

**DESARROLLO CIENTÍFICO Y
TECNOLÓGICO DE LOS RECURSOS
ALIMENTARIOS EN EL ESTADO DE
TABASCO**

C O L E C C I Ó N

JOSÉ MARÍA PINO SUÁREZ

Estudios regionales y desarrollo

José Manuel Piña Gutiérrez

Rector

Alma Catalina Berumen Alatorre

Directora de la División Académica de Ciencias Agropecuarias

DESARROLLO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO DE LOS RECURSOS ALIMENTARIOS EN EL ESTADO DE TABASCO

Coordinadores

José Rodolfo Velázquez Martínez
Eloísa López Hernández
Pedro García Alamilla



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Desarrollo Científico Y Tecnológico de los Recursos Alimentarios en el Estado de Tabasco / Coord. José Rodolfo Velázquez Martínez, Eloísa López Hernández, Pedro García Alamilla.—1ª Ed. --Villahermosa, Tabasco : Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 2013

200 P. --(Colección: José María Pino Suarez, Estudios Regionales Y Desarrollo)

Incluye Referencias Bibliográficas

ISBN: 978-607-606-101-5

1. Composición de los Alimentos / 2. Alimentos – Análisis

L.C. TX531 D47 2013

Primera edición, 2013

D.R. © Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Av. Universidad s/n. Zona de la Cultura
Colonia Magisterial, C.P. 86040
Villahermosa, Centro, Tabasco.

El contenido de la presente obra es responsabilidad exclusiva de los autores. Queda prohibida su reproducción total sin contar previamente con la autorización expresa y por escrito del titular, en términos de la Ley Federal de Derechos de Autor. Se autoriza su reproducción parcial siempre y cuando se cite la fuente.

ISBN: 978-607-606-101-5

Apoyo editorial: Francisco Morales Hoil
Ricardo Cámara Córdova

Hecho en Villahermosa, Tabasco, México.

LISTA DE AUTORES POR ORDEN ALFABÉTICO

Aparicio-Trápala, M. A.
Avalos-González, H. M.
Berumen- Alatorre, A. C.
Centurión-Hidalgo, D.
Corzo-Sosa, C. A.
Espinosa-Moreno, J.
García Alamilla, P.
Gómez-Vazquez, A.
Iriarte-Rodríguez, F. V.
López-Hernández, E.
Luna-Palomera, C.
Ochoa-Flores, A.A.
Rodríguez- Blanco, L.
Velázquez-Martínez, J. R.

**División Académica de Ciencias Agropecuarias
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco**

Gómez-García, E.
Hernández – Hernández, L. C.
Reyes Martínez, M.
Pérez-Magaña, A. L.

Egresados de la División Académica de Ciencias Agropecuarias

Aguilar-Hernández, K., Carrer
a-Lanestosa, A. y Trujillo-Castillo, L.F.

Egresados de la Maestría en Ciencias Alimentarias

Hernández Sánchez, H.
Instituto Politécnico Nacional

Arámbula-Villa, G.
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav), Unidad Querétaro

Esparza- Rivera, J. R.

Universidad Juárez del Estado de Durango

López Andrade, P. A. y González Lauck, V. W.

Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria (INIFAP)

Campo Experimental Huimanguillo, Tabasco

Waliszewski-Kubiak, K. (†)

Instituto Tecnológico de Veracruz

Valadez-Villarreal, A., Hernández-Becerra, J. A.

Universidad Tecnológica de Tabasco

PRÓLOGO

El presente libro tiene como objetivo difundir los resultados de las investigaciones realizadas con los recursos alimentarios del estado de Tabasco y pretende ofrecer herramientas para contribuir a que el sector agroindustrial, los productores y las instancias de gobierno pertinentes se interesen en el aprovechamiento y explotación de estos. Por otro lado representa un esfuerzo del grupo de profesores investigadores de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco en conjunto con otras instituciones con las que colaboró. Está constituido por nueve capítulos, relacionados con productos agropecuarios de importancia en Tabasco. Cada capítulo hace una revisión bibliográfica del tema que aborda, para establecer la importancia y mostrando resultados de los proyectos de investigación relacionados. A continuación se hace una reseña de cada capítulo mencionando los proyectos de investigación de donde surge la información, las fuentes financiadoras, los recursos humanos generados, las instituciones y si se han presentado en eventos científicos.

Capítulo 1. **APLICACIONES DEL ACEITE CRUDO DE PALMA AFRICANA EN EL ESTADO DE TABASCO.** En este capítulo se presentan dos de las aplicaciones que se le pueden dar al aceite crudo de palma africana producido en el estado de Tabasco, una relacionada con la sustitución de grasa animal por la estearina del aceite crudo la cual tiene considerables cantidades de pro-vitamina A en un producto cárnico de consumo humano y la otra aplicación relacionada con la alimentación animal. La información generada proviene de dos proyectos de investigación: **“Estudio de la interesterificación del aceite crudo de palma (*Elaeis guineensis* L.) y su efecto sobre algunos indicadores de aterosclerosis experimental y Comportamiento productivo y reproductivo de ovejas de pelo complementadas con subproductos de palma africana (*Elaeis guineensis*)_como fuente energética-proteica”**, financiados por Fundación Produce Tabasco A. C. y fondos propios de la UJAT a través de PFICA, Convocatoria 2007. Clave: UJAT-2007-C03-16 y se generaron dos tesis de licenciatura en MVZ. Los resultados fueron presentados en eventos nacionales e internacionales (México y Colombia).

Capítulo 2. **ESTABILIZACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN DEL AGUA DE COCO (*Cocos nucifera*)**. El presente capítulo se basó principalmente en la estabilización del agua de coco y su factibilidad comercial en el estado de Tabasco, con la finalidad de evaluar el establecimiento de una planta procesadora de esta materia prima. Se realizó la optimización de la línea de producción para obtener agua de coco estabilizada la cual se diseñó a escala piloto. Se estimó la demanda potencial y oferta inicial del producto (agua de coco envasada) y del agua de coco fresca en el municipio de Centro, Tabasco.

Se trabajó con la asociación Copreros Unidos de Tabasco a través de los proyectos: **“Estudio de factibilidad técnica-económica de una planta envasadora de agua de coco (*Cocos nucifera*) en el estado de Tabasco”** y **“Desarrollo tecnológico para la obtención de productos alimenticios no convencionales a base de coco (*Cocos nucifera*)”**, financiados por Fundación Produce Tabasco A. C., los resultados se presentaron en dos eventos nacionales y dos internacionales y se titularon 3 Tecnicos Superiores Universitarios y un estudiante de la Licenciatura de Ingeniería Bioquímica. Los autores agradecen a la **Fundación Produce Tabasco A. C.** por el financiamiento otorgado para el desarrollo de los proyectos: “Estudio de factibilidad técnica-económica de una planta envasadora de agua de coco (*Cocos nucifera*) en el estado de Tabasco” y “Desarrollo tecnológico para la obtención de productos alimenticios no convencionales a base de coco (*Cocos nucifera*)”, en los cuales se ha fundamentado este trabajo, así como a la **Empresa Generatoris S. A de C. V.** por la asesoría y elaboración del diagrama final del proceso de obtención del agua de coco.

Capítulo 3. INOCUIDAD DE LA LECHE CRUDA Y PRODUCCIÓN DE LAS LECHE FERMENTADAS. Este capítulo presenta información de cómo la calidad de la leche producida en la región mejora con la implementación de buenas prácticas de ordeño, además de cómo se pueden obtener leches fermentadas utilizando *Lactocooccus lactis* subsp. *Lactis* encapsuladas en alginato de calcio. Se trabajó con los Productores de Lácteos del Norte de Chiapas S. A. de C. V. (PROLANCH S. A. de C. V.) a través del proyecto **“Implementación de un programa de inocuidad sobre el suministro de leche a la Planta Procesadora de Lácteos de Juárez Chiapas”** financiado por la Fundación Produce Chiapas A. C. De este proyecto se generó una tesis de la Maestría en Ciencias Alimentarias y una de la Licenciatura de Ingeniería en Agroalimentos, respectivamente. Los resultados fueron presentados en eventos científicos nacionales e internacionales (México, Colombia, Cuba y Guatemala) y en la revista @LIMENTECH de Colombia.

Capítulo 4. CACAO CRIOLLO EXTRAFINO DE AROMA. Este capítulo establece un panorama sobre cacao criollo extrafino de aroma, con conceptos y definiciones, además de mostrar resultados sobre características físicas y químicas básicas de cacaos mexicanos que se podrían ubicar dentro de esta categoría. También se muestra el panorama internacional sobre este tipo de cacao. Los granos de cacao fueron proporcionados por los propios productores conscientes de la necesidad de caracterizar sus materiales y los análisis reportados se financiaron por la Compañía Nestlé S.A. de C.V. México, a través de un programa de cooperación entre INIFAP-Campo experimental Huimanguillo y DACA-UJAT. Los estudios experimentales han sido presentados en diversos foros científicos con la participación de los alumnos de la Licenciatura de Ingeniería en Alimentos.

Capítulo 5. **FRUTAS TROPICALES Y SUS PROTEASAS.** Este capítulo del libro fue realizado con base en una revisión bibliográfica y con parte de la información experimental obtenida de tres proyectos de investigación uno de ellos titulado **“Obtención, características bioquímicas y estabilidad de bromelaína de fruto de piña (*Ananas comosus* L.) variedad Cayena lisa”**, financiado por Fondos Mixtos del Gobierno del Estado de Tabasco, terminado en Diciembre de 2006, Clave: TAB-2003-CO310969 (UJAT), del proyecto: **“Obtención y caracterización parcial de papaína obtenida del residuo de la cáscara de papaya (*Carica papaya*) var. maradol”**. Clave: 20080641, financiado por el programa de mejoramiento al profesorado periodo Enero-Diciembre 2008. Así como, de un proyecto de tesis de Maestría en Ciencias Alimentarias titulado “Actividad proteolítica de papaína, bromelaína y cucumisina de frutas tropicales. De estos trabajos se derivaron: 8 presentaciones en congresos y simposios nacionales e internacionales, así como un artículo en la revista Universidad y Ciencia.

Capítulo 6. **LOS TUBÉRCULOS COMO FUENTE DE ALMIDONES.** En este capítulo se plantea la importancia económica que tienen los tubérculos en el trópico, basado en los pocos requerimientos y bajos costos de producción y su alto contenido de almidón, Se presentan las características de nueve especies de importancia dietética fundamental para la población de las regiones tropicales, principalmente Tabasco y Yucatán, estudiadas en las instalaciones de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco en colaboración con el Centro de Investigaciones Avanzadas (CINVESTAV) de Querétaro y el Instituto Tecnológico de Veracruz. La información expuesta es resultado de los proyectos de investigación: **“Manejo sustentable y aprovechamiento integral de raíces y tubérculos subexplotados en comunidades rurales de Tabasco”**, a través de un paquete tecnológico derivado del proyecto con Clave: 97-06-007-T y el proyecto **“Comportamiento fisicoquímico y reológico de los almidones nativos y modificados de yuca (*Manihot esculenta*), camote (*Ipomoea batatas* (L) Lam) y plátano Enano (*Musa cavendish*)”** Clave 97-01-004-T, ambos apoyados por SIGOLFO/ CONACYT. Se generaron 5 tesis de la licenciatura de Ingeniería en Agroalimentos y una tesis de doctorado en Ciencias Alimentarias. Los resultados han sido presentados en diferentes foros nacionales e internacionales.

Capítulo 7. **CARACOL TOTE (*Pomacea flagellata*), PROCESAMIENTO PRIMARIO DE LA CARNE.** Este capítulo se desarrolla con el propósito de crear la tecnología para el aprovechamiento e industrialización del caracol tote (*Pomacea flagellata*), endémico del estado de Tabasco, por lo que se procedió a realizar el diseño y análisis de una alternativa para su conservación durante su almacenamiento en hielo con aditivos naturales; esto a través del análisis microbiológico y químico de su pulpa o carne. Los resultados se obtuvieron del proyecto **Cultivo semintensivo y procesamiento**

de caracol tote (*Pomacea flagellata*), financiado por FOMIX Conacyt Tabasco con el registro TAB- 2006 – C08 – 48803; del cual se han derivado dos tesis de licenciatura, se han presentado seis trabajos científicos (orales y en modalidad de cartel) en eventos científicos de carácter regional, uno nacional y dos de carácter internacional.

Capítulo 8. **LAS LEGUMINOSAS DE GRANO.** En este capítulo se aborda la caracterización de las leguminosas de grano tropicales (frijoles) que se consumen en Tabasco, a las cuales se les determinó el valor nutrimental y factores antinutricionales. El proyecto de investigación que dio origen al presente trabajo se tituló: **“Revalorización del saber tradicional de especies subexplotadas con potencial para consumo humano y animal”** fue financiado por el Sistema Regional de Investigación del Golfo de México (SIGOLFO) del CONACyT con la Clave: 99-01-006-T, realizado en colaboración con el Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubirán y se apoyó una tesis de Ingeniería en Agroalimentos en el 2004. Los resultados se han presentado en tres eventos científicos nacionales.

Capítulo 9. **LAS PROPIEDADES DE LAS PALMAS TROPICALES COMO ALIMENTO.** Considerando la amplia variedad de palmas en el estado y la importancia de su consumo como alimento de algunas partes de ellas en el Sureste del país, este capítulo destaca a las inflorescencias de palmas que pueden aportar importantes cantidades de fibra en la dieta y como se ve afectado su contenido durante el procesamiento. El proyecto de investigación que dio origen al presente trabajo se tituló: **“Rescate y conservación de germoplasma vegetal en riesgo de erradicarse en la sierra de Tabasco”**, fue financiado por el Sistema Regional de Investigación del Golfo de México (SIGOLFO) del CONACyT con la Clave: TAB-2003-03-11386, apoyándose a un tesista de la licenciatura de Ingeniería en Agroalimentos en el 2007. Los resultados obtenidos se han presentado en dos foros científicos nacionales y uno internacional.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1.....	19
APLICACIONES DEL ACEITE CRUDO DE PALMA AFRICANA (<i>Elaeis guineensis</i>) EN EL ESTADO DE TABASCO.....	19
Introducción.....	19
1.2 Características del aceite crudo de palma.....	19
1.3. Producción de aceite crudo de palma.....	20
1.3.1. Importancia económica a nivel mundial.....	21
1.3.2. Importancia económica en México.....	22
1.3.3. Importancia económica en Tabasco.....	23
1.4 Usos del aceite crudo de palma.....	24
1.4.1. Usos alimenticios.....	24
1.4.2. Usos no-alimenticios.....	24
1.5 Estudios y aplicaciones del aceite crudo de palma en el estado de Tabasco.....	26
1.5.1 Salchichas para asar con sustitución de la grasa de cerdo por estearina de aceite crudo de palma africana.....	26
1.5.1.1 Materiales y métodos.....	27
1.5.1.2 Resultados.....	28
1.5.2 Uso de harina de kernel de palma de aceite como fuente energética-proteica en el desarrollo de ovejas de pelo.....	29
1.5.2.1 Materiales y métodos.....	28
1.5.2.2 Resultados y discusión.....	33
Conclusiones.....	40
BIBLIOGRAFÍA.....	41
CAPÍTULO 2.....	47
ESTABILIZACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN DEL AGUA DE COCO (<i>Cocos nucifera</i>).....	47
2.1 Introducción.....	47
2.2 El cocotero.....	53
2.2.1 Usos.....	48
2.3 Agua de coco.....	49
2.3.1 Descripción y clasificación del producto: agua de coco.....	49
2.3.2 Composición química.....	50
2.3.3 Problemática y conservación del envasado del agua de coco.....	59
2.4 Sanitización por luz ultravioleta (UV).....	55
2.4.1 Aspectos generales de sanitización.....	55
2.4.2 Mecanismo de desinfección por luz ultravioleta (UV).....	57
2.5 Filtración.....	57
2.5.1 Aspectos generales.....	57
2.5.2 Principios y teoría de la filtración.....	58

2.6.1 Diagrama de flujo del proceso de envasado de agua de coco.....	63
2.7 Conclusiones.....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	70
CAPÍTULO 3.....	73
INOCUIDAD DE LA LECHE CRUDA Y PRODUCCIÓN DE LECHE FERMENTADA.....	73
3.1 Introducción.....	73
3.2 Producción Mundial.....	73
3.3 Producción Nacional.....	75
3.4 Producción local.....	75
3.5 Problemáticas.....	76
3.5.1 Estacionalidad en la producción de la leche cruda.....	76
3.5.2 Precio de la leche cruda.....	76
3.5.3 Costos en la producción de leche.....	77
3.5.4 Higiene de la leche cruda y los productos lácteos.....	78
3.6 Diagnóstico de la Calidad de la Leche en la frontera del Estado de Tabasco.....	79
3.6.1 Análisis para mastitis.....	79
3.6.2 Cuantificación del estudio.....	83
3.7 Producción de leches fermentadas con células de <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i> inmovilizadas en alginato de calcio.....	84
3.7.1 Materiales y métodos.....	85
3.7.2 Resultados y discusión.....	86
3.8 Conclusiones.....	88
BIBLIOGRAFÍA.....	89
CAPÍTULO 4.....	91
CACAO CRIOLLO EXTRAFINO DE AROMA.....	91
4.1 Introducción.....	91
4.2 Antecedentes.....	92
4.2.1 Tratamiento poscosecha del cacao.....	93
4.2.2 Tostado.....	94
4.2.3 Definición de cacao extrafino de aroma.....	95
4.2.4 Calidad comercial y del grano.....	96
4.3 Contexto histórico del cacao en México.....	97
4.4 Producción mundial del cacao extrafino de aroma.....	97
4.5 Características de poscosecha de cacao criollo.....	99
4.5.1 Algunas características del cacao La Joya y otros criollos en México.....	99
4.6 Conclusiones.....	103
BIBLIOGRAFÍA.....	104
CAPÍTULO 5.....	107
FRUTAS TROPICALES Y SUS PROTEASAS.....	107
5.1 Introducción.....	107

5.2 Generalidades del fruto de Papaya.....	108
5.2.1 Producción de papaya en México y el estado de Tabasco.....	109
5.2.2 Industrialización y consumo de la papaya.....	110
5.2.3. Proteasas de la papaya.....	110
5.2.3.1. Actividad proteolítica de papaína obtenida de un extracto de cáscara de papaya...	112
5.4. Ficina.....	113
5.3 Generalidades de la piña.....	113
5.3.1 Proteasas de la piña.....	116
5.3.2 Bromelaína de fruto de piña.....	117
5.3.3 Actividad de Bromelaína de jugo de piña.....	119
5.3.4 Actividad de Bromelaína del corazón de piña.....	121
5.4 Generalidades del Melón.....	122
5.4.1 Proteasa del melón (Cucumisina).....	124
5.4.2 Actividad de un extracto de semilla de melón.....	125
5.5 Usos de las proteasas de cisteína de origen de frutas tropicales.....	126
5.5.1. Propósitos médicos de las proteasas.....	128
5.5.2 Otros usos de las proteasas.....	129
5.6 Futuras aplicaciones de las proteasas de frutas tropicales.....	129
5.7 Conclusiones.....	129
BIBLIOGRAFÍA.....	130
CAPÍTULO 6.....	133
LOS TUBÉRCULOS COMO FUENTE DE ALMIDONES.....	133
6.1 Introducción.....	133
6.2 Tubérculos como fuente de almidones.....	135
6.2.1 Camote.....	135
6.2.2 Cuezta o raíz de chayote.....	141
6.2.3 Macal.....	141
6.2.4 Ñame.....	142
6.2.5 Papa voladora.....	143
6.2.6 Sagú.....	144
6.2.7 Suco.....	145
6.2.8 Malanga.....	145
6.2.9 Yuca.....	149
6.3 Estudios realizados para los almidones nativos de tubérculos en el estado de Tabasco, México.....	156
6.3.1 Extracción del almidón.....	156
6.3.2. Determinación de amilosa utilizando colorimetría.....	157
6.3.3. Propiedades funcionales.....	157
6.4. Resultados y discusión.....	157
6.5. Conclusiones.....	164

BIBLIOGRAFÍA.....	165
CAPÍTULO 7.....	169
CARACOL TOTE (<i>POMACEA FLAGELLATA</i>), PROCESAMIENTO PRIMARIO DE LA CARNE.....	169
7.1 Introducción.....	169
7.2 Características de la especie.....	171
7.3 Características de la carne de caracol.....	173
7.4 Depuración.....	174
7.4.1 Condiciones sanitarias.....	174
7.4.2 Lavado de los caracoles.....	174
7.4.3 Sacrificio.....	175
7.4.4 Enfriado.....	176
7.4.5 Desconchado y eviscerado.....	176
7.4.6 Lavado de la pulpa.....	177
7.4.7 Almacenamiento.....	177
7.5 Composición de la carne o pulpa de caracol.....	178
7.6 Conclusiones.....	179
BIBLIOGRAFÍA.....	180
CAPÍTULO 8.....	183
LAS LEGUMINOSAS DE GRANO.....	183
8.1 Introducción.....	183
8.2 El frijol.....	183
8.3 Producción de frijol.....	184
8.4 Composición química y la presencia de sustancias antifisiológicas en semillas de leguminosas producidas y consumidas en Tabasco.....	185
8.4.1 Materiales y métodos.....	185
8.5 Resultados y discusión.....	186
8.6 Conclusiones.....	188
BIBLIOGRAFÍA.....	189
CAPÍTULO 9.....	191
LAS PALMAS TROPICALES COMO FUENTE DE FIBRA DIETARIA.....	191
9.1 Introducción.....	191
9.2. Distribución geográfica de las palmas tropicales.....	191
9.3. Comercialización de Inflorescencias.....	192
9.4. Palmas comestibles en América.....	192
9.5. Aporte de la fibra dietaria de las inflorescencias de palmas en Tabasco.....	194
9.5.1 Materiales y métodos.....	195
9.6 Resultados y discusión.....	195
9.7 Conclusiones.....	199
BIBLIOGRAFÍA.....	200

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Tasa de crecimiento de las producciones y exportaciones de los principales aceites vegetales del mundo (%). Periodo 1998/99-2002/03.....	21
Figura 1.2 Principales productores y exportadores de aceite de palma en el periodo 2004/05. Datos en millones de toneladas métricas (MTM)	22
Figura 1.3 Peso corporal predicho de ovejas de pelo complementadas con diferentes niveles de harina de palma (HP0, HP15, HP30 y HP45) y pastoreo.....	36
Figura 2.1 Palma de coco (Cocos nucifera).....	48
Figura 2.2 Extracción de agua de coco directamente del fruto.....	49
Figura 2.3 Proceso de envasado de agua de coco patentado por FAO.....	55
Figura 2.4 Filtro prensa empleado en la filtración de agua de coco. Univ. Tecnológica de Tabasco.....	61
Figura 2.5 Membrana con sólidos procedentes de filtración. Univ. Tecnológica de Tabasco.....	61
Figura 2.6 Proceso de sanitización. Univ. Tecnológica de Tabasco.....	62
Figura 2.7 Llenadora de pistón para el envasado de agua de coco. Univ. Tecnológica de Tabasco.....	62
Figura 2.8 Diagrama de flujo del proceso de envasado de agua de coco.....	63
Figura 2.9. Propuesta final del proceso de envasado de agua de coco con el apoyo de la empresa Generatoris S.A. de C.V.....	64
Figura 3.1 Inspección de instalaciones.....	80
Figura 3.2 Proceso de obtención de leche.....	80
Figura 3.3 Obtención de la leche de cada cuarto de la ubre.....	81
Figura 3.4 Aplicación del reactivo en la leche depositada en la paleta.....	81
Figura 3.5 Cambio en la consistencia de la leche al ser positiva.....	81
Figura 3.6 Colocación del colador o manta.....	82
Figura 3.7 Filtrado de la leche.....	82
Figura 3.8 Manta con impurezas.....	82
Figura 3.9 Cinética de crecimiento <i>Lactococcus lactis</i>	86
Figura 4.1 Distribución de las zonas de cultivos de <i>Theobroma cacao L.</i> , en el mundo.....	93
Figura 4.2 Principales países productores de cacao.	98
Figura 4.3 Apreciación de mazorcas de cacao La Joya, en Cunduacán, Tabasco.....	99
Figura 4.4 Distintos tamaños de mazorcas de cacao	100
Figura 5.1 Efecto del pH sobre la actividad de papaína de cáscara de papaya con caseinato de sodio.....	112
Figura 5.2 Efecto de la temperatura sobre la actividad de papaína de cáscara de papaya con caseinato de sodio.....	112
Figura 5.3. Actividad de bromelaina de jugo de piña clarificado a diferentes pHs evaluada con caseinato de sodio.....	119
Figura 5.4. Actividad de bromelaina de jugo de piña clarificado a diferentes temperaturas evaluada con caseinato de sodio.....	120
Figura 5.5. Efecto del pH sobre la actividad de bromelaina de corazón de piña con caseinato de sodio.....	122

Figura 5.6 Efecto de la temperatura sobre la actividad de bromelaina de corazón de piña, con caseinato de sodio.....	122
Figura 5.7 Efecto del pH sobre la actividad de cucumisina de semilla de melón con caseinato de sodio.....	125
Figura 5.8 Efecto de la temperatura sobre la actividad de cucumisina de semilla de melón con caseinato de sodio.....	125
Figura 6.1. Raíz de camote (<i>Ipomea batatas</i> Lam).....	135
Figura 6.2. Raíz de la planta de Chayote.....	141
Figura 6.3. Planta de macal (<i>Xanthosoma sagittifolium</i> (L) Schott) en el estado de Tabasco, México.....	142
Figura 6.4. Tubérculos de macal (<i>Xanthosoma sagittifolium</i> Schott).....	142
Figura 6.5. Tubérculo de Ñame (<i>Dioscorea alata</i> L.).....	143
Figura 6.6. Planta de papa voladora (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.).....	143
Figura 6.7. Papa voladora (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.).....	144
Figura 6.8. Planta de Sagú (<i>Maranta arundinacea</i> L.).....	144
Figura 6.9. Tubérculos de Sagú.....	144
Figura 6.10. Planta de Suco (<i>Calathea macrosepala</i> (Aubl.) Lindl.).....	145
Figura 6.11. Tubérculo Suco.....	145
Figura 6.12. Cormelos de malanga (<i>Colocacia esculenta</i> (L) Schott).....	146
Figura 6.13 Yuca recién extraída.....	150
Figura 6.14 Utilización de los tubérculos de yuca	153
Figura 6.15 Diagrama de flujo del proceso de obtención del almidón agrio	154
Figura 6.16 Gránulos de almidón de Malanga Morada por microscopía electrónica de barrido.....	158
Figura 6.17 Gránulos de almidón de Macal Chinop por microscopía electrónica de barrido.....	158
Figura 6.18 Gránulos de almidón de suco por microscopía electrónica de barrido.....	159
Figura 6.19 Patrón de difracción de rayos X tipo B de almidón nativo de camote.....	159
Figuras 6.20 Patrón de Difracción de rayos X tipo B de almidón nativo de yuca.....	160
Figura 6.21 Comportamiento viscoelástico del gel de almidón de camote al 3% en función de la frecuencia.....	163
Figura 6.22 Módulo de almacenamiento G' en geles de almidón de camote a cuatro diferentes concentraciones.....	164
Figura 7.1 Distribución de <i>Pomacea flagellata</i> en México y Centroamérica	171
Figura 7.2 Caracol Tote (<i>Pomacea flagellata</i>).....	172
Figura 7.3 Ciclo de cultivo del caracol Tote (<i>Pomacea flagellata</i>).....	173
Figura 7.4 Condición corporal del caracol tamaño homogéneo.....	173
Figura 7.5 Lavado de caracol.....	175
Figura 7.6 Sacrificio de los caracoles por inmersión en agua caliente 80 °C durante 15 minutos.....	175
Figura 7.7 Desconchado y eviscerado del caracol.....	177
Figura 7.5 Lavado del caracol.....	177

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1 Comparación del rendimiento de aceite/ha.....	20
Cuadro 1.2 Países importadores y consumidores de aceite de palma en el mundo.....	23
Cuadro 1.3 Principales productos alimenticios y no alimenticios del aceite de palma y sus derivados.....	25
Cuadro 1.4 Formulación de salchichas para asar.....	27
Cuadro 1.5 Perfil de ácidos grasos de la oleína, estearina y aceite crudo de palma.....	28
Cuadro 1.6 Valores de aceptación de salchichas para asar con diferentes sustituciones de la grasa de cerdo por estearina de aceite crudo de palma.....	29
Cuadro 1.7 Ingredientes incluidos en las dietas de complemento para el desarrollo de ovejas..	31
Cuadro 1.8 Análisis proximal (base seca) del pasto, HP y dietas usadas en el desarrollo de ovejas de reemplazo.....	34
Cuadro 1.9 Peso, condición corporal, ganancias de peso, CA y EUA de ovejas desarrolladas con diferentes niveles de HP.....	35
Cuadro 1.10 Ganancia de peso total del periodo (gtp), consumo total de alimento (cta), costo del alimento consumido (cac), costo del alimento por kg aumentado (coa), ingresos y utilidad por oveja.....	37
Cuadro 1.11 Análisis marginal de la sustitución de granos por harina de palmiste en dietas usadas en borregas en desarrollo.....	38
Cuadro 1.12 Selección de ración alimenticia de menor costo.....	39
Cuadro 1.13 Medias de variables de estado de salud de las ovejas de pelo complementadas y bajo pastoreo.....	39
Cuadro 1.14. Correlación de pearson entre la ganancia diaria de peso, el índice famacha, ht, hb, strongylus y coccidiosis.....	40
Cuadro 2.1 Propiedades físicas del fruto del cocotero.....	50
Cuadro 2.2 Contenido de sales minerales en el agua de coco.....	51
Cuadro 2.3 Composición química de la pulpa y agua de coco.....	51
Cuadro 2.4 Información nutricional del agua de coco.....	52
Cuadro 2.5 Comparación de la composición entre las bebidas para el deporte y el agua de coco.....	53
Cuadro 2.6 Eficiencia de filtración.....	59
Cuadro 3.1 Parámetros de leche fermentada con Lactococcus lactis encapsulado.....	87
Cuadro 4.1 Compuestos volátiles detectados en granos de cacao.....	95
Cuadro 4.2 Producción de cacao fino o de aroma.....	98
Cuadro 4.3 Algunas propiedades físicas de la mazorca de cacao criollo mexicano.....	101
Cuadro 4.4 Características texturales de la mazorca.....	101
Cuadro 4.5 Principales indicadores de productividad para granos de cacao.....	101
Cuadro 4.6 Características físicas de los granos de cacao seco.....	101
Cuadro 4.7 Composición proximal de granos fermentados y secos de cacao criollo mexicano. Todos los datos corresponden al cotiledón del grano sin germen.....	102
Cuadro 4.8 Algunas características físicas de los granos criollos.....	102
Cuadro 5.1 Producción de papaya en México y el estado de Tabasco.....	109
Cuadro 5.2. Composición nutricional de la papaya (100 g de porción comestible).....	110
Cuadro 5.3 Proteasas de cisteína de papaya (<i>Carica papaya</i>).....	111

Cuadro 5.4 Producción de piña en México y el estado de Tabasco.....	115
Cuadro 5.5 Composición de la piña.....	115
Cuadro 5.6 Técnicas usadas en algunos trabajos para la separación y purificación de bromelaína de fruto de piña.....	120
Cuadro 5.7. Características reportadas en algunos trabajos de propiedades de la bromelaína de fruto y fracciones proteolíticas.....	121
Cuadro 5.8 Producción de melón en México y el estado de Tabasco.....	124
Cuadro 5.9 Composición nutricional del melón (100 g de porción comestible).....	124
Cuadro 6.1. Raíces y tubérculos tropicales de consumo rural en Tabasco y Yucatán.....	135
Cuadro 6.2. Producción de camote por país durante 2008.....	136
Cuadro 6.3 Composición y características del tubérculo camote.....	138
Cuadro 6.4. Principales características agronómicas del camote.....	140
Cuadro 6.5 Principales países productores de malanga.....	147
Cuadro 6.6 Principales países exportadores e importadores de malanga.....	147
Cuadro 6.7 Producción de malanga en México.....	148
Cuadro 6.8. Comparación del contenido alimenticio de 100 g de la Malanga (corno) con tubérculos convencionales.....	149
Cuadro 6.9 Composición química de 100 g de malanga de porción comestible (bh).....	149
Cuadro 6.10 Principales características agronómicas de la yuca.....	151
Cuadro 6.11 Análisis químico de tubérculos de cinco variedades de yuca en Tabasco.....	152
Cuadro 6.12 Composición y características del tubérculo de yuca.....	153
Cuadro 6.13. Porcentaje de almidón obtenido de los tubérculos y raíces.....	157
Cuadro 6.14 Contenido de amilosa total en almidón nativo de raíces y tubérculos tropicales.....	160
Cuadro 6.15. Temperaturas de gelatinización inicial (To) media TM y final (Tf) de seis almidones nativos de los tubérculos estudiados.....	161
Cuadro 6.16. Características funcionales del almidón nativo de raíces y tubérculos tropicales.....	162
Cuadro 7.1 Composición proximal del músculo del caracol tote (<i>Pomacea flagellata</i>) (datos por cada 100 gramos).....	179
Cuadro 7.2 Características nutricionales de productos cárnicos y pesqueros (datos por cada 100 gramos de porción comestible).....	179
Cuadro 8.1. Valor nutritivo de seis variedades de frijol.....	187
Cuadro 8.2. Valor nutritivo de variedades de chícharo de árbol.....	188
Cuadro 9.1. Nombre y parte comestible de las palmas tropicales.....	194
Cuadro 9.2. Contenido de tipos fibra de <i>Chamaedora alternans</i> (guaya de cerro) con diferentes tratamientos.....	196
Cuadro 9.3. Contenido de tipos fibra de <i>Astrocaryum mexicanum</i> (chapaya) con diferentes tratamientos.....	196
Cuadro 9.4. Contenido de tipos fibra de <i>Chamaedora tepejilote</i> (guaya de joma) con diferentes tratamientos.....	197
Cuadro 9.5. Contenido de tipos fibra de <i>Chamaedora sp</i> (guaya de calzón) con diferentes tratamientos.....	198

CAPÍTULO 1

APLICACIONES DEL ACEITE CRUDO DE PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis*) EN EL ESTADO DE TABASCO

Velázquez-Martínez, J. R.; Trujillo-Castillo, L.F.; Esparza- Rivera, J.R.; Aparicio-Trápala, M. A.; Luna-Palomera, C. y Berumen-Alatorre, A. C.

1.1 Introducción

El cultivo de palma de aceite es uno de los cultivos de más rápida expansión a nivel mundial (Butler y Laurence, 2009). La palma africana (*Elaeis guineensis*) es una plantación de reciente introducción en el estado de Tabasco sin embargo, en África, el Lejano Oriente, Centro y Sudamérica tienen décadas de ser un cultivo, del cual se pueden obtener una serie de beneficios para la salud sin dejar de lado que podría convertirse en la oleaginosa número uno a nivel mundial, además de que terminaría con el déficit de aceite que existe actualmente en México (Ibarra, 2003). El aceite crudo de palma africana es considerado la fuente natural más rica en carotenoides, tocoferoles y tocotrienoles en la naturaleza. Es el único alimento que contiene los 8 isómeros de la vitamina E. Con respecto a su composición de ácidos grasos, se tiene que el 50% corresponde al ácido graso oléico, el cual es el componente principal del aceite de oliva. Todo lo anterior le confiere una gran estabilidad y resistencia a los procesos oxidativos, por lo que su vida de anaquel es prolongada. Además, las investigaciones han demostrado que es precisamente gracias a su composición, que el aceite presenta propiedades funcionales y nutraceuticas las cuales tendrán un impacto benéfico en la salud del ser humano (Kritchevsky and Sundram, 2002). El aceite, la oleína o la estearina crudos son los únicos aceites o grasas que contienen provitamina "A" (carotenoides) y en concentraciones considerables, por lo que su valor nutricional es superior a su contraparte refinada, ya que durante el blanqueamiento en el proceso de refinación se pierden los carotenoides, los cuales confieren el color rojo al aceite, además de ser responsables de la resistencia a la oxidación en conjunto con los tocoferoles y tocotrienoles, por otro lado en su conjunto son responsables en gran medida de los beneficios a la salud del consumidor (Pantzaris, 2000).

1.2 Características del aceite crudo de palma

El aceite se extrae del mesocarpio del fruto y existen registros a partir del siglo XV, en el que algunos viajeros portugueses hacen referencia a la existencia del mismo hablando de "*un aceite que se usaba en las comidas, se registró que tiene 3 propiedades: el perfume de las violetas, el gusto de nuestro aceite de oliva y un color que tiñe la comida como el azafrán, pero que es más atractivo*" (García, 2001).

Al igual que todas las grasas y aceites, el aceite de palma contiene mayormente materiales glicéridos con algunos materiales no-glicéridos en cantidades pequeñas o trazas. Tiene un contenido equilibrado entre ácidos grasos saturados y monoinsaturados, por lo que es semisólido a temperatura ambiente, lo que le confiere una gran consistencia sin necesidad de hidrogenación (CENIPALMA, 2002). Es muy

resistente a los procesos oxidativos, gracias al elevado contenido de antioxidantes en su composición, esencialmente Tocoferoles, Tocotrienoles y Carotenoides, lo que le confiere una vida útil muy larga, con la consiguiente posibilidad de ser almacenado durante mucho tiempo. El aceite crudo presenta un color anaranjado muy fuerte, debido al alto contenido en carotenoides. No contiene colesterol. Es su composición la que define sus características químicas y físicas, la cual, a su vez, determinará la utilidad del aceite en varios procesos y aplicaciones (Basiron, 1996; García, 2001).

1.3. Producción de aceite crudo de palma

El aceite de palma es atractivo para los países en vías de desarrollo debido a que usualmente es más barato que otros aceites importados y esto ha sido un rasgo significativo para incrementar el consumo de aceites y grasas en muchos de estos países (Gunstone, 2003). El cultivo y producción de palma de aceite se lleva a cabo en las áreas tropicales del mundo, aunque se puede observar una evidente concentración y expansión en el continente asiático. En el caso de la producción, no existen cifras precisas de frutos de palma aceitera, que es donde se obtiene la mayor cantidad de aceite que se comercializa en el mundo; a cambio, lo que se tiene son estadísticas sobre la producción de aceite. En términos generales, la producción de aceite ha mostrado una tendencia a la alza (Hammond, 2000; Ortega y Ochoa, 2003). El aceite de palma se ha convertido en una excelente alternativa por su bajo costo de producción combinado con los altos rendimientos. El contenido de aceite por racimo de fruto fresco es de alrededor de 20%, por lo que se obtienen entre 4 y 7 toneladas de aceite crudo por hectárea anualmente (sin contabilizar el aceite de palmiste o kernel y la pasta). Por otro lado, una hectárea de soya o de semilla de nabo produce de 2 a 3 toneladas por hectárea, con un rendimiento de menos de 1 tonelada de aceite por hectárea (sin contar la pasta) aún y cuando se realicen dos cosechas al año. Estos dos cultivos quedan lejos de igualar la productividad de la palma de aceite (Basiron, 1996; Ortega y Ochoa, 2003).

En el Cuadro 1.1 se observa la comparación del rendimiento de aceite por hectárea entre diferentes oleaginosas y la palma africana.

Cuadro 1.1
Comparación del rendimiento de aceite/ha

Oleaginosa	Rendimiento (Kg aceite.ha ⁻¹)
Soya	296
Algodón	192
Ajonjolí	170
Coco	360
Palma de aceite	3,780

Fuente: SAGARPA, 2003b

1.3.1 Importancia económica a nivel mundial

El aceite de palma ocupa el segundo lugar después del aceite de soya en términos de producción y consumo, pero es el primero entre los aceites comercializados. La producción estimada hasta noviembre del 2005 fue de 33.2 millones de toneladas métricas (MTM), representando 31.8% del total para los nueve principales aceites vegetales y las exportaciones fueron de 24.3 MTM (26.4%) (FEDEPALMA, 2004; FAS-USDA, 2005).

Aunque el aceite de palma ocupa el segundo lugar en producción (con un 27.9%), posee el primer lugar en volumen exportado (con un 52.8%). También es el aceite con la mayor tasa de crecimiento en producción registrada en los últimos años: durante el periodo 1998/99-2002/03 registró un incremento del 5.68% (Figura 1.1).

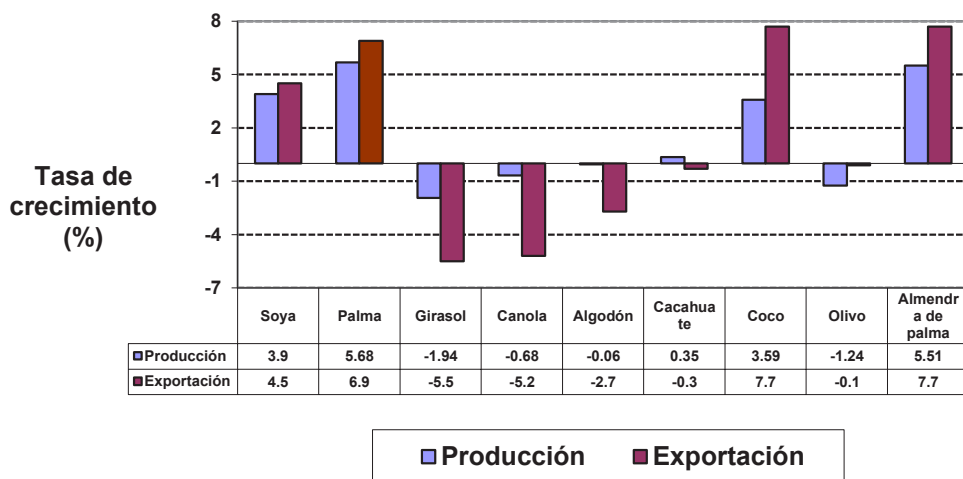


Figura 1.1 Tasa de crecimiento de las producciones y exportaciones de los principales aceites vegetales del mundo (%). Periodo 1998/99-2002/03. (Ortega y Ochoa, 2003)

Esto también indica que las mayores tasas de crecimiento, durante el mismo periodo, fueron registradas para los aceites tropicales, mientras que para los blandos, el aceite de soya ha sido el único que ha mostrado un crecimiento significativo (Ortega y Ochoa, 2003; Gunstone, 2003).

La producción de aceite de palma africana se ha concentrado principalmente en el continente asiático, ya que ha contribuido con el 84.5% de los volúmenes generados en todo el orbe, durante los últimos siete años, destacando sobre todo tres países: Malasia, Indonesia y Tailandia. Pese a esta concentración, el cultivo se ha tratado de desarrollar en otras regiones, como África, que ha contribuido con un 6% durante el mismo lapso, mientras que Centro y Sudamérica ha comenzado su participación con un 4.7%. Asimismo, los mismos países productores son también los que ofrecen los mayores volúmenes al mercado internacional (Ortega y Ochoa, 2003; Basiron, 2003).

En la Figura 1.2 se puede observar a los principales productores y exportadores de aceite de palma en el periodo 2004/05.

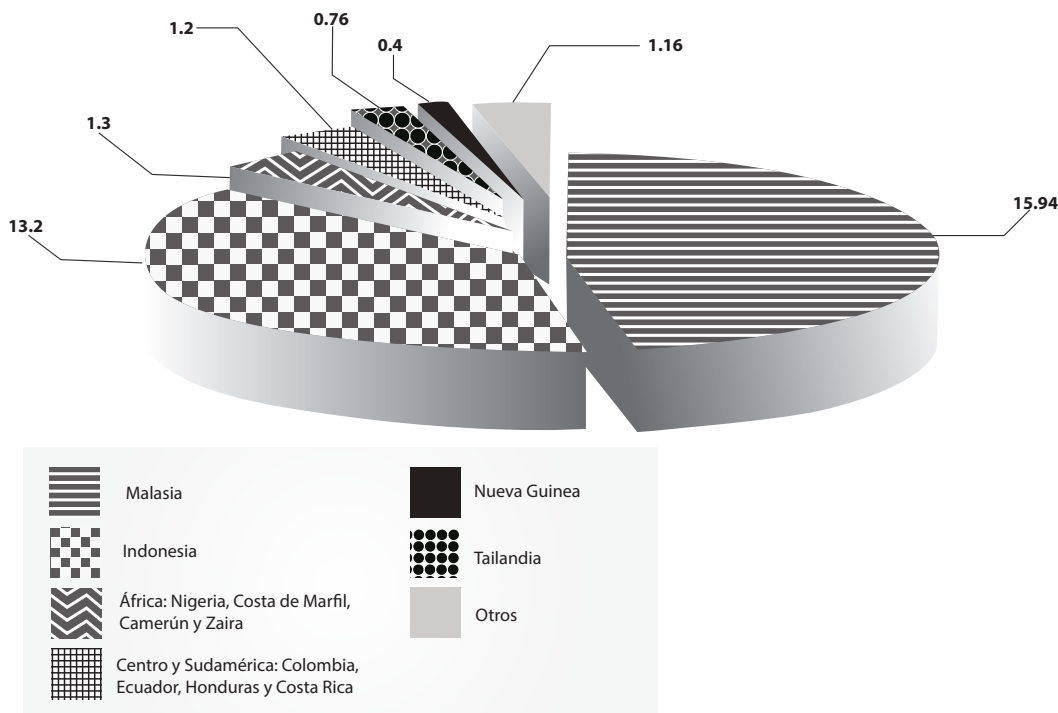


Figura 1.2 Principales productores y exportadores de aceite de palma en el periodo 2004/05. Datos en millones de toneladas métricas (MTM) (FAS-USDA, 2005)

Se puede señalar que el aceite de palma es un producto importado y consumido en un porcentaje significativo, por el mismo continente asiático. En conjunto, India, China, Paquistán, Singapur, Japón y Hong Kong importaron el 45.8% de las importaciones mundiales. Con respecto al consumo la situación es similar, ya que en conjunto los países de Indonesia, China, Malasia, Paquistán y Tailandia han consumido el 51.6% del total mundial (Cuadro 1.2), lo que significa que la mitad de las importaciones y consumo del aceite de palma se concentra en la región de Asia (Ortega y Ochoa, 2003; Gunstone, 2003).

1.3.2 Importancia económica en México

Siendo la segunda nación más poblada en Latinoamérica, México es un importante consumidor de grasas y aceites en la región, utilizando más de 2 millones de toneladas métricas anualmente. Nuestro país es deficitario en la producción de semillas oleaginosas, de ahí que se tenga que importar una gran cantidad de éstas para satisfacer la demanda de la industria aceitera y los 22 Kg per cápita utilizados anualmente (INFORM, 1999).

Cuadro 1.2

Países importadores y consumidores de aceite de palma en el mundo durante el año 2003

Principales países importadores	%	Principales países consumidores	%
India	19.4	Indonesia	14.9
China	11.3	India	13.6
Paquistán	7.6	China	7.9
Países Bajos	5.4	Malasia	7.4
Reino Unido	3.9	Paquistán	5.4
Alemania	3.6	Nigeria	4.3
Egipto	3.2	Reino Unido	2.6
Singapur	2.9	Tailandia	2.4
Japón	2.6	Egipto	2.3
Hong Kong	2.0	Alemania	2.1
Otros	38.0	Otros	37.2

Fuente: Ortega y Ochoa, 2003; Gunstone, 2003

La demanda nacional anual de aceite de palma es de aproximadamente 186,000 toneladas y en 2002 solamente se produjeron 33,000 toneladas, lo que implica que más del 80% del aceite de palma que se consumió se importó de otros países.

Es por ello que la generación de alternativas en la producción de plantas oleaginosas representa importantes esfuerzos con el fin de reducir la dependencia con el extranjero. Este es precisamente el caso de la palma africana (Ortega y Ochoa, 2003; SAGARPA, 2003a).

1.3.3 Importancia económica en Tabasco

A diferencia de otros cultivos agroindustriales cuya producción puede consumirse en fresco, la fruta de palma de aceite solo tiene una vía de comercialización, la de ser procesada en una industria para extraerle aceite. Por lo que el consumidor de la fruta fresca es invariablemente una industria extractora.

En el estado de Tabasco no existe un consumo final directo de algún derivado de aceite de palma, solo existe una industria establecida en Jalapa. "Productores de Aceite de Palma de Jalapa, S. A. de C. V.", esta industria extrae el aceite crudo de la Fruta Fresca de palma de aceite y lo venden a refinadoras en otros estados del país, ya que no existe una Planta de este tipo en Tabasco. Además de la extracción artesanal realizada por productores locales del estado, los cuales utilizan el poco aceite extraído de esta forma para su consumo personal.

Para el año 2005 de un total de 8,392 toneladas anuales de producción de rff (racimos de fruto fresco), la Planta de Jalapa acopiaba un alto porcentaje de la producción de la zona de los módulos centro-sierra, dependiendo de la capacidad financiera que en su momento tuviera para tal efecto.

