. Taller regional sobre pequeña y mediana empresa alimentaria. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), Universidad de Costa Rica. San José.

- LEAKEY, R. 1999. Potential for novel food products from agro forestry trees: a review. *Food Chemistry* 66: 1-14.
- LEFFINGWELL, J. 2002. Carotenoids as flavor & fragrance precursors. *Leffingwell Reports* 2 (3): 1-5.
- LETERME, P., GARCÍA, M.F., LONDOÑO, A., ROJAS, M., BULDGEN, A. & SOUFFRANT, W. 2005. Chemical composition and nutritive value of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) in rats. *Journal of Science and Food Agricultural* 85: 1505-1512.
- MacDOUGALL, A., RIGBY, N., RYDEN, P., TIBBITS, W. & RING, S. 2001. Swelling behavior of the tomato cell wall network. *Biomacromolecules* 2: 450-455.
- MANACH, C., SCALBERT, A., MORAND, C., RÉMÉSY, C. & JIMÉNEZ, L. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition* 79: 727-747.
- MARTÍNEZ, D. 2006. Implicaciones digestivas y metabólicas del consumo de almidón resistente en cerdo. Tesis Doctorado de Producción Animal. Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra.
- MATISSEK, R., SCHNEPEL, F. & STEINER, G. 1998. Análisis de los alimentos. Acribia, Zaragoza.
- MELÉNDEZ, A., ESCUEDRO, M., VICARIO, I. & HEREDIA, F. 2010. Study of the influence of carotenoid structure and individual carotenoids in the qualitative and quantitative attributes for orange juice colour. *Food Research International* 43: 1289-1296.
- MERCADANTE, A. & RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 1998. Effects of ripening, cultivar differences and processing on the carotenoid composition of mango. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46: 128-130.
- MERCADANTE, A. & EGELAND, E. 2004. Carotenoids: handbook. Editorial Birkhauser, Switzerland.
- MINISTERIO DE ECONOMÍA, INDUSTRIA Y COMERCIO & MINISTERIO DE SALUD (MEIC-MS). 2002. RTCR: 135:2002 Etiquetado nutricional de alimentos preenvasados, Decreto N° 30256 MEIC-S. Gobierno de Costa Rica, San José.

- MORA-URPÍ, J., WEBER, J. & CLEMENT, C. 1997. Peach palm, *Bactris gasipaes* kunth. promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetic and Crop Plant Reserch. Gatersleben International Plan Genetic Resources Institute. Italy.
- MORERA, Y., ARELLANO, S., RUIZ, J. & ESPINOSA, E. 2008. Características físico – químicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea mays* L.) amarillos cultivados en el Estado de México. *Agricultura Técnica en México* 34(3): 357-364.
- MORTON, J. 1987. Pejibaye. In: *Fruits of warm climates*. Creative Resource Systems, Miami, Florida. P: 12-17.
- MURILLO, M. & KRONEBERG, A. 1983. Estudio preliminar sobre factores inhibidores de enzimas proteolíticas en la harina de Pejibaye (*Bactris gasipaes*). *Revista de Biología Tropical* 31(2): 227-231.
- MURILLO, M., ZUMBADO, M., COOZ, A. & ESPINOZA, A. 1991. Evaluación de la harina de pejobaye (*Bactris gasipaes*) en dietas para pollas de reemplazo durante el periodo de iniciación y en gallinas ponedoras al inicio de postura. *Agronomía Costarricense* 15 (1/2) 135-141.
- MURILLO, M. 1990. Utilización de la harina de pejobaye en la alimentación de las aves. *Boletín Informativo* 2(1): 4-5.
- MURILLO, M. & ZUMBADO, M. 1986. Composición Química y Valor Nutritivo de la Harina de Pejibaye en la Alimentación de las Aves. Universidad de Costa Rica – Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, San José. 5-10.
- NARANJO, H. J. & FRANCO, A.J. 1989. Efecto del encerado en la conservación de frutos de chontaduro (*Bactris gasipaes* HBK). Tesis Lic. en Ingeniería Agronómica, Universidad del Valle. Cali.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NAS-NRC). 1989. Recommended dietary allowances, 10th ed. National Academy of Sciences, Washington, DC.
- NICHOLAS, C. & McCANN, M. 2000. *Biochemistry & molecular biology of plants*. American Society of Plant Physiologists. Rockville, Meriland.
- NICOLI, M.C., ANESE, M. & PARPINEL, M. 1999. Influence of pcessing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends on Food Sience and Technology* 10: 94-100.

- NINFALI, P. & BACCHIOCCA, A.M. 2003. Polyphenols and antioxidant capacity of vegetables under fresh and frozen conditions. *Journal of Agricultural and food chemistry* 51: 2222-2226.
- OU, B., HAMPSCH-WOODILL, M. & PRIOR, R. 2001. Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 4619-4626.
- PARKER, R. 1996. Absorption, metabolism and transport of carotenoids: carotenoids 4. Division of Nutritional Sciences. Cornell University, Ithaca.
- PÉREZ, A.M., AYÍ, D., FLORES, W., QUESADA, S., TORRES, M. & VAILLANT, F. 2006. Physico-chemical composition and antioxidant content changes of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) during processing peach palm. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. San José.
- PÉREZ-ALMEIDA, I. & CARPITA, N. 2006. Las β -galactosidasas y la dinámica de la pared celular. *Advertencia* 31(7):476-483.
- PÉREZ-MATEOS, M., BRAVO, L., GOYA, L., GÓMEZ-GUILLÉN, C. & MONTERO, P. Quercetin properties as a functional ingredient in omega-3-enriched fish gels fed to rats. *Journal of the Science of Food and Agricultural* 85: 1651-1659.
- PIEDRAHITA, C. 1993. Conservación de los frutos de la palma chontaduro (*Bactris gasipaes*, H.B.K.). Universidad del Valle, Cali.
- PINSTRUP-ANDERSEN, P. & COHEN, M. 1998. Aid to developing country agriculture: investing in poverty reduction and new export opportunities. *2020 Brief* 56: 159-169.
- PORRAS, C. 1998. Caracterización bioquímica de una lectina presente en el pejibaye (*Bactris gasipaes*). Tesis Lic. Microbiología y Química Clínica. Facultad de Microbiología, Universidad de Costa Rica. San José.
- PRIOR, R., WU, X. & SCHAICH, K. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 4290-4302.
- PUUPPONEN-PIMIA, R., HAKKINEN, S., AARNI, M., SUORTTI, T., LAMPI, A-M., EUROOLA, M., PIIRONEN, V., NUUTILA, A.M. & OKSMAN-CALDENTY, K-M. Blanching and long-term freezing effect various bioactive compounds of vegetables in different ways. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83: 1389-1402.