Actualmente no se llevan a cabo actividades de exportación del aceite crudo de palma hacia otros países. Tabasco posee el precio más competitivo del mercado para el aceite crudo de palma africana por ser el más bajo, cuestión que seguramente cambiará al instalar una planta extractora en el módulo de los ríos que incremente la demanda local y disminuya los costos de arrastre de fruta hacia otros estados (Montoya-Villanueva, 2005).

1.4 Usos del aceite crudo de palma

1.4.1. Usos alimenticios

En África Occidental y en países del oriente medio, Centro y Sudamérica, el aceite de palma aún se consume en su estado crudo, como un componente de la dieta tradicional, contribuyendo a un color y sabor característico de los alimentos. El consumo del aceite crudo asegura el aprovechamiento de una serie de compuestos benéficos para la salud, los cuales son eliminados cuando se refina completamente (Berger, 2003).

El aceite de palma es usado popularmente tanto en su estado sólido como en su forma líquida, especialmente en las aplicaciones de freído industrial. Ofrece varias características técnicas deseables en las aplicaciones alimenticias, tales como resistencia a la oxidación, lo cual contribuye a una vida de anaquel más prolongada en los productos finales (MPOB, 2003).

Las nuevas aplicaciones del aceite de palma en los alimentos incluyen su utilización en polvos basados en emulsiones y alimentos para el consumidor tales como margarinas líquidas, mayonesas, sopas, imitación de queso y el aceite de palma microencapsulado. Asimismo, se produce un aceite/oleína rojo de palma el cual ha sido introducido en muchos lugares como aceites de cocina o para ensaladas muy saludables, con elevados contenidos de carotenos y vitamina E (Jalani y Ahmad, 1997; MPOB, 2003).

También se han diseñado sistemas de alimentación animal basados en la palma africana, utilizando los subproductos resultantes del proceso de extracción del aceite, el aceite crudo y el fruto entero (Ocampo, 1994a). Estos productos son apropiados como ingredientes alimenticios mayores o menores para rumiantes, equinos, así mismo para animales monogástricos como pollos, gallinas o cerdos (Pantzaris, 2000), y para la alimentación de peces (Ng, 2002).

1.4.2. Usos no-alimenticios

Los productos del aceite de palma también tienen una amplia aplicación en el sector no-alimenticio, especialmente en la producción de jabones y detergentes, productos farmacéuticos, cosméticos y productos oleoquímicos (Pantzaris, 2000).

Debido a su similitud en la composición de ácidos grasos, el aceite de palma y de palmiste ofrecen una buena y competitiva alternativa al aceite de coco y a la manteca de origen animal respectivamente como material crudo para la elaboración de jabón. Una ventaja añadida de utilizar productos a partir del aceite de palma en tales aplicaciones es su biodegradabilidad, contribuyendo de esta forma con el sostenimiento ambiental (Jalani y Ahmad, 1997; MPOB, 2003). En el Cuadro 1.3 se enlistan los productos alimenticios y no-alimenticios más importantes del aceite de palma y sus derivados encontrados en la literatura (Jalani y Ahmad, 1997; Pantzaris, 2000; MPOB, 2003).

Cuadro 1.3

Principales productos alimenticios y no alimenticios del aceite de palma y sus derivados

Aceite de Palma y derivados	Productos alimenticios	Productos no alimenticios
Aceite de palma crudo	<ul style="list-style-type: none"> • Aceite para cocinar • Microencapsulado 	<ul style="list-style-type: none"> • Jabones • Glicerol • Ácidos grasos • Biodiesel (directo) • Ésteres de metilo (combustible)
Aceite de palma RBD (Refinado, Blanqueado, Deodorizado).	<ul style="list-style-type: none"> • Margarinas • Aderezos • Vanaspati (India) • Grasas para freído • Grasas de panadería • Helados • Confitería • Mayonesas 	<ul style="list-style-type: none"> • Epoxidizado (estabilizante de plásticos) • Poliuretanos
Oleína de palma RBD	<ul style="list-style-type: none"> • Aceite para cocinar y freír • Aderezos • Mantecas • Margarinas • Repostería • Panadería 	<ul style="list-style-type: none"> • Plastificador y estabilizante de plásticos • Poliuretanos
Estearina de palma RBD	<ul style="list-style-type: none"> • Aderezos • Mantecas • Margarinas • Vanaspati • Confitería 	<ul style="list-style-type: none"> • Jabones • Surfactantes • Detergentes • Lociones y cremas • Plásticos • Lubricantes • Textiles • Velas y Ceras • Ácidos grasos • Ésteres de metilo • Tintas de impresión • Pinturas y barnices • Bactericidas y Fungicidas
Fracción Media de Palma	<ul style="list-style-type: none"> • Sustituto de manteca de cacao. • Grasas de repostería • Grasas no lácteas 	

1.5 Estudios y aplicaciones del aceite crudo de palma en el estado de Tabasco

Desde la introducción de la palma de aceite al Estado de Tabasco, se ha desarrollado investigación, concerniente al cultivo, se logró concretar el proyecto de la instalación de la Planta extractora de aceite crudo de palma africana en el Municipio de Jalapa, Tabasco y las investigaciones se dirigieron al aceite crudo, considerando principalmente el potencial como fuente de provitamina A y vitamina E, además de los beneficios que se le atribuye a la salud como anticarcinogénico, antioxidante y como factor en la disminución de aterosclerosis.

Velázquez-Martínez y Gómez-Vázquez (2010), reportan resultados obtenidos de las investigaciones realizadas con el cultivo de palma africana y el aceite crudo en el Estado de Tabasco, generados por investigadores de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y el Colegio de Posgraduados Campus Tabasco, con financiamiento de la Fundación Produce Tabasco A. C. Los resultados son diversos enfocados al cultivo de palma africana, el aceite crudo de palma africana y los sub productos obtenidos de la extracción del aceite crudo. Referente al cultivo los resultados presentados están enfocados a la fertilización NPK; con respecto al aceite crudo de palma los resultados exhibidos son: el valor nutricional de aceite crudo producido en el Estado (perfil de ácidos grasos y concentraciones carotenoides y tocoles), el estudio de las fracciones de estearina y oleína del aceite, el perfil de sabor del aceite (evaluación sensorial) y otros estudios relacionados con el uso de la fibra de la palma de aceite utilizado en la alimentación de cerdos y ganado bovino.

1.5.1 Salchichas para asar con sustitución de la grasa de cerdo por estearina de aceite crudo de palma africana

La mayoría de los productos cárnicos procesados contiene en su formulación concentraciones altas de grasas saturadas, por lo que muchas veces su consumo se ve restringido por cuestiones de salud. Una alternativa para reducir y mejorar el balance de ácidos grasos es la incorporación de grasas o aceites de origen vegetal (Rueda-Lugo *et al.*, 2006) Se han realizado numerosos estudios para sustituir la grasa de cerdo por el aceite de olivo, aceite de semilla de soya, aceite de girasol, de semilla de algodón, etc., estas sustituciones han ayudado a la disminución de colesterol y al aumento de los niveles de ácidos oleicos y linoléico (Muguerza *et al.*, 2002) los cuales son ácidos grasos esenciales y se les atribuyen beneficios a la salud, principalmente como protectores del sistema cardiovascular, ya que reducen los niveles de colesterol total y triglicéridos, reduciendo el riesgo de la formación de coágulos. La estearina del aceite crudo de palma africana es una alternativa para este tipo de productos ya que cuenta con un balance adecuado de ácidos grasos saturados e insaturados, además de considerables cantidades de vitamina A y E, por otro lado existe la importancia de evaluar la aceptación de productos nuevos que ofrecen beneficios a la salud que además de ser nutritivos.

1.5.1.1 Materiales y métodos

Obtención de estearina

La estearina se obtuvo por medio de “fraccionamiento seco”, calentando el aceite a 90°C, posteriormente se dejó reposar por 24 horas a 29°C; una vez formado los cristales de estearina, esto se separa por filtración (Figura 1.3).

Perfil de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos se determinó de acuerdo a los Métodos Oficiales de la AOCS (American Oil Chemistry Society).

Elaboración del producto cárnico

El embutido se elaboró de acuerdo a la formulación descrita en la Cuadro 1.4, sustituyendo la grasa de cerdo en un 25, 50 y 100%, a la par se elaboró un testigo sin sustitución.

Cuadro 1.4

Formulación de salchichas para asar

Ingredientes	Porcentaje
Carne magra de cerdo	750
Grasa de cerdo	250
Sal	25
Almidón de papa	20
Condimento para jamón	15
Azúcar	3
Pimienta blanca	2
Cura premier	2
Cebolla en polvo	1
Nuez moscada	1

Prueba de aceptación

El diseño del cuestionario se dividió en dos partes: la primera para conocer las expectativas del consumidor hacia un producto con disminución en la grasa animal y con adición de pro-vitamina A y vitamina E como parte integral de la estearina y la segunda para determinar el grado de aceptación del producto.

Los atributos a evaluar fueron descritos a los consumidores: color, característico de acuerdo al producto; sabor, gusto salado característico percibido al paladar; dureza, resistencia de la muestra a la fuerza ejercida al corte o masticada; jugosidad, humedad residual de la muestra y, aceptación general, la apreciación global de los atributos evaluados. Las muestras (3-5 g) se sirvieron a temperatura ambiente y se solicitó al panelista que evaluara cada atributo marcando sobre una línea (escala no estructurada) de 10 cm de largo su apreciación de acuerdo a la escala de: me gusta muchísimo o me desagrada muchísimo.

1.5.1.2 Resultados

Perfil de ácidos grasos de la estearina de aceite crudo de palma

En el Cuadro 1.5, se puede observar que las fracciones de oleína y estearina obtenidas a partir del aceite crudo de palma cuentan con perfil de ácidos grasos y sin ácidos grasos trans lo cual hace a la estearina adecuado para el consumo humano y con características para ser usadas en la elaboración de margarinas o como grasa y manteca vegetal, también se puede sustituir la manteca de cacao.

Cuadro 1.5

Perfil de ácidos grasos de la oleína, estearina y aceite crudo de palma

Ácidos grasos	Oleína %	Estearina %	Aceite crudo de Tabasco %
Palmítico	38.77±1.82	53.47±1.03	45.89
Esteárico	5.68±1.21	5.94±0.93	4.63
Oléico	41.18±1.76	30.27±1.06	34.97
Linoléico	10.28±1.23	6.56±2.17	10.17
Araquidónico	0.95±0.31	0.16±0.06	0.29
Linolénico Cis	0.54±0.22	0.46±0.14	0.45
Mirístico	1.08±0.11	1.80±0.17	1.74
Trans isómeros	0	0	0
Saturado	46.49	61.38	52.55
Insaturado	51.99	37.29	45.59

Prueba de aceptación del producto con sustitución de grasa de cerdo por estearina

Se reclutó un total de 46 personas, como panel no entrenado entre alumnos y personal de la Institución, con edades entre los 19 y 45 años. En la primera parte de la prueba el 98 % de los consumidores reconoció que consume productos cárnicos, y de estos solo el 49 % sabían de la adición de grasa de cerdo extra a los productos. Sin embargo el 96 % mostró interés por un producto cárnico al cual se le sustituyera la grasa animal por grasa vegetal y que contará con vitamina A y vitamina E, por los beneficios a la salud. En el Cuadro 1.6, las calificaciones promedio de los atributos evaluados estuvieron por encima de la media de aceptación (valor de 5 en la escala). Así mismo estos resultados reflejan que los atributos evaluados (color, sabor, dureza, jugosidad y global), para el producto con la sustitución al 100% fue indiferente, por otro lado los productos con sustituciones de 25 y 50% obtuvieron calificaciones globales de 7.88 y 7.61 respectivamente, las calificaciones del resto de los atributos fueron muy similares, la muestra testigo tiene un promedio de 9.1 considerando que los valores 7, 8 y 9 asignados en la escala corresponden a *me gusta moderadamente*, *me gusta mucho* y *me gusta demasiado* respectivamente por lo que podemos decir que en general los productos de 25 y 50% tuvieron una aceptación entre *me gusta moderadamente* y *me gusta mucho*.

Cuadro 1.6

Valores de aceptación de salchichas para asar con diferentes sustituciones de la grasa de cerdo por estearina de aceite crudo de palma

Salchichas para asar				
Atributos	Testigo	25%	50%	100%
Color	8.48±2.17	8.50±2.43	7.10±2.45	6.24±2.86
Sabor	9.08±1.35	8.41±2.21	7.37±2.43	6.85±2.97
Dureza	8.36±2.03	7.97±1.94	7.47±2.23	7.14±2.64
Jugosidad	9.26±2.05	8.70±2.15	7.64±2.44	6.76±2.87
Global	9.12±1.81	7.88±2.47	7.61±2.55	6.81±3.03

1.5.2 Uso de harina de kernel de palma de aceite como fuente energética-proteica en el desarrollo de ovejas de pelo

La rentabilidad de una empresa ovina esta determinada por sus parámetros productivos así como por su eficiencia reproductiva. Uno de los factores de mayor impacto sobre el comportamiento reproductivo en ovejas y otros animales domésticos es el estatus nutricional. Esta bien documentado que un aporte nutricional deficiente impacta la edad a la pubertad, condición corporal de la hembra, desarrollo folicular, éxito reproductivo y viabilidad embrionaria, tasa de preñez, peso al parto, tipo de parto, peso del cordero al nacimiento y habilidad materna (Rhind *et al.*, 1989; Martin y Walken-Brown, 1995; Scaramuzzi *et al.*, 2006). Estos procesos demandan un aporte de energético alto y se espera que la fuente de alimentación tenga la calidad para suministrarlos. De lo contrario la vida productiva de la madre y su progenie se pone en riesgo (Scaramuzzi *et al.*, 2006), sobre todo en ovejas primíparas. Sin embargo, debido a la crisis energética, muchos países están canalizando parte de sus excedentes de granos a la producción de etanol (Agro Región, 2007) reduciendo su uso para la alimentación animal o la exportación. Lo anterior ha llevado al desabasto y encarecimiento de la materia prima para la elaboración de suplementos y alimentos comerciales. Como consecuencia se han incrementado los costos de producción y reducido las ganancias marginales, resultando los pequeños y medianos productores los más afectados (Chávez, 2008). De acuerdo con la SAGARPA (2003) en el sureste mexicano existen actualmente 40,000 ha de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) destinadas principalmente a la extracción de aceite (Ocampo, 1994a, 1994b, Pantzaris, 2000). No obstante, se generan subproductos tales como la harina de kernel de palma (HP), que en otras latitudes, y en menor escala en México se ha venido usando principalmente en la alimentación animal (Umunna, 1980; Mustaffa *et al.*, 1987; Shamshuddin *et al.*, 1987; Chin, 2001; Chin, 2002). Por ejemplo en Malasia un estudio desarrollado por Chin (1991) con vacas lecheras cruzadas Sahiwal-Friesian reportó hasta un 64.5% de inclusión en la dieta en sustitución de granos y fuentes proteicas. Carvalho *et al.* (2006) en vacas Holstein reportaron niveles de producción y consumos de materia seca similares con contenidos de HP hasta del 15% de la dieta total, y a qué niveles provocaban rechazo. Este mismo comportamiento fue reportado por Spörndly y Åsberg (2006) para el caso de vaquillas lecheras.

La mayor parte de la investigación se ha realizado en ganado bovino; mientras que para el caso de ovejas no hay reportes de las respuestas en ganancias de peso o tasas de crecimiento con la adición de HP. Además, aunado a la necesidad de buscar alternativas económicas y biológicas viables para la sustitución de granos, hace necesaria la investigación en este sentido para resolver la problemática planteada.

Se sabe que un adecuado plano de nutrición es un componente importante en la respuesta de los animales al parasitismo, afectando el desarrollo y establecimiento de los parásitos y también influyendo la magnitud de sus efectos patogénicos (Krecek y Waller, 2005). La incorporación en la dieta de proteínas de alto valor biológico puede influir en la resistencia o tolerancia del huésped a la infección parasitaria, afectando favorablemente el grado de expresión de la respuesta inmune en estas fases (Gasbarre y Miller, 2000). Sin embargo experimentos recientes han demostrado que la suplementación con energía puede mejorar tanto la resiliencia como la resistencia en corderos (Aguilar-Caballero *et al.*, 2005).

El primer objetivo fue determinar la composición bromatológica y digestibilidad *in vitro* de la harina de kernel de palma y de dietas con diferentes niveles de inclusión de HP. Un segundo objetivo fue evaluar a través de las ganancias diarias de peso y condición corporal el desarrollo de ovejas de pelo complementadas con cuatro niveles de inclusión de HP en dietas isoenergéticas e isoproteicas. El tercer objetivo fue para determinar a través de un análisis económico el nivel de inclusión que permite maximizar las ganancias y obtener la mejor respuesta productiva. El cuarto objetivo fue evaluar el efecto de la suplementación energética y proteica sobre la resistencia a parásitos a través del conteo de huevos en heces fecales y su relación con la ganancia de peso, CC, índice FAMACHA, hematocrito y hemoglobina en ovejas de pelo.

1.5.2.1 Materiales y Métodos

Ubicación. El experimento de campo se realizó en las instalaciones de la posta de producción ovina de la UJAT en la División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA), ubicada en la Ranchería Huasteca 2da. Sección municipio de Centro, Tabasco. En el Km. 25 de la carretera federal 195 tramo Villahermosa-Teapa. Se localiza a 17° 46' 33.9", 17° 47' 18.8" latitud norte y 92° 57' 9.0", 92° 57' 56.6" longitud oeste y ocupa una superficie de 93 hectáreas (Cámara-Córdova *et al.*, 2008).

Animales. Se trabajó con hembras Black Belly y Pelibuey al destete con peso 11.72 ± 0.33 kg y 3 meses de edad, destetadas entre los meses de octubre y noviembre del 2007, y con condición corporal promedio de 1.71 ± 0.07 (1= emaciada, 5= obesas; Suiter, 1994). Las corderas se pesaron y calificó su condición corporal al inicio y posteriormente cada 15 d. Al alcanzar los 18 kg de peso, se inicio a monitorear diariamente la presentación de estros por la mañana y tarde utilizando un macho con peto como señalador, y realizar evaluación de la actividad ovárica puberal por ultrasonografía transrectal mediante un ultrasonido SONOVET y transductor de 6.5 MHz.

Diseño de Tratamientos. Se trabajó con un diseño de tratamiento con estructura por gradiente. Los tratamientos consistieron en dietas balanceadas isoenergéticas a 3Mcal/kg⁻¹

e isoproteicas a 20% de PC en BS con niveles de inclusión de HP (Cuadro 1.7) de 0%, 15%, 30%, 45% y un tratamiento de solo pastoreo más sales minerales *ad libitum* (HP0, HP15, HP30, HP45 Y PASTO; n=9 repeticiones por tratamiento). Las dietas fueron balanceadas de acuerdo a los requerimientos nutricionales de las ovejas según el NRC (National Research Council, 2000; Cuadro 1.7). Las ovejas tuvieron un período de adaptación a las dietas de 10 días, en los cuales se estimó y ajustó el consumo. El suplemento se proporcionó individualmente por la tarde (1700 h) en corral, iniciando con 300 gr.animal⁻¹ día⁻¹ por 56 días y posteriormente ajustada a 500 gr. animal⁻¹ día⁻¹ por otros 56 días. Las ovejas de PASTO, recibieron sales minerales y pasto henificado en corral.

Todas las ovejas pastorearon por las mañanas en praderas de dimensiones conocidas pobladas con estrella de África, remolino y zacate nativo, con tiempo de ocupación no mayor a tres días. El consumo del pasto se determinó calculando la diferencia entre la disponibilidad de materia seca a la entrada y salida de los animales a la pradera. El experimento se condujo por 112 días entre los meses de noviembre de 2007 y marzo de 2008, difiriendo el inicio de los tratamientos por 30 días debido a que no se contaba con el número de animales.

Cuadro 1.7

Ingredientes incluidos en las dietas de complemento para el desarrollo de ovejas.

Ingredientes	HP0 % BH	HP15 % BH	HP30 % BH	HP45 % BH
Maíz	33.00	35.80	12.40	8.30
Melaza	7.00	6.00	6.00	6.00
Pulido De Arroz	18.00	9.10	15.00	3.80
H. Carne	3.00	3.00	3.00	4.00
Urea	0.10	0.10	0.10	0.00
Carbonato De Calcio	0.40	0.50	0.60	0.50
Cascarilla De Arroz	0.20	0.00	0.00	0.00
Cascarilla De Soya	3.20	0.00	5.00	0.00
Cebo Animal	1.00	0.00	0.00	0.00
Pasta De Soya	22.40	22.80	20.00	20.70
Salvado De Trigo	10.00	6.00	6.20	10.00
Palmiste	0.00	15.00	30.00	45.00
Vitaminas Y Minerales	1.30	1.30	1.30	1.30
Sal Blanca	0.40	0.40	0.40	0.40
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
\$ KG B H	\$3.03	\$2.83	\$2.56	\$2.42

Análisis Bromatológico de Harina de Kernel de Palma, Pasto y Dietas de Complemento. Para evaluar los diferentes niveles de inclusión de la HP sobre del desarrollo posdestete y ganancia de peso de ovejas, se caracterizó la composición bromatológica en cuanto a humedad (H), materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), fibra cruda (FC), extracto libre de nitrógeno (ELN) y cenizas de la HP, pasto, así como las diferentes dietas que se usaron para su suplementación en cada tratamiento por el método macro Kjendahl. De igual forma para cada uno de los componentes de la dieta mencionados anteriormente, se determinó la fibra detergente ácida y la digestibilidad *in vitro* por el método de Van Soest. Todos los análisis se corrieron por triplicado y fueron realizados en el Laboratorio de Bromatología de la Universidad Autónoma de Chapingo en Texcoco.

Efecto de Diferentes Niveles de Inclusión de HP Sobre el Desarrollo de Ovejas de Reemplazo. Las variables que se evaluaron fueron la ganancia diaria de peso (GDP), peso promedio a los 112 días de prueba, CC, conversión alimenticia (CA) y eficiencia en la utilización del alimento (EUA). **Diseño experimental y análisis estadístico.** Las ovejas fueron asignadas a los tratamientos (HP0, HP15, HP30, HP45 y PASTO) bajo un diseño experimental de bloques al azar, considerando como bloque la condición corporal inicial (Bloque 1= ≤ 1.5 y Bloque 2= > 2). Para determinar la respuesta de los diferentes tratamientos sobre el peso promedio final, la información fue analizada bajo un modelo de regresión por el procedimiento REGRESSION de MINITAB (MINITAB 13.2, 1995), donde se consideraron las variables independientes bloque, periodo (cada 15 d) y CC. Adicionalmente, las variables GDP, CA y EUA fueron analizados bajo un modelo mixto mediante el procedimiento MIXED de SAS (SAS, 2000), donde se consideraron los efectos fijos de tratamiento y periodo, así como su interacción y, los efectos aleatorios de oveja dentro de tratamiento y bloque, además se realizó contrastes ortogonales para detectar diferencias entre tratamientos y la interacción tratamiento por periodo.

Análisis del Óptimo Económico y Niveles de Inclusión de HP. Se realizó un análisis económico donde además de evaluar la utilidad, se determinó la optimización de la utilización de los insumos a través del análisis marginal y de sustitución de insumos, información requerida para la toma de decisiones económicas de empresas pecuarias, mismas que aumentan la competitividad y la mejor utilización de recursos. Para la realización del análisis económico, se tomaron como referencia los resultados obtenidos del análisis productivo en la primera parte de este estudio.

Los parámetros que se calcularon fueron los siguientes:

1. Ganancia de peso total del periodo (GPTP) se obtuvo de restar el peso inicial promedio del peso final promedio de cada tratamiento.
2. Costo de la desparasitación. Se multiplicó el costo de la dosis por el número de dosis aplicadas a los animales en cada tratamiento.
3. Consumo total de alimento (CTA), resultó de multiplicar la cantidad diaria promedio suministrada ($400 \text{ gr}^{-1} \text{ d}^{-1}$) por el número de días (112).
4. Costo del alimento consumido (CAC) que se obtuvo de multiplicar los kg consumidos por el costo del kg de alimento.
5. Costo del alimento por kg aumentado (CoA). Se obtuvo de dividir CAC entre GPTP.
6. Utilidad. Se obtuvo restando el costo del alimento consumido (CAC) de los ingresos calculados. Los Ingresos se calcularon multiplicando los kg de peso aumentados por el precio de venta del kg de carne (\$24.00 kg)

7. Nivel óptimo de insumos. Se obtuvo a través del análisis marginal, el cual evalúa los cambios que habrán de surgir como consecuencia de un cambio en uno o mas factores que están bajo su control (Kay, 1986). Para obtener el nivel óptimo de insumos se utilizó el valor del producto marginal (VPM) y el valor de costo marginal de insumos (CMI). El nivel de insumos en el que se maximizan las utilidades habrá de ser aquel en que el **VPM = CMI**

$$\text{VPM} = \Delta \text{ valor de producto total} / \Delta \text{ nivel de insumo}$$

$$\text{CMI} = \Delta \text{ total de costo de insumo} / \Delta \text{ nivel de insumo}$$

Se utilizó la Razón de Sustitución = cantidad del insumo reemplazado / cantidad de insumo agregado y la Razón de Precio = precio del insumo que se añade / precio del insumo reemplazado.

Suplementación energética - Proteica y Resistencia Parasitaria. El conteo de huevos por gramo de heces (hgh) se hizo por flotación mediante de McMaster, tomando como muestra 10g de heces de recto de las ovejas a intervalos de 15 d. El hematocrito (Ht, microhematocrito) y la hemoglobina (Hb, hemoglobímetro de Spencer) se determinó tomando 5 mL de sangre con anticoagulante cada 15 d. El índice FAMACHA® consistió en evaluar la coloración de la conjuntiva del ojo en escala 1 a 5, donde 1 y 2 corresponden a la tonalidad más oscura y definen a los animales más saludables, que no requieren desparasitación; los niveles 4 y 5 revelan animales que se encuentran en un grado de anemia riesgoso y el tratamiento es inevitable. **Variables medidas.** Se analizaron el índice FAMACHA®, Ht, Hb y hgh de nematodos gastrointestinales (NGI) y coccidias (Cocc), de acuerdo al siguiente criterio: leve, <200 hgh; moderado, 201 a 400 hgh; grave >401 hgh. **Diseño experimental y análisis estadístico.** La información fue analizada por análisis de varianza bajo un modelo de bloques al azar, considerando como bloque la CC al inicio del experimento (Bloque 1= ≤ 1.5 y Bloque 2= > 2). Se usó un modelo de regresión logístico por el procedimiento REGRESSION de MINITAB (MINITAB 13.2, 1995), considerando las variables mencionadas y su efecto sobre la variable categórica de respuesta desparasitación (si o no). Adicionalmente se realizaron correlaciones múltiples por el procedimiento CORRELATION del mismo paquete.

1.5.2.2 Resultados y discusión

Análisis Bromatológico de la HP, Pasto y Dietas de Complemento. Los resultados obtenidos para el pasto tropical pastoreado por las ovejas, durante el experimento, la HP usada en la inclusión en las diferentes dietas y las dietas mezclas para complemento se presentan en el Cuadro 1.8. Al comparar el contenido de proteína de los pastos tropicales pastoreados se encontró que el contenido de proteína fue similar al reportado por Tejada *et al.* (1977) con 8.6% PC para estrella de África y 10.7% para grama amarga. El contenido de FC reportado para estos dos pastos es menor con 29.5 y 26.8% respectivamente. Para el caso de la HP, el contenido de PC encontrado fue de 9.5% diferente al 13 - 16% reportado por la empresa PALMA TICA (comunicación personal). De la misma forma el contenido de grasa encontrado fue de 6.39% menor al 8% reportado por la misma empresa. El contenido de FDN encontrado fue de 58.06% menor al 60 - 73% reportado por PALMA TICA. Otro dato importante es la digestibilidad encontrada de 41.93%, comparable con la de la muestra de pasto tropical de 49.4%. Lo anterior se debe al alto contenido de fibra componente natural de la HP, la cual está relacionada directamente con la digestibilidad y aprovechamiento de los carbohidratos disponibles por los microorganismos ruminales.

Cuadro 1.8

Análisis proximal (base seca) del pasto, hp y dietas usadas en el desarrollo de ovejas de reemplazo

Componentes	Pasto fresco	Harina palmiste	HP0	HP15	HP30	HP45
	%	%	%	%	%	%
Materia Seca (MS)	39.66 ± 4.0	90.66 ± .10	83.75 ± .04	86.21 ± .08	84.15 ± 1.3	87.74 ± .22
Cenizas (C)	10.37 ± .10	2.55 ± .04	8.41 ± .08	6.81 ± .06	7.90 ± .19	5.23 ± .05
Materia Orgánica (MO)	89.60 ± .10	97.40 ± .04	91.50 ± .08	93.1 ± .06	92.09 ± .19	5.20 ± .05
Proteína Cruda (PC)	10.37 ± .28	9.51 ± .41	21.20 ± .74	21.3 ± .01	23.30 ± .01	17.60 ± .46
Extracto Etéreo (EE)	3.11 ± .14	6.39 ± .14	2.80 ± .11	4.37 ± .17	2.42 ± .18	5.47 ± .15
Fibra Cruda (FC)	37.82 ± .14	30.40 ± .04	7.28 ± .03	11.14 ± .24	14.90 ± .31	21.53 ± .05
Extracto Libre de Nitrógeno (ELN)	32.76 ± .97	46.48 ± .46	50.48 ± .66	48.37 ± .22	43.94 ± .16	43.97 ± .66
Fibra Detergente Neutra (FDN)	50.60 ± 1.8	58.06 ± 1.8	17.23 ± .13	16.82 ± .79	22.20 ± 3.4	29.53 ± 2.0
Digestibilidad <i>in vitro</i> (DIV)	49.40 ± 1.8	41.93 ± 1.8	82.77 ± .13	83.18 ± .80	77.80 ± 3.4	70.47 ± 2.0

En términos generales los resultados de las variables bromatológicas evaluadas fueron similares entre las dietas HP0, HP15, HP30 y HP45; sin embargo es importante mencionar que las variaciones tales con el nivel de PC observadas pudieron deberse a que se tomó como referencia el contenido de PC de 13% para la HP referido por la empresa comercializadora. Es importante notar que el orden decreciente observado en la digestibilidad *in vitro* al incrementarse el nivel de inclusión de HP (Cuadro 1.8), lo cual nos indica que a mayores niveles de HP en la dieta la digestibilidad disminuye. Este hecho puede ser la explicación en las diferencias de comportamiento en las ganancias diarias de peso y la EUA que se abordaran más adelante.

Efecto de diferentes niveles de inclusión de HP dietas sobre el desarrollo de ovejas de reemplazo. Los resultados indican que las ovejas de los tratamientos HP0, HP15 y HP30 mostraron un crecimiento y ganancias de peso similar ($P > 0.05$; Cuadro 1.9) durante el periodo de 112 d de evaluación, lo cual indica que la HP ofrece una buena alternativa para ser usada en sustitución de granos. De acuerdo a la ecuación de regresión obtenida y a las medias calculadas, las ovejas del grupo complementadas de los tratamientos HP0, HP15 y HP30 mostraron un mejor comportamiento en su desarrollo ($P < 0.05$) comparado con HP45 y PASTO (Cuadro 1.9, Figura 1.5). Las GDP para HP0, HP15 y HP30 no fueron estadísticamente diferentes. La CC de las ovejas de los tratamientos HP0, HP15, HP30 y HP45 fueron diferentes a las de PASTO ($P < 0.05$).

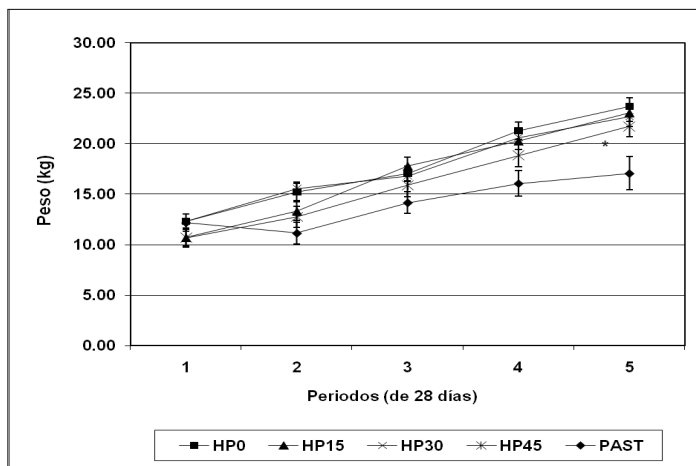
De acuerdo con información recopilada sobre análisis proximal de la HP, el contenido energético es similar a la del maíz y sorgo, y la PC 3% por arriba de los granos mencionados. Esto permite que la sustitución de HP por granos se haga en un porcentaje importante y que su efecto se vea reflejado sobre el desarrollo corporal, ganancias de peso y CC según los resultados obtenidos en este trabajo. La inversión que se realiza para acelerar el desarrollo de las ovejas asegura un buen comportamiento reproductivo al llegar a la pubertad a una edad más temprana, al incrementar los aportes de energía lo que además puede mejorar la tasa de ovulación y talla de folículos ovulatorios, además de incrementar la vida productiva, fertilidad y productividad de los animales (Mattos *et al.*, 2000, Boland *et al.*, 2001).

Cuadro 1.9

Peso, condición corporal, ganancias de peso, CA y EUA de ovejas desarrolladas con diferentes niveles de HP

Tratamiento	Peso inicial Kg ± EE	Peso final Kg ± EE	CC ¹ inicial	CC final	GDP ² Gr/d ± EE	CA ³ KgA/KgC	EUA ⁴ %
HP0	11.90 ± .12 ^a	24.23 ± .82 ^a	1.83 ± .14 ^a	3.1 ± .07 ^a	110.04 ± .88 ^a	5.96 ± .46 ^a	20.87 ± 1.8 ^a
HP15	11.55 ± .83 ^a	22.61 ± .84 ^a	1.50 ± .16 ^a	3.0 ± .15 ^a	101.59 ± .71 ^a	5.90 ± .31 ^a	18.86 ± 1.1 ^a
HP30	11.83 ± .22 ^a	23.78 ± .95 ^a	1.94 ± .15 ^a	3.1 ± .16 ^a	106.26 ± .72 ^a	5.95 ± .51 ^a	20.44 ± 1.5 ^a
HP45	11.11 ± .95 ^a	22.14 ± 1.0 ^a	1.44 ± .19 ^a	3.0 ± .15 ^a	99.03 ± .89 ^a	6.24 ± .57 ^a	18.64 ± 1.48 ^a
Pasto	12.22 ± .87 ^a	18.27 ± 1.6 ^b	1.88 ± .16 ^a	2.0 ± .22 ^b	42.84 ± .51 ^b	13.82 ± 4.0 ^b	8.09 ± .99 ^b

1 CC= condición corporal escala 1 a 5 donde 1= emaciada y 5= obesa; 2 GDP= ganancia diaria de peso; 3 CA= conversión alimenticia, Kg de alimento consumido por Kg de carne; 4 EUA= eficiencia en utilización del alimento. = P > 0.05; = P < 0.05.



Modelo de regresión para predicción de peso ($R^2= 78.6$) $PESO= 7.35 - 0.961 TRAT + 2.48 PERI + 1.43 CC - 0.297 TRAT*PERI+ 0.622 TRAT*CC$

Figura 1.3 Peso corporal predicho de ovejas de pelo complementadas con diferentes niveles de harina de kernel de palma (HP0, HP15, HP30 y HP45) y pastoreo

La cantidad de proteína y energía en las dietas no muestran diferencias importantes, lo cual indica que existe poca variación entre la dieta HP0 y las dietas HP15, HP30 y HP45 que incluyeron HP debido a que fueron elaboradas con la finalidad de obtener dietas isoenergéticas e isoproteicas (Cuadro 1.9). Por otra parte la gran proporción de paredes celulares no digeribles que contiene la HP ocasiona que conforme se incrementan los niveles de inclusión de HP en la dieta se incrementa en forma lineal el contenido de FC en las dietas experimentales de 0, 15 y 30 y 45% de HP (Cuadro 1.9). Resultados similares se reportan por Gómez *et al.* (2007) al elaborar dietas isoenergéticas e isoproteicas incluyendo niveles crecientes de HP (0, 10 y 20%), ya que se observó un incremento lineal en los niveles de FC.

Para el caso de la digestibilidad *in vitro* de las dietas experimentales mencionadas ocurrió lo contrario, ya que se observó que conforme se incrementaba la proporción de HP en las dietas, disminuyó el porcentaje de digestibilidad. Lo anterior se debe a que la HP contiene gran cantidad de paredes celulares que interfieren con los procesos enzimáticos para su digestión y se asemeja a la digestibilidad de los pastos tropicales (Stonaker, 1975; Stuart y Fundora, 1994; Peruchena, 1999).

Los rumiantes tienen el potencial para aprovechar nutrientes de alimentos fibrosos como la HP, a diferencia de los monogástricos que no son capaces de desdoblarlos (Wallace, 1994). Las plantas verdes son la base de la alimentación de los rumiantes, y se constituyen de hemicelulosa, celulosa, pectina y lignina que son polisacáridos de difícil desdoblamiento, pero ricos en energía potencial de bajo aprovechamiento (Desvaux *et al.*, 2001). La inclusión de 0, 15 y 30% HP mostraron una mejor GDP comparados con los tratamientos de 45% HP y PASTO lo cual indica que la HP puede incluirse hasta

en un 30% en las dietas para ovejas sin afectar negativamente la producción. En el caso de cerdos en finalización se determinó un 20% de inclusión HP con GDP y CA de dietas sin HP (Gómez *et al.*, 2007).

Los datos muestran que la conversión alimenticia (CA) y eficiencia en la utilización del alimento (EUA) fueron mejores ($P>0.05$) para los tratamientos que recibieron la inclusión de HP comparados con el tratamiento testigo (PASTO) y HP45 por lo cual, puede observarse que la inclusión de HP en la dieta de ovejas en crecimiento hasta en un 30% no influye negativamente sobre los parámetros productivos de las ovejas y por lo tanto es una fuente potencial de nutrientes que puede utilizarse satisfactoriamente en sustitución de los cereales comúnmente utilizados en la alimentación de estos animales.

Cuadro 1.10

Ganancia de peso total del periodo (GPTP), consumo total de alimento (CTA), costo del alimento consumido (CAC), costo del alimento por kg aumentado (CoA), ingresos y utilidad por oveja

	GPTP Kg C A	Costo Kg Alimento	CTA total Kg	CAC \$	CoA \$	Ingresos \$	Utilidad \$
HP0	12.33	3.03	45.00	135.74	11.00	295.92	160.18
HP15	11.37	2.83	45.00	130.40	11.46	272.88	142.48
HP30	11.95	2.56	45.00	115.20	9.64	286.80	171.60
HP45	11.03	2.42	45.00	108.90	9.87	264.72	155.82
Pasto	6.05	6.00 ¹	7.00	42.00	7.00	145.20	103.20

¹ Las ovejas de este tratamiento no consumieron alimento, sin embargo se les suministró mezcla de minerales *ad libitum* durante el mismo periodo.

Análisis del Óptimo Económico y Niveles de Inclusión de HP. Como se mencionó en el Cuadro 1.9 las GDP fueron similares entre las ovejas con suplementación y diferente con las de pastoreo. Sin embargo, de acuerdo al análisis realizado (Cuadro 1.10) los resultados indican que la dieta con 30% de HP (HP30) tiene la mejor utilidad, aunque la HP0 tiene la mejor ganancia de peso promedio (GPTP) y los mejores ingresos, pero a un mayor costo por lo que la utilidad es menor comparada con HP30.

En el Cuadro 1.11 se muestra el análisis marginal y punto óptimo donde se acercan mas el valor del producto marginal (VPM) y el costo marginal del insumo (CMI) está entre la dieta HP15 y HP30, el cual concuerda con el punto donde se obtiene la máxima utilidad que es el HP30.

Cuadro 1.11

Análisis marginal de la sustitución de granos por harina de palmiste en dietas usadas en borregas en desarrollo

Nivel de insumo de HP	Total de producto Kg	Producto físico marginal	Valor del producto total	VPM	CMI
HP0	12.33		295.90		
		-0.96		-23.02	1.4
HP15	11.37		272.88		
		-0.58		-13.92	1.4*
HP 30	11.95		286.80		
		- 0.92		- 22.08	1.4
HP 45	11.03		264.72		
Pasto			145.20		

* Entre estos dos puntos se encuentra el nivel de insumos de maximización de utilidades

Cuando la razón de sustitución es mayor que la razón de precio, el costo total de la ración alimenticia podrá reducirse al moverse a la siguiente ración mas baja del Cuadro 1.11. Lo contrario es cierto si la razón de sustitución es menor a la razón del precio. En cualquier problema de sustitución, la combinación de insumos de menor costo habrá de depender tanto de la razón de sustitución como de la razón de precio. Por lo tanto, como se muestra en el Cuadro 1.12 el nivel de inclusión sugerida estará entre la dieta HP15 y la dieta HP30, que es donde se maximizarán las utilidades. Con este resultado encontramos que desde el punto de vista económico, con el manejo, costos y precios de este trabajo se seleccionaría la dieta HP30. Sin embargo para mayor precisión se recomienda ensayar con mas niveles de inclusión entre la dieta HP15 y HP30 para encontrar el nivel que nos maximice la utilización del recurso HP.

Suplementación energética - Proteica y Resistencia Parasitaria. Los resultados de la relación entre el efecto de la complementación alimenticia sobre la resistencia parasitaria, se presentan en el Cuadro 1.13. En todos los casos los tratamientos que incluyeron suplementación mejoraron los indicadores de FAMACHA, Ht y Hb con respecto al valor inicial. Sin embargo para el caso de las ovejas que estuvieron solo bajo pastoreo, los indicadores mencionados disminuyeron con respecto a los iniciales. Lo anterior significa que los tratamientos que mayor resistencia a parásitos mostraron fueron los que incluyeron suplementación energética y proteica comparado con las ovejas que solo pastorearon (Cuadro 1.13) Esto respalda las conclusiones reportadas por Aguilar-Caballero *et al.* (2005) y Knox *et al.* (2005) en cual exponen que la suplementación energética-proteica incrementa la resistencia y resiliencia a parásitos gastrointestinales en cabritos y pequeños rumiantes.

Cuadro 1.12

Selección de ración alimenticia de menor costo

Nivel de inclusión	Maíz Kg/ton	Palmiste Kg/ton	Razón de sustitución	Razón de precio
HP0	214.5	0.0	0.0	2.0
HP15	179.0	75.0	2.38*	2.0
HP 30	62.0	150.0	0.41*	2.0
HP 45	41.5	225.0	0.18	2.0

Precio del maíz: \$2.8. Precio de la HP: \$1.4. * El nivel de sustitución óptimo se encuentra en algún punto entre niveles de sustitución mayor a HP15 y menor a HP30

Por otra parte, durante el tiempo de prueba se encontró una correlación de negativa de 0.231 entre el índice FAMACHA y Ht (Cuadro 1.14), el cual es bajo comparado con lo reportado por Bath *et al.* (2001) de -0.580. La diferencia pudo ser debido a la falta de entrenamiento y número de animales en los cuales se practicó la lectura del índice. Sumado a lo anterior, la correlación FAMACHA y Hb fue de -0.221, mientras que el conteo de hgh de NGI y la decisión de desparasitar fue de solo 0.139. Lo anterior indica que cuando no se tiene la experiencia suficiente para trabajar con el índice FAMACHA es importante asociar las lecturas con otros indicadores que evalúen la carga parasitaria y el índice de anemia tales como conteo de hgh y Ht.

Cuadro 1.13

Medias de variables de estado de salud de las ovejas de pelo complementadas y bajo pastoreo

	FAMACHA inicial	FAMACHA promedio	Ht inicial %	Ht promedio %	Hb inicial g.ml-1	Hb promedio g.ml-1	NGI hgh promedio	Desparasitación ¹
HP0	1.88 ± .11 ^a	1.60 ± .08 ^a	26.67 ± 1.0 ^a	30.17 ± .62 ^a	91.56 ± 2.2 ^a	100.92 ± 2.6 ^a	64.4 ± 23.4	.333 ± .07 ^a
HP15	1.33 ± .16 ^a	1.40 ± .07 ^a	31.33 ± .66 ^b	28.73 ± .62 ^a	90.11 ± 8.0 ^a	97.67 ± 2.2 ^a	122.4 ± 76.6	.200 ± .06 ^a
HP30	1.11 ± .11 ^a	1.64 ± .09 ^a	29.22 ± .67 ^a	28.44 ± .50 ^a	109.0 ± 3.2 ^a	99.92 ± 1.9 ^a	72.2 ± 18.2	.311 ± .06 ^a
HP45	1.22 ± .14 ^a	1.56 ± .09 ^a	27.78 ± 1.4 ^a	29.95 ± .54 ^a	97.33 ± 3.7 ^a	100.33 ± 2.6 ^a	280.0 ± 144	.333 ± .07 ^a
Pasto	1.44 ± .17 ^a	1.68 ± .08 ^a	28.78 ± 1.0 ^a	27.32 ± .75 ^b	100.3 ± 4.2 ^a	95.39 ± 2.4 ^b	317.0 ± 147	.520 ± .07 ^b

a, b= literales diferentes en columna indican diferencias estadísticas (P<0.05); Ht= hematocrito; Hb= hemoglobina; 1= El evento desparasitación se hacia (1) o no se hacia (0) dependiendo de la carga parasitaria y el índice FAMACHA.

Cuadro 1.14

Correlación de Pearson entre la ganancia diaria de peso, el índice famacha, ht, hb, strongylus y coccidiosis

	Peso	GDP	CC	Famacha	HT	HB	NGI	COCC
GDP	0.567							
P-VALUE	0.000							
CC	0.818	0.513						
P-VALUE	0.000	0.000						
FAMA	-0.381	-0.337	-0.430					
P-VALUE	0.000	0.000	0.000					
Ht	0.057	0.061	0.062	-0.231				
P-VALUE	0.402	0.371	0.365	0.001				
Hb	0.051	-0.055	0.063	-0.221	0.349			
P-VALUE	0.486	0.454	0.389	0.002	0.000			
NGI	-0.153	-0.146	-0.156	0.096	-0.085	-0.174		
P-VALUE	0.024	0.031	0.021	0.158	0.215	0.017		
COCC	-0.216	-0.195	-0.202	0.161	0.085	-0.024	0.494	
P-VALUE	0.001	0.004	0.003	0.018	0.213	0.747	0.000	
DESP	-0.564	-0.512	-0.547	0.247	0.062	0.005	0.139	0.052
P-VALUE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.368	0.950	0.041	0.448

1.6 Conclusiones

El perfil de ácidos grasos y consistencia de la estearina son adecuados para considerarla como aditivo alimentario para mejorar textura y para la elaboración de mantecas y margarinas, en ambos casos el aporte de vitaminas A y E es importante. Las diferentes sustituciones de la grasa de cerdo por estearina del aceite crudo de la palma Africana modificó las características de color de los productos finales, dándole el color característico de la estearina (amarillo-naranja). Los productos con sustituciones del 25 y 50%, tuvieron una aceptación entre me gusta moderadamente y me gusta demasiado, la muestra testigo tuvo un promedio de 8.9, es probable que los resultados de los atributos evaluados se vean afectados por la formulación, y se concluye que al mejorar la formulación se cambie el agrado de la muestra testigo y al mismo tiempo se mejoren los promedios obtenidos en los productos de 25, 50 y 100%.

Por otro lado no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos HP0, HP15 y HP30 para peso y GDP. Sin embargo como es de esperarse se observaron diferencias de los tratamientos anteriores con las ovejas que solo pastorearon. Por lo tanto, es posible sustituir hasta un 30% de granos con la HP con resultados similares, pero a un costo menor. Las ventajas de la suplementación alimenticia de ovejas después del destete garantizan que se alcance la pubertad a una edad más temprana, se mejore el comportamiento productivo y reproductivo. Desde el punto de vista económico, con el manejo, costos y precios de este trabajo se seleccionaría la dieta HP30. Es conveniente realizar estudios que incluyan niveles de inclusión entre 15 y 30% de HP para determinar el nivel de inclusión de HP óptimo. Se observaron diferencias de ganancia y la resistencia o menor infestación entre las ovejas suplementadas comparadas con las de PASTO. Las ventajas de la suplementación alimenticia de ovejas después del destete garantizan que se alcance la pubertad a una edad más temprana, al mismo tiempo que contribuye a minimizar las pérdidas y muertes por parasitismo y los costos por concepto de uso de anhelmínticos.

BIBLIOGRAFÍA

- Agro Región. 2007. La Debacle del Maíz en: Agro Región. 1(1): 19.
- Aguilar-Caballero AJ., Torres-Acosta JF., Hoste H., Sandoval-Castro C., y Flores-López M. 2005. Efecto de la suplementación alimentaria con proteína y/o energía sobre la resistencia y resiliencia de cabritos criollo contra *Haemonchus contortus*. In memories: Novel approaches to the control of helminthes parasites of livestock. 2005. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida Yucatán México. 84 p.
- Basiron, Y. 1996. Palm Oil. En: *Bailey's Industrial Oil and Fat Products, Volume 2, Edible Oil and Fat Products: Oils and Oilseed*, (Ed. Hui, Y.H.) Quinta Edición, Wiley-Interscience Publication, USA. pp. 271-369.
- Basiron, Y. 2003. The Malaysian oil palm industry. *INFORM*, 15 (3). 157 p.
- Bath GF, Hanse JW., Krecek RC., Van Wyk JA., and Vatta AF. 2001. Sustainable approaches for managing haemonchosis in sheep and goats. *FAO Animal Production and Health Paper*. Final Report and FAO Technical Co-operation Project in South Africa. pp 8 – 16.
- Berger, K.G. 2003. Food uses of palm oil. Palm oil information series. American palm oil council. Published by Malaysian palm oil promotion council.
- Bockish, M. 1998 Palm Oil. Características generales de su extracción, proceso y modificaciones. *Fats and Oils Handbook*, AOCS Press, Champaign, Illinois, USA.
- Boland M.P., Lonergan P. and Callaghan D.O. 2001. Effect of nutrition on endocrine parameters, ovarian physiology, and embryos development. *Theriogenology*, 55:1323-1340.
- Butler, R. A. and Laurence, W. F. 2009. Is oil palm the next emerging threat to the Amazon?. *Tropical Conservation Science*, 2:1-10. www.tropicalconservationscience.org.
- Byers F.M. and G.T. Schelling. 1993. Los lípidos en la nutrición de los rumiantes. En Church C.D. 1993. *El Rumiante: Fisiología digestiva y nutrición*. Ed. Acribia, México. pp. 339-356.
- Cámara-Córdova J., Nava A.J., Flores B.R., Manjarrez M.B., Mendoza P.J.D. 2008. Caracterización ambiental del Rancho- Escuela de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Resultados preliminares. En Cámara-Córdova, J.; R. Flores B. (eds.). *Ciencia Animal Mesoamericana*. 1er. ed. Col. José N. Roviroso. Villahermosa, Tabasco.
- Cansino Arroyo G.R. 2005. Efecto de la suplementación de grasa sobre la calidad de oocitos y embriones en ovejas de pelo. Tesis Doctoral. FMVZ-UADY, Mérida, Yucatán, México.
- Carvalho L.P.F., Cabrita A.R.J., Dewhuerst R.J., Vicente T.E.J., Lopes Z.M.C. and Fonseca A.J.M. 2006. Evaluation of palma kernel meal and corn disteller grains in corn silage-based diets for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89:2705-2715.
- CENIPALMA 2002. Aceite y salud. Centro de investigación en palma de aceite. www.cenipalma.org/index.php?idcategoria=13. Consulta: 18 de Agosto 2003.
- Chávez, R. 2008. El Efecto de la crisis energética en la producción pecuaria. *Nutri-Noticias - Enero de 2008*. Disponible en: www.engormix.com/el_efecto_crisis_energetica_s_articulos_1888_BAL.htm - 69k
- Chin, F.Y. 1991. Oil palm - A rich source of animal feed. In: *ASIAN LIVESTOCK*, 16 (10), FAO/APHCA public. Bangkok, Thailand.

- Chin, F.Y. 2001. Palm kernel cake (PKC) as supplement for fattening and dairy cattle in Malaysia. Paper presented at 7th Meet. of FAO Regional Working Group on Grazing and Feed Resources for S.E. Asia, Manado, Indonesia, July 3-7, 2001
- Chin F.Y. 2002. Utilization of palm kernel cake (PKC) as feed in Malaysia. *Asian Livestock Magazine*. October – December, pp 19 – 23.
- Desvaux M; Guedon E y Petitedmange H. 2001. Metabolic flux in cellulose batch and cellulose fed continuous cultures of *Clostridium cellulolyticum* in response to acidic environment. *Microbiology*, 147: 1461 – 1471.
- Devendra C., 1977. Sustainable animal production from small farm systems in South-East Asia. Senior Programme Officer Animal Production Systems (Asia). International Development Research Centre (IDRC) ingapore. M-21 ISBN 92-5-103168-1. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/t0757e/T0757E05.htm>
- Ezieshi E.V. and Olomu J.M. 2007. Nutritional evaluation of palm kernel meal types: 1. Proximate composition and metabolizable energy values *African Journal of Biotechnology* 6 (21): 2484-2486.
- FAS-USDA, 2005. Foreign Agricultural Services, Oficial United States Department of Agricultura Estimates for November 2005. www.fas.usda.gov. Consulta: 1° de Diciembre 2005.
- FEDEPALMA, 2004. Estadísticas. *Federación nacional de cultivadores de palma de aceite y Oil World Annual*. www.fedepalma.org/estadísticas.htm. Consulta: 1° de Diciembre 2005.
- García, M.O. 2001. Aceite de palma. Publicaciones SAGPyA (Secretaria de agricultura, ganadería, pesca y alimentación de la república argentina). www.sagpya.mecon.gov.ar/agricu/publicaciones/aceitepalma/contenido.htm Consulta: 13 de Agosto 2003.
- Gasbarre L.C., J.E. Miller. 2000. Genetics of helminth resistance. In: *Breeding for Disease Resistance in Farm Animals*. 2nd ed. Axford R.E.F., Bishop S.C., Nicholas F.W., Owen J.B. (editors), CAB International, 129-152.
- Giothiori J.B., S.M. Thamsborg and S. Athanasiadou. 2005. Use of plants in novel approaches to control of gastrointestinal nematode in small ruminants. En *Memorias 4o Seminario Internacional sobre métodos alternativos para el control de parásitos helmintos en la ganadería: Manejo o control de parásitos: nuevos paradigmas en el control integrado* UADY, Mérida, Yucatán, México. pp 20.
- Gobierno del Estado de Tabasco, 1998. La palma de aceite en el sureste de México: Caso Tabasco. Editado por el Gobierno del estado de Tabasco.
- Gómez A.S., Benavides C.A. y Díaz C.M. 2007. Evaluación de la torta de palmiste (*Elaeis guineensis*) en alimentación de cerdos de ceba. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*. 5 (1): 54- 63.
- Gunstone, F. 2003. The importance of palm oil. *INFORM*, 15(3): pp. 156.
- Hammond, E.G. 2000. Sources of fats and oils. pp. 49-62, En: *Introduction to Fats and Oils Technology*. (Ed. O'Brien, R.D., Farr, W.E. and Wan, P.J.), AOCS Press, Champaign, Illinois, USA.
- Hartley, C.W.S. 1983. La palma de aceite. Editorial CECSA, 2ª Edición en Español, México.
- Ibarra, A. 2003. Globalización del Mercado de aceites, grasas y proteínas: El caso de México. *Revista ANIAME*. 8(43): 4-13.
- INFORM 1999. Latin America: key global oilseed area. *INFORM*. 10 (12): 1096-1119.

- Jalani, B.S. y Ahmad, M.J. 1997. El aceite de palma y sus productos: empleos y perspectiva de futuro. Ponencia presentada en el seminario para el incremento de la cooperación Malasio-Hondureña en la industria de la palma de aceite, San Pedro Sula, Honduras, 10 de Septiembre de 1997, pp. 1-9.
- Jenkins T.C. 1993. Lipids metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science*, 76:3851.
- Kay, R. 1986. Administración agrícola y ganadera. México. Ed. CECSA.
- Keele J.W. and R.E. Beyers. 1989. Ruminant metabolism in non lactating cows fed whole cottonseed or extruded soybeans. *Journal of Animal Science*, 81:1630.
- Kloosterman A., H.K. Parmentier, H.W. Ploeger. 1992. Breeding cattle and sheep for resistance to gastrointestinal nematodes. *Parasitology Today* 8, 330-335.
- Knox MR., Torres-Acosta JF. Aguilar-Caballero AJ. 2005. Explotando los efectos de la suplementación alimenticia de pequeños rumiantes sobre la resiliencia y resistencia contra nematodos gastrointestinales. In memories: Novel approaches to the control of helminth parasites of livestock. 2005. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida Yucatán México. 52 p.
- Krecek R.C. and P. Waller. 2005. Towards the implementation of the “basket of options” approach to helminthes parasite control of livestock: emphasis on topics/ subtropics. En Memorias 4o Seminario Internacional sobre métodos alternativas para el control de parásitos helmintos en la ganadería: Manejo o control de parásitos: nuevos paradigmas en el control integrado” UADY, Mérida, Yucatán, México. pp. 17.
- Kritchevsky, D. and Sundram, K. 2002. Palm oil in human nutrition: recent advances (Editorial). *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 11(Suppl), pp. S393.
- Martin G.B. and S.W. Walken-Brown. 1995. Nutritional influences on reproduction in mature male sheep and goats. *Journal of Reproduction and Fertility*, Suppl, 49:437-449.
- Velázquez-Martínez, J.R., Gómez-Vázquez, A. 2010. Palma Africana en Tabasco. Resultados de Investigación. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Colección José Narciso Roviroso, Biodiversidad, Desarrollo Sustentable y Trópico Húmedo. 228p.
- Mattos R., C.R. Staples and W.W. Thatcher. 2000. Effect of dietary fatty acids on reproduction in ruminants. *Reviews of Reproduction*, 5: 38-45.
- MINITAB 13.2. Statistic Software. 1995.
- Montoya-Villanueva, R. 2005a. Diagnóstico Palma de Aceite. Sistema-Producto Tabasco. SEDAFOF, SAGARPA.
- MPOB 2003. Malaysian palm oil and selected food uses. Malaysian Palm Oil Board. Ministry of primary industries Malaysia. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Muguerza, E.; Fista, G.; Ansorena, D.; Astiasaran, I.; Bloukas, J. G. 2002. Effect of fat level and partial replacement of pork backfat with olive oil on processing and quality characteristics of fermented sausages *Meat Science*, 61(4): 397-404.
- Mustaffa, A. B., Chin, F.Y. and Yusoff, M.S. 1987. The use of palm kernel cake as animal feed. Dept Vet. Services Mimeograph. Bangkok, Thailand as contribution from Mustaffa, A. B.).
- Ng, W.K. 2002. Potential of palm oil utilization in aquaculture feeds. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 11(Suppl), pp. S473-S476.
- NRC. 2000. National Research Council.

- Ocampo, A. 1994a La palma aceitera africana, un recurso de alto potencial para la producción animal en el trópico. 13 Agosto 2003. <http://www.fao.org/ag/AGA/AGAP/FRG/FEEDback/War/v4440b/v4440b0g.htm>
- Ocampo, A. 1994b Utilización del fruto de palma Africana como fuente de energía con niveles restringidos de proteína en la alimentación de cerdos de engorde. *Livestock Research for Rural Development*, 6(1): 1-7.
- Ocampo, A. 1994c. Raw palm oil as the energy source in pig fattening diets and *Azolla filiculoides* as a substitute for soya bean meal. *Livestock Research for Rural Development*, 6 (1):8-17.
- Ortega, C. y Ochoa, R. 2003. La palma africana, una oleaginosa de ambiente tropical. *Revista Claridades Agropecuarias*, 122, pp. 3-17.
- Pantzaris, T.P. 2000. Pocketbook of palm oil uses. Malaysian palm oil board (MPOB), Fifth Edition, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Peruchena O.C. 1999. Suplementación de bovinos para carne sobre pasturas tropicales. Aspectos nutricionales, productivos y económicos. Conferencia presentada en el XXXVI Congreso Anual de la Sociedad Brasileira de Zootecnia, Porto Alegre, Brasil. 15 p.
- Poku, K. 2002. Small-scale palm oil processing in Africa. *FAO Agricultural Services Bulletin 148*. Editorial Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, 2002.
- Rhind S.M., S. McMillen, G.Z. Wheteril, W.A.C. McKevey, and R.G. Gunn. 1989. Effect of low levels of food intake before and/or after mating on gonadotrophin and progesterone profile in greyface ewes. *Animal Production Science*, 49:267-273.
- Rueda-Lugo, R. González-Tenorio, A. Totosaus. 2006. Sustitución de lardo por grasa vegetal en salchichas: incorporación de pasta de aguacate. Efecto de la inhibición del oscurecimiento enzimático sobre el color. *Ciencia e Tecnología de Alimentos*, 26(2): 441-445.
- SAGARPA. 2003b. Síntesis ejecutiva del cultivo de la palma de aceite en el estado de Chiapas. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Gobierno federal. www.chp.sagarpa.gob.mx/-SectorAgropecuario/Agricultura/Palma.htm Consulta: 13 de Agosto 2003.
- SAGARPA. 2003a. Síntesis ejecutiva del cultivo de palma de aceite en el estado de Chiapas. Secretaria de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Gobierno Federal. Disponible en: www.cnp.sagarpa.gob.mx/_SectorAgropecuario/Agricultura/Palma.htm
- Sangster N.C. 1999. Anthelmintic resistance: past, present, and future. *International Journal for Parasitology* 29: 115-124.
- SAS. 2000. Statistic Analysis System.
- Scaramuzzi R.J., Campbell, B.K., Downing, J.A., Kendall, N.R., Khalid, M., Muñoz-Gutiérrez M., and Somichit. A. 2006. A review of the effects of supplementary nutrition in the ewe on the concentrations of reproductive and metabolic hormones and the mechanisms that regulate folliculogenesis and ovulation rate. *Reproduction Nutrition Development*, 46: 339-354.
- Shamshuddin, A.B., Jaafar, D.M. and Abd. Wahid, Y.1987. Performance of Kedah-Kelantan cattle fed with different combinations of expeller pressed and solvent extracted PKC. *Proc. 10th Ann. Conf. MSAP, April 2-4, 1987, Malaysia*, pp 287-291.

- Smith S.M., 2002. AGRI-FOCUS July 2002. Cooperative Extension, Washington State University, Grant and Adams Area, <http://grant-adams.wsu.edu>
- Smith W.D. and D.S. Zerlenga. 2005. Developments and hurdles in generating vaccines for controlling helminth parasites of grazing ruminants. En *Memorias 4º seminario internacional sobre métodos alternativos para el control de parasitos helmintos en la ganadería: Manejo o control de parasitos: nuevos paradigmas en el control integrado*. UADY, Mérida, Yucatán, México. pp 19.
- Spörndly E., Åsberg T. 2006. Eating rate and preference of different concentrate components for cattle. *Journal Dairy Science*, 89:2188-99.
- Stonaker, H. H. 1975. Beef production systems in the tropics. I. Extensive production systems on infertile soils. *Journal Animal Science*, 41: 1218 - 1223.
- Stuart, J.R. y Fundora O. 1994. Utilización de residuos de la cosecha de la caña de azúcar en la alimentación de rumiantes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 28: 1-10.
- Suiter J. 1994. Body condition scoring in sheep and goats. *Farmnonte* 69: 94.
- Tejada J.I., Berruecos J.M. y Merino Z.H. 1977. Análisis Bromatológico de alimentos empleados como ingredientes en la nutrición animal. *Tecnica Pecuaria Mexicana*, 31-67.
- Trujillo-Castillo, L. F. Valor Nutricional del Aceite Crudo de Palma Africana, (*Elaeis guineensis*) y el Efecto de la Temperatura y Tiempo de Exposición sobre el contenido de antioxidantes durante la Extracción no Convencional. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 2006. Tesis de Maestría en Ciencias Alimentarias.
- Umunna N.N, Yusuf A.A. and Aganga A.A. 1980. Evaluation of brewers' dried grains and palm kernel meal as major sources of nitrogen for growing cattle. *Tropical Animal Production*, 5:3 239.
- Umunna N.N., Magaji I.Y., Adu I.F., Njoku P.C., Balogun T.F., Alawa J.P. and Iji P.A., 1994. Utilization of palm kernel meal by sheep. *Journal of Applied Animal Research*, 5: 1-11.
- Wallace J. R. 1994. Microbiología ruminal, biotecnología y nutrición de rumiantes: Progresos y Problemas. *Journal Animal. Science*, 72: 2992 - 3003.
- Williams G.L. and Stanko R.L. 1997. Dietary fats as reproductive nutraceuticals in beef cattle. *Proceedings of American Science*, pp. 9-12.

CAPÍTULO 2

ESTABILIZACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN DEL AGUA DE COCO (*Cocos nucifera*)

López-Hernández, E.; Valadez-Villarreal, A.; Hernández-Becerra, J.A.; Ochoa-Flores A.A.; Corzo-Sosa, C.A. y Olivé-López, R.

2.1 Introducción

La cosecha mundial de coco se estima de 56.47 millones de toneladas métricas y proviene de un área cultivada de 10.71 millones de hectáreas principalmente de países tales como Indonesia, India, Ceilán, Filipinas, Brasil, Sri Lanka, Tailandia, Malasia, Vietnam y México (FAO, 2000). En América, México es el principal país productor y su cultivo se localiza en los estados de Guerrero, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Veracruz, Tabasco, Oaxaca y Chiapas (Granados-Sánchez y López-Ríos, 2002).

En el estado de Tabasco se cultiva en los municipios de Cárdenas, Centla, Comalcalco, Jalpa de Méndez, Nacajuca y Paraíso (Domínguez *et al.*, 1999).

Por otra parte, la agroindustria coprera en el país es de gran importancia para el desarrollo económico y social, una de las principales razones es, que la demanda nacional de grasas y sus derivados sólo es cubierta en 15% con la producción de todos los cultivos de oleaginosas, por lo que se tiene que importar el 85% de grasas y aceites comestibles para satisfacer el abasto nacional, lo que ocasiona una fuga de divisas al país por mil millones de dólares al año, actualmente se tienen sembradas a nivel nacional 150,000 hectáreas (Flores, 2006).

2.2 El cocotero

El cocotero pertenece a la familia *Palmae*, a la subfamilia *Cocoideae* y es la única especie del género *cocos*. Su nombre científico es *Cocos nucifera* (Figura 2.1). Desde hace siglos es la más importante de las palmeras que se cultivan en el mundo, y uno de los principales cultivos tropicales. Las zonas más importantes en las que se cultiva el coco, están situadas a unos 22° de latitud de ambos lados del ecuador; más arriba de esta latitud crece con lentitud y su valor comercial es solamente de ornato ya que se vuelve vegetativo. La palma de coco se encuentra limitada a las costas marinas, aunque no es un criterio general para su cultivo, el rango óptimo de elevación en que se desarrolla está entre 0-400 msnm. Los requerimientos óptimos de temperatura media anual son de 26.8°C y los promedios de las temperaturas máximas de 30.1°C (Duarte, 2010).

La distribución de la palma de coco se extiende por la mayoría de las islas y de las costas tropicales y en algunos lugares fuera de la zona tropical (Flores, 2001).



Figura 2.1 Palma de coco (*Cocos nucifera*)

2.2.1 Usos

El fruto del cocotero (*Cocos nucifera*) forma parte de una de las principales fuentes de alimentación humana, que se aprecia particularmente por sus excelentes características sensoriales, Además, este fruto puede ser consumido en fresco, o procesado mediante diferentes formas tales como: helados, dulces tradicionales, bebidas, pulpas y cremas etc; es uno de los frutos nutritivos más apreciados por su aporte importante al organismo de sales minerales, ácidos grasos, carbohidratos, proteínas y vitaminas esenciales, que le confieren propiedades fortificantes, estomacales y refrescantes (Alfonso y Ramírez, 2008).

Entre los principales usos que se le da a este fruto están, la obtención de copra a partir del fruto maduro para extraer aceites y del agua procedente de este proceso, se obtienen vinagres y medios de cultivo para microorganismos, nata de coco, pulpa blanca desecada y rallada, aceite y mantequilla de coco, shampoos, cremas y bronceadores, harina como suplemento de la alimentación animal, entre otros. El fruto tierno es aprovechado para extraer el líquido, el cual es comercializado como bebida refrescante y la pulpa se utiliza para preparar cremas y bebidas especiales (Yong *et al.*, 2009; Domínguez *et al.*, 1999).

Como se mencionó anteriormente, en el estado de Tabasco, el cocotero se cultiva para obtener principalmente la copra, la cual es la pulpa deshidratada, del fruto, con una edad aproximada de 10 meses y es utilizada para la extracción de aceite.

Los productores de este fruto, en el estado de Tabasco, estuvieron organizados en una asociación denominada “Copreros unidos por Tabasco”, la cual se ubicó en el municipio de Centro, en 2010, los integrantes solicitaron el pago de sus acciones y en la actualidad funciona como la empresa Industria coprera de Tabasco.

En la obtención de la copra, se extrae el agua de la nuez del coco, la cual es desechada, sin que a la fecha sea utilizada en la obtención de subproductos, aunque en otros

países principalmente asiáticos, se obtiene un producto denominado “nata de coco”, el cual es apreciado por sus características sensoriales y nutritivas (Campos *et al.*, 2010; Status Point, 2010).

A continuación se describe el proceso tecnológico para el envasado del agua de coco, desarrollado como parte de dos proyectos de investigación: “Desarrollo tecnológico de productos alimenticios no convencionales a base de coco (*Cocos nucifera*)” y “Estudio técnico económico de una industria procesadora de agua de coco” los cuales fueron financiados por Fundación Produce Tabasco A.C., y realizados en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y Universidad Tecnológica de Tabasco. El proceso desarrollado es una adaptación tecnológica del promovido por la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAO) y actualmente la Industria coprera de Tabasco S. A. de C. V., esta comercializando el agua de coco, sustentada en este proceso.

2.3 Agua de coco

2.3.1 Descripción y clasificación del producto: agua de coco

El agua de coco (Fig. 2.2) es un líquido natural azucarado, encerrado en la carne ó albumen de la palmera conocida como cocotero, coco o palma de coco. Antes de madurar, la nuez de coco se encuentra casi completamente llena de este líquido cuya cantidad y composición cambian a medida que avanza el desarrollo y la maduración, cuando la nuez se encuentra completamente madura el líquido disminuye para transformarse en un endospermo blanco, del que se obtiene mediante su desecación la copra, la cual a su vez es la fuente para obtener el aceite (Yong *et al.*, 2009).



Figura 2.2 Agua de coco extraída directa del fruto

El agua de coco ya sea fresca o refrigerada es una de las bebidas mas apreciadas cuando el calor agobia y la sed se hace presente, esta agua envasada se clasifica como un bien industrial ya que incrementa su valor agregado, pues se ha procesado tecnológicamente mediante un proceso de transformación, el cual es de consumo final y suple una necesidad inmediata para ser utilizada.

2.3.2 Composición química

Desde el punto de vista bromatológico, el agua de coco es rica en nutrientes, conteniendo una gran cantidad de potasio ($160 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), la composición se presenta en los Cuadros 2.1 y 2.2, por otro lado podemos decir que desde el punto de vista de las bebidas para el deporte, los aminoácidos libres resultan de gran interés, según se observa en los Cuadros 2.3 y 2.4 (Fonseca, 2009).

El agua de coco es una bebida a la cual se le atribuyen muchas virtudes por su elevado contenido en sales minerales, vitaminas y carbohidratos (Cuadro 2.4), fue usada durante la segunda guerra mundial como sustituto del suero glucosado, es una bebida isotónica natural con el mismo equilibrio electrolítico que nuestra sangre, es el líquido de la vida por así decirlo (Satín, 2001). Llama poderosamente la atención, que esta bebida refrescante se ingiera aún extrayéndola directamente del fruto, sin que el mercado mundial dedicado a la elaboración y comercio de jugos de frutas se haya interesado en envasarlo y comercializarlo.

Cuadro 2.1
Propiedades físicas del fruto del cocotero

Características		Valor promedio
Peso promedio		1150 g
Volumen de agua		350 ml
Composición	Pulpa	39.8 g
	Cubierta café	5.9 g
	Agua	30.4 g
	Concha	23.9 g
pH del agua		5.6
Bx del agua*		5.0

* Laboratorio de la Universidad tecnológica de Tabasco

Cuadro 2.2

Contenido de sales minerales en el agua de coco. 100g⁻¹

Componente	Contenido
Energía (kcal)	20.0
Sodio (mg)	25.0
Potasio (mg)	160.0
Cloro (mg)	20.0
Calcio (g)	5.0
Fósforo (mg)	0.40
Magnesio (mg)	0.45

Fuente: Ovalles et al., 2002

Además, en nuestro país se tiene la existencia de bebidas refrescantes para el organismo, destacando mas de 30 sabores distintos, entre los cuales se encuentran el de manzana, banana, cerezo, naranja y mango, por citar ejemplos y de los cuales el coco no está contemplado, lo anterior representa una alternativa para dar utilización al agua de coco y aumentar su valor agregado, así como satisfacer las necesidades de vitaminas y minerales, proporcionando la energía requerida por el organismo y al mismo tiempo disminuir los niveles de deshidratación generados durante las prácticas deportivas (FAO, 2000)

Cuadro 2.3

Composición química de la pulpa y agua de coco

	Pulpa (%) (Bibliografía)	Pulpa (%) (Laboratorio UT)*	Agua de coco (%)
Humedad	50.6	68.4	95.1
Grasa	28.9	20.8	1.3
Proteínas	3.7	2.5	0.1
Cenizas	0.8	1.6	0.4
Carbohidratos totales	16.0	6.7	3.1

* Laboratorio de la Universidad Tecnológica de Tabasco

Cuadro 2.4

Información nutricional del agua de coco

Componente	Agua de coco (500 mL)
Grasas (g)	0.25
Carbohidratos (g)	27.5
Proteínas (g)	0.5
Calorías (g)	100
Minerales (mg)	
Sodio	125
Potasio	800
Magnesio	50
Calcio	100
Fósforo	55
Hierro	2
Cloruro	590
Vitaminas (mg)	
Riboflavina	0.05
Niacina	0.5
Acido ascórbico	10
Aminoácidos (mg)	
Acido glutámico	1
Acido aspártico	1
Alanina	3
Treonina	4
Serina	6
Tirosina	7
Isoleucina	7
Leucina	9
Glicina	10
Fenilalanina	18
Histidina	20

Fuente: Ovalles *et al.*, 2002

Cuadro 2.5

Comparación de la composición entre las bebidas para el deporte y el agua de coco.

Elemento	Bebida para deporte (mg.100 ml-1)	Agua de coco (mg.100 ml-1)
Potasio	11.7	294.0
Sodio	41.0	25.0
Cloruro	39.0	118.0
Magnesio	7.0	10.0
Azúcares	6.0	5.0

Fuente: Portal de la Food and Agricultural Organization, 2000

<http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/esp/revista/9810/spot3.htm>

2.3.3 Problemática y conservación del envasado del agua de coco

Una de las problemáticas visualizadas en el agua de coco es su inestabilidad química ya que cuando el líquido entra en contacto con el oxígeno del aire se lleva a cabo un proceso rápido de fermentación por los microorganismos y la activación de los compuestos fenólicos, perdiendo con ello rápidamente sus propiedades sensoriales y nutritivas lo cual le confiere una vida útil muy corta (Flores, 2001; Rolle, 2010).

Se ha observado la presencia de polifenoloxidasas y peroxidasa en el agua de coco verde, estas enzimas tienen su máximo de actividad a pH de 6.0 y 5.5 a una temperatura de 25 °C y 35 °C respectivamente, se sabe que estas enzimas pueden estar relacionadas con las alteraciones que ocurren después de la extracción del agua al fruto.

Un tratamiento térmico para la inactivación de las enzimas polifenoloxidasas y peroxidadas es suficiente a 90 °C, mas a partir de 90 segundos de exposición del producto a esta temperatura ocurren problemas sensoriales en los cambios del aroma y sabor y el problema es que para que esta enzima se desactive requiere de 300 segundos de exposición. Una reducción del pH ha sido vista como un método de inactivación enzimática aunque el agua por sí sola presenta características tamponantes. Se ha observado también que la refrigeración tampoco es suficiente para la inhibición enzimática completa, a una temperatura de 5 °C el porcentaje de actividad enzimática es del 46% y 39% en relación a la temperatura óptima para polifenoloxidasas y peroxidasa respectivamente. Se han utilizado aditivos para la inactivación enzimática tales como ácido ascórbico, metabisulfito de potasio a concentraciones de 15 mg.100 mL⁻¹ inhibiendo el 100% de polifenoloxidasas pero apenas el 11% de peroxidasa (Campos *et al.*, 1996).

En los últimos años se han probado algunas técnicas con este fin sin embargo no han sido las mas idóneas. El proceso rápido de pasteurización a alta temperatura (UHT) usado para pasteurizar la leche de larga duración es el utilizado en algunos países asiáticos (Indonesia, Filipinas y Tailandia), con el inconveniente de que el producto final pierde parte del valor nutricional y casi todo el valor natural. Otra tecnología implementada en la conservación del agua de coco es la carbonatación, no obstante es de suponer que el sabor del agua de coco toma otro sabor, existe hoy día compañías de

refrescos de agua de coco envasado sin conservadores o aditivos, con la garantía de que son productos 100% naturales, sin embargo guardan celosamente su tecnología (Ovalles *et al.*, 2002).

La Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAO), ha patentado un proceso de estabilización del agua de coco, el cual se fundamenta en una esterilización en frío para conservar el sabor y todas las propiedades nutritivas, utilizando una microfiltración que retiene todos los microorganismos y esporas, el agua de coco estéril finalmente se transfiere y envasa bajo atmósferas de nitrógeno con la finalidad de llenar asépticamente los envases, los investigadores han logrado estabilizar el color adicionando 0.015% de vitamina C.

El objetivo de FAO es desarrollar una política de concesión de la licencia para que este proceso pueda ponerse a libre disposición de un amplio número de productores en los países tropicales (Figura 2.3).

Brasil es uno de los países con mayor desarrollo en el envasado de agua de coco, sus investigadores han diseñado una máquina extractora a nivel industrial, la cual procesa 30000 cocos por día, así también se presentó en el salón internacional de alimentos de París el producto DucoCO, el cual fue seleccionado como una de las bebidas no alcohólicas del mundo y el mejor lanzamiento nacional en el rango de las bebidas no alcohólicas.

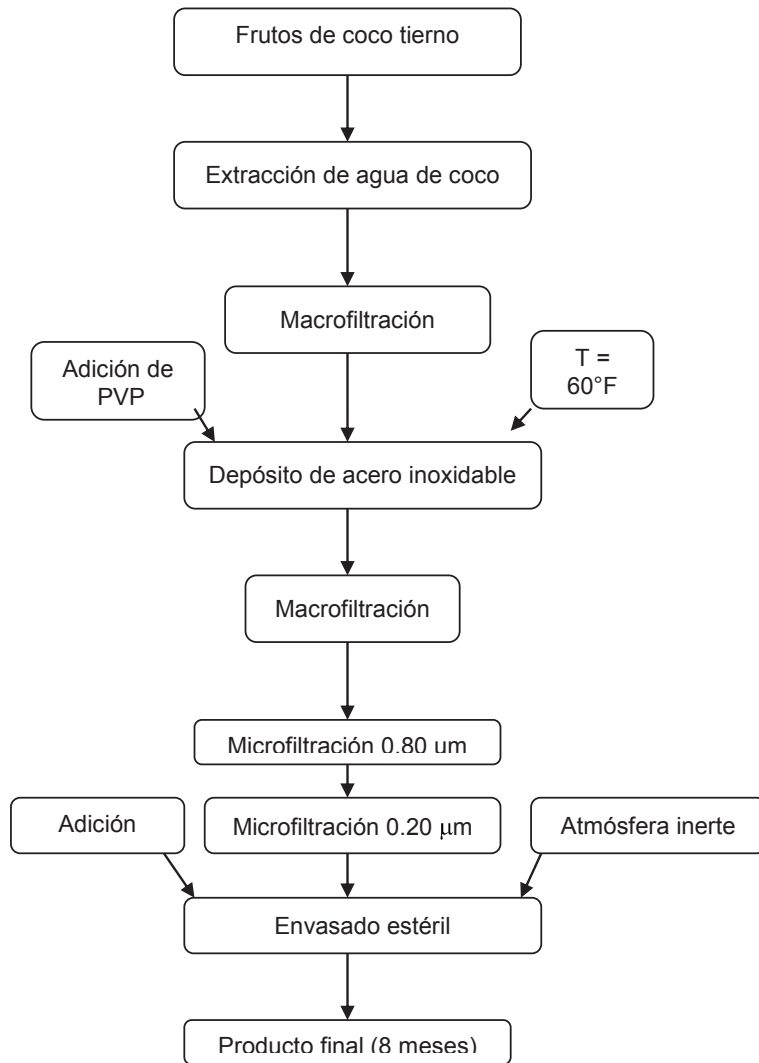


Figura 2.3 Proceso de envasado de agua de coco patentado por FAO

2.4 Sanitización por luz ultravioleta (UV)

2.4.1 Aspectos generales de sanitización

Es el proceso que permite reducir las cargas de microorganismos a los estándares o especificaciones normalmente aceptados. Los rayos ultravioleta excitan a las células o microorganismos, de tal manera que hace que se oxiden y se destruyan.

Sanitización, en su sentido literal, son los medios que liberan de la infección. La Agencia de protección Ambiental de USA (EPA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), define la desinfección del agua como tener una ausencia de bacterias coliformes. La esterilización implica la destrucción completa de toda forma de vida microbiana, (acsmedioambiente.com/Longevo/luz_ultravioleta).

El ultravioleta es una región de energía del espectro electromagnético ubicado entre la región de los rayos X y la región visible. El ultravioleta se encuentra en el rango de longitud de onda de 200 a 390 nanómetros. Los niveles de energía aumentan con el aumento de longitud de onda, así el UV tiene más energía que el espectro de luz visible. El espectro UV se divide en cuatro regiones, que se designan como: el UV vacío, UV-A, UV-B y UV-C. UV-A onda larga ultravioleta: Se encuentran entre 325 y 390 nm y está representado por la luz solar (Skoog, 2008).

UV-B u onda media de luz ultravioleta: se encuentra entre 295 y 325 nm y es más conocido para su uso en lámparas de iluminación. Estas ondas medias también se encuentran en la luz solar y proveen de algún efecto germicida si la exposición es suficiente. UV-C onda corta ultravioleta. Se encuentra entre 200 y 295 nm y donde mas ocurre el efecto germicida. La óptima acción UV germicida ocurre en 265 nm (Myron, 2011).

Los rayos de luz ultravioleta (UVC) destruyen con gran eficacia una gran variedad de microorganismos que nadan libres en el agua. Estos pequeños seres son eliminados debido al efecto destructivo que ejerce esta radiación sobre las moléculas del ácido nucleico celular. La degradación del núcleo de la célula produce la muerte instantánea del organismo e inhibe posteriormente su reproducción, los espectros de longitud de onda también destruyen los enlaces internos entre las proteínas y enzimas que en algunos procesos reactivan la actividad de los microorganismos. La casi totalidad de los microorganismos que sufren exposición directa de radiación UVC son destruidos. Principalmente, son eliminados del agua las bacterias, virus, esporas de hongos, algas libres y protozoos con fase nadadora, como pueden ser los dinoflagelados *Oidium* y *Cryptocarion* (Salas y Garrido, 2010).

La eficiencia de un sistema UV para eliminar la contaminación biológica es directamente dependiente de la calidad física del efluente de agua, la presencia de sólidos, principalmente de hierro o manganeso los cuales tienen la característica de absorber la luz con lo que restan eficiencia a la radiación ultravioleta (Myron, 2011).

Los sólidos suspendidos o partículas, ocasionan un problema de blindaje en que un microorganismo puede pasar a través de la lámpara sin realmente tener la penetración UV directa. Este blindaje puede ser reducido por la filtración mecánica con medios filtrantes de al menos, cinco micras de tamaño de poro (Myron, 2011).

Cuando el agua a esterilizar contiene niveles de 0.3 ppm de hierro y 0.05 ppm de manganeso, al pasar por las lámparas de luz UV, ocasionará manchado sobre el cartucho, por lo que se requiere de un apropiado pretratamiento para eliminar este problema: Así mismo el calcio y magnesio permiten la formación de incrustaciones sobre el cartucho de la lámpara. Este problema se hace mas grande cuando el flujo es bajo, ya que los iones de magnesio y calcio se unen con carbonatos o sulfatos para

formar acumulación progresiva de incrustaciones dentro de la cámara de esterilización y sobre la lámpara (Beltrán y Jiménez, 2011).

Otros compuestos absorbentes, como el ácido húmico y fúmico, así como también los taninos, reducirán la cantidad de energía UV disponible para penetrar el agua y modificar el material genético (DNA) de la célula. La temperatura es un factor determinante. La temperatura óptima de la lámpara de UV debe estar cerca de 40 °C (104 °F). Los niveles de UV fluctuarán con niveles de temperatura excesivamente bajos o altos. Un cartucho de cuarzo se utiliza para mediar el contacto agua/lámpara, reduciendo fluctuación de temperatura. Un método típico empleado en un sistema sin cartucho de cuarzo, es restringido considerando estas radiaciones (FAO, 2009).

2.4.2 Mecanismo de desinfección por luz ultravioleta (UV)

La luz ultravioleta esteriliza los microorganismos, lo cual da lugar a que estos microorganismos no puedan reproducirse y se conviertan en inofensivos. La energía de UV puede destruir el DNA hasta 99% de todos los patógenos transportados por el aire. Se alcanza la esterilización cuando los microorganismos se exponen a la energía de UV para una cantidad de tiempo específica. Durante esa exposición, la energía de UV penetra la estructura externa de la célula del microorganismo y altera su DNA. El DNA alterado previene la réplica de la célula, provocando con eficacia su muerte (Myron, 2011).

2.5 Filtración

2.5.1 Aspectos generales

La filtración es el proceso de separación de partículas en suspensión de un fluido, haciendo pasar dicha mezcla o solución a través de un sólido poroso denominado “medio filtrante” o “filtro” por el cual pasa el fluido, quedando retenidas las partículas a separar, a estos sólidos se les denomina “torta” o “residuo” (Mc Cabe *et al.*, 2002).

La filtración en la industria va desde un simple colado, hasta separaciones muy complejas. En el que el fluido puede ser un líquido o un gas, las partículas pueden ser gruesas, finas, imperceptibles o estar en solución, pueden ser rígidas o plásticas, redondas o alargadas, estar separadas o formar agregados. La suspensión puede contener una gran concentración de partículas o ser éstas imperceptibles y realizarse a vacío o a presiones elevadas (Bird, *et al.*, 2003).

Mayores complejidades se introducen al analizar el valor relativo de las fases ya que en ocasiones, el fluido es la fase importante, algunas veces las partículas y en otras ambas. En algunos procesos se requiere una total separación de las fases, en otros, solo se desea una separación parcial; así también algunas veces se necesita un trabajo continuo y en ocasiones un proceso por lote es suficiente, por lo que de acuerdo a lo anterior, establecer un método para la clasificación de la filtración, no es una tarea sencilla (Ibarz y Barbosa-Cánovas 2005).

Desde el punto de vista de la dirección relativa del flujo de alimentación respecto al medio filtrante, la filtración puede ser:

- Transversal: cuando todo el flujo de alimentación atraviesa el medio filtrante quedando las partículas retenidas sobre la superficie del medio.
- Tangencial: También denominada “filtración inercial” o “filtración de flujo cruzado”, cuando la diferencia de presión ejercida hace que parte del flujo de la alimentación atraviese el medio filtrante y el resto de dicho flujo, fluya tangencialmente a la superficie del septum, arrastrando continuamente las partículas que pudieran depositarse, reincorporándolas a la alimentación (Mc Cabe *et al.*, 2002).

Considerando el tamaño de las partículas a separar la filtración puede clasificarse en: Filtración gruesa, filtración fina, microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración e hiperfiltración. Si analizamos la variación de la presión y el flujo de filtrado, el proceso de filtración podríamos clasificarlo en: Filtración a presión constante y filtración a flujo constante, en la primera, la diferencia de presión aplicada al equipo se mantiene invariable durante todo el proceso de filtración y en la segunda, manipulando adecuadamente el equipo, se mantiene constante el flujo de filtrado, durante la operación de filtración (Ibarz y Barbosa-Cánovas 2005).

2.5.2 Principios y teoría de la filtración

Mecanismos de filtración

En el tamaño de las partículas, un tamaño pequeño da como resultado, velocidades más bajas de filtración y aumento en el contenido de humedad de la muestra y a veces mayor eficiencia en el lavado. El tamaño de partículas se controla mediante agitación, o mediante tratamientos químicos como digestión o aglomeración de partículas finas dando mayor tamaño y por lo tanto más filtrables (Treybal, 2008).

La eficiencia de un sistema de filtración para retener partículas se debe principalmente a fenómenos físicos, algunos son fenómenos mecánicos tales como el efecto tamiz o de retención y otros superficiales, como son el efecto por intercepción, el efecto inercial y el efecto de difusión y capilaridad. No obstante algunos sistemas basan su eficiencia sobre fenómenos electrostáticos. Para explicar estos mecanismos se supone que las partículas son esféricas y que resultan atraídas por fuerzas de Van Der Waals al tocar los medios filtrantes quedando retenidas en ellos (Treybal, 2008).

A continuación se describen los tipos de efecto que se llevan a cabo durante el proceso de filtración

El *efecto tamiz o de retención* se manifiesta cuando el diámetro de la partícula es mayor que el poro del medio filtrante, es decir, mayor que la separación entre los materiales que constituyen el medio filtrante.

En el *efecto de intercepción directa*, las partículas al acercarse a la superficie del medio filtrante a una distancia menor que su radio, esta es interceptada y se adhiere a la superficie.

El *efecto de inercia* consiste en que las partículas mayores, debido a la fuerza de inercia, no siguen las líneas de flujo y por lo tanto las partículas colisionan con el medio filtrante quedando adheridas a ésta.

En el *efecto de difusión* las partículas inferiores a 1 - 2 micras no siguen las líneas de flujo alrededor del material filtrante y están influenciadas por el movimiento browniano, vibrando de tal manera que llegan a entrar en contacto con el medio filtrante donde son retenidas.

En los fenómenos electrostáticos, las partículas se cargan positivamente al atravesar una unidad ionizante generadora de iones positivos. Las partículas pasan por un sistema de placas cargadas con una diferencia de potencial de unos 12 000 voltios y son atraídas por este, quedando retenidas en la superficie de las placas (Treybal, 2008).

En el Cuadro 2.6 se muestra la correlación entre los diferentes efectos de filtración que están relacionados con: la velocidad de filtración, el tamaño de la partícula, el diámetro de las fibras y la densidad del medio filtrante.

Cuadro 2.6
Eficiencia de filtración

Mecanismo	Velocidad	Tamaño de partícula	Diámetro del medio filtrante	Densidad del medio filtrante
Inercia	+	+	-	+
Intercepción	0	+	-	+
Difusión	-	-	-	+

Fuente: García, 2011

2.6 Etapas de envasado del agua de coco

A partir de los resultados de laboratorio obtenidos, por los autores de este capítulo, en el proyecto: "Desarrollo tecnológico de productos alimenticios no convencionales a base de coco *Cocos nucifera*", financiado a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por Fundación Produce Tabasco A. C. se realizó el proyecto "Estudio técnico económico de una industria procesadora de agua de coco" el cual fue financiado también por la misma Institución, en esta investigación se implementó el proceso de elaboración de agua de coco a nivel planta piloto, asesorados por la empresa Generatoris S. A., en el cual a continuación se mencionan las etapas:

1. Transportador de rodillos
2. Tanque de almacenamiento
3. Tanque de almacenamiento con refrigeración
4. Tanques de almacenamiento con refrigeración y agitación
5. Tanque de almacenamiento con refrigeración
6. Filtración
7. Sanitización
8. Tanque de almacenamiento
9. Envasado
10. Bomba

1.

1. Recepción, conteo

Llegada de frutos a planta mediante transportación terrestre, estos serán descargados manualmente y contabilizados, de acuerdo a los formatos diseñados para tal efecto, de aquí pasarán a proceso de selección y en caso de ser necesario se almacenarán en lugar fresco para su rápida utilización.

2. Selección

Los frutos son objeto de una cuidadosa selección para eliminar los dañados o alterados durante los procesos de recolección y transporte, ya que estos producirían daño irreversible al producto terminado, provocando contaminación y rápida descomposición tanto química como microbiológica. Se realizará además una selección por tamaño en un transportador de rodillos, ya que todos los frutos deberán tener un tamaño estándar para el proceso de extracción de agua.

3. Limpieza de frutos (inmersión húmeda)

Las funciones de éste proceso son eliminar los contaminantes presentes en el fruto, los cuales constituyen un peligro para la salud del consumidor y controlar la carga microbiana que dificultarían la eficacia del proceso posterior y la calidad del producto final. Los objetivos de este proceso son la eficiencia en la separación de materias contaminantes, eliminar el material contaminante después de su separación a fin de evitar la recontaminación del alimento limpio, los volúmenes y concentración de los líquidos efluentes deben mantenerse al mínimo y eliminar eficazmente.

En este proceso se utiliza limpieza húmeda por aspersion, ya que es eficaz para eliminar partículas de polvo adheridas al fruto y permite la utilización de productos detergentes y sanitizantes.

La eficiencia de este proceso depende de la presión del agua empleada, volumen de agua utilizada, distancia del fruto a la ducha y número de duchas utilizadas.

El proceso consiste de un sistema transportador perforado que desplaza los cocos bajo un sistema de aspersores de agua clorada.

4. Separación de agua de coco

Se recomienda el diseño elaborado por la empresa Generatoris S. A. consiste de extractor de agua por medio de prensa, mediante perforación del coco. Un decantador para recepción de agua y con sistema de sujeción de coco y de regreso de cajones vacíos para extracción de agua de coco acondicionado con filtro tipo malla para separación de partículas gruesas que hallan pasado al agua tales como pedazos de fibra, pulpa u otros residuos.

5. 1ª filtración y 2ª filtración

La primera filtración es en grueso y va asociada con el equipo de separación del agua mediante mallas. En la segunda filtración es mediante filtro prensa. Se emplean mallas de 0.8 m alternada con malla de 0.2m, ambas mallas se utilizan simultáneamente en la filtración (Figuras 2.4 y 2.5). La filtración es la operación en la cual los sólidos insolubles son separados de una suspensión sólido-líquido haciéndolos pasar a través de una membrana porosa que retiene las partículas sólidas en su superficie superior. Al líquido que pasa a través de la membrana se le conoce como filtrado y a la membrana como medio de filtración.

La separación es dependiente de la diferencia de densidad entre las fases, temperatura, la viscosidad de la fase fluida, tamaño de partícula y fuerza centrífuga generada al agitarse la suspensión.

Los sólidos separados se conocen como torta de filtración, una vez que forman una capa detectable. La filtración en la industria va desde un simple “colado” hasta separaciones muy complejas. En algunas ocasiones el fluido es la fase importante, en otras las partículas suspendidas o ambas. Algunas veces se desea una total separación de las fases y en otras parcial. Muchas veces se necesita un trabajo continuo y en ocasiones por lote es suficiente.



Figura 2.4 Filtro prensa empleado en la filtración de agua de coco. Univ. Tecnológica de Tabasco



Figura 2.5 Membrana con sólidos procedentes de filtración. Univ. Tecnológica de Tabasco

6. Sanitización (luz ultravioleta)

Proceso que permite reducir las cargas de microorganismos a los estándares o especificaciones normalmente aceptados. Los rayos ultravioleta excitan a las células o microorganismos, de tal manera que hace que se oxiden y se destruyan (Figura 2.6).

7. Envasado- Llenadora de botellas

El envase se define como el recipiente adecuado que está en contacto con el producto para protegerlo y conservarlo y que facilita su manejo, almacenamiento y distribución (NOM-044-SSA1-1993). El embalaje es todo aquello que agrupa, contiene y protege debidamente los productos envasados, facilitando el manejo en las operaciones de transporte y almacenamiento e identifica su contenido (NOM-044-SSA1-1993).

El envase posee las características de cuantificar, dosificar e identificar el producto. Sus objetivos principales son protección del producto durante su transporte y manejo hasta su venta, comodidad en la adquisición del producto, promoción ya que el diseño del mismo permite diferenciarlo de los competidores, comunicación puesto que el consumidor puede ver a través de éste las características resumidas del producto (Desrosier, 2002). El agua de coco hasta esta etapa del proceso se puede considerar prácticamente estéril y lista para su envasado. Lo más idóneo es envasar asépticamente

utilizando nitrógeno, en envases tetrabrick, sin embargo resulta muy costoso, ya que se requiere pagar por renta del equipo a la empresa Tetra pack. Para pequeñas empresas se recomienda envasadora en envases de PET para una comercialización y recuperación de capital más rápida (Figura 2.7).



Figura 2.6 Proceso de sanitización. Univ. Tecnológica de Tabasco



Figura 2.7 Llenadora de pistón para el envasado de agua de coco. Univ. Tecnológica de Tabasco

Para el proceso de envasado e industrialización del agua de coco, se puede complementar mediante una banda transportadora fabricada en polipropileno de alto impacto con acabado sanitario aprobado por la FDA de acuerdo a normas europeas empleando jeringas de llenado fabricadas en acero inoxidable ó emplear banda transportadora fabricada en polipropileno de alto impacto con acabado sanitario aprobado por la FDA de acuerdo a normas europeas. Con llenadora de válvulas on-off.