- QUIRÓS, O. 2007. Descripción y análisis de la competitividad y sostenibilidad de agrocadenas no tradicionales y con potencial de desarrollo: el caso del pejibaye. Informe parcial del proyecto. Producing added value from under utilised fruits crops. Centro de Investigación en Economía Agrícola y Desarrollo Agroempresarial, Universidad de Costa Rica. San José.
- RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 1996. Assessment of the provitamin A contents of foods – the brazilian experince. *Journal of Food Composition and Analysis* 9(0028): 196-230.
- RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 1997. Carotenoides y preparación de alimentos: la retención de los carotenoides provitamina A en los alimentos preparados, procesados y almacenados. Departamento de Ciencia de Alimentos, Facultad de Ingeniería de Alimentos, Universidad Estatal de Campinas. Brasil.
- RODRÍGUEZ-AMAYA, D. 2001. A guide to carotenoid analysis in foods. Universidade Estadual de Campinas, Brasil.
- RODRÍGUEZ-BURRUEZO, A. & NUEZ, F. 2006. Mejora de la calidad en el pimiento. En: Mejora genética de la calidad en plantas. G. Llácer, M.J. Díez; J.M. Carrillo y M.L. Badenes (Eds.);Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. pp. 361-391.
- RODRÍGUEZ, V. 2004. Estimación de la vida útil de harina de pejibaye obtenida por deshidratación. Tesis Lic. Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica. San José.
- RYUGO, K. 1993. Fruticultura: ciencia y arte. AGT, México, D.F.
- SÁNCHEZ, N. 1981. Aspectos fenológicos del pejibaye (*Bactris gasipae* H.B.K.). Universidad de Costa Rica. San José.
- SASS-KISS, A., KISS, J., MILOTAY, P., KEREK, M. & TOTH-MARKUS, M. 2005. Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. *Food Research International* 38: 1023-1029.
- SARNI-MANCHADO, P. & CHEYNIER, V. 2006. Les polyphénols en agroalimentaire. Lavoisier. Francia.
- SCALBERT, A., JOHNSON, I. & SALTMARSH, M. 2005. Polyphenols: antioxidants and beyond. *American Journal of Clinical Nutrition* 81: 215S-217S.

- SCHWEIGGERT, U., KAMMERER, D.R., CARLE, R. & SCHIEBER, A. 2005. Characterization of carotenoids and carotenoid esters in red pepper pods (*Capsicum annuum* L.) by high-performance liquid chromatography / atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 19: 2617-2628.
- SCHWEIGGERT, U., KURZ, CH., SCHIEBER, A. & CARLE, R. 2007. Effects of processing and storage on the stability of free esterified carotenoids of red peppers (*Capsicum annuum* L.) and hot chilli peppers (*Capsicum frutescens* L.). *European Food Research & Technology* 225(2): 261-270.
- SERRANO, M. 2010. Evaluación de alternativas de manejo poscosecha de la fruta de pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth) y su efecto en el contenido de antioxidantes. Tesis. M.Sc.Ciencias agrícolas y recursos naturales. Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica. San José.
- SHULTZ, E. 1987. The Development of New Products from Costa Rican Pejibaye: Notes from Proposal Preparation. Washington University, St. Louis, Missouri.
- SLINKARD, K. & SINGLETON, V. 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture* 28(1): 49-55.
- SOUTHGATE, D.A., 1976. Determination of food carbohydrates. Cap. 8. Selected Methods. Applied Science Publishers. Londres.
- SPOON, M. 2007. Investigando la fibra dietética. Extensión Cooperativa de la Universidad de Nevada. Reno.
- STAHL, W. & SIES, H, 2005. Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. *Biochimica et Biophysica* 1740: 101-107.
- SUDEKUM, K., VOIGT, K., MONTIES, B. & STRAGASSINGER, M. 1997. Spectrophotometric investigations on lignin in wheat (*Triticum aestivum* L.): influence of cell wall preparation, solvent and standard. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45: 1220-1228.
- SUJA, K., JALAYEKSHMY, A. & ARUMUGHAN, C. 2004. Free radical scavenging behaviour of antioxidant compounds of sesame (*Sesamun indicum* L.) in DPPH system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 912-915.