8. Etiquetado.

Etiquetadora semiautomática para etiquetar botellas con etiqueta autoadherible y empleando una banda transportadora, la cual es colocada al final de la envasadora.

9. Almacenamiento.

Está considerada una cámara de refrigeración para almacenar pequeños lotes de producto terminado, en éstas condiciones el producto tiene una duración de 30 días. Con el envasado aséptico Tetra pack la vida media promedio es de 6 meses. Lo primero es útil para un destino local o nacional y de pensarse en exportación podría utilizarse el envasado aséptico.

2.6.1 Diagrama de flujo del proceso de envasado de agua de coco

En la Figura 2.8, se presenta el diagrama de flujo del proceso de envasado de agua de coco. Este proceso proviene de las cifras arrojadas durante un estudio de mercado, correspondiendo a obtener 1 800 botellas de 500 mL, de agua de coco.

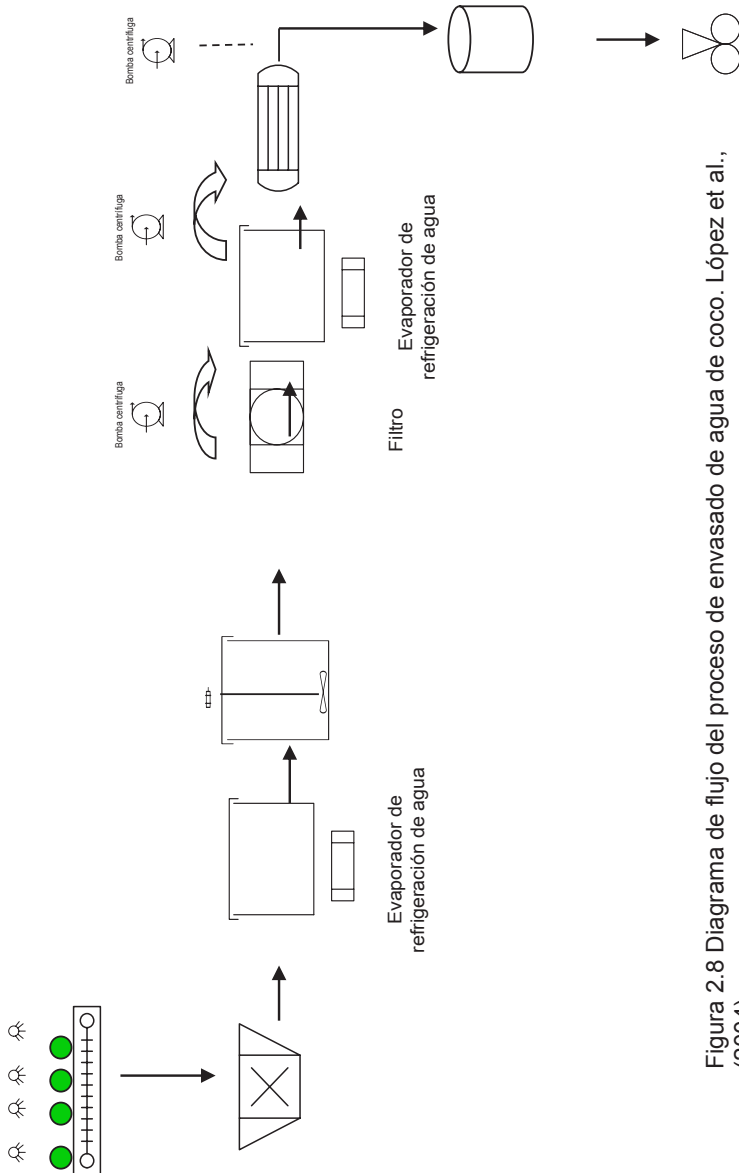


Figura 2.8 Diagrama de flujo del proceso de envasado de agua de coco. López et al., (2004).

2.6.1.2 Especificaciones técnicas

- Mesa de selección y preparación de cocos, fabricada en acero inoxidable 304.
- Banda transportadora de cocos a ducha de lavado fabricada en polipropileno de alto impacto con acabado sanitario aprobado por la FDA de acuerdo a normas europeas. Barandales ajustables en altura y diámetro. Fabricada con seis carriles.
- Ducha de lavado de cocos con sistema de boquillas de aspersión de agua fabricadas en acero inoxidable y sistema de boquillas de aire a presión fabricadas en acero inoxidable. Gabinete de control independiente con control electrónico de velocidad de la banda transportadora y velocidades de aspersión para lavado. Boquillas de aspersión superior e inferior, con banda fabricada en malla de acero inoxidable.
- Compresor y filtros de aire para ducha de lavado de cocos.
- Sistema de producción de agua para lavado de cocos.
- Tuberías, bombas, válvulas y accesorios para alimentación de agua de lavado de cocos
- Banda transportadora de cocos a extractor de agua de coco, fabricada en polipropileno de alto impacto con acabado sanitario aprobado por la FDA de acuerdo a normas europeas. Barandales ajustables en altura y diámetro. Fabricada con seis carriles y sistema de compuerta.
- Banda transportadora de cocos vacíos a sección destinada para tal efecto, fabricada en polipropileno de alto impacto con acabado sanitario aprobado por la FDA de acuerdo a normas europeas. Barandales ajustables en altura y diámetro.
- Sección de orientación de cocos, manual.
- Extractor de agua de coco por medio de prensa, con capacidad de perforación de 30 cocos en 25 segundos. Decantador fabricado en acero inoxidable 304 para recepción de agua de coco. Con sistema de sujeción de coco y sistema de regreso de cajones vacíos para extracción de agua de coco. Filtro tipo malla para separación de partículas gruesas.
- Tuberías, bombas, válvulas y accesorios para alimentación al tanque de recepción de agua de coco.
- Tanque de recepción de agua de coco, con capacidad de 1000 litros, fabricado en acero inoxidable 304. Con sistema de enfriamiento y agitación
- Sensor de temperatura en el interior del tanque con indicador digital montado sobre tablero.
- Tuberías, bombas, válvulas y accesorios para alimentación al tanque de mezclado de agua de coco.
- Medidor de flujo de agua de coco a tanque de mezclado con válvula de regulación.
- Tanque de mezclado de agua de coco, con capacidad de 1000 litros, fabricado en acero inoxidable 304. Con sistema de enfriamiento y agitación
- Sensor de temperatura en el interior del tanque con indicador digital montado sobre tablero.
- Sistema dosificador de estabilizador a razón de 1.5 Kg. de estabilizador por cada 1000 litros / hora de agua de coco.
- Tuberías, bombas, válvulas y accesorios para selección de alimentación cualquiera de los dos procesos de filtración propuestos para agua de coco.
- Sistema de filtración por medio de membranas compuesto por: Portafiltro fabricado en propileno azul de 20 pulgadas doble abierto, para alojar elemento filtrante 0.8 micras. Elemento filtrante Pentek en polipropileno tamaño de partícula 1 micra

nominal (0.8) micras. Portafiltro fabricado en propileno natural de 20 pulgadas doble abierto, para alojar elemento filtrante 0.2 micras. Elemento filtrante de membrana plisada de polisulfona, tamaño de partícula 0.2 micras absolutas.

- Sistema de filtración por medio de filtro prensa de placas y marcos. Volumen total 23.76 decímetros cúbicos, volumen de la cámara 1.98 decímetros cúbicos. Área total 1.88 metros cuadrados. 12 cámaras. Longitud total 1.60 metros. Tamaño de la placa 305 mm. Material de la cámara en polipropileno. Medio filtrante de polipropileno ISH-1070 – con mallas en dos tamaños; 0.8 μ y 0.2 μ . Tipo de cierre manual de volante y husillo. Bomba de alimentación a filtro prensa.
- Tuberías, bombas, válvulas y accesorios para alimentación al tanque de recepción de agua de coco filtrada y estabilizada.
- Tanque de recepción de agua de coco filtrada y estabilizada, con capacidad de 1000 litros, fabricado en acero inoxidable 304. Con sistema de enfriamiento y agitación
- Sensor de temperatura en el interior del tanque con indicador digital montado sobre tablero.
- Tuberías, bombas, válvulas y accesorios para alimentación a línea de envasado de agua de coco.
- Medidor de flujo de agua de coco a línea de envasado con válvula de regulación.
- Sistema de desinfección de agua de coco por medio de lámpara de luz ultravioleta (UV) con cámara de desinfección de acero inoxidable 304 y gabinete en acero inoxidable 304, para un flujo máximo de 5 galones por minuto (1,000 l.h⁻¹).

Sistema de agua de enfriamiento

- Tubería, válvulas y accesorios para alimentación de agua de enfriamiento a tanques de mezclado y recepción
- Tubería, válvulas y accesorios para recirculación de agua de enfriamiento en funcionamiento de circuito cerrado.
- Torre de enfriamiento.
- Sistema de producción de agua fría por medio de refrigerante.
- Tanques de recirculación de agua fría en circuito cerrado, fabricados en polietileno de alta densidad, capacidad 5,000 litros.
- Bombas de recirculación de agua fría.

Gabinete de control para proceso

- Gabinete de control tipo industrial fabricado en acero inoxidable de acuerdo a norma NEMA 4X.
- Interruptor general.
- Indicador luminoso de tablero energizado.
- Botón pulsador de arranque para cada bomba.
- Botón pulsador de paro para cada bomba.
- Botón pulsador de arranque para cada agitador.
- Botón pulsador de paro para cada agitador
- Contactores de protección y arranque para todos los motores eléctricos.
- Guardamotors de protección eléctrico para todos los motores.
- Fuentes convertidoras de voltaje 24 VCD.
- Relevadores de control.
- Indicadores y controladores digitales.
- Portafusibles de protección.

- Cableado interno por medio de canaletas y números de identificación.
- Componentes eléctricos montados sobre riel.
- Botón tipo hongo de paro de emergencia.
- Clemas de conexión.

Lavadora de botellas

- Banda transportadora con acabado sanitario aprobado por la FDA de acuerdo a normas europeas. Barandales ajustables en altura y diámetro.
- Sistema de boquillas de aspersión de agua fabricadas en acero inoxidable.
- Sistema de boquillas de aire a presión fabricadas en acero inoxidable.
- Compresor y filtros de aire.
- Tanque de alimentación de agua de lavado.
- Bomba de alimentación de agua de lavado.
- Estructura fabricada en acero inoxidable.
- Gabinete de control independiente con control electrónico de velocidad de la banda transportadora y velocidades de aspersión para lavado.
- Longitud de lavadora de botellas 4 metros.
- Sistema de producción de agua para lavado de botellas.

Llenadora de botellas (Se proponen dos opciones)

A) Llenadora por medio de jeringas

- Banda transportadora fabricada en polipropileno de alto impacto con acabado sanitario aprobado por la FDA de acuerdo a normas europeas. Longitud de 4 metros y 4 1/2" de ancho. Barandales ajustables en altura y diámetro.
- Estructura fabricada en acero inoxidable 304.
- Jeringas de llenado fabricadas en acero inoxidable para 1000 mL.
- La capacidad de llenado se puede ajustar a 355 mL, o bien a 500 mL. Mediante el ajuste de la carrera de pistón de la jeringa.
- Tanque de acero inoxidable con capacidad de 200 litros para amortiguar el llenado.
- Control de nivel en el tanque de llenado.
- Bomba de alimentación a tanque de llenado.
- Gabinete de control independiente, fabricado en acero inoxidable 304, con interruptor general, botón tipo hongo de paro de emergencia, pulsadores de marcha y paro de la banda transportadora, mecanismo de jeringas.
- Variador de velocidad de banda transportadora.

B) Llenadora rotativa

- Con capacidad de 8 estaciones de llenado.
- Banda transportadora fabricada en polipropileno de alto impacto con acabado sanitario aprobado por la FDA de acuerdo a normas europeas. Longitud de 4 metros y 4 1/2" de ancho. Barandales ajustables en altura y diámetro.
- Tanque de acero inoxidable con capacidad de 200 litros para amortiguar el llenado.
- Control de nivel en el tanque de llenado.
- Bomba de alimentación a tanque de llenado.
- Formato (estrella) para tipo de botella.
- Válvula de cierre de llenado.
- Sistema de sensores de detección de botella.
- Control de activación de válvulas on-off.

- Sensor de presencia de botella.
- Juego de boquillas para tamaño de botella.
- Estructura fabricada en acero inoxidable 304.
- Gabinete de control independiente, fabricado en acero inoxidable 304, con interruptor general, botón tipo hongo de paro de emergencia, pulsadores de marcha y paro de la banda transportadora, mecanismo de rotación.
- Variador de velocidad de banda transportadora.

Taponadora automática de botellas

- Banda transportadora fabricada en polipropileno de alto impacto con acabado sanitario aprobado por la FDA de acuerdo a normas europeas. Longitud de 4 metros y 4 1/2" de ancho. Barandales ajustables en altura y diámetro.
- Sistema de introducción de botellas a formato (estrella).
- Formato para botella (estrella), sistema de posición de botellas en sitio de taponado.
- Sistema de regreso a banda transportadora.
- Alimentación de tapón de corcho por medio de vibrador que orienta las tapas en una sola posición y las coloca en un surtidor de tapones.
- Sistema de colocación de la tapa en la botella por medio de cabecera.
- Gabinete de control independiente, fabricado en acero inoxidable 304, con interruptor general, botón tipo hongo de paro de emergencia, pulsadores de marcha y paro de la banda transportadora, mecanismo de rotación.
- Variador de velocidad de banda transportadora.
- Estructura fabricada en acero inoxidable 304.

Etiquetadora de botellas

- Etiquetadora semiautomática para etiquetar botellas con etiqueta autoadherible.
- Banda transportadora fabricada en polipropileno de alto impacto con acabado sanitario. aprobado por la FDA de acuerdo a normas europeas. Longitud de 4 metros y 4 1/2" de ancho. Barandales ajustables en altura y diámetro.
- Cabecera de aplicación de etiqueta con fotocelda.
- Regulación de altura.
- Gabinete de control independiente, fabricado en acero inoxidable 304, con interruptor general, botón tipo hongo de paro de emergencia, pulsadores de marcha y paro de la banda transportadora, mecanismo de etiquetado.
- Variador de velocidad de banda transportadora.
- Estructura fabricada en acero inoxidable 304.
- Sistema de aplicación de sello de calidad tipo térmico.

SERVICIOS REQUERIDOS

- Alimentación de agua de la red municipal.
- Drenaje.
- Alimentación eléctrica: 220 VAC, 60 Hz Tres fases + Neutro + Tierra. (5 hilos).
- Espacio cerrado de preferencia de 150 metros cuadrados y altura mínima de 8 metros.

2.7 Conclusiones

El estado de Tabasco, es un gran productor de coco, el cual se utiliza principalmente para obtener la copra, destinada a la extracción de aceite. El proceso de obtención de agua de coco, planteado en este proyecto, es relativamente sencillo, actualmente está siendo utilizado por la empresa “Industria coprera de Tabasco S. A. de C. V.”

En la implementación del proceso, debe ponerse especial atención a la inocuidad alimentaria, con la finalidad de aumentar su vida útil y de esta manera incrementar su comercialización en otras zonas geográficas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfonso, J. A., Ramírez T. 2008. Manual técnico del cultivo del cocotero (*Cocos nucifera* L.). La Lima, Cortés, Honduras C.A. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. FINTRAC. 39 p.
- Beltrán, N.A., Jiménez, B. E. 2011. Eficiencia de la luz ultravioleta para la desinfección de agua residual con alto contenido de patógenos. Instituto de Ingeniería. Grupo de Tratamiento y Reúso. UNAM. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/mexicona/R-0071.pdf>. Consulta: 31 de marzo 2011.
- Bird R. Byron, Stewart Warren E., Lightfoot Edwin N., 2003. Transport Phenomena, 2ª Ed.. New York Wiley. USA. 895 p.
- Campos, C.F., Souza, P.E.A., Coelho, J.V., Gloria, M.M.B.A. 1996. Green coconut water quality. Journal of Food Processing and Preservation, 20: 487-500.
- Desrosier. N. W. 2002. Conservación de alimentos. Ed. CECSA. 334 p.
- Domínguez, C.E., López. A.R., Castillo. G.P., Ruiz B. 1999. El cocotero *Cocos nucifera* L. manual para la producción en México. INIFAP. CIRGOC. Campo experimental Huimanguillo. Libro Técnico N°. 6 Tabasco. México. 132 p.
- Duarte, R.J.L. 2010. Manual técnico del cultivo del cocotero (*Cocos nucifera*). Comité del Sistema producto coco del estado de Nayarit. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. 52 p.
- FAO. 2000. Nueva bebida para el deporte, agua de coco. Revista: enfoques. www.fao.org/ag/esp/revista/9810/spot3.htm - 15k Consulta: 20 de mayo 2010.
- Flores, W. 2001. Taller de asistencia técnica y capacitación aprovechamiento agroindustrial del coco. Centro Nacional de ciencia y Tecnología de alimentos (CITA) Univ. Costa Rica.
- Flores, F.R. 2006. Alternativas tecnológicas del cocotero de Asia Pacífico, ventaja competitiva para el cocotero de México. Tesis doctoral. Univ. De Colima. 261 p.
- Fonseca, A. 2009. Constituents and antioxidant activity of two varieties of coconut water (*Cocos nucifera*). Revista Brasileña de Farmacognosia, 19(1): 193-198.
- García V. Jesús. La filtración en la industria farmacéutica. http://bvs.sld.cu/revistas/sint/vol4_2_98/sint5298.htm. Consulta: 30 de mayo 2011
- Ibarz Albert, Barbosa-Cánovas Gustavo V. 2005. Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. AMV ediciones, Madrid España 865 p.
- Igraham, J.L., Igraham, A. C. 1998. Introducción a la microbiología. Ed. Reverté, S.A. 328 p.
- Kasas, E. P. T. 2000. Industria Alimentaria. Desarrollo de nuevos Productos. 18 p.
- López Hernández E., Valadez Villarreal A., Hernández Becerra J., Ochoa Flores A., Yanes García M. 2004. Informe final del proyecto Desarrollo tecnológico para la obtención de productos alimenticios no convencionales a base de coco (*Cocos nucifera*). Financiado por Fundación Produce.
- Magalhaes Marcia Pimentel. 1994. conservação de agua de coco verde por filtração com membrana. Ciencia e Tecnología de Alimentos, 2005. 25 (1): 72-77.
- Madrid. A. Nuevo manual de industrias alimentarias. Ed. AMU. México. pp 44.
- Mc Cabe W. L., Smith J.C., Harriott P. 2002. Operaciones básicas de ingeniería química. Mc Graw Hill. 7° Edit. México 1199 p.
- Myron, L. 2011. Luz ultravioleta ofrece desinfección confiable. http://www.acsmedioambiente.com/LoNuevo/luz_ultravioleta.htm. Acceso: 31 de mayo 2011.

- Norma Oficial Mexicana NOM-044-SSA1-1993. Envase y embalaje. Requisitos para contener plaguicidas. pp. 59-66.
- Ovalles, D. J. F., León, L. A., Vielma R. A., Medina, A. 2002. Determinación del contenido de aminoácidos libres del agua de coco tierno por HPLC y Revisión electrónica sobre la nueva tecnología para el envasado del agua de coco. Venezuela. Revista de la Facultad de Farmacia, 43: 50-59.
- Rolle, R. Buenas prácticas para la producción en pequeña escala de agua de coco embotellada. Recursos y materiales de capacitación en tecnología agrícola y alimentaria. FAO. <ftp://fao.org/docrep/fao/010/a1418s/a1418s.pdf>
Consulta: 14 febrero 2010.
- Salas, J., Garrido, C., Esterilización ultravioleta del agua. <http://www.Drpez.com/druv/htm>. Consulta: 15 octubre 2010.
- Satin, M. 2001. Nueva bebida para el deporte: agua de coco. Enfoques del Departamento de agricultura. Organización de las naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación (FAO), en: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/9810/spot3.htm>
Consulta: 3 de noviembre de 2010.
- Skoog, Douglas Principios de Análisis instrumental. 2008. Ed. Cengage. 6° Ed. U.S.A 1064 p.
- Status Point Sdn. Bhd. 2010. Nata de Coco. <http://www.statuspoint.net.htm>. Consulta: 5 marzo 2010.
- Treybal, R. E. 2008. Operaciones de Transferencia de Masa. Editorial Mc Graw-Hill. 2a Ed. New York. 862 p.
- Valdés, M. S. E. 2000. Tecnología de alimentos, industria y mercado. pp 6-12.
- Yong Jean W. H., Ge Liya, Ng Yan Fei, Tan Ngjin Swee. 2009. The chemical composition and biological properties of coconut (*Cocos nucifera* L.) water. *Molecules*, 14: 5144-5164.
- www.acsmedioambiente.com/Longevo/luz_ultravioleta. Consulta: 15 de octubre 2010.

CAPÍTULO 3

INOCUIDAD DE LA LECHE CRUDA Y PRODUCCIÓN DE LECHE FERMENTADA

Aguilar-Hernández, K.; Velázquez-Martínez, J. R.; Gómez-Vázquez, A.; Pérez-Magaña, A. L. y Hernández Sánchez, H.

3.1 Introducción

La producción de leche en el estado de Tabasco y en todo el país, se hace con la expresa intención de proporcionar un alimento de alto valor nutritivo para el ser humano. Cada día se reconocen más las cualidades de este producto en la alimentación de niños, adultos y personas de la tercera edad. Pero para que la leche cumpla con esas expectativas nutricionales debe reunir una serie de requisitos que definen su calidad: composición fisicoquímica, cualidades organolépticas y número de microorganismos presentes (Vargas, 2002). Entre los alimentos de origen pecuario que implican alto riesgo, se encuentra: la leche y los productos lácteos fabricados con leche no pasteurizada, por ello la necesidad de proteger a los consumidores ha llevado a considerar que el objetivo de la inocuidad de los alimentos sea reducir la incidencia de enfermedades de origen microbiológico y por diversas sustancias tóxicas (micotoxinas, residuos de antibióticos, plaguicidas, melamina, dioxinas, etc), ya que el control de alimentos está vinculado con la mejora de la salud de la población, el potencial de desarrollo económico del país y la disminución del deterioro y de las pérdidas de alimentos (Pelayo y Tejada, 2008). Por otro lado la leche es uno de los alimentos más completos y fermentar ésta con bacterias probióticas, le agrega características nutritivas además de proveerle el carácter de alimento funcional, ya que proporciona beneficios a la salud del consumidor. La demanda en el mercado de leches fermentadas con propiedades funcionales requiere de nuevas alternativas de producción y la inmovilización es una técnica mediante la cual se protege el material biológico frágil (células, enzimas, etc.) y permite que sea reutilizado, lo que facilita el proceso de producción además de reducir tiempo y costos.

3.2 Producción Mundial

La producción mundial de leche de bovino ha mantenido desde 1998 un proceso permanente de crecimiento. La tasa media de crecimiento anual de la producción de 1999 al 2009 es de 1.9% ajustándose su expansión a los propios requerimientos del mercado, en paralelo se observa una reducción permanente de los inventarios de ganado lechero en producción, presentando una tasa media de crecimiento anual de -1.0% lo cual indica una evolución importante en cuanto a la productividad por vaca en producción, teniendo un promedio mundial de 2760 kilos por vaca al año en 1999 a 3,910 en el 2009 (Gallardo *et al.*, 2009).

Para el 2004 hubo una producción de 403,937 miles de toneladas integrado por Estados Unidos, Canadá, México, Argentina, Brasil, Rumania, Ucrania, Rusia, 25 países de la Unión Europea, China, India, Japón, Australia y Nueva Zelanda, siendo el mayor

productor la UE con 130,812 miles de toneladas con 23,963 miles de cabezas con una productividad de 5.46 (toneladas/cabezas) seguido de Estados Unidos con 77,477 miles de toneladas con 9,010 miles de cabezas de ganado con una productividad de 8.60 (toneladas/cabezas). México tuvo una producción de 9,874 miles de toneladas con 6,800 miles de cabezas y una productividad de 1.45 (toneladas/cabezas) ocupando el decimo lugar entre los países productores, esto significa que a diferencia de 1998 la producción de leche en México ha aumentado paulatinamente (FAS/USDA, 2006).

Los países desarrollados predominan como exportadores de leche y productos lácteos en los mercados internacionales, mientras que los países en desarrollo participan mayormente como importadores de leche en polvo. El volumen de las exportaciones ha crecido en un 3% anual de 1990 al 2005, y el 80% de ellas corresponde a la Unión Europea, Estados Unidos, Japón, Australia y Nueva Zelanda (Soto, 2006).

La UE se ubica como el principal proveedor mundial con el 36% del intercambio comercial mundial de quesos y leches ya sean fluidas o en polvo. Esta condición se ve fuertemente influenciada por el comercio intracomunitario, en el que se involucra la participación de sus 25 países miembros. Dentro de la UE sobresale el intercambio de leche en polvo, absorbiendo el 31% del total mundial, en quesos el 45% y en leche fluida el 36% de los flujos comerciales internacionales. La segunda posición es ocupada por Nueva Zelanda con el 29.6% del total de lácteos exportados; la posición está dada por su importante exportación de leche en polvo, la primera en importancia a nivel mundial, con el 33.6% y de quesos el 22.7% (Gallardo, *et al.*, 2005).

Las importaciones muestran un incremento promedio anual del 5.6% y los principales importadores son la Unión Europea, México, Rusia, Estados Unidos, Brasil, Argelia, Japón, China, Filipinas y Malasia. Los países desarrollados tienden a importar productos lácteos con alto valor agregado, mientras que los países en desarrollo importan productos lácteos de bajo valor agregado (Soto, 2006).

Los principales países importadores en el 2004 fueron México y la Federación Rusa, adquiriendo cada uno en el mercado internacional, el 10.5% de lo comercializado en él. Para el caso de México la composición de las importaciones se concentra en leche en polvo, mismas que representan el 13.9% del flujo mundial de esta mercancía, siendo el segundo importador mundial. En quesos adquiere el 8% de las importaciones mundiales y el 20.8% de la leche fluida. Las importaciones de la Federación Rusa muestran una orientación mayor hacia los quesos, de los cuales concentra el 19% de los flujos comerciales internacionales, en tanto que su participación en las importaciones mundiales de leche en polvo son del 5.7 y 37.7% de leche fluida (Gallardo *et al.*, 2005).

La participación de México en la producción mundial total de leche fresca también se ha incrementado de forma significativa, pasando de 1.3% en 1990 a 1.9% en 2004. Asimismo, la dependencia de las importaciones se ha reducido durante el periodo, pasando del 47% al 17% de la demanda nacional aparente, manteniéndose alrededor de los 2 mil millones de litros equivalentes por año (Soto, 2006).

3.3 Producción Nacional

En México, la importancia del sector lechero y la industria de lácteos están determinadas por alrededor de 70,000 empresas en la actividad primaria, y más de 11,000 en la actividad industrial, las cuales generan aproximadamente 400,000 empleos permanentes. El valor de la producción primaria de leche representa casi la cuarta parte del valor total de la producción ganadera y la industria de lácteos es la tercera industria alimentaria más importante en el país, después de la del maíz y de la carne (CRECE, 2004). La producción de leche en México se desarrolla en condiciones muy heterogéneas, tanto desde el punto de vista tecnológico y socioeconómico, como por la localización de las explotaciones. Además, dada la variabilidad de condiciones climatológicas, las explotaciones adquieren características propias por región, influyendo adicionalmente la idiosincrasia, tradición y costumbres de la población. La producción de leche se realiza en todo el país, bajo sistemas que van desde el altamente tecnificado, hasta los procesos de subsistencia. Se distinguen, de forma general, cuatro sistemas: el especializado, el semiespecializado, el de doble propósito y el familiar; de los cuales, por los volúmenes de producción, el primero es el más importante.

En materia de productividad de los inventarios lecheros, se determinan periodos de crecimiento y de decremento que se alternan en el tiempo, situación que obedece en los últimos años a una mayor incorporación de vacas en estados donde el sistema predominante no es el especializado y por tanto se afectan los rendimientos unitarios. El crecimiento del inventario principalmente en entidades con clima tropical y sistema de doble propósito, se ha visto favorecido por factores económicos, debido a que la venta de la leche permite ingresos al productor en ciertas épocas del año, implicando liquidez, en tanto que bajo un sistema neto de producción de carne, los ingresos se concentran solamente en la época de venta de becerros o de animales para abasto.

De 1996 a 2003 se determina una tendencia negativa, situación que nos indica que el precio al productor ha crecido a menor ritmo que el incremento generalizado de precios medido por el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC). Por ende no hay rentabilidad en la producción de leche, las tasas de crecimiento positivas de la producción hacen preveer que la rentabilidad de un sector de las explotaciones lecheras se encuentra sustentada en diferentes factores dentro de los que se ubican: un incremento de los niveles de productividad por menores costos de producción; premios de calidad en los precios liquidados a ganaderos socios de las industrias de transformación; el uso de la leche en procesos artesanales, como en la elaboración de quesos, donde la utilidad proviene del valor agregado y no de la producción primaria porque no se imputa a la leche un costo de producción, principalmente cuando se obtiene en explotaciones de doble propósito (Gallardo *et al.*, 2005).

3.4 Producción Local

En Tabasco la principal actividad agropecuaria son los sistemas de ganadería bovina de doble propósito. Existen 1 670,000 cabezas de bovino en el estado, cifra semejante a las hectáreas que tiene dedicadas a la ganadería, sobre todo de praderas. Con una precipitación pluvial anual mayor de dos mil mm, ampliamente distribuida en el año,

es una de las regiones con mayor potencial para competir en producción de bovinos (Iruegas, 2007). Según Fundación Produce Tabasco (2006) la producción de leche en el 2004 fue acopiada por empresas como Ultralácteos con el 50%, Nestlé el 5%, Queserías el 30% y como leche bronca el 15%. El 60% de la producción de leche es generada por 6 de 17 municipios, mencionados por orden de importancia de acuerdo a la cantidad de leche producida en el 2004, Balancán, Macuspana, Huimanguillo, Jonuta, Tenosique y Centro; concentrándose en estos mismos el 76.8% de las queserías del estado, contando con el 19% en Huimanguillo, 14% en Centro, 13% en Jonuta, 12% en Balancán, 10% en Macuspana y el 8% en Tenosique.

3.5 Problemáticas

Los ganaderos productores de leche en el estado de Tabasco, se enfrentan a una serie de limitaciones que afectan la producción y comercialización de leche cruda, impidiendo tanto el crecimiento y desarrollo de sus unidades de producción como el desarrollo de la industria láctea en nuestro estado y por ende en el país.

3.5.1 Estacionalidad en la producción de la leche cruda

La estacionalidad de la ganadería lechera es el resultado de las fluctuaciones en sus niveles de producción, en gran parte relacionadas con la disponibilidad de forrajes y con la época de lluvias, así la relación entre la producción mensual anual y su media mensual, permite determinar la estacionalidad de la producción, la cual comprende los meses de junio a noviembre, el comportamiento de la producción indica que los volúmenes más altos se alcanzan en el mes de agosto. El conocer la estacionalidad es importante porque permite establecer las variaciones de la oferta por la producción nacional, así como la época en que se presentan los mayores volúmenes de producción, y poder establecer estrategias para que toda esta producción sea captada por la industria. Así se evita que se depriman los precios pagados al productor (Gallardo *et al.*, 2005). Cabe señalar que en algunas zonas tropicales del país, la producción en doble propósito en épocas de lluvias llega a decrecer debido a la dificultad en el manejo y ordeña del ganado, al encharcamiento de los agostaderos, lo que aunado a limitaciones en vías de comunicación, dificulta su traslado a los centros de acopio o a las plantas industriales y en este caso se procesa el producto localmente, en derivados lácteos, principalmente quesos frescos, en pequeños talleres industriales y artesanales (Gallardo *et al.*, 2005).

3.5.2 Precio de la leche cruda

Los precios de la leche pagados al productor presentan una gran variabilidad, ya que cambian de una zona a otra e inclusive dentro de un mismo estado, como resultado de la calidad de la misma, la forma en que se entrega (fría o caliente), la afiliación o no del productor a alguna industria lechera e inclusive el mercado al que se destina, observándose los más altos registros en entidades en donde continúa vendiéndose como leche “bronca” o cruda, para consumo directo.

El análisis de los precios pagados al productor por entidad federativa, muestra, aunque sin una constante definitiva, que los menores precios se registran en entidades con niveles de producción altos y viceversa. No obstante lo anterior, algunas entidades escapan de esta condición, situación motivada por la influencia de compañías que

captan importantes volúmenes de leche, por su empleo para la elaboración de quesos artesanales o por la permanencia de esquemas de consumo de leche sin industrializar, representando este caso los estados de Veracruz y Yucatán.

En términos generales el comportamiento del precio pagado al productor se presenta de la siguiente forma: los precios inician el año en niveles altos, que pueden mantenerse estables o crecer durante el primer cuatrimestre del año, resultando de una producción estable. En el segundo cuatrimestre los precios se deprimen en niveles variables, alcanzando su nivel más bajo hacia agosto, para que a partir de ese mes inicie su recuperación, siendo lo anterior resultante del crecimiento de la oferta, principalmente la proveniente de los sistemas familiar, semiespecializado y doble propósito. Para el tercer cuatrimestre del año, los precios muestran un incremento, al reducirse la producción interna y por tanto la oferta. Cabe señalar que en algunos años se han registrado bajas en los precios liquidados al productor en el mes de noviembre, sin que se identifique un factor de soporte para ello. Considerando los precios ponderados anuales, se determina que de 2000 a 2003 el precio pagado al productor pasó de 3.19 pesos por litro a 3.22 pesos por litro, lo que implica que solamente se ha incrementado en 0.87%, aumento que se encuentra muy por debajo del movimiento del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC), como referencia de la inflación del país.

El incremento del INPC de la leche cruda en los últimos cuatro años es un mínimo. El menor crecimiento del INPC de la leche sin procesar con el INPC, implica que los precios reales de la leche han disminuido. Se pueden establecer dos causales de esta baja movilidad del precio, inclusive ante incrementos en los costos de insumos, siendo el primero, una mayor eficiencia productiva que se traduce en menores costos de producción, lo cual podría condicionarse porque una importante parte de la planta productiva ha visto limitada la posibilidad de realizar inversiones en la incorporación de ganado con mejor potencial productivo o en infraestructura y equipo, debido a la falta de rentabilidad lo cual es muchas veces una condición dentro de la tecnificación.

Un segundo escenario es una baja evolución de precios por enfrentarse a un mercado suficientemente abastecido por no calificarse de saturado, ya sea con leche cruda (fluida o en polvo) o con sucedáneos utilizados como materia prima para la elaboración de lacticios o bien, con productos terminados, que implican una menor demanda por materia prima. (Gallardo *et al.*, 2005).

3.5.3 Costos en la producción de leche

Una unidad de producción de doble propósito tiene costos de operación –que no incluyen costos financieros ni impuesto sobre la renta-, y se distinguen en variables y fijos. Entre los variables están los alimentos comprados, la mano de obra eventual, el mantenimiento de praderas y el de maquinaria y equipo, los costos sanitarios y de inseminación, combustibles y electricidad, renta de terrenos y otros de baja cuantía. Los costos fijos son las depreciaciones y el valor de la tierra, el mantenimiento de construcciones e instalaciones, la mano de obra permanente, los impuestos fijos como el predial o tenencias y los costos de administración y servicios profesionales permanentes. Entre los costos se incluyen algunos que no constituyen erogaciones en

efectivo pero son igualmente reales, como las depreciaciones, el valor del terreno propio y el trabajo familiar o propio no remunerado, incluyendo el gerencial. Iruegas, (2007) realizó un análisis de costos de ganadería bovina de doble propósito en unidades de producción del estado de Tabasco generando los siguientes resultados:

- El cambio de inventario introduce el valor generado por la empresa al aumentar su inventario o al contrario, su disminución al venderlo, para compensar los resultados de otro modo engañosos en las empresas que modifican su tamaño de hatos.
- Los ingresos por leche variaron entre el 17 y 49% de los ingresos totales en las empresas, reflejando diferencias en precios recibidos y en la productividad, pero sobre todo en la inclinación de la empresa por el negocio de leche o el de venta de becerros. Entre los costos en efectivo, el de mano de obra es el más alto. Esto es causado en buena parte por la baja productividad de la mano de obra (vacas/empleada). Los costos de administración y el de alimentos comprados son los siguientes en importancia entre los costos en efectivo.
- El costo de oportunidad de la tierra es alto, con un nivel semejante al de mano de obra. Este costo es menor relativamente en los sistemas más productivos y provoca que la ganadería tienda a alejarse de las zonas con alta presión por otros usos del terreno, como las cercanas a ciudades.
- Hay mucha variabilidad entre las empresas en condiciones ambientales (clima, suelo y vegetación), sistema de manejo (alimentación suplementaria, cantidad y modo de ordeño) y en nivel de administración (manejo de información, dedicación a la empresa).

Algunos de estos indicadores son altos en relación al promedio nacional, como la tasa de destete y la carga animal. La productividad de la mano de obra, en cambio, es baja, aún cuando se ordeña solo una parte de las vacas y solo una vez al día, en la mayoría de los casos.

Los costos fijos son los principales, por lo que la productividad es un factor determinante de la rentabilidad. Es muy importante aprovechar mejor la alta productividad de la vegetación en esta región e incrementar la producción y sobre todo la reproducción del ganado, sin descuidar aspectos de mercado y otros de importancia en el negocio.

3.5.4 Higiene de la leche cruda y los productos lácteos

Debido a que es uno de los alimentos más perecederos, su consumo y de los derivados de la misma han sido causa importante de enfermedades del hombre (ICMSF, 1991). Aunque todos los alimentos tienen la posibilidad de transmitir enfermedades, la leche y los productos lácteos no constituyen una excepción a esta regla. Los animales productores de leche pueden ser portadores de agentes patógenos para los seres humanos. Estos patógenos presentes en la leche pueden aumentar el riesgo de enfermedades transmitidas por los alimentos. Además, las actividades de ordeño, la mezcla posterior de la leche y su almacenamiento entrañan riesgos de contaminación por contacto con el hombre o el medio y de proliferación de patógenos intrínsecos. Además, muchos de los productos lácteos, debido a su composición, constituyen un medio propicio para el desarrollo de microorganismos patógenos. La leche también puede estar contaminada por residuos de medicamentos veterinarios, de plaguicidas o de otros contaminantes

químicos. Por consiguiente, la aplicación de medidas adecuadas de control de la higiene de la leche y los productos lácteos a lo largo de toda la cadena alimentaria es esencial para garantizar la inocuidad de estos alimentos y su idoneidad para el uso al que se destinan (FAO y OMS, 2002).

Según Castro *et al.* (2007) en 14 municipios del estado se cuenta con un padrón de 112 fábricas de queso de las cuales 1.8% pasteuriza la leche, lo que representa solo dos establecimientos del municipio de Centro. De acuerdo a datos de la Secretaría de Salud (2007) en México, los quesos ocupan el 32% de los alimentos involucrados en brotes de enfermedades gastrointestinales por su consumo. Esto representa un gasto tanto al consumidor como a las Instituciones de Salud, por otra parte dichas enfermedades provocan ausentismo laboral y escolar, repercutiendo en el ingreso de la población económicamente activa y en el aprovechamiento escolar. Sin dejar a un lado que se destruyen anualmente un gran porcentaje de productos alimenticios por alteraciones producidas por microorganismos dañando la economía de las empresas. Por tal motivo es indispensable que estos productos sean elaborados en condiciones sanitarias óptimas y que el producto pueda cumplir con los parámetros de los indicadores de prácticas sanitarias desde la obtención de la materia prima, elaboración, distribución hasta la llegada del consumidor.

3.6 Diagnóstico de la Calidad de la Leche en la frontera del Estado de Tabasco

Para determinar la calidad sanitaria de la leche cruda se evaluaron 40 muestras de diferentes unidades de producción que se encuentran en la frontera del estado de Chiapas con Tabasco, considerando que las características de las unidades de producción son similares en los dos estados, se evaluaron los siguientes parámetros: mastitis, densidad, pH, acidez titulable, materia extraña, precipitación con alcohol y mesófilos aerobios.

3.6.1 Análisis para mastitis

Se inspeccionaron las instalaciones (Figura 3.1) y el proceso de obtención de la leche (Figura 3.2) para establecer las fortalezas y debilidades de cada una de las unidades de producción a través de una lista de cotejo, la cual fue diseñada considerando los elementos necesarios requeridos para la implementación de Buenas Prácticas Pecuarias.



Figura 3.1 Inspección de instalaciones



Figura 3.2 Proceso de obtención de leche

Muestreo para mastitis

Para determinar la presencia de mastitis en las vacas en producción, se utilizó la Prueba de California, siendo uno de los métodos más sencillos, rápidos, confiables y a un bajo costo, que el ganadero puede realizar en su unidad de producción.

Se preparó al personal con ropa adecuada como overol y botas, así como guantes, utilizando un par por cada animal, para evitar propagaciones. Los utensilios que se utilizaron fueron una cubeta con agua a la cual por cada 10 litros de agua se añadió 1 ml de yodo, para desaguar y desinfectar el material utilizados en cada vaca, agua suficiente y papel, para el lavado y secado de las ubres. Se procedió a la limpieza de la ubre, lavado con agua y secado con una toalla de papel, posteriormente el despunte, que consiste en extraer los primeros chorros de leche de la ubre, para lo cual se utilizó una cubeta de fondo oscuro que determina la presencia de mastitis clínica, al extraer de la teta grumos o nata en lugar de leche. Si no se detecta mastitis clínica a simple vista se procede a la prueba de California.

Prueba de California

Se obtiene de 2 a 3 ml de leche de cada cuarto de la ubre de la vaca con ayuda de una paleta de plástico blanco con cuatro compartimientos (Figura 3.3), uno para cada cuarto de la ubre, se depositó la leche y la misma cantidad de reactivo mezclándolos suavemente (Figura 3.4), la lectura se toma a los 10 segundos, cuando fue positiva se apreció un cambio en la consistencia de fluida a viscosa (Figura 3.5). Al término de la prueba las paletas fueron sumergidas en una cubeta con agua en una solución de yodo, para evitar la propagación de esta enfermedad. Los resultados se dieron a conocer de inmediato a cada productor para que cada animal infectado se le diera un tratamiento de manera inmediata por el personal del rancho y se separará del resto de los animales.



Figura 3.3 Obtención de la leche de cada cuarto de la ubre



Figura 3.4 Aplicación del reactivo en la leche depositada en la paleta



Figura 3.5 Cambio en la consistencia de la leche al ser positiva

Muestreo de leche para determinar la calidad sanitaria

El muestreo se hizo de la siguiente manera: al finalizar el ordeño en cada unidad de producción, se homogenizó el total de la producción haciendo movimientos con una cuchara de acero inoxidable a cada lechera (en los casos en los que no tuvieron tanques enfriadores, ya que estos cuentan con aspas que mantienen en movimiento la leche). Se recolectó alrededor de 500 ml por unidad de producción, en un frasco estéril bien tapado de acuerdo a la norma NOM-109-SSA1-1994 Procedimientos para la Toma, Manejo y Transporte de Muestras de Alimentos para su Análisis Microbiológico, inmediatamente el frasco con la muestra se introdujo en una nevera con hielo para su transportación manteniendo una temperatura de 4°C, y fue llevada al laboratorio de la División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Determinación de la densidad

En una probeta de 250 ml se vertió la leche fría a una temperatura menor a 15°C, se introdujo en la probeta un lactodensímetro haciéndolo girar en su interior y dejándolo flotar libremente durante 30 segundos hasta que se estabilizó leyendo la división de la escala más alta que alcanza el menisco de la leche se tomó la lectura lactométrica a los 15°C, para determinar la densidad se utiliza la siguiente fórmula:

$$\rho_{15^{\circ}\text{C}} = (\text{°Q} + 1000)/1000$$

$$\text{°Q} = 1000 \rho_{15^{\circ}\text{C}} - 1000.$$

El peso específico se expresa en g/ml a 15°C, cuando no es tomada a esta temperatura la lectura es corregida, mediante la siguiente fórmula:

$$\rho_{15^{\circ}\text{C}} = \rho_T + 0.0002 (T-15)$$

Determinación de pH

Se tomó una muestra de 20 ml de leche y en ella se sumergió el potenciómetro marca pH/EC/TDS Waterproof family HANNA instruments previamente calibrado en soluciones buffer con pH de 4 y 7, el cual toma la lectura en 10 segundos.

Determinación de acidez titulable

La acidez se determinó con base a una titulación alcalimétrica con hidróxido de sodio 0,1 N utilizando fenoltaleína como indicador. Se agitó perfectamente la leche y se colocó una muestra de 20 ml en un matraz Erlenmeyer al cual se le adicionó 40 ml de agua libre de CO₂ y se añadió 2 ml de fenoltaleína al 1%. En la bureta se vertió la solución

de hidróxido de sodio a 0,1 N y se colocó abajo de la bureta la muestra, se agregó gota a gota la solución de hidróxido de sodio al producto lácteo con fenolftaleína, y se agitó cada vez que se agregaba observándolo hasta que la coloración del producto lácteo fue de un color rosa pálido, en este punto se llevó acabo el vire y se tomó la lectura del gasto de hidróxido de sodio observando la bureta. Se hizo el cálculo para obtener el porcentaje de gasto de hidróxido de sodio y la conversión a °D mediante la siguiente fórmula:

$$^{\circ}\text{D} = \% \text{ de gasto de hidróxido de sodio} \times 100$$

Materia extraña

Sobre las lecheras o el tanque frío se colocó la manta o colador de tejido cerrado (Figura 3.6), se pasó la leche al interior con la finalidad de eliminar impurezas (Fig. 3.7), y al final se observaron las impurezas que quedarón sobre la manta y el colador (Fig. 3.8).



Figura 3.6 Colocación del colador o manta



Figura 3.7 Filtrado de la leche



Figura 3.8 Manta con impurezas

Precipitación con alcohol

Se tomaron 5 ml de una muestra de leche con una pipeta y se mezclaron con 5 ml de alcohol al 92°, se agitó suavemente inclinando el tubo para homogenizar la mezcla, posteriormente se observaron los cambios que ocurrieron en la leche, si la leche se coagulaba resultaba positiva, si no tenía ningún cambio era negativa.

Bacterias aerobias en placa

Dilución de la muestra

Para la preparación y dilución de la muestra se utilizó como referencia la NOM-110-SSA1-1994, Preparación y Dilución de Muestras de Alimentos para su Análisis Microbiológico. Se preparó agua peptonada de acuerdo con la NOM-110-SSA1-1994, Preparación y Dilución de Muestras de Alimentos para su Análisis Microbiológico, se distribuyó 9 ml de agua peptonada en tubos de 16 x 150 mm con tapón de rosca, se esterilizaron, se dejaron enfriar y se utilizaron para la dilución. Se utilizaron 7 tubos de agua peptonada para cada muestra, al primer tubo se le aplicó 1 ml de muestra, al segundo se le aplicó 1 ml de muestra del primer tubo, al tercer tubo se le aplicó 1 ml de muestra del segundo tubo y así sucesivamente se fueron diluyendo todos los tubos.

Determinación de bacterias aerobias en placa

Se utilizó como referencia la NOM-092-SSA1-1994 Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa, utilizando como medio de cultivo Agar para cuenta estándar.

La prueba se realizó por duplicado marcando cada una de las cajas, se inoculó tomando 1 ml de la dilución y se agregó de 12 a 15 ml del medio preparado en las cajas Petri homogenizando el inóculo con el medio. La cajas de incubaron en posición invertida a 35°C. Se seleccionaron aquellas placas donde aparecieron entre 25 a 250 UFC. Se contaron todas las colonias desarrolladas en las placas seleccionadas. El cálculo se llevó a cabo tomando en cuenta as lecturas de las placas (dilución y el número de colonias).

3.6.2 Cuantificación del estudio

Mastitis

Solo una unidad estuvo libre de mastitis, 15 unidades de producción se encontraron por debajo del 20% de presencia de mastitis, 17 unidades se encontraron entre el 21% y el 40% de animales infectados con mastitis y el resto de las unidades de producción tuvo una incidencia del 40% al 52% de animales infectados de mastitis. Cotrino (2004) menciona que la leche de un cuarto infectado de mastitis entre 100, puede generar en toda la leche de una unidad de producción, una cantidad de bacterias superior a 100,000/ml, esto afectaría la calidad de la leche no solo de una unidad de producción al ser acopiada con la producción de otras unidades, lo que regularmente sucede con los establecimientos que no acostumbran hacer pruebas de calidad de la leche.