- TRACY, M. 1985. The Pejibaye fruit: problems and prospects for its development in Costa Rica. Tesis. Master of Arts. Universidad de Texas, Austin
- TRACY, M. 1996. Harina de pejibaye una opción prometedora. Boletín Informativo RETADAR 23(1): 3.
- UGALDE, H. 2002. Estudio de la deshidratación del Pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K) para la elaboración de harina y su utilización en la formulación de una premezcla para queques. Tesis Lic. Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica. San José.
- UGALDE, H. & PINEDA, M. L. 2004. Efecto del grado de sustitución de harina de trigo con harina de pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K.) sobre las características sensoriales del queque seco. REVITECA 10: 8-13.
- VAILLANT, F. 2000. Clarification et concentration de jus de fruits tropicaux pulpeaux associant traitements enzymatiques, microfiltration tangentielle et évaporation osmotique. Thèse de Doctorat, Spécialité Génie de Procédés. L'École Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires. Montpellier. France.
- VALLEJO, F., TOMÁS-BARBERÁN, F. & GARCÍA-VIGUERA, C. 2003. Health promoting compounds in brocoli as influenced by refrigerated transport and retail sale period. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51: 3029-3034.
- VALLS, B. 2007. El papel antioxidante de los alimentos de origen vegetal. Vitaminas y Polifenoles. Universidad de Valencia. INTERNET. http://www.nutricion.org/publicaciones/revista_agosto_2003/
- VAN ARSDEL, W.B, COPLEY, M.J. & MORGAN, A.I. 1973. Food dehydration. 2 ed. A.V.I, Connecticut.
- VAN DUYN, M. A. & PIVONKA, E. 2000. Overview of the health benefits of fruit and vegetables consumption for the dietetics professional: selected literature. Journal of the American Dietetic Association 100: 1511-1521.
- VAN SOEST, P. ROBERTSON, J. & LEWIS, B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science 74(10): 3583-3597.
- VINSON, J., SU, X., ZUBIK, L. & BOSE, P. 2001. Phenol antioxidant quantity and quality in foods: fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry 49: 5315-5321.

- VORAGEN, A., TIMMERS, J., LINSSSEN, J., SCHOLS, H. & PILNIK, W. 1983. Methods of analysis for cell wall polysaccharides of fruit and vegetables. *Z: Lebensm. Unters Forsh*, 177: 251-256.
- WALL, M.M. 2006. Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana (*Musa* sp.) and papaya (*Carica papaya*) cultivars grown in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis* 19(5): 434-445.
- WALTER, W. & PALMA, C. 1996. Effect of long term storage on cell wall neutral sugars and galacturonic acid of two sweetpotato cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44: 278-281.
- WANG, H., CAO, G. & PRIOR, R.L. 1996. Total antioxidant capacity of fruits. *Journal of Agricultural and Food chemistry* 44: 701-705.
- WHISTLER, R. & BEMILLER, J. 1997. *Carbohydrate chemistry for food scientists*. American Association of Cereal Chemists, Minnesota.
- WROLSTAD, R., ACREE, T., DECKER, E., RENNER, M., REID, D., SCHWARTZ, S., SHOEMAKER, C., SMITH, D. & SPORNS, P. 2005. *Handbook of food analytical chemistry: pigments, colorants, flavors, texture and bioactive components*. Wiley – Interscience, Hoboken, New Jersey.
- WU, X., BEECHER, G., HOLDEN, J., HAYTOWITZ, D., GEBHARDT, S & PRIOR, R. 2004a. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 4026-4037.
- WU, X., GU, L., HOLDEN, J., HAYTOWITZ, D., GEBHARDT, S., BEECHER, G. & PRIOR, R. 2004b. Development of a database for total antioxidant capacity in foods: a preliminary study. *Journal of Food Composition and Analysis* 17: 407-422.
- YANGÚEZ, J. 1975. Distribución, importancia económica y domesticación de la palma chonta (*Bactris gasipaes*). *Revista Colombiana de Antropología* 19: 397-421.
- YUYAMA, L., AGUIAR, J., YUYAMA, K., CLEMENT, C., MACEDO, S., FÁVARO, D., AFONSO, C., VASCONCELLOS, M., PIMENTEL, S., BADOLATO, E. & VANNUNCCHI, H. 2003. Chemical composition of the fruit mesocarp of three peach palm (*Bactris gasipaes*) populations grown in Central Amazonia, Brazil. *International Journal of Food Science and Nutrition* 54 (1): 49-56.

- ZHANG, S. H., D, FORMARN, M., ROSNER, B., NSPEIZER, F., COLDITZ, G., MANSON, J., HANKINSON, S. & WILLETT, W. 1999. Dietary carotenoids and vitamins A, C and E, and risk of breast cancer. *Journal of the National Cancer Institute* 91 (6): 547-556.
- ZAPATA, A. 1978. Notas sobre el valor alimenticio del Chontaduro. Secretaría de Agricultura y Fomento, Cali. Boletín Informativo 12: 1-6.

9. ANEXOS

Anexo 1: Fundamento de los métodos de análisis físico – químicos utilizados.

1 Caracterización físico - química:

- ✓ Masa (g) de la fruta entera: se realizó utilizando una balanza marca Sartorius semianalítica.
- ✓ Tamaño: diámetro ecuatorial y longitudinal utilizando un calibrador y expresando los resultados en cm.
- ✓ Color de la pulpa del pejibaye y de la harina de pejibaye: se obtuvo determinando los parámetros L^* a^* b^* , *hue* y *chroma* haciendo uso de un colorímetro Color Flex de Hunter Lab. Se utilizó una referencia de D65 para el estudio y un ángulo de observador de 10°.
- ✓ pH: se determinó utilizando un pH-metro calibrado según el método 981.12 de AOAC (1999).
- ✓ Acidez total: se determinó según el método 942.15 de AOAC (1999).
- ✓ Sólidos solubles: los grados Brix se determinaron utilizando un refractómetro marca Fisher Scientific con una escala de 0 a 95 ° Brix.
- ✓ Sólidos totales: la determinación se realizó siguiendo el método recomendado por la AOAC (1999) y acreditado por el Laboratorio de Química del CITA, el cual consiste en la medición de pérdida de peso debido a la evaporación de agua utilizando una estufa de vacío.
- ✓ Grasa: la variabilidad del contenido graso se analizó por medio de la extracción del material seco con éter etílico como solvente en un sistema de extracción intermitente Soxhlet, según el método descrito por la AOAC (1999) en el método número 991.20
- ✓ Cenizas: esta determinación consiste en la medición de la masa del residuo inorgánico que queda después de quemar la muestra a temperatura entre 500 y 600 °C. Este residuo consiste en óxidos y sales que contienen aniones tales como fosfatos, cloruros, sulfatos y otros haluros; y cationes como calcio, sodio, potasio, magnesio, hierro y manganeso. Este método se realizó siguiendo la metodología propuesta por y AOAC (1999).
- ✓ Proteína: se siguió el método recomendado por la AOAC (1999) conocido como método de Kjeldahl, el cual consiste en la destrucción oxidativa de las sustancias

orgánicas utilizando ácido sulfúrico concentrado hirviendo, con la subsiguiente reducción del nitrógeno orgánico presente a amonio, el cual se destila con la previa adición de un álcali no volátil para luego ser retenido en ácido bórico.

- ✓ Almidón total: Se empleó el método AQCITA-M18 del Laboratorio de Química del CITA basado en Southgate (1978) el cual se basa en la reacción enzimática de hidrólisis del almidón a unidades de glucosa, utilizando la enzima α -amiloglucosidasa (E.C.3.2.1.3) e incubando por 16 horas (pH de 4,5 y a 55 °C), seguido de la determinación de la concentración de glucosa por la reacción con la enzima glucosa oxidasa, que consiste en el desarrollo de color utilizando un kit de reactivos. Este análisis se realiza con una curva de calibración de glucosa y se determina el color por espectrofotometría Visible a 505 nm de absorbancia.
- ✓ Fibra dietética: esta determinación se basa en la hidrólisis enzimática parcial del almidón y proteína que se realiza en tres etapas, utilizando α -amilasa estable al calor, proteasa y amiloglucosidasa. La fibra dietética soluble se precipita en etanol, después de la filtración, y una serie de lavados que permiten obtener la fibra dietética soluble. A esta se le determinó proteína y cenizas para hacer la corrección en el cálculo, según lo establece el método de la AOAC (1999).
- ✓ Cuantificación de minerales: Se determinó el contenido de minerales: mediante espectrometría de Absorción Atómica con digestión en microondas, siguiendo la metodología planteada por AOAC (2002), método 999.10, y 995.11,

2. Análisis de los componentes de la pared celular en la pulpa de pejibaye cocinado.

- ✓ Material insoluble en alcohol (MIA): el método seguido es el descrito por Cozzano (2007) y Brillouet *et al.* (1988), realizando las modificaciones necesarias para la matriz del pejibaye y que se basa en la separación de compuestos solubles en alcohol por medio de varios lavados, seguida de una filtración para recoger el material insoluble.
- ✓ Material insoluble en alcohol y agua (MIAA): este método parte del residuo alcohólico obtenido para la MIA, al cual se le separó el material insoluble en agua después de una serie de lavados con agua a 4 °C hasta obtener la prueba de Antrona negativa (presencia de azúcares); el residuo obtenido se seca y pesa. Este método se siguió de acuerdo al protocolo establecido por Cozzano (2007) y Brillouet *et al.* (1988).

- ✓ Lignina: esta determinación se realizó sobre el residuo dihidroalcohólico obtenido de la MIAA, siguiendo la metodología descrita por Effland (1977), la cual se basa en la insolubilidad de la lignina en ácido sulfúrico al 72%, donde se disuelven todas las sustancias glucosídicas quedando solo la lignina, este residuo se seca y se pesa.
3. Determinación del contenido de compuestos antioxidantes y la capacidad antioxidante:
- ✓ Polifenoles totales: se utilizó el método establecido por el Laboratorio de Química del CITA AQCITA-M036, el cual está basado en las metodologías de Slinkard & Singleton (1977) modificado por Georgé *et al.* (2005). En este método, la determinación de los polifenoles se realiza por espectroscopía visible, siguiendo la reacción de oxido/reducción de los polifenoles con el agente Folin-Ciocalteu. La primera etapa consiste en la preparación de un extracto cetónico al tratar la muestra homogenizada con acetona : agua 70:30; una alícuota de este extracto es tratada con el Folin-Ciocalteu y se determina la absorbancia (A_1) a 760 nm. Del mismo extracto cetónico se tomó una alícuota que se diluye en agua, la que luego es pasada por cromatografía de columna (cartucho Oasis), se trata con el reactivo Folin-Ciocalteu y se determina la absorbancia (A_2). La diferencia entre $A_1 - A_2$ corresponde a los polifenoles, ya que A_1 contempla la absorbancia dada tanto por los polifenoles como por las interferencias de vitamina C y azúcares. Los polifenoles quedan retenidos en la columna del cartucho. Las absorbancias obtenidas deben ser tales que se cumpla con la Ley de Beer. El contenido de polifenoles se reporta como mg/L de ácido gálico, compuesto con el cual se prepara la curva patrón.
 - ✓ Capacidad antioxidante: se empleó el método *Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC)*, basado en la metodología aplicada por Ou *et al.* (2002) y Huang *et al.* (2002). El análisis espectrofluométrico sigue la cinética de la reacción de la fluoresceína al ser atacada por un radical libre, lo que causa una disminución en la absorbancia de la fluoresceína. La muestra con poder antioxidante contrarresta el ataque del radical libre protegiendo a la fluoresceína. Se utilizará una solución de Trolox (análogo soluble en agua de la vitamina E) como solución patrón de antioxidante que dona su protón fenólico y, como fuente de radicales libres, se

utiliza una solución de una sustancia con doble enlace de nitrógeno llamada 2,2 – azobis (dicloruro de 2-amidino propano (AAPH).