Se encontraron 8 casos de mastitis clínica en diferentes unidades de producción, siendo un solo caso el de más gravedad, ya que se extrajo del cuarto infectado leche tóxica (color verde), la vaca infectada era ordeñada mecánicamente y tuvo que ser retirada del hato para recibir tratamiento y evitar su propagación. La presencia de mastitis puede indicar tanto un elevado recuento de células somáticas como la presencia de microorganismos patógenos tales como *Stafilococcus aureus* (Cotrino y Gaviria 2004) además de cuentas elevadas de bacterias mesofílicas (NMX-F-700-COFOCALEC-2004).

Densidad

De acuerdo a la norma NMX-F-700-COFOCALEC-2004 se requiere un mínimo de 1,0295 g/ml, habiendo encontrado el 95% de las unidades de producción dentro del valor aceptable y solo 5% sale de este parámetro. Según Villareal *et al.* (2003), el peso específico revela la adulteración de la leche cuando el porcentaje de agua adicionado es mayor al 15% y cuando la densidad baja hasta 1.0260 se debe a factores fisiológicos.

pH

El 10% de las unidades de producción (UP) se encuentran dentro del rango aceptable de pH y el 90% fuera del parámetro teniendo valores que van desde 6.7 a 7.2 que generalmente se observan en leches mastíticas y valores que van desde 6.2 a 6.5, indicando presencia de calostro o descomposición bacteriana.

Acidez titulable

El 95% de las muestras para determinar acidez titulable obtuvieron un valor superior a los 20°D, por lo tanto podemos suponer altos recuentos bacterianos, debido a un proceso de fermentación.

La presencia de materia extraña se determinó de manera visual. En todas las unidades de producción, y sin excepción alguna se encontraron cuerpos extraños, dentro de los cuales estuvieron presentes: pastos, pelo, alimento, tierra, excremento, nata (presencia de mastitis), insectos o sus partes, entre los principales.

Prueba de alcohol

El 15% de las muestras para la prueba de alcohol resultaron positivas, según Acuña (2008) el incremento de calcio iónico (forma soluble) a principios y finales de la lactancia es uno de los factores que disminuye la estabilidad de la leche frente a la prueba del alcohol. Por tal razón los resultados de esta prueba pueden tener mayores posibilidades de ser positivos en hatos estacionales (elevado porcentaje de animales a principio o final de su lactancia), esto se acentúa en los hatos constituidos por razas con mayor contenido de proteínas en la leche.

Bacterias aerobias (cuenta total)

Según la norma para leche cruda la cuenta total de bacterias mesofílicas aerobias se clasifican en clases desde la uno que es la menor en UFC hasta la cuatro. El 35% de las unidades de producción (UP) se encuentran dentro de la clase uno con un valor máximo de 100,000 UFC/ml, el 20% de UP se encuentran en la clase dos con un valor máximo de 300,000 UFC/ml, el 5% de las UP en la clase tres con un valor máximo de 599,999 UFC/ml y dentro de la clase cuatro se encuentran 5% de las UP con un valor máximo de 1,200,000 UFC/ml, el 35% de las UP restantes no entran en ninguna clase, esto indica que se tienen altos recuentos por contaminación de la ubre de la vaca, una deficiente higiene en el ordeño y en el lavado del equipo, así como una inadecuada conservación en frío.

3.7 Producción de leches fermentadas con células de *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* inmovilizadas en alginato de calcio

A partir de la leche se deriva una amplia gama de productos alimenticios, algunos de ellos implican el uso de la leche entera y otros sólo porciones de ésta separadas mediante distintas operaciones. Dentro de estos productos podemos mencionar quesos frescos, madurados, cremas, mantequillas y leches fermentadas.

Las leches fermentadas son productos de consistencia semisólida en los que el fenómeno más importante es la transformación de la lactosa de la leche en ácido láctico u otros componentes, debido a la acción de microorganismos específicos que se inoculan en la leche. Además de la transformación de la lactosa, se producen fenómenos de proteólisis y lipólisis por acciones microbiana y enzimática, que confieren a los derivados unas determinadas características nutricionales y que también determinan su aroma, sabor y consistencia; una de ellas son las *leches fermentadas acidificadas en las que se produce ácido láctico a partir de lactosa*; el ejemplo más claro es yogur (*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*),

y *leches fermentadas ácido-alcohólicas* en las que los microorganismos inoculados a la leche conducen a la formación de, además de ácido láctico, alcohol etílico y dióxido de carbono (*Kefir* [Caucaso], *Kumis* [Rusia], *Fuli* [Finlandia], entre otros) (Astiasaran, 2000).

Para la elaboración de leches fermentadas existen varios tipos de fermentaciones, entre las que se puede mencionar *fermentaciones del tipo alcohólico*, en las que la lactosa y/o un azúcar adicionado se transforma en etanol por la acción de las levaduras; *fermentaciones mixtas* en las que se producen al menos dos tipos de conversiones biológicas, la acidificación y la fermentación alcohólica; y la *fermentación láctica* en las que el principal sustrato es la lactosa, que se transforma en ácido láctico, en la mayor parte de estas fermentaciones la flora láctica se añade en forma de cultivos iniciadores cuyo objetivo es estandarizar los productos e impartirles características y propiedades específicas, que tengan por resultado mayor aceptabilidad de los mismos (Pérez, 1984).

Los cultivos iniciadores pueden clasificarse en a) Mesófilos como *Lactococcus lactis* spp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* spp. *lactis*, *Leuconostoc mesenteroides* ssp. *cremoris* b) Termófilos como *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbruecki* spp. *bulgaricus* utilizados en yogurt y queso mozzarella y *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus delbrueckii* spp. *Lactis* (García, 2000).

Las leches fermentadas no sólo son un alimento nutritivo y de buen gusto, sino que también representan una unidad o sistema biológico vivo, con propiedades funcionales sobre la salud; es por esto que se debe procurar mantener este sistema biológico activo para estimular o mejorar la flora del tracto digestivo; una de las formas de mantener las células activas durante su paso por el sistema digestivo es su Inmovilización, que es una técnica mediante la que moléculas biológicas, enzimas, microorganismos, incluidas las bacterias o células son fijadas a superficies o atrapadas en matrices. La inmovilización protege el material biológico frágil y permite que sea reutilizado (Arroyo, 1998).

La definición de la European Federation of Biotechnology (1998) aclara el concepto “Los biocatalizadores inmovilizados son enzimas, células u organelos confinados o localizados en cierta región definida del espacio con retención de su actividad catalítica y pueden ser usados de modo repetido y continuo. Las células inmovilizadas pueden ser separadas fácilmente del medio de reacción sin pérdida de actividad y por consecuencia directa pueden ser reutilizadas, por lo tanto la inmovilización es un requisito para reutilizar células, el tiempo de vida media, en condiciones operacionales, varía normalmente entre 20 y 50 días (Klein y Wagner, 1983).

3.7.1 Materiales y métodos

Inmovilización

Para la inmovilización de las células se estandarizó el cultivo a encapsular realizando cinéticas de crecimiento de *Lactococcus lactis* para determinar el tiempo en que se debe detener el crecimiento para contar con células viables; una vez obtenido el cultivo este se centrifugó para separar el paquete celular, mismo que se resuspendió en solución salina, llevándolo a una densidad óptica de 2.0 con 6.0×10^8 ufc / ml.

Preparación de cápsulas.

Para la producción de cápsulas se preparó alginato de sodio al 2% (w/v) y se mezcló con el 40% (v/v) de células con una concentración de 10^8 ufc/ml. Las cápsulas se elaboraron por goteo de la mezcla del polímero /células a través de una aguja 27G, en caída libre por arriba de una solución de CaCl_2 al 0.2N; dejando las cápsulas en esta solución por 30 minutos más; posteriormente se lavaron las cápsulas con solución salina al 0.9%. Se cuantificaron las células encapsuladas disolviendo 1g de cápsulas en citrato de sodio a 0.1 Molar y de este se hicieron diluciones desde 10^{-1} hasta 10^{-7} en solución salina; las diluciones se sembraron en agar M17 y se incubó a 34°C por 48 horas y se contaron las UFC.

Actividad fermentativa

Para evaluar la actividad fermentativa de las células encapsuladas se inoculó en leche el 1% (w/v) de cápsulas, incubando la leche a 34°C por 24 horas. Se recambió la leche cada 24 horas durante 15 días; al cambiar las cápsulas de leche fermentada a leche fluida éstas se lavaron con solución salina para quitar los residuos de leche fermentada. En la leche fermentada se evaluó, de manera intercalada la carga bacteriana libre en la leche haciendo diluciones desde 10^{-1} hasta 10^{-7} en solución salina; las diluciones se sembraron en agar M17 y se incubó a 34°C por 48 horas y se contaron las UFC; también se evaluó como parámetros de calidad el pH y la acidez con hidróxido de sodio al 0.1N; a las cápsulas se les evaluó en cada recambio su viabilidad, determinando la concentración de células viables; de igual forma cada tercer día se evaluó la estabilidad de las células encapsuladas durante el almacenamiento en solución salina en refrigeración.

3.7.2 Resultados y discusión

El crecimiento de *Lactococcus lactis* se detuvo a las 8 horas de incubación cuando finalizaba su fase logarítmica y la concentración de células encapsuladas fue de 6.0×10^8 ufc/ml. En la Figura 3.9 se muestra el comportamiento del *Lactococcus lactis* durante su crecimiento.

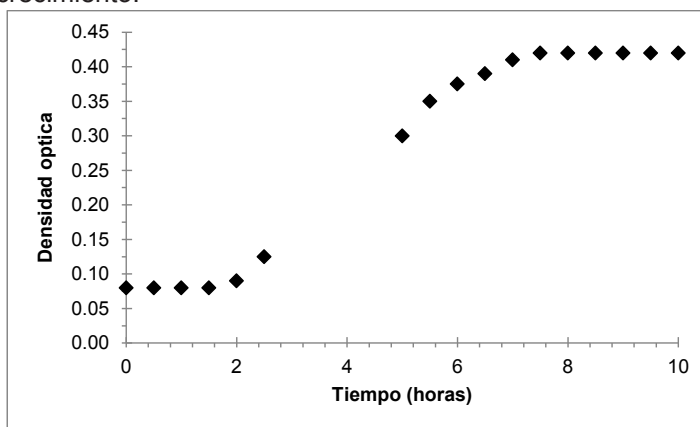


Figura 3.9 Cinética de crecimiento *Lactococcus lactis*

La forma de las cápsulas no es esférica, parecen más bien como gotas de agua. Por otro lado el peso promedio de las cápsulas fue de 8.7 mg, el diámetro correspondiente de las cápsulas fue de 3.0 mm. La concentración final obtenida de células encapsuladas fue de 6×10^8 ufc/ml.

Arroyo (1998) define la inmovilización de células como un método que protege el material biológico frágil y permite que sea reutilizado, en este caso las bacterias encapsuladas e inoculadas en leche tuvieron efecto en la acidificación de la misma después de 24 horas y durante los 15 días de prueba, es decir fueron reutilizadas 15 veces y no perdieron su viabilidad. La concentración de las células encapsuladas no disminuyó durante el período de fermentación, más bien se observó un aumento de células, (posiblemente) esto se debe a la leche fermentada que quedó adherida a la superficie de las cápsulas al ser retiradas de la leche.

Las células encapsuladas generaron una leche fermentada con un pH entre 4.1 y 4.3; una acidez titulable entre 10 – 12.5 °D; Astiasaran(2000) menciona que este fenómeno es producido por la acción de las bacterias sobre los azúcares de la leche ya que ellas producen ácido láctico a partir de la lactosa de la leche. Las células viables permanecieron en una concentración de 10^8 - 10^9 ufc/ml en las cápsulas después de la fermentación y se conservaron viables durante los 15 días de uso.

Cuadro 3.1

Parámetros de leche fermentada con Lactococcus lactis encapsulado

Tiempo (Días)	Leche fermentada		Cápsulas células ufc/ml
	pH	Acidez (°D)	
0	6.68	3.6	6×10^8
1	4.31	9.9	5×10^8
2	4.15	10.5	1.5×10^9
3	4.19	10.0	1.0×10^9
4	4.11	11.0	3.9×10^9
5	4.13	11.3	3.2×10^9
6	4.10	10.9	3.5×10^9
7	4.12	11.2	3.8×10^9
8	4.13	11.1	3.3×10^9
9	4.11	11.5	1.1×10^9
10	4.05	11.9	3.8×10^9
11	4.16	11.1	9.6×10^9
12	4.10	11.5	2.5×10^9
13	4.22	10.5	3.0×10^9
14	4.08	12.5	4.5×10^9
15	4.08	12.2	3.0×10^9

En el Cuadro 3.1, se muestran los resultados de pH y acidez que alcanzó la leche fermentada y las ufc/ml de las cápsulas que fueron reutilizadas durante 15 días; Klein y Wagner (1983) mencionan que en condiciones operacionales las células encapsuladas duran de 20 a 50 días; se recomienda continuar la reutilización de la bacteria encapsulada. La concentración bacteriana libre en la leche fermentada fue de 7×10^8 ufc/ml durante los 15 días. Las cápsulas que se almacenaron en solución salina en refrigeración mantuvieron su estabilidad durante el tiempo de almacenamiento conservando la concentración inicial de células (6×10^8 ufc/ml).

3.8 Conclusiones

En cada unidad de producción se encontraron limitantes en los procesos de manejo higiénico de la leche, ocasionando presencia de microorganismos, el incremento de enfermedades como mastitis en Liconsa y Nestlé mejoran el precio de compra con la mejora de la calidad de la leche y como consecuencia la baja competitividad del producto. Las deficiencias reflejadas en los resultados de este trabajo se deben principalmente a la desinformación y falta de la permanente capacitación sobre buenas prácticas de manejo pecuario. Sin embargo los productores se empeñaron en realizar ajustes a sus hábitos de trabajo, mejorando así la calidad de la leche, motivados principalmente por incrementar sus ingresos por la venta de su producto

En lo que respecta al 5% de las muestras que se encuentran fuera del valor aceptable de densidad es debido a que los productores ingresan a la ordeña a animales recién paridos, que en vez de leche aún producen calostro, con la finalidad de aumentar su producción y generar más ingresos, esto también se ve reflejado en la prueba del alcohol que resultó positiva en el 15% de las muestras evaluadas. La presencia de cuerpos extraños fue notoria en todas las unidades de producción debido a que la mayoría no incluye un filtro o manta coladora para evitar el paso de estos a la leche.

Por otro lado, las cápsulas con *L. lactis* fermentaron eficientemente 15 días, generando una leche fermentada con un pH entre 4.1 y 4.3; una acidez titulable entre 10 – 12.5 °D; la concentración de células encapsuladas viables después de la fermentación estuvo entre 10^8 - 10^9 ufc/ml. Las cápsulas que se mantuvieron almacenadas en refrigeración (5°C) conservaron su viabilidad durante 10 días antes de ser utilizadas. Por lo tanto se puede decir que la inmovilización de *L. lactis* en alginato de calcio al 2% se puede considerar como una alternativa económica para la elaboración de leches fermentadas.

La inmovilización de *Lactococcus lactis* en alginato de calcio al 2% se puede considerar como una alternativa económica para la elaboración de leches fermentadas; ya que se mantiene estable durante 15 días sin perder su actividad. Proporcionando durante el período de uso parámetros de calidad aceptables y características organolépticas de leches fermentadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, C. 2008. Factores que afectan los resultados de la prueba del alcohol en leche cruda. Grupo Agro-Veterinario de Asesoramiento en Calidad de Leche y Mastitis (GAV), Argentina
- Arroyo, M. 1998. Inmovilización de enzimas. Fundamento, métodos y aplicaciones. *Ars Pharmaceutica* 39(2): 23-39.
- Astiasaran, I. Martínez, J.A. 2000. Alimentos, composición y propiedades. Leche y Derivados. Editorial Mc Hill. pp. 69-72.
- Castr, G.V., Díaz, R.A., Torres, T.B. 2007. Análisis de la calidad sanitaria de las queserías y los quesos en el Estado de Tabasco en el período del 2002 al 2005. *Salud en Tabasco ene-abril año/vol 13, número 001*. Secretaría de Salud. Villahermosa, Tab. México. 2007.
- Cotrino, V. 2004. DMV Director Científico LMV Ltda, Conferencia dictada en el I Curso Internacional Sobre mastitis Bovina Lima Perú. Perulactea.
- Cotrino, V. y Gaviria, B. 2004. DMV Director Científico LMV Ltda. y Bact Gerente LMV Ltda. Bacteriología de la leche cruda. Perulactea.
- CRECE. 2004. Estudio de Inversión de la Planta Procesadora de Lácteos de Juárez, Chiapas.
- FAO y OMS, 2002. Foro mundial de las Autoridades de Reglamentación sobre Inocuidad de los alimentos. Marruecos, Enero de 2002.
- Fundación Produce Tabasco, 2006. Programa de Fomento Lechero Tropical. Cuenca lechera tropical. Villahermosa, Tab. Julio de 2006.
- Gallardo, N.J., Villamar, L. y Olivera E. 2009. Situación actual de la producción de leche de bovino 2004. *Revista Claridades Agropecuarias*, 136: 3-44
- Gallardo, N.J., Villamar, L. y Olivera E. 2005. Situación actual y perspectiva en la producción de leche de bovino en México 2005. Coordinación General de Ganadería. SAGARPA.
- García, G. M. 2000. Productos lácteos. En: García, G. M., Quintero, R. R. y López-Munguía, A. C. *Biología Alimentaria*. Editorial Limusa, México. pp 164-165.
- ICMSF. 1991. Sistema de Análisis de Riesgos y Puntos Críticos. Su aplicación en la Industria de los Alimentos. Ed Acribia, S.A. España. Pp. 184 y 185.
- Iruegas, E. 2007. Estudio de costos en el sistema doble propósito en Tabasco. FIRA.
- Klein, J., Wagner, F., 1983. Methods for immobilization of microbial cells. *Appl. Biochem. Bioeng*, 4: 11-51.
- NMX-F-700-COFOCALEC-2004 SISTEMA PRODUCTO LECHE-ALIMENTO- LÁCTEO- LECHE CRUDA DE VACA-ESPECIFICACIONES FISICOQUIMICAS, SANITARIAS Y METODOS DE PRUEBA. Consejo para el Fomento de la Calidad de la Leche y sus Derivados, A.C. Organismo Nacional de Normalización y Evaluación de la Conformidad.
- NOM-092-SSA1-1994 Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.
- NOM-109-SSA1-1994 Procedimientos para la Toma, Manejo y Transporte de Muestras de Alimentos para su Análisis Microbiológico.
- NOM-110-SSA1-1994, Preparación y Dilución de Muestras de Alimentos para su Análisis Microbiológico.
- Soto, J. 2006. Diagnóstico del sector de producción de leche bovina. Centro de Estudios Estratégicos del Tecnológico de Monterrey Campus Ciudad de México.

- Pelayo, B. y Tejada I. 2008. XXI Congreso Panamericano de Ciencias Veterinarias. Organización Panamericana de Ciencias Veterinarias. Jalisco, México.
- Pérez, G. J. 1984. Factores Tecnológicos de la producción y utilización de iniciadores. En: Pérez, G. J. Bioquímica y Microbiología de la leche. Editorial Limusa, México. pp. 147- 145
- Vargas T. 2002. Calidad de la Leche: Visión de la Industria Láctea. Fundación INLACA; Faculta de Ciencias Veterinarias, UCV.

CAPÍTULO 4

CACAO CRIOLLO EXTRAFINO DE AROMA

García Alamilla, P.; López Andrade, P. A.; González Lauck, V. W. y Lagunes Gálvez, L. M.

4.1 Introducción

En el presente capítulo se pretende compartir algunas experiencias relacionadas con el cacao enfocándose particularmente al cacao criollo extrafino de aroma, que permitan establecer un futuro para el sector cacaotero mexicano. El término posiblemente cause confusión, al pensar que el término criollo lo ubica ya como un cacao fino, entonces cual será el tipo extrafino, más adelante se definirán conceptos para aclarar este punto.

El cacao es una de las cadenas agrícolas más importantes en el estado de Tabasco. Aporta 20% del valor de la producción agrícola en la región y tres cuartas partes de la producción nacional. Genera ingresos anuales hasta de 700 millones de pesos para 31 mil familias de pequeños productores, lo que representa aproximadamente 197 mil personas (González y Amaya, 2005). Sin embargo, esto no implica que sea competitivo en el presente. Siendo un producto primario, el cacao está ligado íntimamente al mercado mundial y a los cambios que el mismo experimente. Entre estos cambios se pueden resaltar el proceso de apertura comercial y liberación de mercados, la consolidación de bloques económicos, el fortalecimiento de las instituciones que rigen el comercio internacional, el desarrollo de nuevas tecnologías en el ámbito de la producción y el comercio de mercancías entre otros (Quintero y Díaz, 2004).

Durante los últimos años el sector cacaotero mexicano ha sufrido la falta de competitividad. Dos de los principales indicadores son:

- El incremento de las importaciones, y la
- Competitividad en cuanto al rendimiento (unidad de superficie y costo de producción por tonelada).

Nuestro país importa el 50% del consumo, además se obtiene en promedio de 400 a 500 kilogramos de grano seco por hectárea, mientras que el país líder (Indonesia) duplica esta cantidad. Los costos de producción por tonelada en México son mucho más altos que en el mercado internacional (Gonzalez y Amaya, 2005).

Hay un aumento de la demanda de chocolates con alto contenido de cacao, chocolates de origen y, generalmente, chocolates oscuros. Durante los últimos años se ha dado un desarrollo de marcas especiales, en combinación con los orígenes del cacao, como es común en el mundo del vino. En Europa y en Estados Unidos se tiene el desarrollo de los salones de chocolate (comparables con las enotecas), que ofrecen productos especiales, cursos de degustación y eventos culturales en relación con el mundo del cacao y de chocolates.

La ventana de oportunidad es enorme, ya que el mundo está experimentando problemas de abastecimiento de cacao fino y extrafino de aroma, puesto que se incrementa la

demanda más de doce por ciento al año, mientras que el abastecimiento mundial de cacao extrafino se proyecta menos del dos por ciento en los próximos años. Por esta razón, los fabricantes de chocolate gourmet (mayormente ubicados en Francia e Italia) pagan un sobreprecio de tres a ocho veces el precio de cacao convencional. Por ejemplo, actualmente el cacao “La Joya” ha alcanzado precios de SIETE EUROS Y MEDIO el kilogramo de cacao seco¹. Además, al ser un producto diferenciado y destinado hacia un nicho del mercado, el cacao extrafino no está expuesto a la alta volatilidad en precio que enfrenta el cacao convencional. Por otro lado también la Word Cacao Foundation (WCF) en su boletín mensual ha dado a conocer el establecimiento de un Centro de investigación de chocolate para desarrollar nuevos productos de chocolates de lujo y de primera, y por supuesto que el cacao criollo deberá ser materia prima fundamental para lograr las características sensoriales con estos atributos de calidad. Así también La Academia Francesa de Chocolate realiza un certamen denominado CACAO DE EXCELENCIA, donde se recolecta cacao de todas las latitudes del mundo con la finalidad de seleccionar a los mejores para la fabricación de chocolates y se certifica esta calidad de atributos, donde los empresarios de productos finos están a la espera de la selección de estos cacaos, por lo tanto representa una oportunidad para dar a conocer los tipos de cacaos mexicanos con los compradores y establecer relaciones comerciales lucrativas.

En el 2006, Michel Barel en una presentación que realizó sobre la visión del cacao mexicano estableció que el futuro del sector mexicano radica en los cacaos finos y extrafinos, señalando la fortaleza histórica de México y la necesidad inmediata de expandir los ejemplos de doña Clara Echeverría, Don Tito Jiménez² y CASFA³ entre otros productores dedicados al cultivo de criollos.

La promoción del cultivo de cacao criollo en Tabasco deberá apoyarse en dos factores principales: las ventajas competitivas que posee la región y la demanda potencial del mercado. México es uno de los pocos países a nivel mundial que cuenta con el material genético clasificado como cacao extrafino y las condiciones agrícolas adecuadas para producir el cultivo.

Las facilidades y apoyo del Gobierno del estado de Tabasco a través de su Secretaria de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca, SEDAFOP, le permitirá cumplir con su mandato mediante el fomento y promoción de proyectos productivos viables de alta rentabilidad, para con ello, se mejore la calidad de vida y bienestar de los productores, mediante: desarrollo tecnológico, transferencia de tecnología, organización de productores y fomento a la comercialización con respeto y cuidado al medio ambiente.

4.2 Antecedentes

El árbol del cacao (*Theobroma cacao* L.) es originario de la región noroccidental de la selva amazónica, pero su cultivo se ha extendido a una amplia zona que comprende las tierras costeras entre los 20° de latitud norte y los 20° de latitud sur tal como se muestra en la Figura 4.1 (López *et al.*, 1996, Wood y Lass 1985).

¹Precio proporcionado por la Sra. Clara Echeverría, dueña de la finca La Joya al 2008

²Productor del municipio de Pichucalco, Chiapas, que posee dos variedades finas

³Organismo dedicado a la promoción y cultivo de criollo, en el estado de Chiapas

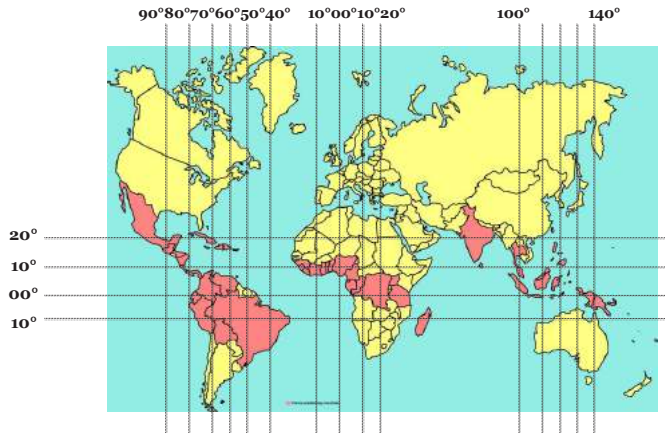


Figura 4.1 Distribución de las zonas de cultivos de *Theobroma cacao* L., en el mundo

El cacao está clasificado en el género *Theobroma*, en la familia Malvaceae con 22 especies descritas, ubicadas principalmente en Sudamérica y Centroamérica. De *Theobroma cacao* L. se han descrito dos subespecies, *T. cacao* ssp. *cacao* y *T. cacao* ssp. *sphaerocarpum*. La subespecie *cacao* se distingue porque presenta frutos alargados y granos donde el cotiledón es blanco, mientras que la subespecie *sphaerocarpum* presenta frutos redondos y cotiledones de color púrpura (Ogata, 2007). En términos agronómicos la primera se conoce como la variedad criolla y la segunda como forastero, mientras que la cruce de ambas es el trinitario.

4.2.1 Tratamiento poscosecha del cacao

El tratamiento poscosecha es la etapa fundamental donde se desarrollan las características de aroma y sabor, y que comienza desde el corte del fruto, la apertura y extracción de las semillas, la fermentación y el tipo de fermentador utilizado, el secado y la forma de llevarlo a cabo (al sol o artificial) y la selección y almacenamiento. Y todas las características sensoriales emergen durante el proceso de tostado (Frauendorfer y Schieberle, 2008; Caligiani *et al.*, 2007; Schwan, 1995).

El proceso clave del tratamiento poscosecha es la fermentación y la duración de la misma y características de procesamiento depende de la composición química, época de cosecha, condiciones climatológicas, grado de maduración de la mazorca, región donde se cosecha y genotipo (Lehrian y Paterson, 1986).

La fermentación tiene como finalidad: a) La degradación del mucílago que recubre al grano de cacao, b) La formación de alcoholes y ácidos vía microbiana del mucílago y la subsecuente difusión de estos al interior del grano, con lo que provocarán la muerte del embrión evitando la germinación que deteriora su calidad, c) un conjunto de reacciones biológico - enzimáticos que favorecen la reducción del amargor y astringencia, además del desarrollo de las sustancias precursoras del aroma y sabor característico del chocolate y d) el cambio de coloración del cotiledón al característico color café del chocolate (Barel, 1999; Schwan 1995; Lehrian y Paterson; 1986, Wood y Lass, 1985).

Los granos de cacao ordinarios se fermentan entre seis a ocho días y los granos criollos con características similares se fermentan entre dos a cuatro días. Estas diferencias en la duración obedecen de forma general al contenido de compuestos fenólicos, los granos criollos no presentan pigmentación y son blancos de cotiledón a diferencia de los demás grupos que presentan pigmentación que oscilan desde violeta claro a intenso. Esta coloración determina en gran parte la astringencia de los granos y en menor proporción la amargura (Portillo *et al.*, 2006, Cros *et al.*, 1982).

4.2.2 Tostado

El tratamiento poscosecha es el proceso donde se desarrollan las características sensoriales particulares del aroma y sabor y la etapa clave es la fermentación, pero es durante el tostado cuando se permite la explotación de todas estas características. Esta última etapa de transformación química es muy compleja y su origen del tipo térmico es atribuido a reacciones del tipo Maillard, la caramelización de los azúcares, la degradación de las proteínas y la síntesis de compuestos azufrados (Cros, 1997). Durante el proceso se forman nuevos compuestos, otros aumentan y existe una pérdida de la fracción volátil. En esta última fracción el compuesto volátil más importante es el ácido acético, es cual, es producto de la fermentación microbiana y sobre el cual se debe tener mucha atención debido a que granos de cacao con excesiva acidez enmascaran el sabor y aroma. Durante este proceso la pérdida de humedad y las reacciones químicas que sufre el grano afectan el color, volumen, masa, forma, pop del grano, pH, densidad y sobre todo compuestos volátiles y de sabor. Al igual que el café los granos de cacao después de sufrir este proceso deben ser enfriados con la finalidad de parar las reacciones y evitar un tostado excesivo que afecte la calidad del grano.

De acuerdo con Silwar (1988), más de 500 compuestos volátiles individuales se han detectado en los granos de cacao, pero pocos son los estudios que establecen la composición cuantitativa del aroma complejo del cacao. En el Cuadro 4.1 se muestra la clasificación de Silwar (1988). En su trabajo con cacao de Ghana estableció 120 compuestos relacionados con el aroma de cacao, de los cuales las clases más comunes de los compuestos detectados fueron glúcidos, aldehídos, cetonas, ácidos, ésteres, furanos, y pirazinas. Los principales compuestos del aroma del cacao son el 2-fenilacetaldehído, la tetrametilpirazina, el benzaldehído, el 2-feniletanol y el ácido isovalérico. También se identificaron por primera vez catorce compuestos como compuestos volátiles del cacao. De forma particular el trabajo de Silwar (1988) no correlaciona estos compuestos con análisis sensorial. Frauendorfer y Schieberle (2008) realizaron un estudio sobre tostado de cacao criollo, el cual, más allá de detectar compuestos volátiles buscaron correlacionar aspectos de perfil sensorial con estos. Como resultado de su estudio encontraron que las diferencias en aroma de cacao con y sin tostar son causadas por cambios cuantitativos más que cualitativos. Además que el ácido acético fue el único compuesto que fue reducido durante el proceso, mientras que 15 compuestos incrementan en su concentración. Así también aclaran que muchos compuestos involucrados en el aroma se encuentran presentes en cacao sin fermentar.

4.2.3 Definición de cacao extrafino de aroma

Existen diferentes nombres como se conoce a los distintos tipos de cacao en el mundo como: de calidad, finos, gourmet, de aroma, extrafino, orgánico, certificado, etc. Una conceptualización más compacta la estableció Barel (2006) donde segmenta al mercado comercial en tres rubros:

- Cacao Común:
 - 90% del mercado
 - Precio definido en Nueva York y Londres
- Cacao Fino:
 - Establecido por un Comité
 - Considera la relación oferta – demanda, más que la calidad aromática
- Cacao Especial o Extrafino
 - Altamente valorado
 - Precio establecido por el productor

Cuadro 4.1 *Compuestos volátiles detectados en granos de cacao*

Grupo	Compuestos	Grupo	Compuestos
Alifáticos (194)	Hidrocarburos (10) Alcoholes (18) Aldehídos (16) Cetonas, dicetonas, hidroacetonas (18) Ácidos (35) Ésteres (47) Éteres (6) Aminas (33) Nitrilos (1) Compuestos de S (10)	Aromáticos (93)	Hidrocarburos (32) Fenoles (8) Alcoholes (5) Aldehídos (5) Cetonas (5) Ácidos (17) Ésteres (13) Éteres (2) Compuestos N (4) Compuestos S (2)
Alicíclicos (20)	Hidrocarburos (7) Alcoholes (5) Cetona, dicetona (4) Éster (1) Misceláneos (3)	Heterocíclicos (201)	Compuestos =0 (37) Furanos Furanos conteniendo sulfuros Lactonas Misceláneos Compuestos = N (n=140) Pirroles Pirroles (halogenados) Piridinas Pirazinas Ciclopentapirazinas Quinoxalinas Misceláneas Tiazoles Oxazoles

Fuente: Adaptado de Silwar, 1988

Las características de este último son especialmente buscadas por los empresarios para la producción de chocolates de muy alta calidad con atributos muy específicos. Habría que aclarar que las diferencias entre los cacaos finos y los extrafinos, donde este último corresponde exclusivamente a cacaos criollos con un origen específico, apreciado y distinguido por sus atributos de calidad sensorial y sobre todo muy bien cotizado.

De acuerdo a la Internacional Cacao and Cocoa Organization (ICCO), se establece la definición de cacao fino de acuerdo a un comité y también se señalan cuales son los países que producen este tipo de cacao, donde México no aparece a pesar de que es el centro de domesticación y dio a conocer al mundo el cacao criollo y es por lo tanto un centro de diversidad genética.

En general los cacaos **comunes** provienen de variedades con semillas de color morado o variedades Forastero. Y en el otro extremo, el cacao **especial o extra fino** de variedades de cacaos criollos – blanco. Mientras que los **finos** se obtienen de variedades intermedias, nuevos criollos y trinitarios. Estos últimos provenientes de cruces de Forastero con Criollo.

4.2.4 Calidad comercial y del grano

Desde el punto de vista comercial el grano de cacao en México debe cubrir los estándares de calidad negociable clasificado en lavado y seco (Tipo I), fermentado y seco (Tipo II), los cuales deben cubrir las especificaciones establecidas por las NMX-FF-103-SCFI-2003. A nivel internacional los granos a comercializar deben ser del Tipo II y las especificaciones de calidad de la materia prima pueden ser objetivas o subjetivas.

De acuerdo con Quintero y Díaz (2004), la apreciación de la calidad difiere según los actores del circuito del cacao: productores, intermediarios, fabricantes o consumidores. Desde el punto de vista del cliente, los dos factores más resaltantes de un buen cacao están referidos a la calidad uniforme y la regularidad de los suministros, cumpliendo estrictamente con los términos pactados, algo que también se establece en la norma oficial mexicana (NMX-FF-103-SCFI-2003)

Evaluar la calidad del cacao mexicano como de cualquier otro producto agroalimentario depende de características particulares que deben satisfacer a un consumidor y que se pueden agrupar en:

- a) Propiedades sensoriales
- b) Factores psicológicos
- c) Contribución a la salud y con la forma de vivir

Con la finalidad de lograr estas características los granos de cacao dependen de la variedad, de las condiciones edafoclimáticas, el seguimiento de buenas prácticas durante el tratamiento poscosecha y de un tostado adecuado como se ha mencionado con anterioridad.

Para el caso particular del cacao los atributos sensoriales pueden ser agrupados de forma general en:

- Aromas (Floral, Frutal, Especies, Frutas secas, Caramelo, Miel)
- Sabor (Acidez, Amargura, Astringencia, Sabor a Chocolate)
- Sensibilidad (Grasoso, Suave, Picante, Polvoso)
- Notas desagradables (Jamón ahumado, Químicos, Mohoso, Animal, Alcohol)

Estas características sensoriales se deben a la presencia de más de 500 compuestos químicos en distintas clases químicas (Alifáticos, Alicíclicos, Aromáticos, Heterocíclicos, Tiazoles, Oxazoles) como se ha mencionado.

4.3 Contexto histórico del cacao en México

En México, el uso del cacao se remonta a la época prehispánica, después de su llegada a través de rutas comerciales desde Sudamérica y es en nuestro país donde varias culturas prehispánicas como los olmecas, mayas, aztecas y otras, le dieron un empleo del tipo comercial, alimenticio y ceremonial. El cacao fue empleado como moneda por el imperio azteca, además de utilizar bebidas producidas de *Theobroma cacao L.*, en rituales de carácter religioso, dándole el nombre de Xocolatl. (Henderson *et al.*, 2007, Wood y Lass 1985). Se dice que los mayas establecieron cacaotales y consumieron chocolate desde el año 600 de nuestra era, sin embargo recientemente se ha establecido que los habitantes de Mesoamérica (Puerto Escondido, Honduras) consumían una bebida parecida al chocolate en el 1100 a.c., esta fecha lo ubica muchos siglos antes de lo que se había supuesto (Henderson *et al.*, 2007).

Cuando los españoles invaden México descubren la bebida Xocolatl y la mezclan con azúcar, canela y vainilla para proporcionarle un mejor sabor. Así que desde el siglo XVI a través de los españoles es dado a conocer esta bebida al continente europeo a través de las distintas casas reales y difundido su cultivo a las colonias respectivas de los países europeos. El cultivo del cacao en esta época es esencialmente criollo y el forastero es a partir del siglo XVII que es cultivado en Brasil específicamente (Lechevalier, 1999).

4.4 Producción mundial del cacao extrafino de aroma

La producción de cacao a nivel mundial se concentra en Centro y Sudamérica, una parte de África y Asia, principalmente. Podemos mencionar a seis países que abarcan el 87% de la producción, los cuales son: Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Nigeria, Brasil y Camerún. El resto de la producción la proporcionan otros países, dentro de los que se encuentra México, con una producción muy pequeña.

En el año 2003, la producción mundial de cacao fue de 3.3 millones de toneladas. Si se analiza la producción por continentes, se observa que África aporta al mercado internacional más del 65% del cacao mundial, seguido en importancia por América Central y del Sur, que representan el 13% (Figura 4.2).

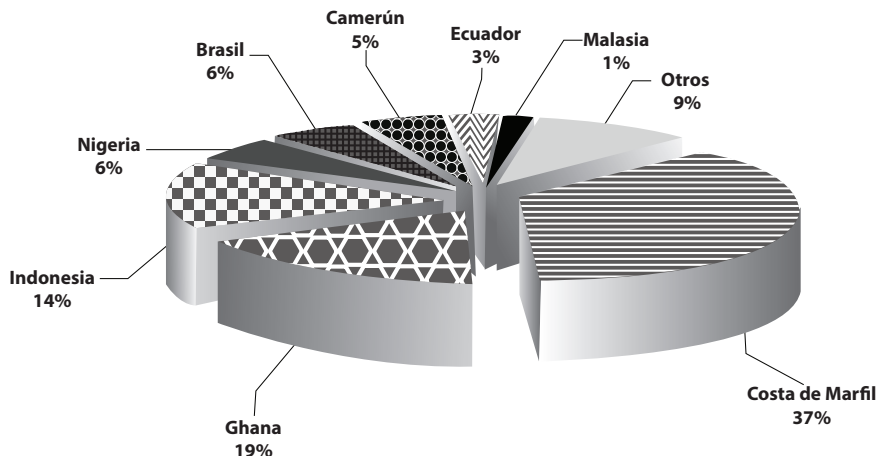


Figura 4.2 Principales países productores de cacao. Fuente: ICCO (2003)

Como se estableció, los cacaos finos se encuentran establecidos por las normativas de la ICCO, estos abarcan a 17 países los cuales son:

Costa Rica, Dominicana, Ecuador, Granada, Indonesia, Jamaica, Madagascar, Panamá, Papúa Nueva Guinea, Samoa, Santa Lucía, Santo Tomé y Príncipe, San Vicente y las Granadinas, Sri Lanka, Suriname, Trinidad y Tobago, Venezuela.

En el Cuadro 4.2 se puede observar los porcentajes de producción de cacaos finos, donde Ecuador es el principal productor. Es de notar que México no aparece, a pesar de ser el país que dio a conocer el cacao criollo y ser históricamente el país que lo domesticó.

Cuadro 4.2

Producción de cacao fino o de aroma

País	Producción (%)
Ecuador	59
Indonesia	9
Papúa Nueva Guinea	8
Colombia	8
Venezuela	10
Trinidad y Tobago	2
otros	4

Fuente: ICCO, 2004-2005

En total la producción de cacao fino para el 2005 fue de 153,000 ton, lo que representó en ese año el 4.8 por ciento de la producción mundial.

4.5 Características de poscosecha de cacao criollo

En este punto se abordarán algunas características particulares de algunos cacaos criollos cultivados en México en pequeñas áreas de Tabasco y Chiapas.

4.5.1 Algunas características del cacao la Joya y otros criollos en México

El cacao la Joya se encuentra ubicado en Rio Seco 1ra. Sección, del municipio de Cunduacán, Tabasco, México. Esta plantación consta de alrededor de seis hectáreas en capacidad de producción y seis más en etapa de crecimiento, con un rendimiento promedio de $2000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. El cultivo emplea prácticas culturales utilizando además agricultura orgánica, con sombra permanente. El tipo de suelo predominante en la región es del tipo Aluvial.

El cacao Blanco Marfil y Uranga son proporcionadas del centro de acopio de Arroyo el Afiladero S.P.R de R.S., ubicada en Zaragoza 37, Col. Centro, Pichucalco, Chiapas, México.

El cacao Cacep proporcionado por la Hacienda Jesús María ubicada en la Ranchería Sur 5ta. Sección, Municipio de Comalcalco, Tabasco. Muestra fermentada por 4 días y secadas al sol en mantas de henequén en cinco días, con una plantación de 6 hectáreas en inicio de producción. Nombre establecido por el productor criollo almendra rubia. La forma de la mazorca: cundeamor y angoleta, cosechando actualmente tres toneladas por hectárea. El cultivo es no orgánico pero realizado bajo las mismas condiciones. El tipo de suelo predominante en la región es del tipo Aluvial.

En la Figura 4.3 y 4.4 se aprecia el fruto del árbol de cacao de la finca la Joya, donde se distingue las características de la mazorca, como forma, rugosidad, ápice, etc.



Figura 4.3 Apreciación de mazorcas de cacao La Joya, en Cunduacán, Tabasco



Figura 4.4 Distintos tamaños de mazorcas de cacao (Foto: P.A. López)

En los Cuadros 4.3 – 4.6 se establecen características generales del cacao la joya y en el Cuadro 4.7 se compara con otros cacaos criollos y un clon aislado por un productor que se establece como CACEP.

En el Cuadro 4.3, se reporta el largo y ancho promedio de la mazorca que fue de 18.57 y 8.75 cm., respectivamente, valores que son superiores a los reportados en otros tipos de cacao (López, 1996). En cuanto al peso de la mazorca se situó por encima de 4 clones reportado por el INIFAP (López *et al.*, 1996). El número promedio de granos fue de 37, valor mayor al reportado para cacao criollo (Wood y Lass, 1985) y superior a lo reportados por López *et al.* (1996) para cacao criollo.

El Cuadro 4.5 muestra algunas características de productividad, donde se indica que el porcentaje de cotiledones blancos encontrados fue de 73 %, característica distintiva de los criollos. Las características físicas afectan el valor del grano comercial (Wood y Lass, 1985), ya que son indicadores que se deben cumplir en el mercado internacional. Características importantes que afectan la cantidad de manteca de cacao que se puede extraer y la facilidad de rendimiento industrial. Por ejemplo, el peso mínimo del grano debe de ser de 1 g, mientras que el porcentaje de cáscara recomendado es del 11%. Al respecto, se encontraron valores superiores a 1 g por grano e índice de mazorca de 18.03 que indica que este número de mazorcas se requiere para obtener un kg de cacao seco. Este mismo índice de mazorca se encuentra entre los tres mejores con respecto a 20 clones de cacao caracterizados por el INIFAP (López *et al.*, 1996).

Para contenido de grasa se determinaron valores de 57.5% para el cotiledón que lo ubica un 53% superior a valores reportados (Wood y Lass, 1985).

Cuadro 4.3

Algunas propiedades físicas de la mazorca de cacao criollo mexicano

		Promedio	Máx.	Mín.	*D.S
Largo de mazorca	cm	18.57	23.50	15.40	2.04
Diámetro de mazorca	cm	8.75	10.80	7.60	0.81
Peso de mazorca (base húmeda)	g	610.94	964.99	357.42	168.19
Espesor interno	cm	1.19	1.60	0.80	0.17
Espesor externo	cm	1.58	2.20	1.20	0.22
Número de granos por mazorca	-	37.17	48.00	25.00	6.05
Peso de granos	g	111.98	177.73	63.43	31.89

*Desviación estandar, n=30

Cuadro 4.4

Características texturales de la mazorca

Color	Rugosidad	Forma	Base	Ápice	Lomos	%Humedad
Amarillo	Poco	Angoleta	Redonda	Agudo	Diferencias individuales	83.65

Cuadro 4.5

Principales indicadores de productividad para granos de cacao

Forma del grano	% de granos blancos	Índice de mazorca (IM)	Índice de grano (IG)
Elipsoides u ovalados	73.00	18.03	1.38-1.48 g

IM=Mazorcas para obtener un kilogramo de grano seco de cacao

IG= Peso de granos secos después del proceso de beneficio

Cuadro 4.6

Características físicas de los granos de cacao seco

Tipo de cacao	Número de semillas por 100 g	% cascarilla	% Grasa en cotiledón	% Grasa en cascarilla	% Recuperación
Mexicano criollo	72 -73	11.06	57.5	8	49.52

La humedad y cenizas como se aprecia en el Cuadro 4.7, fue homogénea para todos los cacaos investigados, presentándose diferencias en todas las demás características evaluadas. El mejor porcentaje para proteína cruda fue encontrado para Uranga y los demás tipos presentaron similitud. El pH es un parámetro que ha sido reconocido como específico solicitado por los chocolateros y es requerido usualmente con un valor mayor de 5. Para el caso particular de las muestras analizadas a excepción del cacao La Joya todos los demás mostraron valores superiores a éste último, sin embargo, esto no es un aspecto que implique de forma global la calidad del cacao. La acidez total recomendada por Pontillon y Cros (1999) es de 3 ml y los resultados mostraron que todas las muestras se encuentran por debajo de este valor y presentando valores de acidez volátil en su mayoría por debajo de 0.01 g ácido acético.g⁻¹ m.s., a excepción del cacao La Joya.

Cuadro 4.7

Composición proximal de granos fermentados y secos de cacaos criollos mexicanos. Todos los datos corresponden al cotiledón del grano sin germen

Parámetro muestra	Humedad g agua.g ms⁻¹	Cenizas %	Proteína cruda %	pH	Acidez total	Acidez volátil
La joya	0.0620	2.4694	14.35	4.72	1.0549	0.0149
Uranga	0.0665	3.5741	19.05	5.46	0.7725	0.0057
Blanco Marfil	0.0649	2.1340	15.31	5.17	0.5027	0.0059
Cacep		3.0854	13.90	5.13	0.3101	0.0057

El Cuadro 4.8 establece características distintivas en cuanto a porcentaje de semillas blancas y otros aspectos de calidad física (peso promedio y porcentaje de cascarilla). De forma general todas las semillas presentaron forma regular ovaladas, pesos promedio por arriba de uno y porcentaje de cascarillas similares. Pero el porcentaje de semilla blanco que implica el dominio de la calidad criolla fue dominado en un 89% por el cacao La joya, y de forma decreciente Blanco Marfil con 61% y Uranga con 18%. Los estudios del cacao la Joya de forma puntual durante el proceso de fermentación y secado tradicional han sido evaluados demostrando características superiores a los convencionales y a otros tipos criollos ubicados en jardines de germoplasma (García *et al.*, 2012).

Cuadro 4.8

Algunas características físicas de los granos criollos

Parámetro muestra	Porcentaje de semillas blancas	Forma del grano	Peso promedio por 100 granos en gramos	Porcentaje de cascarilla
La Joya	89	Ovalada	1.30	13.60
Uranga	18	Ovalada	1.24	13.23
Blanco Marfil	61	Ovalada	1.30	13.79
Cacep	0	Ovalada	1.46	13.14

La particularidad del cacao la Joya no puede ser explicada con los datos proporcionados en el Cuadro 4.7 y 4.8, los valores obtenidos para acidez total, volátil y pH son función del proceso de fermentación y secado, los cuales fueron realizados por el productor. Estos dos procesos determinan la evolución de la calidad sensorial, la cual, para el caso particular del cacao de la Finca la Joya ha sido reconocida en el contexto internacional (Arpide, 2006) como se puede apreciar a partir de una calidad sensorial del clon la Joya

Sensaciones gustativas: Tiene una sensación de acidez nítida, muy refrescante, que va subiendo en intensidad hasta hacerse dominante, recuerda los sabores cítricos, como el limón y la lima y las frutas ácidas como el kiwi. Se perciben suavemente unas notas a membrillo y una pizca floral y otra a miel. En segundo plano gustativo, se percibe igualmente, el sabor amargo del cacao, con una sensación ligeramente a tostado que recuerda al café. Los sabores son plenos y equilibrados. Como gusto final o pos-gusto se mantiene en boca el sabor amargo del cacao, de forma agradable.