- ✓ Cuantificación total e identificación de carotenoides:
 - Cuantificación: este análisis se realizó siguiendo el método AQCITA-M035 del Laboratorio de Química del CITA, el cual toma como referencia los ensayos realizados por Britton (1995b) y Rodríguez – Amaya (2001). Este método se basa en la extracción de los carotenoides de una muestra previamente homogenizada y saponificada con NaOH/MeOH al 5% m/v a temperatura ambiente y oscuridad, con el fin de eliminar la grasa presente en el pejbaye y la clorofila, la cual es una interferencia para esta determinación. La extracción se realiza en varias etapas con distintos solventes: acetona, éter: hexano 1:1 y n-hexano, con el fin de extraer tanto los carotenoides liposolubles como hidrosolubles. Posterior a la extracción se determina la absorbancia del extracto a 450 nm por medio de espectrometría visible, de manera que se cumpla con la Ley de Beer. El contenido de carotenoides se reporta como $\mu\text{g/mL}$ de β -caroteno.
 - Identificación: el método de cuantificación permite obtener los extractos de carotenoides. La etapa de identificación se realizó por HPLC, basada en el estudio realizado por De Rosso & Mercadante. (2007) utilizando una columna de escala analítica de fase reversa C_{30} YMC–Pack ODS-A Waters $5\mu\text{m}$ (4,6 x 250 mm, i.d) operada a 22 °C. La fase móvil consiste en una mezcla de metanol/metil-tert-butil con gradiente lineal de elución: 95:5 a 70:30 en 30 minutos, de 70:30 a 50:50 en 20 minutos y manteniendo esta proporción por 35 minutos para luego en 5 minutos pasar a 95:5, con un tiempo total de corrida de 90 min; el volumen de inyección es 0.9 μL .

4. Fórmulas para el cálculo de los parámetros de color de acuerdo con Gonnet (1998)

$$\text{Chroma: } C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$\text{Ángulo hue: } h^\circ = \tan^{-1}(b^* / a^*)$$

$$\text{Diferencia total de color: } \Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta C^*)^2 + (\Delta h^\circ)^2]^{1/2}$$

Anexo 2: Resultados obtenidos del estudio de variabilidad y efecto del proceso de elaboración de harina de pejibaye.

Cuadro 2.1. Variación de la composición físico - química del pejibaye (*Bactris gasipaes*) disponible comercialmente.

Pulpa de pejibaye crudo / variable (n=2)		Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5
Humedad (g/100 g b.s.)		55,27 ± 0,01	55,0 ± 0,1	50,3 ± 0,1	63,2 ± 0,2	58,0 ± 0,2
Grasa (g/100 g b.s.)		12,02 ± 0,07	9,46 ± 0,07	13,75 ± 0,2	16,4 ± 0,2	15,93 ± 0,01
Cenizas (g/100 g b.s.)		1,84 ± 0,04	1,70 ± 0,01	1,65 ± 0,07	1,88 ± 0,04	1,69 ± 0,01
Proteína (N*6,25) (g/100 g b.s.)		4,2 ± 0,1	3,9 ± 0,2	4,29 ± 0,06	6,1 ± 0,0	6,4 ± 0,0
Almidón total (g /100 g b.s.)		71,3 ± 0,8	74,7 ± 4,8	67,4 ± 2,0	65,6 ± 0,6	72,4 ± 0,1
pH		5,95 ± 0,01	5,9 ± 0,0	4,5 ± 0,0	4,9 ± 0,0	5,1 ± 0,0
Acidez total (g/100 g b.s.)		0,13 ± 0,03	0,19 ± 0,00	0,35 ± 0,00	0,34 ± 0,02	0,17 ± 0,00
°Brix		5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	4,4 ± 0,0	4,4 ± 0,0	4,4 ± 0,0
Color	L*	75,39 ± 0,01	74,7 ± 0,2	76,3 ± 0,0	75,43 ± 0,03	75,2 ± 0,3
	a*	16,47 ± 0,06	18,9 ± 0,2	14,80 ± 0,06	18,2 ± 0,1	17,9 ± 0,4
	b*	52,00 ± 0,2	60,51 ± 0,05	50,16 ± 0,05	50,6 ± 0,2	51,0 ± 1,1
	hue	72,41 ± 0,01	72,6 ± 0,2	73,56 ± 0,07	70,27 ± 0,02	70,67 ± 0,01
	chroma	54,5 ± 0,2	63,48 ± 0,01	52,29 ± 0,03	53,8 ± 0,3	54,0 ± 1,2
Carotenoides *		168,9 ± 9,5	158,7 ± 6,4	186,3 ± 1,4	202,4 ± 0,5	109,6 ± 6,9
Polifenoles **		0,71 ± 0,06	0,54 ± 0,04	0,61 ± 0,09	1,04 ± 0,05	0,72 ± 0,07
H-ORAC ***		33,0 ± 1,4	34,6 ± 4,1	49,6 ± 3,0	39,6 ± 2,4	32,2 ± 4,7

* Expresado como µg de β -caroteno / g muestra b.s.

** Expresado como mg de ácido gálico / g muestra b.s.

*** Expresado como µmoles Trolox equivalente/ g muestra b.s.

Cuadro 2.2. Efecto del proceso de elaboración de harina de pejibaye sobre la composición nutricional.

Etapa de proceso / variable (n=2)	Pulpa de pejibaye crudo	Pulpa de pejibaye cocinado	Harina sin cáscara	Harina con cáscara
Lote 1				
Humedad	55,28 ± 0,01	58,09 ± 0,06	10,51 ± 0,05	8,92 ± 0,00
Grasa (g/100 g b.s.)	12,02 ± 0,07	12,57 ± 0,06	12,64 ± 0,01	13,04 ± 0,02
Cenizas (g/100 g b.s.)	1,84 ± 0,04	1,93 ± 0,02	1,81 ± 0,02	1,98 ± 0,03
Proteína (N*6,25) (g/100 g b.s.)	4,18 ± 0,12	4,33 ± 0,00	4,09 ± 0,07	4,71 ± 0,13
Almidón (g/100 g b.s.)	71,32 ± 0,76	65,91 ± 2,21	67,32 ± 0,12	65,33 ± 0,19
Fibra dietética (g/100 g b.s.)	-	-	11,72 ± 0,73	13,57 ± 0,63
pH	5,95 ± 0,01	6,05 ± 0,01	6,03 ± 0,00	5,93 ± 0,01
^a Brix	5,00 ± 0,00	4,00 ± 0,00	15,00 ± 0,00	15,00 ± 0,00
Acidez total (g/100 g b.s.)	0,13 ± 0,03	0,09 ± 0,01	0,15 ± 0,00	0,15 ± 0,01
Lote 2				
Humedad	55,01 ± 0,11	57,29 ± 0,18	9,89 ± 0,18	8,60 ± 0,24
Grasa (g/100 g b.s.)	9,46 ± 0,07	10,31 ± 0,27	10,79 ± 0,00	11,18 ± 0,03
Cenizas (g/100 g b.s.)	1,70 ± 0,01	1,70 ± 0,00	1,80 ± 0,00	1,95 ± 0,00
Proteína (N*6,25) (g/100 g b.s.)	3,92 ± 0,24	3,99 ± 0,12	4,58 ± 0,13	4,38 ± 0,20
Almidón (g/100 g b.s.)	74,72 ± 4,79	73,81 ± 0,20	73,45 ± 0,85	70,11 ± 0,050
Fibra dietética (g/100 g b.s.)	-	-	9,56 ± 0,31	10,41 ± 0,29
pH	5,91 ± 0,00	4,96 ± 0,01	6,33 ± 0,01	6,40 ± 0,01
^a Brix	5,00 ± 0,00	4,40 ± 0,00	19,40 ± 0,00	19,40 ± 0,00
Acidez total (g/100 g b.s.)	0,19 ± 0,00	0,20 ± 0,00	0,13 ± 0,00	0,14 ± 0,01

Cuadro 2.2. Continuación: Efecto del proceso de elaboración de harina de pejibaye sobre la composición nutricional.

Etapa de proceso / variable (n=2)	Pulpa de pejibaye crudo	Pulpa de pejibaye cocinado	Harina sin cáscara	Harina con cáscara
Lote 3				
Humedad	50,30 ± 0,11	54,75 ± 0,12	12,51 ± 0,11	13,88 ± 0,23
Grasa (g/100 g b.s.)	13,75 ± 0,18	14,21 ± 0,13	14,23 ± 0,05	14,29 ± 0,17
Cenizas (g/100 g b.s.)	1,65 ± 0,07	1,68 ± 0,01	1,78 ± 0,00	1,85 ± 0,00
Proteína (N*6,25) (g/100 g b.s.)	4,29 ± 0,06	4,17 ± 0,12	4,14 ± 0,14	4,89 ± 0,28
Almidón (g/100 g b.s.)	67,38 ± 1,97	67,32 ± 0,63	70,09 ± 0,35	66,57 ± 0,91
Fibra dietética (g/100 g b.s.)	-	-	10,38 ± 0,24	11,76 ± 0,48
pH	4,50 ± 0,00	5,00 ± 0,01	6,12 ± 0,01	6,15 ± 0,00
^a Brix	4,40 ± 0,00	4,40 ± 0,00	11,30 ± 0,00	11,30 ± 0,00
Acidez total (g/100 g b.s.)	0,35 ± 0,00	0,18 ± 0,00	0,20 ± 0,03	0,17 ± 0,00
Lote 4				
Humedad	63,19 ± 0,17	64,64 ± 0,13	15,79 ± 0,02	16,67 ± 0,07
Grasa (g/100 g b.s.)	16,39 ± 0,19	17,58 ± 0,22	17,20 ± 0,31	18,42 ± 0,11
Cenizas (g/100 g b.s.)	1,88 ± 0,04	1,81 ± 0,01	1,80 ± 0,01	2,03 ± 0,01
Proteína (N*6,25) (g/100 g b.s.)	6,08 ± 0,00	6,20 ± 0,00	5,82 ± 0,00	6,97 ± 0,00
Almidón (g/100 g b.s.)	65,58 ± 0,64	62,05 ± 0,04	56,67 ± 7,61	63,21 ± 0,45
Fibra dietética (g/100 g b.s.)	-	-	11,55 ± 0,25	11,90 ± 0,57
pH	4,92 ± 0,00	5,80 ± 0,00	5,76 ± 0,00	5,71 ± 0,00
^a Brix	4,40 ± 0,00	5,00 ± 0,00	10,00 ± 0,00	10,00 ± 0,00
Acidez total (g/100 g b.s.)	0,34 ± 0,02	0,09 ± 0,00	0,22 ± 0,01	0,22 ± 0,01

Cuadro 2.2. Continuación: Efecto del proceso de elaboración de harina de pejibaye sobre la composición nutricional.

Etapa de proceso / variable (n=2)	Pulpa de pejibaye crudo	Pulpa de pejibaye cocinado	Harina sin cáscara	Harina con cáscara
Lote 5				
Humedad	58,00 ± 0,15	59,68 ± 0,04	15,14 ± 0,06	16,86 ± 0,30
Grasa (g/100 g b.s.)	15,93 ± 0,01	12,13 ± 0,18	12,08 ± 0,17	14,35 ± 0,01
Cenizas (g/100 g b.s.)	1,69 ± 0,01	1,66 ± 0,03	1,74 ± 0,01	1,89 ± 0,04
Proteína (N*6,25) (g/100 g b.s.)	6,35 ± 0,00	6,13 ± 0,74	6,56 ± 0,00	7,22 ± 0,00
Almidón (g/100 g b.s.)	72,41 ± 0,10	70,14 ± 2,44	68,84 ± 0,20	65,32 ± 0,28
Fibra dietética (g/100 g b.s.)	-	-	12,54 ± 0,53	13,35 ± 0,92
pH	5,08 ± 0,00	6,22 ± 0,01	6,05 ± 0,00	6,09 ± 0,01
^a Brix	4,40 ± 0,00	10,00 ± 0,00	15,00 ± 0,00	15,00 ± 0,00
Acidez total (g/100 g b.s.)	0,17 ± 0,00	0,10 ± 0,00	0,11 ± 0,00	0,16 ± 0,00

Cuadro 2.3. Efecto del proceso de elaboración de harina de pejibaye en los parámetros de color.