Notas suplementarias de cata: Si fuese un paisaje, sería un bosque con arboles frutales en el centro, emanando un olor característico, que se iría haciendo poco a poco dominante. Si fuese música, sobre un fondo de notas armoniosas destacaría una nota que se haría dominante, poco a poco disminuiría su intensidad hasta fundirse con el conjunto.

4.6 Conclusiones

La producción, así como también la comercialización de cacao extrafino de aroma, es un área de oportunidades del sector cacaotero mexicano, el cual debe aprovechar sus ventajas competitivas y su tradición histórica. El estado de Tabasco como principal productor de cacao en México, junto con el vecino estado de Chiapas representan un potencial de desarrollo para cacao extrafino y un ejemplo evidente es el Cacao la Joya, por lo que se debe instrumentar las condiciones para su desarrollo a nivel gubernamental, con el apoyo de los centros de investigación y universidades estatales.

BIBLIOGRAFÍA

- Apide, J.L. (2006). La cata de Chocolate de Septiembre. <http://www.afuegolento.com/noticias/118/firmas/arpide/4419/> Consulta: 5 de Mayo de 2010
- Barel, M. 1999. Première transformation du cacao. Pontillon, J. (Coordonnateur). Cacao et Chocolat. Production, utilisation, caractéristiques. Collection Sciences & Techniques Agroalimentaires. Technique & Documentation Lavoisier. Paris Cedex 08. France. pp. 96-115.
- Barel, M. (2006). Foro de Cooperación México – Francia, Colaboración I.T.VH–CIRAD. 2006. Informe de visita del Dr. Michel Barel y Dr. Renaud Boulanger investigadores del Cirad al ITVH preparado por el Dr. Pedro García Alamilla. Cacao: beneficio y calidad. 17 – 20 de Junio. Villahermosa, Tabasco.
- Caligiani A., Cirlini, M., Palla, G., Ravaglia, R., and Arlorio M. 2007. GC-MS Detection of Chiral Markers in Cocoa Beans of Different Quality and Geographic Origin. *Chirality*, 19: 329–334.
- Cros, E., Villeneuve, F., Vincent, J.C. 1982. Recherche d'un indice de fermentation du cacao I. Evolution des tannins et des phenols totaux de la fève. *Café, Cacao, Thé* 26(2): 109-114.
- Cros, E. 1997. Factores condicionantes de la calidad del cacao. I Congreso Venezolano del Cacao y su Industria. Memorias. Maracay, Venezuela. pp. 16-32.
- Frauendorfer, F., and Schieberle, P. 2008. Changes in Key Aroma Compounds of Criollo Cocoa Beans during Roasting. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 56: 10244–10251
- García-Alamilla, P., González-Lauck, V.W., De La Cruz-Lázaro, E., Lagunes-Gálvez, L.M., García-Alamilla, R. 2012. Description and physical properties of mexican criollo cacao during post-harvest processing. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Poscosecha*. 13(1), 58-65.
- González, L.V.W. y Amaya, G. 2005. Cacao en México: competitividad y medio ambiente con alianzas (Diagnóstico rápido de producción y comercialización). Mimeógrafo. Iniciativa de Prosperidad Rural y Conservación del Programa de Medio Ambiente de USAID en México. 72 p.
- Henderson, J.S., Joyce, R.A., Hall, G.R., Hurst, J.R., and McGovern, P.E. 2007. Chemical and archaeological evidence for the earliest cacao beverages. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, (PNAS). November 27, 104(48): 18937–18940
- ICCO, Organización Internacional del Cacao. 2003. Boletín trimestral de estadísticas del cacao.
- Lechevalier, P. 1999. L'économie du cacao production, consommation, marché. Pontillon, J. (Coordonnateur). Cacao et Chocolat. Production, utilisation, caractéristiques. Collection Sciences & Techniques Agroalimentaires. Technique & Documentation Lavoisier. Paris Cedex 08. France. pp 5 – 42.
- Lehrian D.W. and Patterson G.R. 1986. Cocoa Fermentation. In *Biotechnology*, Vol 5, Ed. By Rehm H.J. and Reed G, Verlag Chemie, Weinheim, pp 529 – 574
- López A.P., Delgado N. V. y Azpeitia M.A. 1996. El cacao *Theobroma cacao* L. En Tabasco. Libro Técnico No. 1. INIFAP, Gobierno del Estado de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, Méx. 270 p.
- NMX-FF-103-SCFI-2003. PRODUCTOS AGRÍCOLAS NO INDUSTRIALIZADOS–CACAO EN GRANO (*Theobroma cacao* L)–ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS

DE PRUEBA (CANCELA A LAS NMX-F-129-S-1979; NMX-F-268-1976; NMX-F-272-1976; NMX-F-339-S-1979; NMX-F-352-S-1980 y NMX-412-S-1981)

Ogata, N. 2007. El cacao. Biodiversitas, 72(3): 2-5.

Pontillon, J., Cros, E. 1999. Méthodes analytiques pour le cacao et produits dérivés. Pontillon, J. Coordonnateur. Cacao et Chocolat. Production, utilisation, caractéristiques. Collection Sciences & Techniques Agroalimentaires. Technique & Documentation Lavoisier. Paris Cedex 08. France. pp. 448-544.

Portillo, E., Graciani de Farinas y Betancourt, E. (2006). Efecto de algunos factores post cosecha sobre la calidad sensorial del cacao criollo Porcelana (*Theobroma cacao* L.) Revista Facultad de Agronomía (LUZ), 23: 49-57

Schwan, R.F., Rose, A.H. y Board, R.G. 1995. Microbial Fermentation of Cocoa Beans, With Emphasis on Enzymatic Degradation of the Pulp. Journal of Applied Bacteriology Symposium Supplement 79: 965 – 1075.

Quintero, R.M.L. y Díaz M, K.M. 2004. El mercado mundial del Cacao. Agroalimentaria, 18, 47 - 59.

Silwar, R. 1988. Gas Chromatographic-Mass Spectrometric investigation of cocoa aroma. Quantitative. Café, Cacao, Thé, 32(3): 243-250

Wood G.A.R., Lass R.A. Cocoa. Tropical Agriculture Series. Fourth Edition 1985 Reprinted 2001.

CAPÍTULO 5

FRUTAS TROPICALES Y SUS PROTEASAS

Corzo-Sosa, C. A.; Aparicio-Trápala, M. A.; Velázquez-Martínez, J. R.; López-Hernández, E. y Rodríguez-Blanco L.

5.1 Introducción

Las proteasas sulfhidríticas de origen vegetal son de particular importancia para la industria alimentaria. En términos de volumen, la papaína es la más empleada, y aunque la bromelaína de tallo también se encuentra en el mercado, se usa en menor escala. Otra enzima del mismo grupo con gran potencial de uso es la bromelaína de fruto de piña, que es menos conocida y no está disponible comercialmente. La papaína se utiliza principalmente para la elaboración de cerveza, así mismo, la papaína y bromelaína de tallo tienen aplicación en la suavización y procesamiento de la carne, elaboración de quesos, obtención de hidrolizados de desechos de pescado y cereales de cocinado rápido y en menor escala se usan en la industria farmacéutica (Corzo y Waliszewski 2003; Öner y Akar, 1993; Monti *et al.*, 2000; Ashie *et al.*, 2002).

En el caso de bromelaína de fruto de piña se han realizado algunas investigaciones en cuanto a sus características bioquímicas (Yamada *et al.*, 1976; Ota *et al.*, 1972; Ota *et al.*, 1985; Hyung *et al.*, 1992; Cheong *et al.*, 1992), Sin embargo, poco se sabe acerca de sus usos potenciales y su posible obtención a partir del jugo, cáscara, penacho o corazón de esta fruta

La bromelaína se encuentra en el jugo, corazón cáscara y penacho de la piña y existen posibilidades de obtener esta proteasa a partir de cualquiera de las diferentes partes de la fruta aunque es deseable que se obtenga de una parte de la fruta que se considere de desecho. Por otro lado, a partir de la pulpa es difícil obtenerla sin afectar el jugo para su uso posterior. La separación de la enzima del jugo, sin afectar sus características sensoriales, para el consumo humano, representa un reto. Ambas cosas, sólo se podrían hacer utilizando un sistema de ultrafiltración tangencial para clarificar el jugo. Actualmente, en el proceso de elaboración de jugo de piña, éste es sometido a temperaturas de pasteurización que desnaturalizan sus proteínas, entre ellas la bromelaína, de esta forma, se pierde una proteasa con un potencial de uso en la industria alimentaria y también se pierde el efecto terapéutico que se ha encontrado en bromelaína de tallo y potencialmente de la bromelaína presente en el jugo de esta fruta (Doko *et al.*, 1991; Carrera, 2010).

Aunque la papaína, se ha estudiado en muchos artículos normalmente esta proteasa se obtiene a partir del látex de la papaya en estado verde, sin embargo esta enzima se puede obtener también a partir de los desechos de la cáscara de papaya. (Monti *et al.*, 2000; Ashie *et al.*, 2002; Corzo *et al.*, 2008).

El melón es otro fruto tropical que contiene una proteasa llamada cucumisina y que está presente en el fruto del melón, sin embargo, aunque tiene una potencialidad limitada por ser una proteasa de serina que prefiere el pH alcalino para su actividad, esta enzima puede ser obtenida de la semilla del melón (Carrera, et al., 2008). Finalmente la ficina es otra proteasa de este grupo de proteasas de frutas tropicales que se obtiene a partir del latex de higo y que se ha utilizado en la elaboración de queso (Öner y Akar, 1993).

Aunque en la mayoría de los casos de estudios científicos de las proteasas y otras enzimas se han usado purificadas, es necesario precisar que también se pueden realizar ensayos experimentales de las proteasas de frutas tropicales sin necesidad del procedimiento de purificación, a través de extractos clarificados de los frutos, sin que este hecho implique pérdida de actividad y además se conservan mejor en sus condiciones nativas que en buffer, aunque la alternativa de liofilización es una buena opción, siempre y cuando la proteasa esté libre de carbohidratos y otros componentes derivados de su obtención. Por ello, se han realizado estudios para conocer un poco más sobre la actividad de estas enzimas, a diferentes pH y temperaturas, así como su estabilidad ya sea en forma cruda o purificada (Corzo, 2006)

Las enzimas se clasifican en seis clases con numerosas sub-clases y sub-sub-clases, las sub-clases y sub-sub-clases definen en manera precisa el tipo de la reacción entre las enzimas y la especificidad sobre los sustratos. Las enzimas proteolíticas también conocidas, como proteasas, pertenecen a la tercera clase de las hidrolasas y a la sub-clase de las peptidasas, que a su vez, se divide en cuatro sub-sub-clases, con base a su mecanismo de acción: las proteasas de serina, las metalo proteasas, las de ácido aspártico y las cistein proteasas que incluyen entre otras a la papaína, ficina y bromelaína (Cornish, 1996).

5.2 Generalidades del fruto de Papaya

La papaya, es una fruta tropical cuyo nombre científico es *Carica papaya*, es una fruta blanda, jugosa, pertenece a la familia de las Caricáceas, orden Parietales. De acuerdo al país, es conocida comúnmente por los nombres de higuera de las islas, lechosa (Puerto Rico), papaya calentana, mammeira (Brazil), mamona y fruta lombá (Cuba). Esta fruta tiene su origen natural en América central, probablemente al sur de México, de donde se han extendido por todos los países tropicales (Ibar, 1986).

Morfología, taxonomía y variedades

La papaya posee una textura suave y una forma oblonga, puede ser de color verde, amarillo, naranja o rosa. Pudiendo pesar hasta 9 Kg., en la mayoría de los casos no suelen pesar más de 500 o 600 g, especialmente en una variedad de cultivo de plantas enanas, muy productivas y destinadas generalmente a la exportación. La talla de los frutos disminuye en función de la edad de la planta. Su pulpa es de color amarillo naranja, de consistencia similar a la de la mantequilla, jugosa, perfumada y azucarada, de sabor muy agradable; esta pulpa rodea a una gran cavidad y contiene numerosas semillas negras, redondas y rugosas, del tamaño de un guisante (Ibar, 1986).

Entre las variedades más conocidas a nivel mundial están: Solo, Bluestem, Raham, Betty, Fairchild, Rissimee, Puna, Hortusged, Higgins, Wilder, Hortus Gold, Tersen, Zapote, Pusa y Maradol. En México se consume en mayor cantidad la variedad Maradol, ya que es la más comercializada, de buen gusto y accesible para todo tipo de estratos sociales (Ibar, 1986).

5.2.1 Producción de papaya en México y el estado de Tabasco

En la producción nacional Veracruz es el estado con mayor producción ocupando Tabasco el 3er lugar y en la producción estatal Huimanguillo es el mayor productor de papaya seguido de Cunduacán y Cárdenas (Cuadro 5.1).

Cuadro 5.1

Producción de papaya en México y el estado de Tabasco

México		Tabasco	
Estado	Toneladas	Municipio	Toneladas
(1º) Oaxaca	116 957	Huimanguillo	12 080
(2º) Chiapas	115 048	Cunduacán	3 315
(10º) Tabasco	20 255	Balancán	1 291
Total	616 215	Total	16 686

Fuente: SAGARPA, 2010

Composición química

La papaya es una fuente de vitamina C y provitamina A, el contenido de vitamina varía de acuerdo a las condiciones del cultivo, los niveles de ácido ascórbico son de 45 a 125 ml por 100 g y vitamina A de 53 a 210 mg por 100 g. Sin embargo el nivel de vitamina C disminuye bruscamente durante el desarrollo y maduración de la fruta (Shaw *et al.*, 1998).

Los carbohidratos constituyen cerca del 12% del peso fresco de pulpa de la fruta, el nivel de almidón inicialmente es alto en la fruta verde (2 a 2.5%), el nivel disminuye cerca de 0.1% después de 75 días. El total de azúcar incrementa gradualmente de 3g por 100g en 60 días durante el crecimiento de la fruta, sin embargo, ésta incrementa de nuevo cerca de 9 g por 100 g en el estado completo de madurez. Los azúcares de mayor concentración presentes en la fruta de papaya es fructuosa, glucosa y sacarosa (Shaw *et al.*, 1998). Los ácidos orgánicos predominantes presentes en la papaya son el ácido cítrico (0.53 meq por 100g) y el ácido málico (0.46 meq por 100g por peso fresco) además de cítrico y málico, otros ácidos permanentes presentes es alfa-ketoglutarico, tartárico y ácido galacturónico. En la fruta existen 106 componentes volátiles, linalol es el componente de mayor concentración seguido por bencil isotiocianato, y en menor concentraciones se encuentran los ácidos butírico, hexanoico y octanoico (Shaw *et al.*, 1998). Los compuestos fenólicos como ferúlico, cinámico y fíringico tienen un buen rol en la resistencia de enfermedades particularmente las de tipo fúngicas, en la fruta el nivel de estos compuestos disminuye durante la maduración.

En el Cuadro 5.2, se puede apreciar que el mayor componente de la papaya es el agua, presentando 8 g de carbohidratos por 100 g de fruta, siendo las cantidades de proteína, fibra y grasa muy pequeñas en relación al contenido de carbohidratos.

Cuadro 5.2

Composición nutricional de la papaya (100 g de porción comestible)

Macronutrientes		Micronutrientes	
Energía (Kcal)	30	Calcio (mg)	25,00
Agua %	90,0	Fósforo (mg)	12,00
Proteína (g)	0,5	Hierro (mg)	0,30
Grasa (g)	0,1	Tiamina (mg)	0,03
Carbohidratos (g)	8,1	Ac. Ascórbico (mg)	0,75
Fibra (g)	0,8	Riboflavina (mg)	0,02

5.2.2 Industrialización y consumo de la papaya

La papaya se consume principalmente en forma fresca, aunque también se consume verde o madura cortada en ensaladas preparada con jugo de limón, o hervida con agua y azúcar a modo de mermelada (Ibar, 1986). También puede ser industrializada y transformada en puré, papaya deshidratada, concentrada, salsas, mermeladas, gelatinas, jugo, néctar, fruta seca o en cóctel de frutas.

Papaya deshidratada. La deshidratación por liofilización es muy efectiva para retener el color y sabor y reducir cambios en la textura, pero comparado con el secado convencional usando energía solar resulta mucho más costosa, sin embargo, éstos procesos generan productos con 3 a 4 % de humedad (Shaw *et al.*, 1998).

El puré y concentrado de papaya son realizados para obtener subproductos con valor agregado a la fruta de papaya tales como mermelada, gelatina y néctares. El proceso de elaboración de puré implica calentamiento a 93 °C por 60 segundos para pasteurizar e inhibir pectinmetilesterasa, posteriormente se homogeneiza por 5 minutos hasta obtener el puré. Este, puede ser asépticamente empaquetado en bolsas y no requiere refrigeración durante la transformación y almacenamiento, además puede ser transportado a largas distancias a temperatura ambiente.

5.2.3. Proteasas de la papaya

Papaína

El término papaína es usado para referirse a la papaína cruda, el látex seco de papaya, el cual tiene una mezcla de proteasas relacionadas. Estas enzimas están caracterizadas por su especificidad, para hidrolizar sólo unas pocas de las diferentes uniones entre aminoácidos en una proteína. Por ello, las proteínas son hidrolizadas, sólo en ciertos lugares y producen más péptidos que aminoácidos libres. Esta es una ventaja en ciertos alimentos, donde se requieren proteólisis parciales de las proteínas (Poulter y Caygill, 1985).

La papaína (EC 3.4.22.2) es la más conocida y comercializada de las proteasas de cisteína de origen vegetal y está presente, en el látex del fruto de papaya verde (*Carica papaya*). Esta enzima es una endoproteasa que está formada por una cadena polipeptídica simple de 212 aminoácidos con una masa molecular de 23.4 kD. La papaína ha sido objeto de muchos estudios biofísicos como, cristalografía de rayos X, mapeo de densidad electrónica, secuencia química y estudios cinéticos, lo que ha permitido la comprensión de su estructura y función. Esta proteasa contiene 10 restos de cisteína, uno en su centro activo (Cys 25) y otros nueve, que forman cinco puentes disulfuro en esta molécula. (Kaul *et al.*, 2002; Whithaker, 1994).

En un estudio realizado por Goodenough y Owen (1987), se utilizó gel de poliacrilamida y se efectuó la separación de las proteasas de papaya cuyos resultados se resumen en la Cuadro 5.3.

Se puede observar que de las enzimas proteolíticas encontradas en el látex de papaya, cuatro no tienen un número de clasificación asignado y aunque los resultados del peso molecular, son idénticos en tres enzimas; éstas presentan variación en los valores de sus puntos isoelectrónicos.

Cuadro 5.3

Proteasas de cisteína de papaya (Carica papaya)

Nombre	Número EC	Peso molecular (kD)	Punto isoelectrónico
Papaína	3.4.22.2	23	8.7
Quimopapaína A	No asignado	24	10.3
Quimopapaína B	No asignado	24	10.6
Proteinasa de papaya A	No asignado	24	11.0
Proteinasa de papaya B	No asignado	28	11.0

Fuente: Goodenough y Owen, 1987

Monti *et al.* en el 2000, realizaron un estudio para la obtención de papaína, a partir de látex, y encontraron, que esta enzima, obtenida por cristalización es prácticamente pura, mostrando una sola fracción cuando se sometió a electroforesis en gel de poliacrilamida, siendo idéntica a la papaína obtenida por otros métodos. De acuerdo a estos resultados se puede obtener papaína por el método de cristalización sin necesidad de usar altas concentraciones de sales, cisteína o ditioneitol.

Por otro lado Kaul *et al.* (2002) realizaron un estudio sobre el papel que juega el calcio y el magnesio (concentraciones de 1×10^{-9} a 1×10^{-3} M) sobre la actividad de la papaína cristalizada, usando como sustrato, caseína. Los resultados mostraron, que tanto el calcio como el magnesio, aumentaron la actividad proteolítica en función a su concentración; así mismo se determinó, que el magnesio presentó mayor efecto en la activación de papaína que el calcio.

5.2.3.1. Actividad proteolítica de papaína obtenida de un extracto de cáscara de papaya

En la Figura 5.1, se puede apreciar la actividad de papaína usando un extracto de cáscara de papaya madura clarificado como fuente de enzima, aquí se observa que esta proteasa tiene una actividad proteolítica mayor a pH 6. Todas las determinaciones se realizaron a 40°C (Corzo *et al.*, 2008)

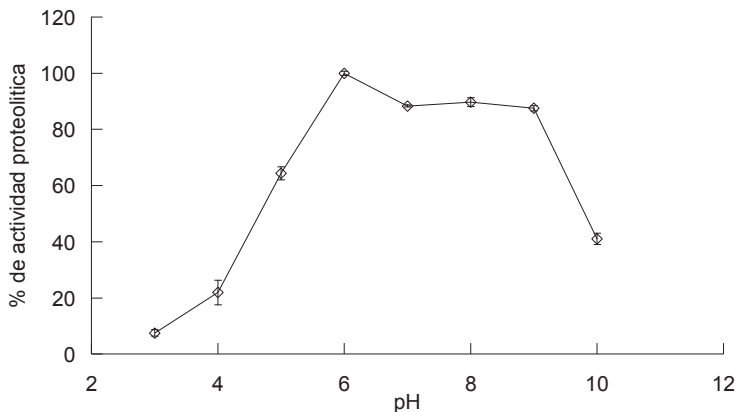


Figura 5.1 Efecto del pH sobre la actividad de papaína de cáscara de papaya con caseinato de sodio

En la figura 5.2 se puede apreciar la actividad de papaína usando un extracto de cáscara de papaya madura clarificado como fuente de la enzima, en esta ocasión se observa que esta proteasa tiene una actividad proteolítica mayor a temperaturas entre 40 y 50°C. Todas las determinaciones se realizaron a pH 6.0 (Corzo *et al.*, 2008).

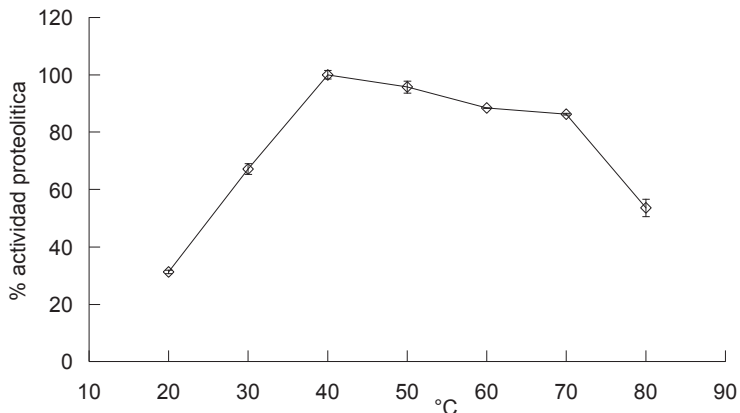


Figura 5.2 Efecto de la temperatura sobre la actividad de papaína de cáscara de papaya con caseinato de sodio.

5.2.4. Ficina

Ficina es el nombre de las enzimas con actividad proteolítica, que se obtienen del látex del fruto de higo verde de los árboles del género *Ficus*. De la ficina (EC 3.4.22.3); se han determinado tres fracciones, con una masa molecular de 26, 26,5 y 30 kD (Englund *et al.*, 1968).

Sgarbieri *et al.* (1964) estudiaron la ficina obtenida de *Ficus glabrata* y *Ficus carica* utilizando electroforesis, precipitación con etanol, sulfato de amonio y cromatografía de filtración en Sephadex G-100. En el caso de *Ficus glabrata*, se encontraron nueve componentes con actividad proteolítica, para la especie *Ficus carica* (variedad Kadota) se identificaron 10 fracciones y para la especie *Ficus carica* (variedad Calymirna) se identificaron 4 componentes con actividad proteolítica.

En otro estudio, con el látex de *Ficus glabrata*, se encontraron varias fracciones proteolíticas activas, pero sólo la fracción principal fue caracterizada. La ficina fue aislada de preparaciones comerciales por precipitación con sulfato de amonio y cromatografía con carboximetilcelulosa. Se encontró que la enzima purificada podría ser almacenada como un precipitado de cloruro de sodio a 4 °C por un periodo de 15 meses sin pérdida de actividad. El componente principal, fue caracterizado, en su composición de aminoácidos, masa molecular (25.5 kD); siendo, la leucina, el aminoácido amino terminal de esta proteasa. Así mismo, se determinó, que esta enzima se inhibe reversiblemente por tetratoato de sodio. Por otra parte, la ficina tuvo mayor actividad hidrolítica sobre la caseína, que la papaína y la tripsina. En este estudio, también se determinó, que la ficina, tiene tres enlaces disulfuro y que la actividad enzimática depende de un resto de cisteína (Englund *et al.*, 1968).

Aunque la ficina ha sido utilizada por siglos, poco se sabe acerca de sus propiedades bioquímicas, físicas y químicas. La información disponible, sobre la ficina indica que esta estrechamente relacionada con la papaína con respecto a la especificidad a los sustratos, su actividad esterasa, reacciones de transpeptidación, y activación por agentes reductores.

5.3 Generalidades de la piña

La piña es una monocotiledónea y se clasifica dentro de la familia Bromalidae, la cual, esta representada por dos géneros, *Ananas* y *Pseudoananas*. De las cinco especies de *Ananas*: *bracteatus*, *fritzmuereilli*, *erectifolius*, *ananassoides* y *comosus*, sólo la última es de importancia económica. Esta especie se divide a su vez en base a sus hojas y forma del fruto en cinco grupos: Cayena, Reina, Española, Pernambuco y Mordilona. Las divisiones de estos grupos se deben principalmente a propósitos prácticos y no a definiciones genéticas. Todos los grupos son intercompatibles, sin embargo, sus híbridos encuentran dificultad, para ser clasificados en estos grupos (Shaw *et al.*, 1998).

El grupo cayena es el más importante, debido a que el 70% de la piña que crece en el mundo pertenece a este grupo; siendo la variedad Cayena Lisa la de mayor presencia en el mercado internacional, la cual se distingue por su coloración amarilla-naranja y su

facilidad para consumirla en estado fresco. Otras variedades de este género son: Hilo, Kew, Sarawak y Champaka, cuya coloración externa es verde cuando está madura. Otro grupo de importancia comercial es el denominado Reina, en el que se destacan las variedades: Moris, Mauritius, MacGregor, Ripley Queen y Alexandra; mientras que al grupo Española pertenecen las variedades Española Singapur, Española Roja, Ruby y Masmerah. Los grupos Pernambuco y Mordilona tienen poca importancia económica (Shaw *et al.*, 1998).

La morfología de la planta de la piña, consiste en un simple tallo erecto al cual están unidos otros órganos. Generalmente la planta tiene entre 50 a 80 hojas duras arregladas en espiral alrededor del tallo y comúnmente a los lados del tallo se encuentran plantas axiales pequeñas sin tallo, especialmente después de la floración y durante el desarrollo del fruto. Plantas pequeñas también emergen de la base del tallo, abajo del nivel del suelo; éstas varían de cuatro a cinco y son un buen material para la propagación (Shaw *et al.*, 1998).

La fruta se desarrolla de la inflorescencia (conjunto de flores en forma de racimo) en la parte terminal superior de la planta; la cual es soportada por un pedúnculo y esta formada de aproximadamente 100 flores pequeñas. Cada flor individual, desarrolla un “ojo” del fruto de piña (forma romboide de la piel), por ello la piña es considerada una fruta múltiple. En la parte superior de la fruta, se encuentra una corona de hojas pequeñas dispuestas densamente (Shaw *et al.*, 1998). Por otra parte; los estados de madurez de la piña se dividen de manera visual en seis fases (Sarisegar, 2002).; bien sea, en una escala de 0 a 5 ó en otra de CS1 a CS6, en donde.

- el 0 (CS1) tiene todos los ojos verdes sin trazas de amarillo;
- el 1 (CS2) tiene entre un 5-20% de ojos amarillos
- el 2 (CS3) tiene entre el 20 –40% de los ojos amarillos
- el 3 (CS4) presenta entre 40-80% de los ojos amarillos
- el 4 (CS5) presenta el 90% de los ojos amarillos y entre un 5-20% de ojos pardo rojizos
- el 5 (CS6) presenta entre 20-100% de ojos pardo rojizos

Morfología y taxonomía

Existen diferentes tipos de piñas, pero la más cultivada es la cayena lisa, esta posee de 60 a 80 hojas sin espinas a excepción de la parte Terminal de la hoja, el fruto es alargado y cilíndrico, ojos poco profundos amplios y planos, con un peso promedio de 2.5 kg., poco contenido de flora y alto contenido de jugo, la pulpa es blanco amarillenta de sabor muy agradable, de corazón pequeño, de sabor también dulce pero no recomendable para consumo (Shaw *et al.*, 1998).

Producción de piña

En la producción nacional en México (Cuadro 5.4) el primer lugar lo ocupa Veracruz, seguido de Oaxaca y en tercer lugar Tabasco, con respecto a la producción estatal de la piña en este último estado Huimanguillo es el único municipio productor de las 42,800 toneladas de piña al año en Tabasco. (SAGARPA, 2008).

Cuadro 5.4 Producción de piña en México y el estado de Tabasco

Nacional		Tabasco	
Estado	Toneladas	Municipio	Toneladas
(1°) Veracruz	515 007	Huimanguillo	41 575
(2°) Oaxaca	104 685		
(3°) Tabasco	41 575		
Total	701 740	Total	41 575

Fuente: SAGARPA, 2010

Composición química

La composición química de la piña juega un importante papel en la aceptación del consumidor, para el consumo fresco o procesado. El dulzor, la acidez y el sabor son uno de los principales atributos de calidad. El valor total de sólidos solubles a menudo está asociado con el contenido de azúcares como: glucosa, sacarosa y fructosa principalmente. El ácido cítrico y málico son los ácidos orgánicos no volátiles principales en esta fruta, encontrándose también otros como el malónico, glicólico, tartárico y galacturónico. La piña también contiene vitaminas como tiamina, riboflavina, niacina, ácido ascórbico y caroteno que junto con la clorofila son los pigmentos presentes en la piña. Los compuestos fenólicos presentes en este fruto son los ácidos cumárico, ferúlico, cafeico y sinápico. Con respecto a los compuestos volátiles, presenta de 127 sustancias químicas en su estado verde a 147 en su estado maduro. Dichos compuestos participan en el sabor y el aroma de esta fruta (Shaw *et al.*, 1998). La piña se caracteriza por la presencia de enzimas como la peroxidasa (EC 1.11.1.7.), la polifenoloxidasas (EC 1.10.3.1.) que está asociada con el oscurecimiento y la aparición del corazón negro y las enzimas proteolíticas: bromelaína de tallo (EC 3.4.22.4.) y bromelaína de fruto (EC 3.4.22.5.). En la Cuadro 5.5, se puede observar, que el componente principal de la piña, es el agua y como segundo componente mayoritario están los carbohidratos; sin embargo, contiene pequeñas cantidades de grasas, proteínas, fibra y minerales, siendo el potasio y el ácido ascórbico, el mineral y la vitamina que tiene esta fruta en mayor proporción.

Cuadro 5.5 Composición de la piña

Componente	100 g	Componente	100 g
Energía (Kcal)	45.0	Calcio (mg)	12.0
Agua (g)	85-87.8	Fósforo (mg)	11.0
Carbohidratos (g)	10.6-13.0	Sodio (mg)	3.0
Grasas (g)	0.1	Hierro (mg)	0.5
Proteína (g)	0.3-0.5	Vitamina C (mg)	20.0
Fibra (g)	0.1-0.6	Vitamina E (mg)	0.3
Cenizas (g)	0.4	Ácido fólico (µg)	11.0
Potasio (mg)	250.0	Vitamina A (µg)	13.0
Magnesio (mg)	14.0		

Fuente: Shaw *et al.*, 1998

Industrialización y consumo de la piña

La piña con una vida de anaquel de hasta cuatro semanas se consume principalmente como fruta fresca, y sólo se procesa en forma industrial entre un 15-20% de la producción total. Los productos procesados a partir de la piña, más importantes en el comercio internacional son el jugo, el concentrado del jugo y la piña en lata en rodajas sin corazón, en medias rodajas, en cubos, en octavos o dieciseisavos de rodaja y en mezclas con otras frutas como parte del cocktail de frutas. Dichos productos, pueden ser empacados con jugo natural, con endulzantes y utilizando empaques de aluminio, cartón, tetrapack, así como bolsas asépticas de polipropileno (Shaw *et al.*, 1998). De menor relevancia en el comercio internacional son los productos deshidratados y congelados de piña, al igual que los subproductos del proceso productivo, cuyos usos son principalmente para la alimentación animal. La cáscara y la corona de la piña pueden llegar a representar el 50% del peso de la fruta que sirven para alimentar rumiantes. También, a partir de esta fruta, se elabora alcohol, vinagre, y vino; además, se pueden extraer tres importantes ácidos orgánicos, como el cítrico, el málico y el ascórbico. Adicionalmente la piña, se puede procesar, comprimida, congelada en trozo, en rollo de fruta, en puré, mermelada, jalea, salsas, alimento para bebe, gránulos de piña y utilizarse como parte de yogurt de frutas, o puede ser deshidratada osmóticamente; liofilizada, en polvo o cristalizada (Shaw *et al.*, 1998).

5.3.1 Proteasas de la piña

Bromelaínas de tallo de piña

Del extracto de tallo de piña (*Ananas comosus* L.) se pueden obtener tres enzimas proteolíticas: la bromelaína de tallo (EC 3.4.22.32), la ananaina (EC 3.4.22.31) y la comosaína (Rowan *et al.*, 1988). En los primeros estudios de Ota *et al.* (1968) con bromelaína de tallo comercial, encontró que, esta enzima, se autodigería en un 65% a pH 4,0 y 40 °C por 24 horas, no obstante a pH 6, y a la misma temperatura y tiempo, sólo el 25% se autohidrolizaba. Sin embargo, cuando se incubó a 50 °C y pH 4.6 por 24 h, la enzima se autodigirió en un 65%.

Lynn (1977), empleó cromatografía en Sephadex G-75, intercambio iónico y electroforesis en gel y separaron cuatro componentes proteicos de un extracto de tallo de piña, de los cuales el 75% de la proteína total correspondía a dos fracciones que tenían glicina como grupo amino terminal y ácido glutámico como grupo carboxilo terminal, siendo la composición de aminoácidos muy similares entre ellas. Sin embargo, aunque sus actividades esterolíticas fueron diferentes, la hidrólisis de caseína fue muy similar para estas fracciones.

Por otra parte, Ishihara *et al.* (1979) descubrieron que la bromelaína de tallo es una glicoproteína, que contiene dos oligosacáridos, que están unidos a la asparagina; cuya estructura primaria fue: (manosa)³ (xilosa)¹ (fucosa)¹-N-acetilglucosamina para el primero y (manosa)²(xilosa)¹(fucosa)¹ y glucosilamina para el segundo oligosacárido.

En otro trabajo Ota *et al.* (1985), utilizando cromatografía de filtración con Sephadex G-75 y electroforesis en gel de poliacrilamida; determinaron seis fracciones proteicas en un extracto protéico de tallo de piña: tres fracciones de 27 kD y tres de 23 kD.

En estudios realizados utilizando Sephadex G-100 y electroforesis en gel de poliacrilamida la masa molecular de la bromelaína de tallo se estimó en 37 kD; encontrando además que esta enzima consta de una sola subunidad. Con respecto a la actividad enzimática, se observó, que las condiciones óptimas de reacción fueron: pH 7,0 y 60 °C con caseína. Esta enzima, fue más específica en la hidrólisis de proteínas de origen vegetal (proteína aislada de soya y gluten de trigo) en comparación con proteínas de origen animal (caseína, colágeno, elastina y hemoglobina). Esta enzima, fue inhibida por el ácido-p-cloromercuribenzoico, lo que indicó que requiere el radical sulfhidrilo para su actividad proteolítica, esto fue corroborado, porque su actividad se restauraba al aumentar la concentración de cisteína (Hyung *et al.*, 1992).

Rowan *et al.* (1988) encontraron dos fracciones proteicas con actividad proteolítica en el tallo de piña comercial: la bromalaina de tallo (26 kD) y la ananaina (25 kD) en el extracto de tallo de piña. Los procedimientos de purificación incluyeron cromatografía de afinidad y de intercambio iónico. Las dos proteasas presentaron diferencias, con respecto a la velocidad de hidrólisis de dos péptidos (Z-Phe-Arg y Z-Arg-Arg-NHMec) y cuatro sustratos (azocoll, fibrina, azocaseína y azure).

Napper *et al.* (1994) utilizaron cromatografía de intercambio iónico, filtración en gel de Sepharosa para separar las enzimas proteolíticas del tallo de piña que posteriormente fueron liofilizadas, para los siguientes estudios. Con el uso de la electroforesis SDS/PAGE descubrieron la presencia de cuatro fracciones proteicas con actividad proteolítica: la bromelaína de tallo, la ananaina de 23.4 kD y dos fracciones de comosaina de 24.5 kD y 23.5 kD respectivamente. Por otra parte los estudios de composición de aminoácidos y especificidad al inhibidor epóxido, mostraron que la comosaina esta estrechamente relacionada con la bromelaína de tallo, mientras que la ananaina difiere marcadamente, tanto de la comosaina, como de la bromelaína de tallo. La información sobre las enzimas proteolíticas del tallo de piña, presenta discrepancias en cuanto al número de fracciones identificadas y al peso molecular estimado para éstas.

5.3.2 Bromelaína de fruto de piña

Ota *et al.* (1972) realizaron la extracción de la fracción proteica del jugo de piña usando precipitaciones subsecuentes con sulfato de amonio, acetona y éter, seguido de diálisis y secado a vacío. Para la purificación de la bromelaína, se utilizó cromatografía de intercambio iónico (DEAE-celulosa) y filtración en gel (Sephadex G-75) para estimar el peso molecular. Dichos autores encontraron, tres fracciones con actividad proteolítica y valores de masa molecular: 18, 19 y 28 kD, siendo esta última fracción la presente en mayor cantidad. La composición de aminoácidos, fue diferente para cada una de las tres fracciones. En relación a los carbohidratos, en la fracción de 18kD, encontraron un 3.2 % de carbohidratos; en la fracción de 19 kD, 2.2% y en 28kD 1.6 %. La actividad proteolítica se determinó usando caseína y benzoilarginiamida como sustrato (método ninhidrina)

Yamada *et al.* (1976) usaron la fracción proteica del jugo de piña precipitada con acetona para purificar y caracterizar bromelaína de fruto de piña. Los autores utilizaron cromatografía de intercambio iónico y electroforesis en poliacrilamida, para purificar la

enzima y estimar su masa molecular. La masa molecular estimada de esta fracción fue 31 kD y su punto isoelectrico 4.6. También realizaron análisis cualitativo y cuantitativo de carbohidratos. De acuerdo a los resultados se concluyó que el principal componente proteolítico del jugo de piña (la bromelaína) no es una glicoproteína. Además, encontraron que el pH óptimo de esta enzima, para hidrolizar hemoglobina y caseína fue: 8 y 8.3 respectivamente.

En otro trabajo, Ota *et al.* (1985) usaron precipitación con sulfato de amonio, acetona y éter, seguido de diálisis y secado a vacío para la obtención de bromelaína. Posteriormente, utilizaron filtración en gel (Sephadex G-75) y electroforesis en gel de poliacrilamida. En este estudio los autores encontraron dos fracciones proteicas con actividad proteolítica una de 23 kD y otra de 27 kD, siendo esta última la de mayor proporción. Estos autores no hacen referencia porque Ota *et al.*, (1972) en un estudio anterior encontraron tres fracciones proteolíticas con diferente peso molecular, que también discreparon con estas dos fracciones. La actividad proteolítica fue determinada con caseína. Por otra parte, los autores determinaron la composición de aminoácidos de las dos fracciones y con base a los análisis de carbohidratos por el método ácido sulfúrico-orcinol concluyeron que dichas fracciones no eran glicoproteínas. Ellos explicaron que los carbohidratos fueron separados de la bromelaína por cromatografía líquida de rápida resolución y que por tanto, los carbohidratos no estarían unidos covalentemente a las proteínas como pensaron en su trabajo de 1972.

Doko *et al.* (1991) obtuvieron un concentrado protéico con bromelaína de fruto a partir de jugo de piña, usando microfiltración (8 μm y 20 cm^2 de área) con membrana de óxido de zirconio, ultrafiltración (10 kD, 46 cm^2 de área y 4 bars de presión) con membrana de polisulfona; precipitación con sulfato de amonio (60%), ultracentrifugación (27,000 x g, 3 °C) y finalmente liofilización. Previo a los métodos de separación antes mencionados, los autores usaron dos tratamientos, uno testigo sin aditivos y otro con 12.5 ppm de un agente antiespumante y 200 ppm de hemicelulosa en el jugo de piña. En el tratamiento testigo la proteína aumentó de 0.26% a 0.75% y la actividad enzimática disminuyó 3%; mientras que, en el tratamiento con aditivos, la proteína aumentó de 0.25 a 0.80, sin embargo la actividad proteolítica disminuyó 38%. En este trabajo se concluyó, que el procedimiento propuesto sin aditivos, fue más efectivo para la obtención de bromelaína.

En otro estudio, Hyung *et al.* (1992) separaron la fracción proteica de jugo de piña utilizando acetona; para posteriormente purificar la bromelaína de fruto por filtración en gel Sephadex G-100. La masa molecular de la bromelaína de fruto de piña estimada con Sephadex G-200 fue de 32 kD y con electroforesis se corroboró la presencia de la bromelaína con la formación de una sola banda. Con respecto a la actividad enzimática, las condiciones óptimas de reacción fueron: pH 8.0 y 70 °C; su mejor estabilidad por 24 h a 25 °C fue a pH 7 y su rango de estabilidad térmica (30 minutos) fue de 30-50 °C. Para la determinación de la actividad enzimática los autores usaron hemoglobina en el intervalo de pH de 3-6 y caseína en el intervalo de 7-11. Por otro lado, esta enzima, hidrolizó mejor proteínas de origen vegetal (gluten de trigo y soya) que proteínas de origen animal (caseína, colágeno, elastina y hemoglobina). Esta proteasa fue inhibida competitivamente por ácido-p-cloromercuribenzoico, lo cual, indicó que se trataba de una proteasa de cisteína, ya que, cuando le agregaban cisteína se restauraba su actividad.

Cheong *et al.* (1992), realizaron la separación de las proteínas de jugo de piña con sulfato de amonio 70% y la purificación de bromelaína por cromatografía de intercambio iónico, y filtración en gel Sephadex G-150. La estimación del peso molecular de esta enzima fue de 22 kD y se confirmó su purificación por la presencia de una sola banda en un gel de electroforesis SDS-PAGE. Por otra parte las condiciones óptimas de actividad proteolítica que determinaron fueron: pH 6 y 60 °C y su estabilidad al pH en el intervalo de 4 a 7. En el caso de la temperatura esta enzima se mantuvo estable (30 minutos) entre 20-50 °C, mientras que a 70 °C perdía un 40% de la actividad en el mismo tiempo. Para la determinación de condiciones óptimas de actividad y para las pruebas de estabilidad, se usó caseína como sustrato. Así mismo, encontraron que el ión Mn^{2+} (20 mM) aumentó la actividad de esta enzima en un 33% y los iones Zn^{2+} y Fe^{2+} la disminuían en un 90 y 98% respectivamente. También encontraron que la enzima fue inhibida con ácido-p-cloromercuribenzoico, con lo cual infirieron que la bromelaína requiere el grupo SH para su actividad. La reacción enzimática, siguió la cinética típica de Michaelis-Menten con una K_m de 5.74×10^{-4} M y una V_{max} de $131.58 \mu g \cdot min^{-1}$ para caseína.

Sriwatanapongse *et al.* (2000) obtuvieron cinéticas de inactivación térmica de bromelaína, a 55, 60, 63, 65 y 67 °C; usando jugo de piña (pH 3.4) como fuente de la enzima, el cual, fue almacenado a -40 °C hasta su utilización. El jugo fue preincubado a las temperaturas mencionadas y la actividad proteolítica residual, fue determinada usando caseína como sustrato a 35 °C. En este trabajo, los autores concluyeron que después de dos horas de preincubación a 55 °C, la bromelaína presente en el jugo de piña, perdió el 70% de su actividad; en tanto que, a 60 °C por 25 minutos perdió un 90%. La inactivación total de esta proteasa, ocurrió cuando la enzima se preincubó a 67 °C por 5 min.

5.3.3 Actividad de Bromelaína de jugo de piña

En la Figura 5.3 se puede apreciar la actividad de bromelaína usando jugo de piña clarificado como fuente de esta enzima, en esta gráfica se observa que esta proteasa tiene una actividad proteolítica mayor a pH entre 6 y 7. Todas las determinaciones se realizaron a 40°C (Corzo, 2006)

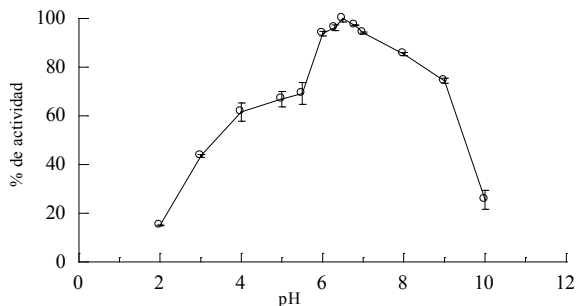
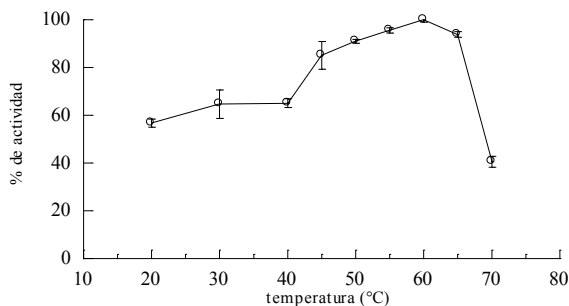


Figura 5.3. Actividad de bromelaína de jugo de piña clarificado a diferentes pHs evaluada con caseinato de sodio

En las Figura 5.4 se aprecia la actividad de bromelaína usando jugo de piña clarificado como fuente de la enzima, en esta ocasión se observa que esta proteasa tiene una actividad proteolítica mayor a temperaturas entre 50 y 65°C. Todas las determinaciones se realizaron a pH 6.5 (Corzo, 2006)



5.4. Actividad de bromelaína de jugo de piña clarificado a diferentes temperaturas evaluada con caseinato de sodio

Como se puede apreciar en el Cuadro 5.6, los investigadores han combinado la precipitación con solventes y sulfato de amonio o las han usado por separado, para obtener la fracción proteica del jugo de piña, incluso Doko (1991) combinó, precipitación con sulfato de amonio con micro y diafiltración. En cuanto a la purificación en tres se utilizó cromatografía de intercambio iónico, en dos se utilizó sephadex G-75, en uno G-150 y en otro G-100; por tanto, estas combinaciones de técnicas y reactivos entre los trabajos reportados, podrían haber generado en parte las variaciones en los resultados.

Cuadro 5.6 *Técnicas usadas en algunos trabajos para la separación y purificación de bromelaína de fruto de piña*

Autor	Año	Técnica de separación	Técnica de purificación
Ota <i>et al.</i>	1972	pp SA, acetona y éter; diálisis y secado a vacío	CII-DEAE-celulosa, FG- G-75
Yamada <i>et al.</i>	1972	pp con acetona, de un polvo de bromelaína (comercial)	CII-DEAE-celulosa electroforesis e IEF
Ota <i>et al.</i>	1985	pp SA, acetona y éter; diálisis y secado a vacío	FG-G-75, electroforesis
Doko <i>et al.</i>	1991	Microfiltración-diafiltración, pp SA, UF-10 kD, ultracentrifugación	
Cheong <i>et al.</i>	1992	pp con acetona	FG-G-150, CII, electroforesis
Hyung <i>et al.</i>	1992	pp SA	FG-G-100, electroforesis

pp SA (precipitación con sulfato de amonio); CII (Cromatografía de intercambio iónico); FG (Filtración en gel); pp (precipitación); IEF (isoelectroenfoque).

Como se puede apreciar en el Cuadro 5.7, existen discrepancias en el número de fracciones proteicas encontradas en el jugo de piña, así como, en la masa molecular estimada para cada una de dichas fracciones. En cuanto al número de fracciones con actividad proteolítica es posible que existan tres o dos; sin embargo, podrían encontrarse en pequeña proporción comparadas con una que se encuentra en mayor proporción y es la de peso molecular mayor. Realizando una comparación de las fracciones con mayor peso molecular de acuerdo al Cuadro 5.7, se tiene una diferencia de ± 5 kD tomando como referencia 27kD, por tanto, no es una diferencia tan grande si se toma en cuenta que son estimaciones y que, además, las estimaciones del peso molecular pueden variar de acuerdo al método (filtración en gel o electroforesis SDS-PAGE) y a los estándares protéicos de peso molecular conocido utilizados para la estimación. Por otra parte, los trabajos de Hyung (1992) y Cheong (1992) reportaron diferentes condiciones (pH y temperatura) óptimas de reacción y de estabilidad de esta enzima, los cuales se pueden deber en parte a que usaron diferentes métodos de obtención y purificación (Cuadro 5.6).

Cuadro 5.7

Características reportadas en algunos trabajos de propiedades de la bromelaína de fruto y fracciones proteolíticas

Autor	Año	Fracciones con actividad proteolítica	Masa Molecular (kD)	Características relevantes
Ota <i>et al.</i>	1972	3	18, 19, 28	Fracción en mayor proporción de 28 kD
Yamada <i>et al.</i>	1976	1	31	pH óptimo de reacción para hemoglobina 8.3 y para caseína 8
Ota <i>et al.</i>	1985	2	23, 27	Fracción en mayor proporción de 27 kD
Hyung <i>et al.</i>	1992	1	32	pH y temperatura óptimo: 8, 70°C, estabilidad, pH 7. Estabilidad temp. 50 °C/30 min
Cheong <i>et al.</i>	1992	1	22	pH y temperatura óptimo: pH 6, 60°C, estabilidad, pH 4-7; estabilidad temp. 50 °C/30 minutos

5.3.4 Actividad de Bromelaína del corazón de piña

En las Figura 5.5 se puede apreciar la actividad de bromelaína usando un extracto del corazón de la piña clarificado como fuente de esta enzima, en esta gráfica se observa que esta proteasa tiene una actividad proteolítica mayor a pH 6. Todas las determinaciones se realizaron a 40°C (Carrera, 2010).

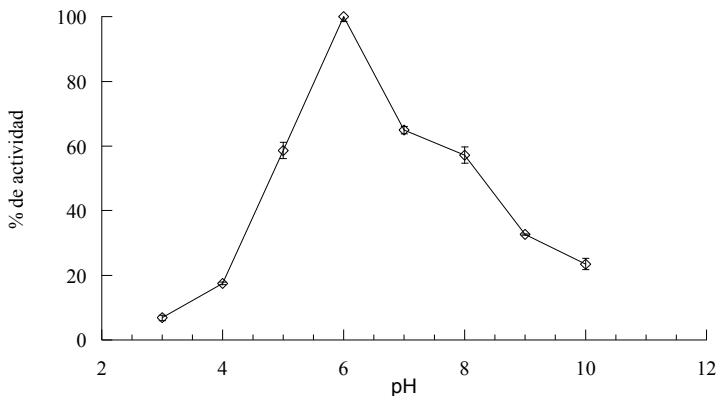


Figura 5.5. Efecto del pH sobre la actividad de bromelaína de corazón de piña con caseinato de sodio.

En la Figura 5.6 se puede apreciar la actividad de bromelaína usando un extracto de corazón de piña clarificado como fuente de la enzima, a temperaturas en el intervalo de 40 a 60 °C se observa que esta proteasa tiene una actividad proteolítica mayor a 50 %. Todas las determinaciones se realizaron a pH 6.0 (Carrera, 2010).

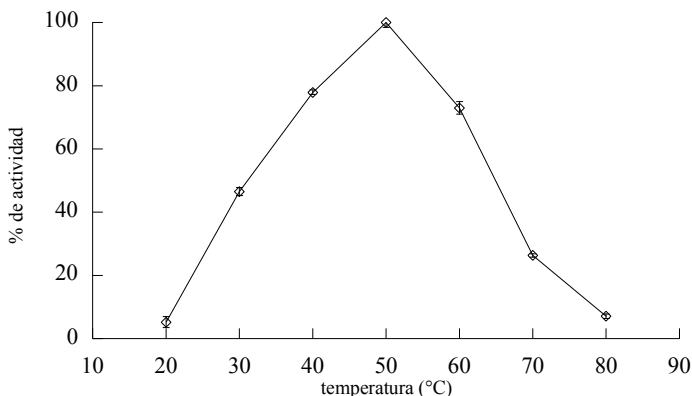


Figura 5.6 Efecto de la temperatura sobre la actividad de bromelaína de corazón de piña, con caseinato de sodio

5.4 Generalidades del Melón

Otra fruta tropical importante es el melón (*Cucumis melo* L.), una planta cucurbitácea, cuyo lugar de origen no está establecido, mientras unos dicen que África, otros dicen que el oeste de Asia. Parece ser que los primeros testimonios del cultivo de esta especie provienen de fuentes egipcias, unos 24 siglos antes de Cristo (Zapata *et al.*, 1989).

Morfología, taxonomía y variedades

El fruto del melón es semejante al de la papaya; los hay desde 10 hasta 30 cm, los más pequeños son casi esféricos, lisos y con rayas claras, también pueden ser verdes o amarillentos; los de mayor tamaño son alargados y con marcadas costillas longitudinales; la pulpa puede ser de color anaranjado, salmón, rosado, verdusco o casi blanca, las semillas son blanquecinas y aplanadas y miden 0,8 cm de largo por 0,4 cm de ancho (Enciclopedia Agropecuaria, 1995).

Las principales variedades son el Galia, Piel de sapo, Rochet, Tendral, Cantalupo conocido como Chino, Rugoso o Reticulado y en menor proporción las de tipo liso, donde destacan la variedad Money Dew conocida como melón Amarillo o Gota.

Melón Galia: es una variedad originaria de Israel. Su forma es esférica y son de un color verde que vira al amarillo intenso en la madurez y tienen un denso escriturado. Su pulpa es blanca verdosa y poco consistente, con un exquisito aroma. El peso medio de estos frutos oscila entre los 850 y los 1500 gramos (Zapata *et al.*, 1989).

Melón Piel de sapo: se caracterizan por poseer frutos uniformes en cuanto a calidad y producción, alargados, con pesos comprendidos entre 1,5 y 2,5 kg, con pulpa blanco-amarillenta, compacta, crujiente, muy dulce (12-15 °Brix) y poco olorosa. La corteza es fina, de color verde, con manchas oscuras que dan nombre a este tipo de melones (Zapata *et al.*, 1989).

Melón Amarillo: Dentro de este grupo existen dos tipos: el Amarillo canario y el Amarillo oro. El primero es de forma más oval y algo más alargado. La piel del fruto es lisa y de color amarillo en la madurez. La pulpa es blanca, crujiente y dulce (12-14 °Brix). La planta en general es menos vigorosa que la del resto de los melones. Su ciclo de cultivo suele durar 90-115 días, según variedades.

Melón Rochet: Son frutos alargados con pesos de 1,5-2 kg, piel lisa, son de color verde en las extremidades, la pulpa es blanca-amarillenta, compacta, poco aromática y dulce (14-17 °Brix), siendo de consistencia media.

Melón Tendral: Se le llama también melón de invierno. Es un fruto con forma redondeada con pesos de 2-3 kg, con corteza rugosa, gruesa, de color verde oscuro, que le hace ser muy resistente al transporte. La pulpa es blanca, y tiene sabor a pepino cuando el melón está verde (Zapata *et al.*, 1989).

Melón Cantalupo: son frutos esféricos, de pesos entre 700 y 1200 g, de piel fina y pulpa color naranja, sabor dulce (11-15°Brix) y de aroma característico. Existen variedades de piel lisa y variedades de piel rugosa, cuando alcanzan la plena madurez el color de la piel cambia hacia amarillo (Zapata *et al.*, 1989).

Producción de melón en México y el estado de Tabasco

En la República Mexicana, Coahuila ocupa el primer lugar en la producción de melón, Tabasco, por su parte, ocupa el decimocuarto lugar; con respecto al estado de Tabasco, Cárdenas es el municipio con mayor producción de esta fruta (Cuadro 5.8).

Cuadro 5.8

Producción de melón en México y el estado de Tabasco

Nacional		Estatal	
Estado	Toneladas	Municipio	Toneladas
(1°) Coahuila	126 150	(1°) Cárdenas	856
(2°) Michoacán	117 355	(2°) Comalcalco	350
(14°) Tabasco	1 617	(3°) Tenosique	195
Total	561 678	Total	1 617

Fuente: SAGARPA, 2010

Composición química

En el Cuadro 5.9, se puede observar que esta fruta solo nos aporta 2.6 g de carbohidratos por cada 100 g de fruto, lo cual lo hace una buena fruta para personas que requieren baja cantidad de calorías. Igualmente las cantidades de proteína y fibra se encuentran en pequeña cantidad. Con respecto a los Micronutrientes el mineral mayoritario es el fósforo y cuenta con una buena proporción de ácido ascórbico. En el melón se encuentra en la pulpa una proteasa de serina conocida como Cucumisina.

Industrialización y consumo del melón

Este puede consumirse en fresco en rebanadas, en cubos o en cócteles combinado con otras frutas como papaya y sandía, en jugos, en licuados con leche y en helados, actualmente se usa para elaborar bebidas refrescantes en polvo (Zapata *et al.*, 1989).

Cuadro 5.9

Composición nutricional del melón (100 g de porción comestible)

Componente	Cant. (100 g)	Componente	Cant. (100 g)
Energía (Kcal)	11	Calcio mg	5,00
Agua	95,9	Fósforo mg	14,00
Proteína g	0,6	Hierro mg	0,30
Carbohidratos g	2,6	Vitamina A	400 UI
Fibra g	0,4	Ac. Ascórbico mg	23,00
Cenizas g	0,5	Riboflavina mg	0,02

5.4.1 Proteasa del melón (Cucumisina)

La fruta Kachri, *Cucumis trigonus* Roxburghi un tipo de melón, contiene alta actividad proteasa y ha sido usada para suavizar la carne en el subcontinente indio. Es una proteasa de serina de 67 kDa la cual fue purificada por DEAE-SEPHAROSE y cromatografía de CM-SEPHAROSE. La mayor actividad proteolítica la presentó a pH 11 y a 70 °C. Su actividad fue fuertemente inhibida por fluoruro de fenilsulfonilo, pero no por ácido etilendiamino tetra-acético, pepstatin, o inhibidores de cisteína.

La especificidad al sustrato de la proteasa purificada hacia péptidos sintéticos fue comparable a la de cucumisina, la primera proteasa de plantas de la clase subtilisina del endocarpo de la fruta de melón (*Cucumis melo*). Estas características, con la secuencia de aminoácido N terminal, indicaron que la proteasa aislada de *Cucumis trigonus* Roxburghi es un homólogo de cucumisina, la cual pertenece a la familia de las proteasas de serina (Asif *et al.*, 2006).

La cucumisina es una endopeptidasa, proteasa de serina que fue aislada por purificación simple a partir del melón covariedad Prince, la cual es estable en el intervalo de pH de 4 a 11. En el mismo trabajo se encontró que la proteasa mantiene un 80% de su actividad a pH 11.1 y 60°C hasta por 20 min., y se inactiva a 72°C y pH 8 (Kaneda *et al.*, 1995). En un estudio comparativo de la actividad proteolítica de cucumisina (EC 3.4.21.25), papaína (EC 3.4.22.2) y ficaina (EC 3.4.22.3) con respecto a la coagulación de la leche, se encontró que la cucumisina fue más estable que la papaína a pH 7.1 y 37°C por 24 h. La actividad de coagulación de cucumisina fue igual a la de papaína y la mitad de la ficaina (Uchikoba y Kanech, 1996).

En otro trabajo se encontró que la cucumisina no es afectada por sulfato de magnesio, cloruro de calcio, cloruro de cobalto o cloruro de manganeso, siendo su pH óptimo 10 en un intervalo de buena actividad de 8-11.5 de pH (Kaneda *et al.*, 1997)

5.4.2 Actividad de un extracto de semilla de melón

Esta enzima obtenida del extracto de semilla de melón, presentó la mayor actividad enzimática a pH 9 sin embargo a pH 7 presentó mas de 80% de actividad (Figura 5.7), lo cual indica que para aumentar la reacción enzimática es recomendable usar un pH alcalino. Esta proteasa fue evaluada también al efecto de la temperatura a pH 9 y presentó mayor actividad a 60 y 70°C (Figura 5.8, Carrera *et al.*, 2008).

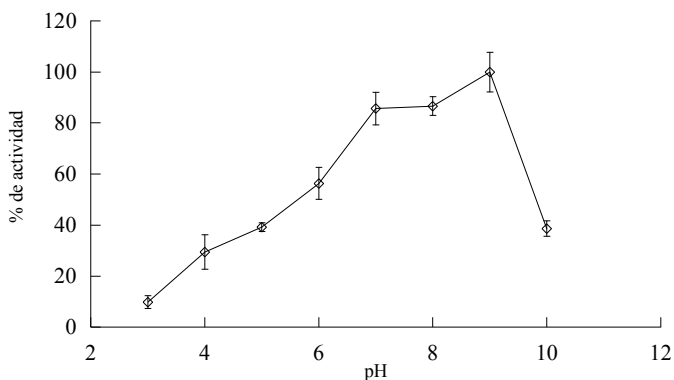


Figura 5.7 Efecto del pH sobre la actividad de cucumisina de semilla de melón con caseinato de sodio

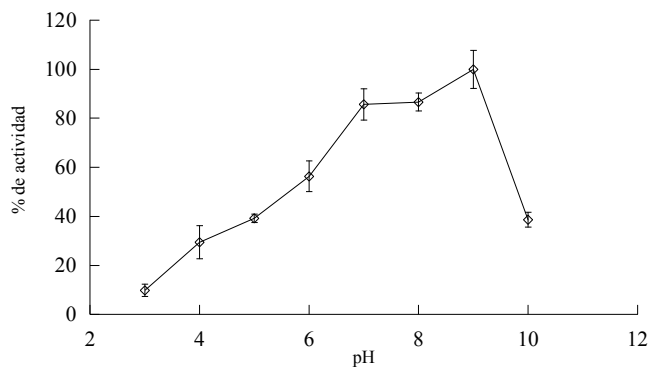


Figura 5.8 Efecto de la temperatura sobre la actividad de cucumisina de semilla de melón con caseinato de sodio

5.5 Usos de las proteasas de cisteína de origen de frutas tropicales

Con respecto al área de procesamiento de alimentos, las proteasas son ampliamente usadas en una gran variedad de procesos incluyendo la elaboración de cerveza, suavización de la carne, procesamiento de pescado, producción de hidrolizados proteicos, elaboración de queso y productos de panificación. Existen además otros usos en menor escala con fines terapéuticos, en la industria textil y cosmética.

Elaboración de cerveza

El principal recurso enzimático, para hidrolizar los almidones y proteínas de la malta son sus enzimas nativas. Sin embargo, la actividad proteolítica no siempre es suficiente, por ello, es necesario emplear algunas proteasas como la papaína para producir una adecuada cantidad de aminoácidos indispensables para el crecimiento de la levadura, y aumentar la hidrólisis de proteínas y la solubilidad de estas, evitando así su sedimentación durante el almacenamiento de la cerveza a bajas temperaturas. En esta industria, se utiliza la papaína, sin afectar el sabor final de la cerveza (Kilara, 1985).

Suavización y procesamiento de la carne

La mayoría de los consumidores prefieren la carne suave después del cocinado y la suavización de la carne con proteasas de plantas ha sido practicada por siglos. El uso de estas enzimas, para suavizar la carne involucra la hidrólisis parcial del tejido conectivo y proteínas musculares. La hidrólisis de carne de res por una hora a 60 °C fue evaluada con ocho enzimas proteolíticas (entre ellas, papaína, bromelaína de tallo, ficina, tripsina, pepsina). La mayor actividad proteolítica sobre proteínas musculares, se encontró con la ficina, bromelaína y tripsina. La papaína y ficina hidrolizaron con mayor velocidad la elastina, mientras que en caso de colágeno, la mayor eficiencia fue para la papaína. En este estudio, se concluyó que la papaína, ficina, tripsina y bromelaína de tallo, tuvieron el mejor efecto en la suavización de la carne de res (Corzo y Waliszewski, 2003).

En otro trabajo, la papaína mostró una hidrólisis significativa, sobre colágeno y proteínas miofibrilares, siete veces mayor, comparada con una proteasa de ácido aspártico (Ashie *et al.*, 2002). Rattie y Regestein (1977) en un estudio con proteínas de pechuga de pollo, encontraron, que la papaína hidrolizó rápidamente las proteínas de las miofibrillas, especialmente cuando están contraídas y que la actinmiosina es hidrolizada con menor velocidad que la miosina a 25 °C por un tiempo máximo de diez minutos.

En otro estudio, realizado para suavizar la carne de calamar, se encontró que las proteasas bromelaína de tallo y lisozima del bazo de bovino tuvieron efecto significativo en suavizar dicha carne a pH 7 y a 37 °C por 30 minutos antes del cocinado (Melendo *et al.*, 1997). Smalling *et al.*, (1971) investigaron el efecto de la inyección de soluciones de papaína en cerdos; 30 minutos antes de la matanza; para posteriormente elaborar jamones y evaluar el cambio de color, la consistencia, el aroma y la apariencia general del producto terminado. Los resultados mostraron, que la inyección de una solución de papaína al 6.5% (en una dosis de 0,33 ml.Kg⁻¹ de peso) fue efectiva en suavizar la carne. Así mismo, el análisis de correlación indicó que todas las características sensoriales evaluadas fueron influenciadas positivamente por la suavización enzimática.

En otra investigación, se uso ficina como suavizador de la carne para elaborar salchichas. Los resultados indicaron, que el uso de ficina mejoró la retención de agua, la estabilidad de la emulsión y se observó la desaparición de varias fracciones proteicas en la carne tratada con ficina (Ramezani *et al.*, 2003).

Procesamiento de pescado

Existen también posibilidades de usar las proteasas de frutas en el procesamiento de pescado, para obtener hidrolizados, especialmente para el aprovechamiento de desperdicios. En el trabajo realizado con diez enzimas proteolíticas incluyendo bromelaína de tallo, ficina, papaína, tripsina, pepsina y pronasa se midió la actividad relativa por 1 hr a 40° y pH 7; utilizando proteína de pescado en polvo como sustrato. Los resultados indicaron, que la ficina, la pronasa y pepsina presentaron la mayor velocidad de hidrólisis sobre las proteínas de pescado (Hale, 1969).

Uno de los grandes problemas de usar hidrolizados proteicos en alimentos, es la formación de péptidos amargos producidos después de la hidrólisis parcial de proteínas, lo cual, esta correlacionado con la proporción de péptidos con aminoácidos hidrofóbicos. Por ello, para eliminar dichos péptidos, se debe aumentar el tiempo de hidrólisis o agregar peptidasas (Adler-Nissen, 1976).

Las proteasas de frutos actúan mejor a 70 °C y en condiciones neutras, para producir hidrolizados, que posteriormente pueden ser separados, concentrados y comercializados en forma de polvo (Kilara, 1985).

Elaboración de queso

El primer paso en la elaboración de queso es la hidrólisis del enlace peptídico de la caseína, lo cual provoca su precipitación. Para lograr este objetivo, se usa la renina, pero como su precio es alto, ha habido interés en encontrar enzimas alternativas.

En un estudio, se utilizó ficina y renina para la elaboración de queso tipo cheddar con leche de vaca o búfalo para su posterior comparación en cuanto al grado de acidez y rendimiento. El rendimiento fue mayor cuando se uso renina en los dos tipos de leche;

sin embargo, no hubo diferencias significativas con respecto al grado de acidez en las diferentes etapas de la elaboración del queso, cuando se utilizó renina o ficina por separado (Corzo y Waliszewski, 2003).

En otra investigación, se comparó sensorialmente, queso Gaziantep elaborado con renina o ficina. Los parámetros sensoriales evaluados fueron: amargosidad, uniformidad, cremosidad, consistencia, fragilidad y pérdida de sabor. Las pruebas estadísticas mostraron, que no hubo diferencias significativas en las características antes señaladas entre los quesos elaborados con renina o ficina. La enzima obtenida de látex de higo fue usada exitosamente para la elaboración de un queso Gaziantep de buena calidad. Los resultados indicaron que la ficina podría ser utilizada como sustituto de la renina (Öner y Akar, 1993).

Elaboración de productos horneados

Pequeñas cantidades de papaína son usadas en la industria panadera, para la hidrólisis parcial de las proteínas del gluten, lo cual, mejora la plasticidad de la masa y el volumen del pan después del horneado. Estas enzimas también pueden prevenir el encogimiento en el pan y las galletas y contribuir al sabor y al oscurecimiento no enzimático por la reacción de aminoácidos con azúcares reductores. Por otra parte, los cereales de cocinado rápido, se obtienen por la hidrólisis parcial previa con papaína o bromelaína de tallo, con el fin de aumentar la digestibilidad de las proteínas de este alimento (Moodie, 2001).

5.5.1. Propósitos médicos de las proteasas

Pequeñas cantidades de proteasas de frutas tropicales, se emplean para varios propósitos médicos y farmacéuticos como ayudante digestivo, para pacientes con dispepsia crónica o gastritis, donde existe dificultad en la digestión de proteína. Así mismo, se ha utilizado para el tratamiento de enfermedades externas de la piel, tales como la remoción de verrugas, tratamiento de cicatrices y como ingrediente en cremas de limpiezas faciales (Poulter y Caygill, 1985).

La bromelaína de tallo en dosis de 160 mg a 1 g al día, interfiere con el crecimiento de células malignas, inhibe la agregación de plaquetas, tiene actividad fibrinolítica, acción antiinflamatoria y propiedades de hidrólisis de tejido necrosado. Estas funciones biológicas, de la bromelaína, le proporcionan valor terapéutico en la absorción de drogas, crecimiento de tumores, coagulación de la sangre, cambios inflamatorios y recuperación de la piel en quemaduras de tercer grado (Taussig y Batkin, 1988).

Dentro de los efectos más importantes que ha provocado la bromelaína en animales de experimentación están: el efecto antiinflamatorio, el efecto anti edematoso, la inhibición de edema pulmonar, el efecto de la síntesis de prostaglandinas, el incremento de los niveles de antibióticos en el cuerpo, la disminución de lesiones precancerosas y el efecto sobre la coagulación de la sangre, que involucra el incremento del tiempo de protrombina, los niveles de antitrombina y la inhibición de la agregación de plaquetas (Lotz-Winter, 1990).

También a la bromelaína de tallo se le atribuyen efectos benéficos en el tratamiento de angina de pecho, bronquitis, sinusitis, traumas quirúrgicos, tromboflebitis, pielonefritis y en el mejoramiento de absorción de drogas especialmente antibióticos. Los experimentos

indican que estas propiedades farmacológicas dependen en parte a la actividad proteolítica, sugiriendo que el efecto se deba a la presencia de otros componentes no proteolíticos en la bromelaína de tallo (Maurer, 2001).

5.5.2 Otros usos de las proteasas

La papaína se ha usado para la depilación o remoción de cabello. Esta enzima ataca al centro de la glucoproteína de los glucosaminoglicanos, hidrolizando el tejido conectivo. Esto permite, que el cabello sea removido más fácilmente, sin dañar las fibras de colágeno. Por otra parte, la queratina se hidroliza con papaína en la obtención de lana y en el tratamiento de plumas de pollo, para su posterior uso en la alimentación animal. El uso de papaína o bromelaína de tallo, también se ha reportado para el desgomado de seda (Poulter y Cayjill, 1985).

Arzu *et al.* (1972) realizaron un estudio sobre la hidrólisis de harina de algodón desengrasada, utilizando la ficina, papaína, pepsina, tripsina, bromelaína de tallo y cuatro proteasas bacterianas de *B. subtilis*. Los resultados indicaron que la mejor actividad relativa de hidrólisis de harina de algodón, se obtuvo con bromelaína, y en menor grado con ficina y papaína.

La proteólisis, producida por proteasas de frutas tropicales sugiere, que deberían ser aplicadas en la extracción de aceite en combinación con amilasas y celulasas, ya que, la degradación del almidón, celulosa y proteína, permite que el aceite se separe por decantación o centrifugación (Rosenthal *et al.*, 2001).

5.6 Futuras aplicaciones de las proteasas de frutas tropicales

Si un procesador de alimentos busca una enzima GRASS, que produzca una proteólisis limitada y rápida; debe considerar las proteasas de cisteína. El precio y la disponibilidad pueden justificar, por qué, la papaína es la más empleada. Además, estas enzimas se caracterizan por tener diferentes especificidades hidrolíticas dependiendo del sustrato. En la elaboración de hidrolizados proteicos, son necesarias proteasas que produzcan péptidos de bajo peso molecular y aminoácidos libres que no produzcan sabores amargos. Por otra parte, para suavizar la carne para consumo humano se requieren proteasas que sean específicas para los sustratos y estables al tratamiento térmico (Rosenthal *et al.*, 2001).

5.7 Conclusiones

Los resultados del estudio de las proteasas de frutas tropicales ha puesto de manifiesto el interés que hay en este grupo de enzimas, lo usos importantes que se le dan a las mismas y recientemente los estudios realizados sobre los usos terapéuticos sobre la bromelaína de tallo de piña. Aunque se han realizado varios estudios sobre las proteasas comentadas, las proteasas de frutas tropicales representan una buena alternativa de enzimas que se pueden obtener por métodos sencillos como extractos enzimáticos de las partes de las frutas que se consideran desechos, lo cual reviste mayor importancia, por ejemplo: el extracto de papaína obtenida de la cáscara de papaya madura, el extracto de bromelaína obtenido del corazón de la piña y el extracto de cucumisina obtenido de la semilla del fruto de melón. El trabajo experimental podría demostrar que se pueden utilizar los extractos enzimáticos con igual eficiencia que usando las proteasas purificadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Adler Nissen, J. J. 1976. Enzymatic hydrolysis of protein for increased solubility. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 24: 1090-1093.
- Arzu A., Mayorga H., Gonzalez J. and C. Rolz. 1972. Enzymatic hydrolysis of cottonseed protein. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 20: 805-809
- Ashie N.A., Sorensen T. L and P. M. Nielsen. 2002. Effects of papain and a microbial enzyme on meat proteins and beef tenderness. *Food Chemistry and Toxicology*, 67: 2138-2142.
- Asif Ullah M., Kim K.S. and Y.G. Yu. 2006. Purification and characterization of a serine protease from *Cucumis trigonus roxurgui*. *Phytochemistry*. 67(9): 870-875.
- Carrera, L.A., Corzo-Sosa C.A., Rodríguez B.L. y Velásquez, J.R.. 2008. Actividad proteolítica y estabilidad de cucumisina de melón (*Cucumis melo*) variedad Cantalupo". V Congreso Internacional de Ingeniería bioquímica, XVI Congreso Nacional de ingeniería Bioquímica. Chiapas.
- Carrera, L.A. 2010. Actividad proteolítica de papaína, bromelaína y cucumisina de frutas tropicales. Trabajo de grado. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa Tabasco, México. 81 p.
- Cheong C., Gyu-Mok S., Yeoung Je C., Sung Sook C., Sung-II L. and S. Yeoung Ran. 1992. Purification and characteristics of bromelain from Korean pineapple. *Journal Korean Agriculture and Chemistry Society*, 35: 23-29.
- Cornish Bowen A. 1996. Chapter 1. Classification and measurement of enzyme activity. Hames B.D. and Rickwood D. *Enzymology*. LABFAX. Academic Press. Oxford, England: 1-7: 242 p.
- Corzo-Sosa, C.A. y K.N. Waliszewski, 2003. Características y usos de las proteasas de cisteína de origen de frutas tropicales. *Universidad y Ciencia UJAT*. 19 (38): 93-100.
- Corzo-Sosa, C.A., Carrera L.A., Rodríguez B.L., Velázquez, M.J.R., Aparicio, T.M.A. 2008. Resumen en extenso "Obtención de papaína de papaya (*Carica papaya*) Var. Maradol en estado de madurez comestible" IV Simposio Internacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Villahermosa, Tabasco. México. pp. 148-152.
- Corzo-Sosa, C.A., 2006, Obtención, caracterización y estabilidad de bromelaína de fruto de piña (*Ananas comosus* L.) variedad cayena lisa. Trabajo de grado. Doctorado en Ciencias en Alimentos, Instituto Tecnológico de Veracruz. Veracruz Ver. México. 130 p.
- Corzo-Sosa, C.A., Aparicio, T.M.A., Velázquez, M.J.R., Salinas, H.R.M., Rodríguez, B. L., Carrera, L.A., López, H.E. 2010. Actividad proteolítica en diferentes partes del fruto de piña (*Ananas comosus* L.). *Memorias del VI Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica*. 24-26 marzo 2010. Acapulco México.
- Doko M.B., Bassani V., Casadebaig J., Cavailles L. y M. Jacob. 1991. Preparation of proteolytic enzyme extracts from *Ananas comosus* L., Merr. fruit juice using semipermeable membrane, ammonium sulfate extraction, centrifugation and freeze-drying processes. *International Journal of Pharmaceutics*. 76: 199-206.
- Enciclopedia Agropecuaria. 1995. Producción agrícola 1. Vol. 2. Terranova Editores. pp. 221-228, 233.
- Englund, P.T., King T.P., Craig L.C. and A. Walti. 1968. Studies on ficin. I. Its isolation and characterization. *Biochemistry*. 7:163-175.
- Goodenough P. W. and J. Owen. 1987. Chromatographic and electrophoretic analyses

- of papaya proteinases. *Phytochemistry*, 26: 75-79.
- Hale, M.B. 1969. Relative activities of commercially-available enzymes in the hydrolysis of fish protein. *Food Technology*, 23:107-110.
- Hyung J. S., Ho Lee, Hong Yon Cho and Chul Yang. 1992. Purification and characterization of bromelain isolated from pineapple. *Journal Korean Agriculture and Chemistry Society*, 35: 300-307.
- Ibar L. 1986. Cap. 4. La papaya. *Cultivo del aguacate, chirimoyo, mango y papaya*. Edit. AEDOS. Barcelona. pp 163-175.
- Ishihara h., Takahashi N., Oguri S. and T. Setsuzo. 1979. Complete structure of carbohydrate moiety of stem bromelain. *Journal of Biology and Chemistry*, 254 (21): 715-719.
- Kaneda M., Yonezawa H. and T. Uchikoba. 1995. Improved isolation, stability and substrate specificity of cucumisin, a plant serine endopeptidase. *Applied Biochemistry*, 22(2): 215-222.
- Kaneda M., Yonezawa H and T. Uchikoba. 1997. Purification and some properties of a protease from the sarcocarp of musk melon fruit. *Bioscience Biotechnology Biochemistry*, 61: 2100-2102.
- Kaul P., H. A. Sathish and V. Prakash. 2002. Effect of metal ions on structure and activity of papain from *Carica papaya*. *Nahrung/Food*. 46 (1): 2-6.
- Kilara, A. 1985. Enzyme-modified protein food ingredients. *Proc. Biochem.*, October. 149-157
- Lotz-Winter H., 1990. On the pharmacology of bromelain: an update with special regard to animal studies on dose-dependent effects. *Planta Médica*. 56: 249-253.
- Lynn K.R., 1977. The fractionation of bromelain. *Anal Biochemistry*, 77: 33-38
- Maurer, H.R., 2001. Bromelain: biochemistry, pharmacology and medical use. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 58: 1234-1245
- Melendo J.A., Beltran J.A. and P. Roncales. 1997. Tenderization of squid (*Loligo vulgaris* and *Illex coindetii*) with bromelain and a bovine spleen lysosomal-enriched extract. *Food Research International*, 30(5): 335-341.
- Monti R., Carmelita A., Basilio H., C. Trevisan and J. Contiero. 2000. Purification of papain from fresh latex of *Carica papaya*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 43: 501-507.
- Moodie P., 2001. Traditional baking enzymes (proteases). Presented at American Institute of Baking. Manhattan Kansas. EUA. Enzyme Development Corporation. pp 10.
- Napper A.D., Bennett S.P., Boroski M., Holdridge M.B., Leonard M.J.C., Rogers E.E., Duan Y., Laursen R.A., Reinhold B., S.L.Shames, 1994. Purification and characterization of multiples forms of the pineapple stem derived cystein proteinases ananain and comosain. *Journal of Biochemistry*, 301: 727-735.
- Öner M. D. and Akar B., 1993. Separation of the proteolytic enzymes from fig tree latex and its utilization in Gaziantep cheese production. *Lebensm.-Wiss. Technology*, 26: 318-321.
- Ota S. 1968. Autodigestion of main proteolytically active component of the stem bromelain. *Journal of Biochemistry*, 63: 494-500
- Ota S., Horie K., Hagino F., Hashimoto C. and Date H., 1972. Fractionation and some properties of the proteolytically active components of bromelains in the stem and the fruit of the pineapple plant. *Journal of Biochemistry*, 71: 817-830.
- Ota S., Muta E., Katahira Y. and Okamoto Y., 1985. Reinvestigation of fractionation

- and some properties of the proteolytically active components of stem and fruit bromelain. *Journal of Biochemistry*, 98:219-228.
- Poulter N. H. and J. C. Caygill, 1985. Production and utilization of papain, a proteolytic enzyme from *Carica papaya* L. *Tropical Science*, 25: 123-137.
- Ramezani R., Aminlari M. and Fallahi H., 2003. Effect of chemically modified soy protein and ficin-tenderized meat on the quality attributes of sausage. *Journal and Food Science*, 68: 85-88.
- Rattrie, N.W. and Regenstein J.M., 1977. Action of crude papain on actin and myosin heavy chains isolated from chicken breast muscle. *Journal of Food Science*, 42: 1159-1163.
- Rosenthal A., Pyle D.L., Niranjana K., Gilmour S. and Trinca L. 2001., Combined effects of operational variables and enzyme activity on aqueous enzymatic extraction of oil and protein from soybean. *Enzyme Microbiology and Technology*, 28: 499-509.
- Rowan, A. D., Buttle, D. J. and A.J. Barrett. 1988. Ananain: a novel cysteine proteinase found in pineapple stem. *Archives of Biochemistry and biophysics*. 267 (1): 262-270.
- SAGARPA. 2010. Producción de frutas perennes en México. <http://www.siap.gob.mx/index.php/agricultura/produccion-anual>
- Sgarbieri, V.C., Shashikant M.G., Kramer D.E. and Whitaker J.R., 1964. Separations of the proteolytic enzymes of *Ficus carica* and *Ficus glabrata* lattices. *Journal and Biology Chemistry*, 239(7): 2170-2177.
- Shaw P.E., Chan J.H.T. and Steren N. 1998. Tropical and subtropical fruits. Chapter 3. Pineapple. Agrosience, inc. Anburndale, Florida, USA. pp: 137-190.
- Smalling, J.V., Kemp, J.D., Fox, J.D. and W.G. Moody. 1971. Effects of antemortem injection of papain on the tenderness and quality of dry cured hams. *Journal of Animal Science*, 32: 1107-1112.
- Sriwatanapongse A., M. Balaban and Teixeira A., 2000. Thermal inactivation kinetics of bromelain in pineapple juice. *American Society of Agriculture Engineering*, 43: 1703-1708.
- Taussig S.J. and Batkin S., 1988. Bromelain, the enzyme complex of pineapple (*Ananas comosus* L.) and its clinical application. An update. *Journal Ethn*, 22: 191-203.
- Uchikoba T. and M. Kanech. 1996. Milk clotting activity of cucumisin, a plant serine protease from melon fruit. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 56(3): 325-330.
- Whitaker John R., 1994. Principles of enzymology for the food science. Chapter 19. The proteolytic enzymes. Marcel Dekker Inc. USA. 469 p.
- Yamada Fumiko, Noriko Takahashi and Takashi Murachi. 1976. Purification and Characterization of a proteinase from Pineapple fruit, fruit Bromelain FA2. *Journal of Biochemistry* 79:1223-1234.
- Zapata M. Cabrera P. Bañon S. Y P. Roth. 1989. El melón. Cap. 5. Descripción del material vegetal. Ediciones mundiprensa. Madrid. pp. 47-54.

CAPÍTULO 6 LOS TUBÉRCULOS COMO FUENTE DE ALMIDONES

Aparicio-Trápala, M. A.; Arambula-Villa, G.; Espinosa-Moreno, J.; Centurión-Hidalgo, D.; Waliszewski-Kubiak (†), K. y Rodríguez-Blanco, L.

6.1 Introducción

Las raíces y tubérculos figuran entre los alimentos humanos más antiguos y de gran importancia nutricional, ecológica y económica. Desde el punto de vista nutricional, estos cultivos juegan un papel muy importante como fuente principal de energía y pueden competir con los cereales en la eficiencia de producción de alimento, al mismo tiempo pueden proveer una composición balanceada de la dieta, tanto en zonas urbanas como rurales donde la población obtiene ingresos bajos (Scott *et al.*, 2000).

La importancia de las raíces y tubérculos radica en su producción que se calcula, en las zonas tropicales del mundo, de alrededor de 996,000 toneladas al año (FAO, 2008) cantidad suficiente para solventar la alimentación básica de cerca de 400 millones de personas. Las raíces y los tubérculos más importantes como la yuca (*Manihot esculenta* Crantz), la papa (*Solanum tuberosum* L.), la batata o camote (*Ipomoea batatas* L.) y el ñame (*Dioscorea* spp) juegan un rol significativo en el sistema global de alimentación, contribuyendo a los requerimientos energéticos y de nutrición de más de 2 000 millones de personas en los países en desarrollo y continuarán haciéndolo en las próximas dos décadas (Scott *et al.*, 2000; Siqueira y Veasey, 2009).

Son producidos y consumidos por la mayoría de los más pobres entre los pobres y los pequeños agricultores con mayor inseguridad alimentaria. La yuca, la papa y el camote figuran entre los diez cultivos alimenticios más importantes producidos en los países en desarrollo. Durante décadas ha prevalecido la tendencia a tratar a las raíces y a los tubérculos como productos indiferenciados, han evolucionado de una manera notablemente desigual, según se trate de diferentes cultivos y situaciones geográficas (FAO, 1990), de ese modo, no se han aprovechado las ventajas de sus variados usos y rendimientos por región, postergando el análisis de los roles que cumplen en el sistema alimentario global, empañando la comprensión de sus perspectivas futuras e impidiendo la formulación de políticas apropiadas para explotar su potencial completo (CENIAP HOY, 2003).

El mayor impacto que las raíces y tubérculos aportan para cubrir las necesidades diarias de distintos nutrientes es la del número de personas beneficiadas por hectárea de cultivo. Se ha demostrado que una hectárea sembrada de camote, en comparación con una de arroz, proporciona ocho veces más tiamina (Vitamina B1), 12 veces más riboflavina (Vitamina B2), 60 veces más calcio y 134 veces más hierro (CENIAP HOY, 2003).

Existe conciencia generalizada de que los cultivos de raíces y tubérculos aportan alimentos energéticos en gran cantidad y que la escasa proteína que producen es de menor calidad a la de origen animal. Sin embargo, su papel en la dieta es el de ser fuente de energía en forma de almidón y representan, cuando menos, el 40% del peso de la dieta. Como aporte secundario, son fuente de proteína y tiamina. Estos alimentos ofrecen una mayor cantidad de nutrimentos a bajo costo (CIP CPAD, 2009).

Las raíces y tubérculos tropicales han representado múltiples y variadas características en la dieta humana a través de la historia, no obstante que algunos de ellos entraron casi en total olvido, mas por prejuicio y mala información que por haber sido superados por otras fuentes de alimentos de igual o superior calidad, ya que presentan ventajas con respecto a su rendimiento y al aporte de energía como carbohidratos. Los cultivos de raíces y tubérculos alimentarios, también llamados simplemente “raíces” hacen una importante contribución a los ingresos y a la seguridad alimentaria de los países en desarrollo. Las características físicas y bioquímicas de estos productos agrícolas, su fácil deterioro y su producción que generalmente ocurre en épocas específicas del año son las principales razones para que reciban atención sobre cualquier tipo de transformación que pueda conservarles (Siqueira y Veasey, 2009).

Existe gran variedad en forma y usos para los productos a partir de las raíces y tubérculos: cocidos, troceados y rebanados, deshidratados al sol, hojuelados, granulados y en cubos, harina, almidón natural, almidón fermentado, almidones modificados, harina integral de hojas. También se han procesado como alimentos congelados, enlatados, empacados al vacío, enriquecidos con proteína mediante fermentación, comidas rápidas. Además, cuando no tienen calidad comercial, se pueden utilizar para alimentos de animales principalmente ensilados, en la industria textil o de adhesivos, o transformados a otros productos de importancia alimentaria como glucosa, alcoholes, o dextrina (Maza, 2007).

En México, el estado de Tabasco figura entre las regiones donde existe una amplia variedad de cultivos potencialmente importantes, que pueden constituirse en elementos importantes en el sistema económico, ya que además de sus múltiples bondades alimentarias, ofrecen diversidad en formas de aprovechamiento, desde su almidón hasta sus hojas, lo que las constituye en plantas altamente promisorias, plantas como papa voladora (*Dioscorea bulbifera* L.), y especies tuberosas, como el suco (*Calathea macrosepala* (Aubl.) Lindl.), ñame (*Dioscorea alata* L.), macal (*Xanthosoma sagittifolium* Schott), yuca (*Manihot esculenta* Crantz), sagú (*Maranta arundinaceae* L.), malanga (*Colocasia esculenta* Schott), entre otras que son especies fundamentales de la dieta de los pobladores rurales del trópico, debido a que son productos baratos y están disponibles todo el año (Centurión *et al.*, 2000).

Debido a la importancia de las raíces y tubérculos, existe la necesidad de investigar otras formas de explotarlos (Scott *et al.*, 2000). En el estado de Tabasco se tienen las condiciones óptimas para su producción pero se producen en pequeña escala y las nuevas generaciones conocen poco acerca de ellos: de la extracción del almidón que contienen, su rendimiento y evaluación de las propiedades fisicoquímicas del almidón obtenido (Centurión *et al.*, 2000; Maza 2007).

En el caso de los estados de Tabasco y Yucatán, las raíces y tubérculos están presentes en las áreas rurales, como parte de la cultura alimentaria entre ellos, se encontró: Cueza o raíz de Chayote, Macal, Macal criollo, Malanga, Ñame, Papa voladora, Sagú, Suco y Yuca en Tabasco (Centurión *et al.*, 2000), en el caso del estado de Yucatán, Terán *et al.* (2009) reporta 13 raíces y tubérculos cultivados en las milpas de los xocenenses, tres se cultivaron antes de la conquista (el macal, el camote y la yuca) junto con la jícama (presencia prehispánica) y tres especies introducidas por los españoles que aún se cultivan: sagú, macal y papa voladora (Cuadro 6.1).

Cuadro 6.1

Raíces y tubérculos tropicales de consumo rural en Tabasco y Yucatán

Nombre común	Nombre científico	Familia	Situación actual
Camote	<i>Ipomea batatas</i> Lam	Convolvuláceas	Industrializada
Cueza de chayote	<i>Sechium edule (jaca)</i> Swartz	Cucurbitaceae	Subexplotada
Macal criollo	<i>Xanthosoma sagittifolium</i> Schott	Araceae	Subexplotado
Macal chino	<i>Xanthosoma violaceum</i> Schott	Araceae	Subexplotado
Malanga	<i>Colocacia esculenta (L)</i> Schott	Araceae	En vías de industrialización
Ñame	<i>Dioscorea alata</i> L.	Dioscoreácea	Subexplotado
Papa voladora	<i>Dioscorea bulbifera</i> L.	Dioscoreácea	Subexplotado
Sagú	<i>Maranta arundinacea</i> L.	Marantácea	Subexplotado
Suco	<i>Calathea macrosepala (Aubl.) Lindl</i>	Marantaceae	Subexplotado
Yuca	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Euphorbiaceae	Industrializada

Fuente: Centurión *et al.*, 2000; Aparicio, 2003

6.2 Tubérculos como fuente de almidones

6.2.1 Camote

El camote es una planta perenne, cultivada anualmente, pertenece a la familia de convolvuláceas (Convolvulaceae) especie *Ipomea batatas* Lam. se le conoce como Kumara en Perú, Boniato en Cuba, cara o jetica en Brasil), moniato o camote en México, patata dulce o batata azucarada en Europa y Asia (Montaldo, 1991). En la Figura 6.1 se observa que a diferencia de la papa que es un tubérculo, o esqueje engrosado, el camote es una raíz reservante.



Figura 6.1 Raíz de camote (*Ipomea batatas* Lam.)

Originaria de los trópicos de América Central y Sudamérica ha sido domesticada y cultivada desde hace 8.000 años en Perú, habiéndose hallado representaciones de camote en numerosos ceramios precolombinos y restos de las raíces tuberosas en algunas tumbas, llegó a Europa en el siglo XVI y se ha difundido ampliamente en todo el mundo, ocupando el tercer lugar después de la papa y la yuca, en el renglón de la producción de raíces y tubérculos. Su cultivo se localiza desde México hasta Chile, de ahí, pasó a Polinesia y luego se difundió hasta África y Asia Tropical (Herrera, 1986).

Se han reconocido 15 especies del género, once de las cuales solo crecen en el Continente Americano y las otras cuatro en diferentes países del mundo. Se cultiva durante todo el año en el trópico pero en Japón, Estados Unidos y Argentina, solo en la estación estival libre de heladas. En Nueva Guinea, Indonesia, Japón, China y Corea, el camote ha llegado a constituir parte importante en la dieta diaria (FAOb, 2006).

Los principales productores de Asia, son China, Indonesia, Vietnam y Japón y, en la India hay interés creciente por su cultivo (Cuadro 6.2). América ocupa el tercer lugar como continente productor y el país con más área dedicada a este cultivo ya que el principal productor comercial es Brasil, pero solo se destina al uso doméstico en estado fresco o en forma elaborada y no interviene en el comercio internacional como Estados Unidos de Norteamérica quien es el principal productor americano, seguido de Brasil y Cuba (FAOb, 2006).

Cuadro 6.2 *Producción de camote por país durante 2008*

País	Producción batatas año 2008 (ton)	País	Producción batatas año 2008 (ton)
China	8 052 292	Burundi	873 663
Nigeria	3 318 000	Estados Unidos	836 560
Uganda	1 876 944	Ruanda	826 000
Indonesia	1 323 900	Angola	819 772
Vietnam	1,322 000	Papua N. Guinea	580 000
Tanzania (R. U. de)	1 011 000	Filipinas	572 655
Japón	894 781	Brasil	548 438
Kenya	890 000	Etiopía	526 487
Madagascar	890 000	R. Pop. Dem. Corea	380 070
Mozambique	890 000		

Fuente: FAOa, 2008

El consumo per cápita de este tubérculo declinó durante las dos últimas décadas del siglo XX (Truong y Walter, 1994), mientras que el uso como forraje ha ido en aumento; en 1996 China fue el principal productor, con el 98.7% de la producción (Scott *et al.*, 2000) y según estadísticas de la FAO, para el año 2005 China representó el 83% del total mundial y para el 2008 continuó siendo el productor principal (FAO/FAOSTAT, 2011). El camote se utiliza en China como base de la industria de la crianza de cerdos, de lo cual China es el primer productor, además de utilizarse como forraje, se utiliza como fuente de almidón para la fabricación de fideos (2×10^6 ton/año). Los residuos de esta extracción, se aprovechan también para la alimentación animal (Scott *et al.*, 2000).

El camote ocupa el séptimo lugar en la producción agrícola después del trigo, arroz, maíz, papa, cebada y yuca con una producción mundial de 135×10^6 ton en 2002. En 1996, la yuca fue el producto de este tipo más consumido por el hombre (93 millones de ton), seguida del camote con 69 millones de ton y la papa con 65 millones de ton (Scott *et al.*, 2000). En América Latina la producción de camote se ha estancado o contraído, aún así, la tasa de crecimiento proyectada para el camote como alimento humano para el periodo 1993 al 2020 es de 2.7% anual (Scott *et al.*, 2000). Por otro lado, este cultivo se siembra en más de 100 países en desarrollo, figurando entre los cinco cultivos más importantes en más de 50 de ellos (CIAP, 1999).

La fácil y económica reproducción, habito agresivo de crecimiento que le permite eliminar las malas hierbas y su rendimiento de carbohidratos por hectárea sembrada, mayor que en otro tipo de tubérculos, son tres de los aspectos importantes de este cultivo secundario; su rendimiento promedio es de 15.0 a 19.1 ton/ha a nivel mundial pero en los campos de germoplasma del CIAP en Venezuela, han experimentado con varios clones observándose los mayores rendimientos en el Clon Mariara con 20,33 ton/ha (Fuenmayor *et al.*, 2004).

Dada su riqueza en sustancias amiláceas y azucaradas, se cultivan diferentes variedades para consumo humano, ya sea como materia prima en la industria de la pastelería y repostería, para la extracción de almidón, e incluso para la obtención de bebidas alcohólicas, aunque pueden diferir en el color de la pulpa y en su resistencia a condiciones ambientales, plagas y enfermedades; algunas variedades pueden permanecer hasta un año, sin ser cosechadas manteniendo su calidad (Fuenmayor *et al.*, 2004).