Etapa de proceso	Pulpa de pejibaye crudo	Pulpa de pejibaye cocinado	Harina sin cáscara	Harina con cáscara
Lote 1				
L*	75,39 ± 0,01	59,20 ± 0,27	68,89 ± 0,11	66,28 ± 0,06
a*	16,47 ± 0,06	26,21 ± 0,06	24,30 ± 0,07	24,96 ± 0,04
b*	51,97 ± 0,15	68,00 ± 0,34	65,73 ± 0,07	67,42 ± 0,08
<i>hue</i>	72,41 ± 0,01	68,92 ± 0,05	69,71 ± 0,03	69,68 ± 0,06
<i>chroma</i>	54,51 ± 0,16	72,88 ± 0,34	70,08 ± 0,09	71,89 ± 0,06
ΔE	24,78 ± 0,06	10,13 ± 0,30	3,18 ± 0,13	-
Lote 2				
L*	74,71 ± 0,15	66,05 ± 0,03	71,95 ± 0,01	71,38 ± 0,12
a*	18,93 ± 0,21	24,42 ± 0,02	23,54 ± 0,08	24,39 ± 0,15
b*	60,51 ± 0,05	64,95 ± 0,11	67,97 ± 0,04	70,46 ± 0,03
<i>hue</i>	72,63 ± 0,19	69,40 ± 0,01	70,90 ± 0,05	70,91 ± 0,11
<i>chroma</i>	63,40 ± 0,01	69,38 ± 0,11	71,93 ± 0,07	74,56 ± 0,02
ΔE	11,17 ± 0,27	6,68 ± 0,02	2,70 ± 0,11	-
Lote 3				
L*	76,32 ± 0,00	67,53 ± 0,18	71,72 ± 0,02	66,24 ± 0,06
a*	14,80 ± 0,06	25,87 ± 0,01	21,42 ± 0,01	23,45 ± 0,06
b*	50,16 ± 0,05	69,49 ± 0,55	64,29 ± 0,06	68,18 ± 0,04
<i>hue</i>	73,56 ± 0,07	69,58 ± 0,16	71,58 ± 0,02	71,02 ± 0,05
<i>chroma</i>	52,29 ± 0,03	74,15 ± 0,51	67,76 ± 0,05	72,10 ± 0,02
ΔE	23,95 ± 0,49	8,03 ± 0,40	7,02 ± 0,01	-

Cuadro 2.3. Continuación: Efecto del proceso de elaboración de harina de pejibaye en los parámetros de color.

Etapa de proceso	Pulpa de pejibaye crudo	Pulpa de pejibaye cocinado	Harina sin cáscara	Harina con cáscara
Lote 4				
L*	75,43 ± 0,03	58,53 ± 0,25	66,05 ± 0,13	61,52 ± 0,08
a*	18,15 ± 0,10	29,10 ± 0,04	27,05 ± 0,04	28,40 ± 0,00
b*	50,61 ± 0,23	77,64 ± 0,67	76,70 ± 0,36	73,63 ± 0,08
<i>hue</i>	70,27 ± 0,02	69,45 ± 0,19	70,57 ± 0,11	68,91 ± 0,02
<i>chroma</i>	53,76 ± 0,25	82,91 ± 0,61	81,33 ± 0,33	78,92 ± 0,08
ΔE	33,71 ± 0,16	7,85 ± 0,08	5,64 ± 0,19	-
Lote 5				
L*	75,24 ± 0,25	54,71 ± 0,25	66,94 ± 0,02	58,51 ± 0,05
a*	17,89 ± 0,40	29,62 ± 0,00	25,60 ± 0,02	30,96 ± 0,03
b*	51,00 ± 1,12	72,36 ± 0,42	70,96 ± 0,08	70,73 ± 0,33
<i>hue</i>	70,67 ± 0,01	67,74 ± 0,12	70,16 ± 0,04	66,36 ± 0,12
<i>chroma</i>	54,04 ± 1,19	78,18 ± 0,39	75,43 ± 0,07	77,20 ± 0,29
ΔE	31,87 ± 0,95	12,95 ± 0,21	10,00 ± 0,10	-

Cuadro 2.4. Efecto del proceso de elaboración de harina de pejibaye sobre el contenido de compuestos bioactivos beneficiosos para la salud.

Etapa de proceso / variable (n=2)	Pulpa de pejibaye crudo	Pulpa de pejibaye cocinado	Harina sin cáscara	Harina con cáscara
Lote 1				
Carotenoides *	169,8 ± 9,9	166,6 ± 2,2	132,1 ± 0,4	200,0 ± 9,0
Polifenoles **	0,71 ± 0,06	0,82 ± 0,04	0,60 ± 0,04	0,55 ± 0,05
H-ORAC ***	33,0 ± 1,4	34,1 ± 1,3	31,6 ± 0,1	28,1 ± 0,2
Lote 2				
Carotenoides *	158,7 ± 6,4	175,7 ± 7,6	125,4 ± 2,7	201,6 ± 0,7
Polifenoles **	0,54 ± 0,04	0,24 ± 0,05	0,16 ± 0,02	0,39 ± 0,03
H-ORAC ***	34,6 ± 4,1	28,6 ± 1,7	25,8 ± 1,1	28,4 ± 3,2
Lote 3				
Carotenoides *	186,3 ± 1,4	172,0 ± 2,6	129,0 ± 1,8	175,5 ± 1,3
Polifenoles **	0,61 ± 0,09	0,51 ± 0,04	0,77 ± 0,06	0,87 ± 0,06
H-ORAC ***	49,6 ± 3,0	37,6 ± 1,3	45,8 ± 1,5	48,3 ± 4,2 a
Lote 4				
Carotenoides *	202,4 ± 0,5	269,3 ± 16,2	167,2 ± 19,6	307,0 ± 60,9
Polifenoles **	1,04 ± 0,05	1,03 ± 0,06	0,77 ± 0,02	0,85 ± 0,03
H-ORAC ***	39,6 ± 2,4	49,8 ± 0,9	50,3 ± 0,2	50,7 ± 1,1
Lote 5				
Carotenoides *	109,6 ± 6,9	188,5 ± 10,3	143,8 ± 13,7	333 ± 23
Polifenoles **	0,72 ± 0,07	0,91 ± 0,10	0,73 ± 0,09 b	0,83 ± 0,08
H-ORAC ***	32,2 ± 4,7	40,5 ± 0,8	25,3 ± 8,8 b	28,3 ± 1,5

* Expresado como µg de β-caroteno / g muestra b.s.

** Expresado como mg de ácido gálico / g muestra b.s.

*** Expresado como µmoles Trolox equivalente/ g muestra b.s.

Cuadro 2.5. Efecto del proceso en la elaboración de la harina de pejibaye y aporte de la cáscara en la composición físico - química y contenido de compuestos bioactivos promedio. Diseño estadístico: Irrestricto aleatorio de 3 niveles (crudo, cocinado y harina), bloqueando la variable lote, Análisis estadístico: ANDEVA prueba de Tukey, $\alpha = 0,05$.

Componente (n=3) g/100g muestra seca		Pulpa pejibaye crudo	Pulpa pejibaye cocido	Harina sin cáscara	Harina con cáscara
Humedad		56,4 ± 4,5	58,9 ± 3,5	12,8 ± 2,5	13,0 ± 3,8
Grasa		13,5 ± 2,7	13,4 ± 2,6	13,4 ± 2,3	14,3 ± 2,5
Proteína		5,0 ± 1,1	5,0 ± 1,1	5,0 ± 1,0	5,6 ± 1,3
Ceniza		1,8 ± 0,1	1,8 ± 0,1	1,78 ± 0,03	1,94 ± 0,07
Almidón		70,3 ± 4,0	67,8 ± 4,3	67,3 ± 6,5	66,1 ± 2,4
pH		5,3 ± 0,6	5,6 ± 0,6	6,1 ± 0,2	6,1 ± 0,2
°Brix		4,6 ± 0,3	5,6 ± 2,4	14,1 ± 3,5	14,1 ± 3,5
Acidez		0,2 ± 0,1	0,1 ± 0,1	0,16 ± 0,04	0,17 ± 0,03
Azúcares					
Fibra		-	-	11,2 ± 1,2	12,2 ± 1,3
Color	L*	75,4 ± 0,6	61,2 ± 5,1	69,1 ± 2,5	64,8 ± 4,7
	a*	17,3 ± 1,5	27,0 ± 2,1	24,4 ± 2,0	26,4 ± 3,0
	b*	52,9 ± 4,1	70,5 ± 4,6	69,1 ± 4,6	70,1 ± 2,3
	Hue	71,9 ± 1,3	69,0 ± 0,7	70,6 ± 0,7	69,4 ± 1,8
	Chroma	55,6 ± 4,2	75,5 ± 4,9	73,3 ± 5,0	74,9 ± 3,0
Carotenoides *		167,7 ± 33,7	197,06 ± 44,9	142,1 ± 22,0	253,2 ± 77,2
Polifenoles **		0,7 ± 0,2	0,7 ± 0,3	0,6 ± 0,3	0,7 ± 0,2
H-ORAC ***		37,8 ± 7,2	38,1 ± 7,5	36,4 ± 10,4	36,2 ± 12,1

* Expresado como μg de β -caroteno / g muestra b.s.

** Expresado como mg de ácido gálico / g muestra b.s.

*** Expresado como μmoles Trolox equivalente/ g muestra b.s.

Cuadro 2.6. Determinación del contenido de minerales en pulpa de pejibaye cocinado y en harina con y sin cáscara.

Matriz / mineral	g/g muestras seca							mg/kg muestra seca				
	N	P	Ca	Mg	K	S	Na	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Lote 1												
Pulpa de pejibaye cocinado	0,71	0,08	0,02	0,04	0,74	0,12	ND	16	6	4	ND	3
Harina con cáscara	0,81	0,09	0,04	0,05	0,80	0,12	ND	20	4	5	1	2
Harina sin cáscara	0,73	0,07	0,02	0,04	0,72	0,10	ND	15	5	3	ND	2
Lote 2												
Pulpa de pejibaye cocinado	0,70	0,08	0,03	0,04	0,68	0,10	ND	15	4	3	ND	2
Harina con cáscara	0,73	0,09	0,04	0,04	0,71	0,11	ND	17	4	6	ND	2
Harina sin cáscara	0,66	0,08	0,03	0,04	0,67	0,10	ND	14	4	3	ND	2
Lote 3												
Pulpa de pejibaye cocinado	0,72	0,08	0,03	0,04	0,68	0,09	ND	14	3	3	1	2
harina con cáscara	0,79	0,09	0,05	0,04	0,67	0,10	ND	18	5	8	1	2
Harina sin cáscara	0,73	0,08	0,03	0,04	0,66	0,09	ND	14	4	3	ND	1
Lote 4												
Pulpa de pejibaye cocinado	0,95	0,07	0,03	0,04	0,59	0,11	ND	12	2	5	1	2
Harina con cáscara	1,09	0,08	0,03	0,05	0,71	0,13	ND	18	6	6	ND	3
Harina sin cáscara	1,08	0,07	0,02	0,04	0,64	0,11	ND	18	5	4	ND	3
Lote 5												
Pulpa de pejibaye cocinado	1,08	0,08	0,03	0,05	0,63	0,11	ND	16	6	3	5	2
Harina con cáscara	1,19	0,07	0,04	0,04	0,61	0,11	ND	17	6	5	3	2
Harina sin cáscara	1,09	0,07	0,03	0,05	0,63	0,11	ND	16	5	3	5	2