El sistema radicular es la parte más importante de la planta, ya que constituye el objeto principal del cultivo. Al ser la porción comestible tuberosa de 30 a 40 cm de longitud y 15 a 20 cm de diámetro. Las raíces son abundantes y ramificadas, produciendo unos falsos tubérculos cuya cáscara y pulpa varían del color blanco al amarillo naranja, según la variedad, de carne excelente, hermosa, azucarada, perfumada y rica en almidón, con un elevado contenido en caroteno y vitamina C y una proporción apreciable de proteínas Sin embargo, no se utiliza mucho en la alimentación humana, por su sabor dulzón y textura harinosa (Truong *et al.*, 1986; FAO, 1990).

La especie se adapta desde el nivel del mar hasta los 2.500 metros de altura, pero para establecer plantaciones comerciales con buenos rendimientos, se cultiva entre los 0 y 900 metros sobre el nivel del mar, en donde se presentan temperaturas de 20 a 30°C, que aceleran su metabolismo. Requiere de 12 a 13 horas diarias de luz. Se adapta a suelos con buena aireación, buen drenaje, que sean livianos y con alto contenido de materia orgánica, tipo franco arenosos hasta franco arcillosos, con pH entre 5.2 y 7.7. Si el suelo es muy fértil, pesado y húmedo el desarrollo de hojas y tallo es muy vigoroso pero su rendimiento de raíces es muy bajo al igual que su calidad, las raíces de mejor calidad se obtienen en suelos arenosos y pobres, aunque los rendimientos son bajos. Por sus características nutritivas, facilidad de cultivo y productividad, representa una buena alternativa de diversificación y asociación de cultivos para los pequeños productores, tiene pocos enemigos naturales lo cual implica que usa pocos pesticidas y crece en suelos con pocos fertilizantes (Martínez *et al.*, 1995).

Las raíces del camote se aprovechan para consumo humano como hortaliza y en sopas, industrialmente se usa para elaborar dulces, obtener almidón, el cual a su vez es materia prima para la obtención de alcohol; la raíz se emplea en la alimentación de cerdos. El follaje se utiliza en la elaboración de forraje para alimentación de animales (Fuenmayor *et al.*, 2004).

Con respecto a la composición del camote, el contenido promedio de proteínas oscila entre 1 a 2.5%, que es superior al de la yuca, es un alimento de alta energía, sus raíces tienen un contenido de carbohidratos totales de 25 a 30%, de los cuales el 18 a 28% es almidón, por lo que el 98% es considerado fácilmente digestible. Es una fuente excelente de carotenoides de provitamina A, el contenido de agua en las variedades harinosas, es de 50 a 60 % pero en las blandas y glutinosas puede constituir más del 80%. En el Cuadro 6.3 se presenta la composición promedio y las características fisicoquímicas de este tubérculo.

Cuadro 6.3

Composición y características del tubérculo camote

Componente	Contenido
Agua	72-84
Materia seca (%)	19-35
Almidón (% del peso fresco)	18-28
Azúcares totales (% del peso fresco)	1.5-5.0
Proteínas (% del peso fresco)	1.0-2.5
Fibra (% del peso fresco)	1.0-3.0
Lípidos (% del peso fresco)	0.5-6.5
Vitamina A (µg / 100 g peso fresco)	900
Vitamina C (mg/ 100 g peso fresco)	35
Ceniza (% del peso fresco)	1.0
Ca (mg)	70
P (mg)	200
Hierro (mg)	0.59
Potasio (mg)	320-337
Calorías (Kcal)	105
Factores antinutricionales	Inhibidor de tripsina
Tasa de extracción de almidón (%)	10-15
Tamaño del gránulo de almidón (m)	2-42
Amilosa (% del peso seco)	8-32
Viscosidad máxima (UB)	Nd
Temperatura de gelatinización (°C)	58-65

Fuente: Scott *et al.*, 2000

El alto contenido de azúcares de los tubérculos (más del 25%) y la flatulencia que provoca su consumo, son dos factores que influyen en su utilización (Truong *et al.*, 1986). El camote suele consumirse sin ninguna preparación especial, solo horneado, frito, asado o únicamente hervido, también se ha incorporado en las formulaciones de la masa para hacer pan, en forma de harina, dando una textura húmeda y sabor ligeramente dulce.

El color, tamaño y forma de los tubérculos varía mucho, ya que pueden ser blancos, de color crema, amarillos, naranjas, rosáceos y púrpuras, dependiendo de los pigmentos carotenoides presentes en la piel y pulpa y la presencia o ausencia de antocianinas. Por la forma, los tubérculos pueden ser fusiformes, ovoides o casi esféricos y su peso puede oscilar desde 100 hasta 1000 g. La superficie del tubérculo puede variar de lisa a surcada, irregular, venosa o con áreas suberizadas y el color de la cáscara puede ser, blanco, crema, bronceado, rosado y púrpura. Esta variabilidad es debida a factores tales como variedad de camote estudiada, condiciones de desarrollo y manejo poscosecha. En tubérculos jóvenes y en ciertas variedades, se observa "látex" o gotitas blancas al cortar una porción del tubérculo, que se ennegrecen en contacto con el aire (Montaldo, 1991).

El camote se clasifica en dos tipos según su utilización: tipo pulpa seca y tipo pulpa húmeda. En Asia se prefiere el de pulpa seca, dura, blanca, con alto contenido de almidón, poca proteína y carotenos que se utiliza en la industria de extracción del almidón, producción de alcohol y alimentación animal; mientras que en los países de occidente, el camote es principalmente para la alimentación humana por lo que se prefiere que tenga más proteína y caroteno, Existen algunas variedades mejoradas cultivadas para propiciar el consumo en la alimentación teniendo en cuenta sus cualidades alimenticias y medicinales.

Casi todas las variedades mexicanas de camote son de cáscara anaranjada pálida o rojiza, con pulpa anaranjada intensa, que producen en 5 a 7 meses de desarrollo, alto contenido en caroteno y buen rendimiento (Montaldo, 1991). En el Cuadro 6.4 se enlistan las principales características agronómicas del camote.

Cinco o seis meses después de la plantación se puede empezar a recolectar las batatas, normalmente durante los meses de octubre y noviembre. Unos quince días antes es preciso realizar una labor de corte de las ramas. Cuando la batata está madura, las hojas adquieren un color amarillento. La recolección es manual dejando que las raíces se sequen sobre el terreno, aunque en grandes superficies es común la recolección mecanizada. Los rendimientos medios varían entre las 20 y 30 ton/ha y una producción media por pie de 2 a 4 tubérculos.

Después de la extracción de las raíces, éstas se colocan a la sombra, separando el producto dañado del sano. Si el producto no se llevará inmediatamente al mercado se debe colocar en bodegas que sean frescas y ventiladas. Los tubérculos no deben dejarse expuesto al sol, puesto que la deshidratación disminuye la vida útil. Al recoger y transportar el camote se debe tener cuidado de no provocar daños mecánicos (FAO, 1990; Montaldo, 1991).

Cuadro 6.4

Principales características agronómicas del camote

Características	
Periodo de crecimiento en meses	3-8
Planta anual o perenne	Perenne
Precipitación óptima (cm)	75-100
Temperatura óptima (°C)	>24
Resistente a la sequía	Si
PH óptimo	5,6-6,6
Fertilidad orgánica	Baja
Materia orgánica requerida	Baja
Crece en suelo pantanoso inundado	No
Material de siembra	Enredaderas, Estacas
Tiempo de almacenamiento en el suelo	Largo
Duración en poscosecha	Corta

Fuente: Scott *et al.*, 2000

Durante la cosecha se producen heridas de diversos grados en la superficie del camote, esto predispone a las raíces a la pérdida de agua y a infectarse con organismos que producen pudrición, lo que reduce su capacidad de almacenamiento; este problema puede evitarse por medio de un proceso denominado "curado", consistente en mantener los tubérculos cosechados en condiciones de humedad relativa entre 85 a 97 % muy cercana a la saturación y a temperaturas entre 30 a 32 °C durante cuatro y siete días. La conservación posterior de los tubérculos del camote, puede realizarse almacenando en condiciones de 85 % de humedad relativa y a una temperatura de 15 °C hasta por 4 a 6 meses, siempre y cuando la temperatura no sea menor y los tubérculos no hayan sido sometidos al proceso de lavado (FAO, 1990; Montaldo, 1991).

La mayor conservación se consigue manteniendo la temperatura entre 13 y 13.5 °C, con la misma humedad usada para la curación (85 a 95%), La conservación a temperaturas inferiores a 12 °C puede producir arrugamiento de las raíces, ennegrecimiento de la carne, huecos superficiales de pequeño tamaño y ataques criptogámicos secundarios. Debido a que mantener estas condiciones de almacenamiento es costoso y requiere de instalaciones especiales, se ha ensayado con éxito la conservación de los tubérculos por adición de 40 cm³ de éster metílico del ácido naftalen acético (EMANA), por cada 100 Kg de producto, el cual puede ser embebido, en tiras de papel entremezcladas con el producto almacenado, para coadyuvar a su difusión (Montaldo, 1991).

Para fines de exportación cada camote es forrado independientemente con un papel suave que le sirve de protección; luego son empacados en cajas de cartón de 50 libras, las cuáles son ventiladas y firmes. En los lugares donde la industria conservera del camote, ha logrado desarrollarse, ya se tienen completamente mecanizadas las

operaciones de cosecha, curado y manejo del tubérculo y la única intervención manual es para eliminar materia prima defectuosa (Montaldo, 1991).

6.2.2 Cuezza o raíz de chayote

Se le conoce con este nombre a la raíz de la planta de chayote y se consume hervido, y como ingrediente de guisados numerosos, y aunque las calorías y su contenido de carbohidratos es alto no se encontró información sobre otros usos (Lira, 1994).

El Chayote -*Sechium edule*- (también conocida como papa del aire) es una fruta originaria del Nuevo Mundo, fue cultivada extensamente por las civilizaciones Maya y Azteca de Centro América. Hoy en día se ha convertido en un suplemento alimenticio de mucha importancia, cuya presencia es indispensable en los grandes mercados de Estados Unidos y Europa. Además, la raíz y los tallos tiernos de la planta enredadera, también son usados como alimentos en muchas regiones, principalmente en Centroamérica. El chayote es una cucurbitácea que se explota principalmente por su fruto pero también por su raíz (Figura 6.2), es un alimento alto en fibra, bajo en calorías y no tiene colesterol (Lira, 1994).



Figura 6.2 Raíz de la planta de Chayote

Obviamente la raíz se extrae del suelo y se prefiere retirar después de pasada las primeras cosechas de chayotes, dado que es una planta renovadora. La raíz tiene un sabor suave, cercano a la papa pero aun más rico y debido a su poca explotación y consumo su producción es menor, pero también el costo económico es más alto.

Costa Rica es uno de los principales países exportadores del mundo. La principal zona productora del país está en Ujarrás, cantón de Paraíso de la Provincia de Cartago, donde la mayor parte de la cosecha de este lugar está destinada a la exportación.

6.2.3 Macal

El género **Xanthosoma** pertenece a la familia de las Aráceas. Las plantas o sus partes comestibles reciben diferentes denominaciones tales como quequexque en Costa Rica; macal y quequexque en Guatemala; quequisque en Nicaragua; oteo en Panamá; malanga en Cuba y yautía en República Dominicana y Guatemala (Muralles, 2004). Presenta una gran diversidad de tamaño, forma, color de las hojas y tubérculos (Figuras 6.3 y 6.4).

El promedio de producción es de 19.7 ton/ha, su composición química es básicamente hidratos de carbono. Se reporta como una especie básica en la alimentación, es un ingrediente para ciertos guisos muy representativos en la comida regional. Los tallos tuberosos contienen entre 15 y 39% de carbohidratos, 2 a 3% de proteína y 65 a 77% de agua, su valor nutritivo es semejante a la papa (Sánchez *et al.*, 2008).



Figura 6.3 Planta de macal (*Xanthosoma sagittifolium* (L) Schott) en el estado de Tabasco, México.



Figura 6.4 Tubérculos de macal (*Xanthosoma sagittifolium* Schott)

El macal se conserva sin brotes durante seis semanas a 26° C y 75 % de humedad relativa, mientras que a temperatura de 7° C y 80% de humedad relativa se mantienen los cormos sin brotar, y conservan las condiciones y cualidades culinarias hasta por 18 meses (Murallas, 2004).

6.2.4 Ñame

La forma de consumo del tubérculo es semejante al de la papa, o para preparar una bebida alcohólica. La cosecha se efectúa manualmente cuando la planta está seca. Los tubérculos se extraen del suelo (Figura 6.5), se dejan secar para eliminar la tierra, se separan por la parte más delgada o pedúnculo y se guardan. La falta de lavado y desinfección de los tubérculos conduce a pérdida por ataque de hongos, pero el principal problema que se presenta durante el almacenaje es la germinación. Se utiliza en la alimentación directa después de cocinado, en puré, en sopas y guisos. Se consume frito, forma en la que se preparan hojuelas crocantes. Está compuesto de carbohidratos 24.3%, proteína 2.0% y agua 72.2% (FAO, 1990).



Figura 6.5 Tubérculo de Ñame (*Dioscorea alata* L.).

Para producir harina, los tubérculos se lavan y pelan, se cortan en rebanadas o rodajas de aproximadamente 1 cm de espesor, se introducen en agua caliente y se dejan enfriar en el agua de cocción; luego se pelan antes de ser secadas al sol, se muelen y se almacenan hasta que se necesite. Esta harina se reconstituye para consumirla, con agua o leche hirviendo (FAO, 2006).

6.2.5 Papa voladora

La papa voladora se considera originaria de África Occidental y América Tropical. Los frutos son ricos en dioscorina, sustancia química producido naturalmente por la papa voladora y utilizada en la industria farmacéutica para la producción de hormonas esteroidales utilizadas en píldoras anticonceptivas, también se usa en la alimentación humana (Siqueira y Veasey, 2009; Opara, 2003).

En el sureste de México se ha reportado la presencia de esta especie y actualmente se está convirtiendo en una fuente alimentaria de las comunidades rurales de la sierra de Tabasco (Figura 6.6 y 6.7). Es un tubérculo aéreo poco conocido, aunque se ha reportado en los municipios de Teapa, Tacotalpa, Macuspana y Huimanguillo, en donde se consume con carne o frito (Centurión et al., 2003). Se han reportado tiempos desde que se siembra hasta su cosecha de 140-180 días y algunas variedades pueden ser de 90-120 días con rendimientos de 2-15 ton/ha o bien de 3-5 ton/ha (Opara, 2003).



Figura 6.6 Planta de papa voladora (*Dioscorea bulbifera* L.).



Figura 6.7 Papa voladora (*Dioscorea bulbifera* L)

6.2.6 Sagú

Se consume cocido, con sal o con alguna salsa saborizante y en otras transformaciones de tipo industrial: Es un cultivo con una amplia perspectiva de explotación comercial, no solamente como una especie de exportación, sino que como cultivo con alto potencial agroindustrial (Figuras 6.8 y 6.9), ya que la harina de los rizomas del sagú resulto más fina que la de trigo y podría ser utilizado para la elaboración de galletas u otros productos. Se usa principalmente para preparar atole para niños y para adultos con problemas intestinales; además de aprovecharse para la alimentación de animales de traspatio, especialmente cerdos (FAO, 1993).



Figura 6.8 Planta de Sagú (*Maranta arundinacea* L.)



Figura 6.9 Tubérculos de Sagú

6.2.7 Suco

Las formas de utilización de los tubérculos son cocidos y frescos en ensaladas, hojas para empaques y fibra para envolver tamales, su inflorescencia tierna se consume como hortaliza, y sus hojas en medicina popular (Figura 6.10 y 6.11).



Figura 6.10 Planta de Suco (*Calathea macrosepala* (Aubl.) Lindl).



Figura 6.11 Tubérculo Suco

Los tubérculos pueden ser guardados por hasta diez semanas en ambientes abiertos y ventilados, pero se produce pérdida de peso. Un método de almacenaje es utilizar canastas de fibra vegetal, forradas externamente con hojas secas. En este caso, la pérdida de peso llega hasta 29% en diez semanas. Los tubérculos contienen 50 % de almidón (Maza, 2007) y cocidos, mantienen la textura crocante aún después de largo tiempo de cocinado, esta crocancia del tubérculo, así como su sabor parecido al maíz verde, la hace muy apetecible (Centurión *et al.*, 2000).

6.2.8 Malanga

La malanga (*Colocasia esculenta*), también conocida como Taro, Dashen o Ñame, es considerada como una de las especies de raíces y tubérculos con gran potencial en las zonas tropicales. Los cormos, denominación botánica del tallo subterráneo, se utilizan para la alimentación humana, animal y para diferentes usos industriales (Cay y Nip, 1990; FAO, 1993; Lee, 1999), tiene su centro de origen más reconocido en el Sudeste de Asia, entre la India e Indonesia. A partir de allí, y pasando por África Tropical, la malanga llega al continente Americano gracias a los esclavos negros capturados en regiones Africanas, quienes, en un intento por aferrarse y conservar parte de sus prácticas y costumbres ancestrales, la trajeron consigo durante el auge de las colonias Española y Portuguesa, estableciendo su cultivo en diversas partes de América Tropical (Olguín, 2001).

Malanga (*Colocasia esculenta* Schott) Pertenece a la familia de las aráceas comestibles, la que comprende los géneros: *Colocasia*, *Xanthosoma*, *Alocasia*, *Cyrtosperma* y *Amorphophallus*. Son plantas herbáceas, suculentas, crecen a las orillas de fuentes de agua, en zonas que sufren de inundación o con agua estancada, alcanzan una altura de 1-3 metros, sin tallo aéreo, con raíces fibrosas y comestibles de corteza oscura, pulpa de color blanco y con pigmentos púrpuras (Figura 6.12), produce un tallo central elipsoidal, conocido como cormo rodeado de cormelos comestibles y contiene 18-30% de carbohidratos en base húmeda (Gobierno del estado de Veracruz, 2009).



Figura 6.12 Cormelos de malanga (*Colocacia esculenta* (L) Schott).

Los cultivares fundamentales de malanga se distinguen por la coloración de la pulpa de los cormos y los cormelos. Las variedades o clones más sobresalientes son: Púrpura y Common en el Oeste de la India; Mumu en Fiji y Trinidad en USA. En el Oeste de África se han desarrollado un gran número de clones o cultivares locales. En Cuba se cuenta con un gran número de clones y de acuerdo con el Ministerio de Agricultura de Cuba (1977) y con Mendoza (1989), los más sobresalientes son siete que se cosechan entre nueve y doce meses con rendimientos que van desde los 40 hasta los 84 ton/ha.

Forma parte de la dieta diaria de millones de personas alrededor del mundo, originalmente en África, Asia, Oceanía, y debido sobre todo a la fuerte inmigración a occidente recientemente en América y Europa. Se enmarca dentro de los productos exóticos o no tradicionales, cuyo consumo mundial ha tenido un auge importante aprovechando el interés por parte de sectores crecientes de consumidores.

En el Cuadro 6.5 se presentan los principales países productores de malanga, de los que Ghana, Nigeria y Costa de Marfil se han mantenido en la última década, mientras que como se observa en el Cuadro 6.6 el principal país importador de malanga es Estados Unidos.

En ciertos países como Cuba o República Dominicana, la malanga representa un alimento de gran importancia entre sus pobladores, tanta, que es el primer alimento de elección para la ablactación que es el proceso de introducción de los primeros alimentos sólidos a los bebés diferentes de la leche, así como también un ingrediente indispensable en la dieta de ancianos y enfermos (Olguín, 2001). A pesar de que a México llegó en la misma época que en el resto del continente, la malanga no se desarrolló como un cultivo, debido, probablemente, a lo arraigado de la cultura alimentaria en los indígenas, donde predominaba el consumo de maíz y chile, los cuales aportaban los elementos necesarios

tanto a nivel nutrimental como sensorial, por lo que la malanga permaneció por cientos de años como una planta silvestre, desarrollándose y reproduciéndose por sí misma en las riveras de algunos ríos y arroyos, con consumos esporádicos por parte de los campesinos y pobladores locales (Olguín, 2001).

Cuadro 6.5 Principales países productores de malanga

Cuadro 6.5

Principales países productores de malanga

Países	Miles de toneladas			
	2001	2002	2003	2004
Nigeria	26 232.00	27 911.00	29 697.00	31 766.00
Ghana	3 546.74	3 900.00	3 812.80	3 892.26
Costa de Marfil	4 579.72	4 706.59	4 836.96	4 970.95
Benin	1 700.98	1 875.01	2 010.70	2 257.25
Togo	549.07	574.89	568.90	570.00

Fuente: FAOa, 2006

Cuadro 6.6

Principales países exportadores e importadores de malanga, en miles de toneladas

Países exportadores	2004 2006 2008			Países importadores	2004 2006 2008		
	Miles de toneladas				Miles de toneladas		
Brasil	8.95	6.02	5.19	EUA	32.74	35.56	32.94
Jamaica	7.87	7.54	7.62	China	3.62	0.47	0.08
Ghana	3.66	15.87	14.66	Malí	2.27	4.43	12.70
Costa de Marfil	2.32	0.72	0.72	Antigua y Barbuda	0.04	-	-
China	0.84	-	-	Portugal	0.00	0.14	0.27
Panamá	0-58	12.01	24.58				

Fuente: FAOa, 2008

En México, el único Estado productor en los últimos años ha sido Veracruz (Cuadro 6.7), donde se introdujo la variedad isleña japonesa especie mejorada que resiste el ataque de los microorganismos (Olguín, 2001). El municipio Paso del Macho fue único productor de malanga, en el 2002, 2003 y 2004, en el 2006 aparece Soledad de Doblado como el único municipio productor con 100 ton pero con una superficie cosechada de 2.5 ha (portal.veracruz.gob)

Cuadro 6.7. Producción de malanga en México

Cuadro 6.7
Producción de malanga en México

Estados	Toneladas				
	2001	2002	2003	2004	2005
Veracruz	0.00	439.20	385.00	380.00	0.00
Otros	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	0.00	439.20	385.00	380.00	0.00

Fuente: FA0a, 2006

Es una especie poco conocida en México, sin embargo, además de Oaxaca y Veracruz, existen varias regiones que cuentan con las condiciones adecuadas de suelo y clima, para explotación y cultivo de malanga, como Sinaloa y Tabasco, lo que la hace un producto con alto potencial para su implantación en el país, participando activamente en la reconversión de cultivos que lo necesiten. En el estado de Veracruz, el Colegio de Postgraduados ha llevado a cabo investigación relativa a este cultivo desde 1988. Actualmente, la producción agrícola está diversificándose cada vez más, debido a la búsqueda de alternativas potenciales que involucren la producción de alimentos de alto valor nutricional y de bajos costos.

Sumado a lo anterior, la malanga es un producto que tiene una demanda creciente para los latinos en Estado Unidos y Canadá (más de 31,000 toneladas), lo que hace aún más factible su producción en Sinaloa, debido a la cercanía geográfica del estado con estos dos mercados, respecto a los estados de Oaxaca, Veracruz y Tabasco. Por este motivo, instituciones de apoyo a los productores como es la Fundación Produce Sinaloa, A.C. desde 2008 financia la validación del rendimiento y la adaptabilidad del cultivo de malanga en las condiciones de esa región.

En Oaxaca se cultivan, aproximadamente, 300 hectáreas para exportar a Estados Unidos y Canadá con rendimiento promedio de 25 ton/ha, en el estado de Tabasco se encuentra distribuida en las zonas bajas y se consume en forma de fritura, panes, cocido con carne (Centurión *et al.*, 2000). La utilización industrial de la malanga está apenas iniciada, y puede esperarse que sea tan variada como la del taro, por su alto contenido de almidón mayor que en la yuca, en alimentos preparados para niños, harina, chips, etc. Para su comercialización se lava, seca y desinfecta cuidadosamente, y se coloca en cajas en cámaras refrigeradas.

El cultivo de malanga en México se hace en surcos de 80 cm y con una distancia, entre plantas, de 30 a 40 cm; con una densidad de población de 35,000 a 40,000 plantas por hectárea (Muñozcano, 2009).

En el caso de ocumo chino (*Colocasia esculenta*), por su composición (Cuadro 6.8), su riqueza nutricional es mayor, comparada con otros tubérculos y según se observa en el Cuadro 6.9 es 43 veces más rico en calcio, seis veces más en hierro, siete veces más

en tiamina y siete veces más en riboflavina. En comparación con el maíz: 138 veces más en calcio, 56 veces más en hierro, 39 veces más en vitamina A, 33 veces más en tiamina, 44 veces más en riboflavina y 28 veces más en vitamina (CENIAP HOY, 2008).

Cuadro 6.8

Comparación del contenido alimenticio de 100 g de la Malanga (cormo) con tubérculos convencionales

Alimento	Kcal	Proteína (g)	Calcio (g)
Malanga	8.5	2.5	19.10
Camote	103.0	1.0	14.00
Papa	76.0	1.6	17.50
Yuca	121.0	1.0	28.20

Fuente: Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, México

Cuadro 6.9

Composición química de 100 g de malanga de porción comestible (bh)

Componente	Crudo	Cocinado	Componente	Crudo	Cocinado
Humedad	71.9	72.0	Fósforo	72.0	32.0
Calcio mg	22.0	26.0	Hierro	0.9	0.6
Proteína	1.7	1.0	Tiamina	0.12	0.08
Grasa	0.8	0.2	Riboflavina	0.02	0.01
Carbohidratos	23.8	25.7	Niacina	0.60	0.4
Fibra	0.6	0.4	Vitamina A Retinol mcg-meq	3.0	3.0
Ácido ascórbico	6.0		Energía Mcal/Kg	3808	3892

Fuente: Instituto Nacional de Nutrición de Venezuela, 1983

6.2.9 Yuca

El nombre científico mayormente aceptado para este tubérculo, es *Manihot esculenta* Crantz y su nombre común depende del país de localización. En los países sudamericanos y en el Oeste de África se le conoce como mandioca, en México como yuca, en Sri Lanka y países asiáticos como tapioca. La yuca se desarrolla al nivel del mar y hasta una altura de 2000 m, en la zona ecológica conocida como el “cinturón de yuca”, que se localiza en los 30° de altitud Norte y Sur del Ecuador donde se le cosecha en varias épocas del año; crece en regiones con temperaturas ambientales desde 18 hasta los 35 °C; con precipitación pluvial entre 50 y 500 mm, alta humedad y considerable incidencia de la luz del sol, con suelos de pH de hasta un valor de 9, o arcillosos (Onuma y Kosikowski, 1982).

Por su potencial de producción y usos finales, se ha convertido en base de la alimentación para la población rural y agrícola de bajos ingresos, que la siembran generalmente como cultivo de subsistencia, en superficies de 0.25 a 5.0 hectáreas donde no se pueden producir otros cultivos, y es una alternativa de comercialización en centros urbanos ya que las raíces son ricas en almidón y sus hojas ricas en proteínas, el cultivo requiere de pocos fertilizantes, plaguicidas y agua.

Además, la yuca puede cosecharse en cualquier momento de los 8 a los 24 meses después de plantarla (Figura 6.13), por lo que puede quedarse en la tierra como defensa contra una escasez inesperada de alimentos.



Figura 6.13 Yuca recién extraída

En la actualidad, el cultivo se ha extendido a cerca de 90 países tropicales y subtropicales, se calcula que sus raíces alimentan alrededor de 5 millones de personas. De las 226 millones de toneladas de raíces frescas producidas en 2006, aproximadamente el 18% fue producida por América Latina y el Caribe, aunque el rendimiento en las plantaciones existentes es muy variable, dependiendo de la región donde se localicen, en la India, se han obtenido rendimientos de hasta 23.5 ton de tubérculos por hectárea sembrada y en China 15.5, mientras que en el África subSahariana solo 7 ton/ha. En la mayoría de los países productores, el 59% al 70% de la producción, se utiliza en la alimentación humana, del 20 al 24% como forraje y el 10% en otros usos industriales (Scott *f*, 2000). Nigeria es el país mayor productor de yuca, el segundo productor es Brasil, seguido de Tailandia, Indonesia, Ghana e India.

En América Latina el área sembrada de yuca y camote se ha mantenido estable pero ha disminuido la producción y el uso de los tubérculos como alimento directo, debido a la urbanización y al cambio de los hábitos de consumo. Sin embargo, se ha incrementado el uso de la yuca en la industria alimentaria y como alimento animal sobre todo en hojuelas y gránulos comprimidos para exportación. Tailandia es uno de los países que se encuentra a la cabeza en las exportaciones de gránulos comprimidos de yuca principalmente hacia la Unión Europea (Scott *et al.*, 2000); en México la producción de yuca está muy diseminada y se cultiva únicamente a nivel de parcela, en 16 estados, pero los que contribuyen a la producción nacional en mayor grado son Michoacán y Morelos (SAGAR, 1999).

Según Scott *et al.* (2000), las prioridades de investigación sobre la yuca, involucran evaluaciones de mercado e identificación de enlaces entre productores, procesadores

y formuladores de políticas de producción; todo esto, respaldado por investigaciones agroecológicas y sobre usos específicos de los productos de esta planta.

El tiempo en que la raíz adquiere su madurez completa varía con el clima, puede ser cosechada a los 5-6 meses en zonas cálidas con bastante lluvia, o hasta los 18 meses en zonas de clima frío, o con periodos de sequía prolongada (Buitrago, 1990). En Brasil, el periodo de desarrollo es de 10 meses. Su rendimiento es muy variable, desde 12 hasta 48 ton/ha, la producción de yuca requiere pocos nutrientes y se adapta a una amplia variedad de condiciones ecológicas (Cuadro 6.10). En los campos experimentales de producción agrícola, se han desarrollado variedades con rendimientos altos (hasta de 80 ton/ha) y resistentes a enfermedades e insectos (Montaldo, 1991).

Las condiciones del clima al sembrar afectan la plantación, pero en general, la fecha de siembra de la yuca es relativamente flexible, si se siembra al inicio del periodo de lluvias, prospera bien y produce mejor; sin embargo, puede desarrollarse bien con baja precipitación pluvial o largos periodos de sequía (Corbisley, 1984; Buitrago, 1990).

La yuca se adapta bien a las condiciones marginales de los trópicos, pero no tolera encharcamientos en el suelo ni condiciones salinas y aunque se produce mejor en suelos fértiles, con riego adecuado, tiene la ventaja de crecer en suelos ácidos de escasa fertilidad, pudiéndose cultivar asociada con otras especies como el maíz o alguna leguminosa (Buitrago, 1990).

En el estado de Tabasco, se ha investigado sobre el cultivo de cinco variedades de yuca denominadas comúnmente como: criolla papa, criolla coloradita, esmeralda, criolla ocuapan y sabanera, las cuales han sido caracterizadas fisicoquímicamente, comprendiendo el análisis de las raíces crudas y frescas, determinaciones tales como: susceptibilidad al daño fisiológico, tiempo de cocción y determinación semicuantitativa de ácido cianhídrico. El Cuadro 6.11 presenta el análisis químico de la composición de la harina, que es el producto seco de la raíz entera pelada y molida.

Cuadro 6.10 Principales características agronómicas de la yuca

Periodo de crecimiento en meses	9-24
Planta anual o perenne	Perenne
Precipitación óptima (cm)	100-150
Temperatura óptima (°C)	25-29
Resistente a la sequía	Si
pH óptimo	5-6
Fertilidad orgánica	Baja
Materia orgánica requerida	Baja
Crece en suelo pantanoso inundado	No
Material de siembra	Tallos
Tiempo de almacenamiento en el suelo	Largo
Duración en poscosecha	Corta

Fuente: Scott *et al.*, 2000

Cuadro 6.11

Análisis químico de tubérculos de cinco variedades de yuca en Tabasco

Componentes (g 100g-1)	Criolla papa	Criolla coloradita	Esmeralda	Criolla Ocuapan	Sabanera
Materia seca	41.3	34.17	33.76	37.34	38.06
Humedad	58.70	65.83	66.24	62.54	61.94
Proteína	1.95	1.67	1.68	2.72	1.37
Fibra	2.30	3.27	1.95	2.98	2.74
Grasa	0.36	0.40	0.32	0.68	0.50
Cenizas	2.53	3.01	3.31	3.09	2.82
Extracto no nitrogenado	34.16	25.82	26.50	27.99	30.64

Fuente: Gallegos y Cruz, 1996

La yuca y su contenido elevado de humedad, presentan serios inconvenientes para el transporte y comercialización de grandes volúmenes. En cuanto a la susceptibilidad al deterioro, una vez cosechada, la yuca se descompone rápidamente en 24 a 48 h, por lo que se debe comer o transformar enseguida, se ha reportado una durabilidad máxima de 12 días, pero en los estudios realizados por Gallegos y Cruz (1996) para cinco variedades de yuca, se encontró, que la menos susceptible al deterioro durante el almacenamiento, fue la variedad criolla papa, con tiempo de utilidad de 8 días. Así mismo, la cantidad de ácido cianhídrico fue media en esta variedad e igual que en las variedades sabanera y esmeralda, mientras que las variedades criolla coloradita y criolla ocuapan presentan un contenido mayor de hasta 50 –100 mg Kg⁻¹.

Con respecto al tiempo de cocción, para la variedad sabanera se requirieron 11 min, para la criolla coloradita 14 min y para la criolla papa 15, mientras que esmeralda y criolla ocuapan fueron las de mayor dureza con un tiempo de cocción de 17 y 18 min, respectivamente. En cuanto al contenido de almidón las variedades criolla papa y sabanera fueron las de mayor contenido, con 32.98 y 30.64 % respectivamente (Gallegos y Cruz, 1996).

De manera general, la yuca tiene una composición promedio de 57 a 71% de agua; 31.70% de extracto no nitrogenado, del cual el 80% es almidón; 0.2 a 1.0% de extracto etéreo cuya concentración es mayor en la cáscara que en la pulpa; las raíces se caracterizan por su bajo contenido de proteína cruda (0.6 a 2.6%) y con respecto a la calidad proteica, es especialmente notable su deficiencia en los aminoácidos esenciales metionina, cistina y triptofano; su contenido en fibra normalmente no es superior al 1.5% y está formada de celulosa y hemicelulosa, su contenido de minerales y vitaminas es relativamente bajo (Buitrago, 1990). La variabilidad en la composición de este tubérculo puede atribuirse, al cultivo, variedad, localización, medio ambiente y método de análisis (Balagopalan *et al.*, 1988).

En el Cuadro 6.12 se presenta la composición promedio y algunas características fisicoquímicas del tubérculo de yuca, del cual también se obtiene almidón, que por sus propiedades únicas, como viscosidad y resistencia al congelamiento, presenta

ventajas en comparación con otros almidones industriales (Aparicio, 2003).

Normalmente la elaboración de harina y/o almidón es el primer paso en el proceso de industrialización de la yuca. En la Figura 6.14 se presentan los productos industriales más frecuentes de utilización de raíces de yuca los cuales comprenden: harina, “raspas o trocitos”, almidón, tapioca, alcohol, ácido láctico, glucosa, dextrinas y gomas, de estos productos, el almidón es el que ha permitido mayor versatilidad de usos (Buitrago, 1990; Monroy, 1991).

Cuadro 6.12

Composición y características del tubérculo de yuca

Componentes		Características	
Materia seca (%)	30-40	Amilosa (% bh)	15-29
Almidón (% bh)	27-36	(Cal / 100g)	127
Azúcares totales (% bh)	0.5-2.5	Factores antinutricionales	Cianógenos
Proteínas (% bh)	0.5-2.0	Tasa de extracción de almidón (%)	22-25
Fibra (% bh)	0.8-1.0	Tamaño del gránulo de almidón (μ)	5-50
Lípidos (% bh)	0.2-0.5	Viscosidad máxima (UB)	700-1100
Vitamina C (mg/100 g bh)	50	Temperatura de gelatinización (To y Tf en °C)	49-73
Cenizas (% bh)	0.5-1.5		

Fuente: FAO, 2008; Scott *et. al.*, 2000

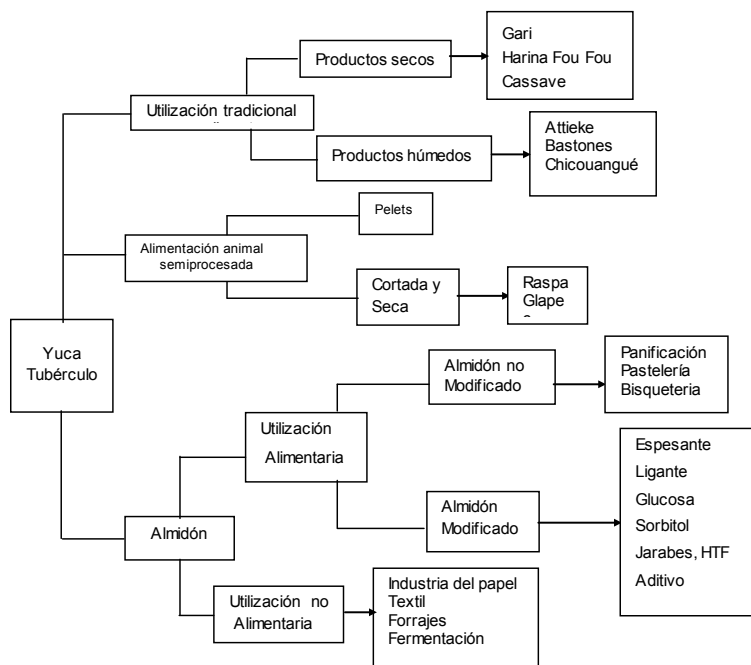


Figura 6.14 Utilización de los tubérculos de yuca (Monroy, 1991)

6.2.9.1. Almidón agrío de yuca

La investigación y desarrollo tecnológico del almidón agrío de yuca ha sido realizado principalmente por el programa de utilización de yuca del Centro Internacional de agricultura Tropical (CIAT), de Cali, Colombia.

El almidón agrío es un polvo blanco y fino que se obtiene mediante una fermentación natural y posterior secado del almidón extraído de las raíces de yuca (*Manihot esculenta*). La fermentación y el secado al sol confieren al almidón agrío propiedades específicas para la panificación como son la aptitud de expansión durante el horneado de una masa, por lo que es utilizado en la elaboración de panes tradicionales, sin gluten, como el “pandeyuca” y el “pandebono” en Colombia o el “pao de queijo” en Brasil (Alarcón y Dufour, 1998) el proceso se muestra en la Figura 6.15.

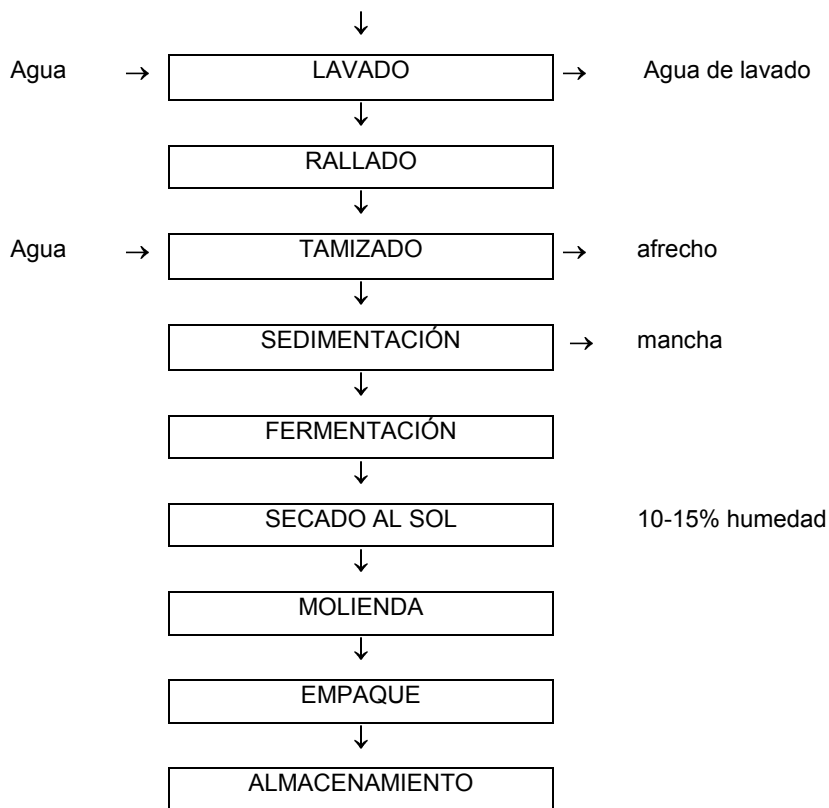


Figura 6.15 Diagrama de flujo del proceso de obtención del almidón agrío (Dufour, 1995 citado por FAOa, 2006)

Las Instalaciones para la elaboración de almidón agrío están constituidas por las siguientes áreas: recepción de materia prima, proceso, empaque, bodega, laboratorio, oficina, servicios sanitarios y vestidor, la construcción de las mismas debe facilitar la limpieza y cumplir con la normatividad sanitaria.

Descripción del proceso

Recibo y selección: la yuca fresca se recibe en sacos que se pesan a su llegada a la planta. Se eliminan aquellas raíces con podredumbre o coloraciones extrañas.

Lavado y descascarado: este proceso se realiza en un tambor cilíndrico donde las raíces de yuca reciben la presión del agua, la fricción de las raíces y de la lámina del tambor, lo cual origina el desprendimiento de las impurezas y la cascarilla. Las lavadoras tradicionales utilizan cargas desde 80 a 150 Kg, entre 30 a 45 l/min de caudal y de 5 a 15 minutos de lavado por bache.

Rallado: esta operación permite liberar los gránulos de almidón contenidos en las células de la pulpa. El rallado se realiza en seco en un tambor de madera que consta de una lámina perforada; este se encuentra en un cajón donde origina un punto de corte con la madera, el cual produce una masa rallada fina o áspera dependiendo de la abertura entre el tambor y el cajón de madera. El rendimiento promedio del equipo es de 1 TM/h.

Tamizado: en esta etapa se obtienen la “lechada”, que es el almidón en suspensión en el agua de colado, y como subproducto “afrecho”, con alto contenido en fibras, el cual es secado al sol y utilizado en la alimentación animal. El tamizado se hace en la coladora que es un tambor colgado de un semi-eje que se carga y descarga lateralmente con una tolva. Está provista internamente de aspas, las cuales cumplen una función de mezclado de masa rallada con el agua utilizada a un caudal de 35 a 40 l/min. En la lámina de la coladora se encuentra un lienzo de tela o nylon con 80 mes, el cual tamiza la masa rallada, dejando pasar la lechada y reteniendo el afrecho. Un bache de 80 Kg. de yuca rallada demora 15 a 20 minutos en tamizarse.

Sedimentación: de esta etapa, se obtienen el almidón sedimentado y un segundo subproducto la “mancha”, con alto contenido de proteína, la cual es empleada en la alimentación de cerdos.

La sedimentación se realiza en tanques revestidos con azulejo. Una vez que el almidón ha sedimentado (6-24 horas), se retiran el agua sobrenadante y la mancha que queda en la superficie del almidón. También se puede emplear un sistema de sedimentación dinámico, que consiste en canales revestidos también con azulejo. Los canales tienen un recorrido de 100 a 180 m sin pendiente. Este sistema, permite al almidón sedimentar lentamente mientras circula la lechada. La mancha es eliminada naturalmente por circulación del agua sobrenadante.

Fermentación: el almidón sedimentado se recoge con una pala y se traslada a los tanques de fermentación que tienen las medidas siguientes 1.30 m X 1.2 m de profundidad, revestidos con azulejo o madera, donde la fermentación se realiza en forma natural durante 20 a 40 días. Durante la fermentación muchas veces se coloca sobre el almidón agua sobrenadante (5-20 cm) o una tela cubierta con afrecho y agua sobrenadante para mantener la humedad del almidón. Se puede realizar un inóculo de bacterias lácticas provenientes de fermentaciones precedentes para favorecer el inicio de la fermentación y mejorar la producción de ácido láctico.

Secado al sol: después de la fermentación el almidón se fragmenta hasta una humedad entre 10 y 15%.

Empaque: una vez seco el almidón es un producto estable que se comercializa con el nombre de “almidón agrio” en Colombia y “polvilho azedo” en Brasil. Se empaqueta en bolsas de polietileno o bolsas de papel. El agua necesaria para el proceso es 710 L/100 kg de yuca en base seca lo que equivale a 31 L/kg de almidón. Relación (raíces/almidón): 4.4 a 1. Rendimiento del proceso: 22.6%. Tasa de recuperación de almidón: 76.7%

El almidón agrio de yuca es un producto típico de América Latina producido principalmente en Colombia y Brasil. En Colombia, se produce en pequeñas agroindustrias llamadas rallanderías que se localizan en zonas yuqueras y que producen de 600 a 10,000 ton/año de almidón agrio mientras que Brasil produce 20,000 ton (FAOa, 2006).

6.3 Estudios realizados para los almidones nativos de tubérculos en el estado de Tabasco, México.

Para obtener el almidón de los tubérculos, las materias primas fueron obtenidas en forma fresca el día anterior a su procesamiento, en las plantaciones experimentales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Huimanguillo Tabasco, en el caso del camote, se cosecharon, por medio de tres muestreos al azar, 10 kg de tubérculos de la variedad colorada a los 5, 6 y 6.5 meses de edad, la variedad se eligió, por su rendimiento en cosecha y su resistencia a nematodos (Herrera, 1986).

Para la yuca se cosecharon 10 kg de tubérculos a los 8.0, 8.5 y 9 meses de edad. La variedad utilizada fue la denominada criolla papa, la cual fue seleccionada en base a su alto contenido de sólidos totales, almidón y a su resistencia al deterioro (Gallegos y Cruz; 1996). Las raíces y tubérculos restantes utilizados para la realización de este trabajo: Cueza de chayote, Macal criollo, Macal chino, Malanga, Ñame, Papa voladora, Sagú, y Suco, se adquirieron en los mercados municipales de Tabasco.

6.3.1 Extracción del almidón

Para la extracción del almidón, se retiraron las impurezas que contenían los tubérculos, se pelaron y cortaron en porciones de aproximadamente 2 x 1.5 cm, colocándose en un recipiente con un volumen de agua de seis veces el peso de la muestra, a una temperatura de 40 °C. Inmediatamente, se tomaron porciones de la muestra y se molieron hasta su completa desintegración, se lavó tres veces consecutivas con la misma agua utilizada para el remojo, sobre tamices de los números 40, 80 y 100 respectivamente, la fibra obtenida se eliminó y el filtrado se acumuló en un recipiente donde se dejó reposar por tres horas. El sobrenadante se separó por decantación y se dejó sedimentar en refrigeración toda la noche, al día siguiente se repitió la operación eliminando el sobrenadante (Aparicio, 2000). El sedimento obtenido se centrifugó a 850 rpm durante 15 minutos, para separar el agua residual. La pasta se dejó secar en una estufa a 40 °C por 24 h, se pulverizó en un molino pulvex y se envasó. Una vez obtenido el almidón se realizaron los análisis físicoquímicos correspondientes para caracterizar cada muestra.

Las características fisicoquímicas de los gránulos: tamaño, forma, patrón de difracción de rayos X y temperatura de gelatinización se realizaron en el CINVESTAV/Unidad Querétaro y en la UNIDA del Instituto Tecnológico de Veracruz. Mientras que la determinación de amilosa y las propiedades funcionales de comportamiento con el agua se midieron en los laboratorios de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

6.3.2 Determinación de amilosa utilizando colorimetría

Por la afinidad de formar complejos con yodo la fracción de amilosa se cuantifico colorimétricamente a una longitud de onda de 635 nm (Bello *et al.*, 2000).

6.3.3 Propiedades funcionales

Las propiedades funcionales del almidón evaluadas fueron: Capacidad de absorción de agua, Hinchamiento y solubilidad para cada muestra, con tres repeticiones cada una, a temperaturas de 30,50, 70, y 90 °C (Bello *et al.*, 2000).

6.4 Resultados y discusión

Como puede observarse en el Cuadro 6.13, el tubérculo que rindió mayor porcentaje de almidón fue el sagú (72.5%) continuando en orden descendente, por el suco con 50.79%, la cueza con 44.38% y para la yuca con 34.01%, este último rendimiento coincide con lo reportado por Wheathey *et al.* (1997) pero pueden presentarse diferencias debidas al estado fisiológico, tipo de suelo y la variedad agronómica (Calverley, 1998).

Las Figuras 6.16, 6.17 6.18 muestran las fotografías de almidones obtenidas al microscopio electrónico de barrido, donde las partículas discretas conocidas como gránulos que conforman el almidón, presentan tamaños y morfología característicos de cada especie y que pueden variar desde 2.5 a 10 µm para la malanga y macal chino, hasta 38.5 µm para el suco, con formas esféricas, poligonales o triangulares.

Cuadro 6.13

Porcentaje de almidón obtenido de los tubérculos y raíces

Raíces y tubérculos	% de almidón (peso fresco)
Cueza de chayote	44.38
Macal chino	9.47
Macal criollo	2.81
Malanga	27.52
Ñame	24.16
Papa voladora	5.91
Sagú	72.5
Suco	50.79
Yuca	25.0 (en bs)

Fuente: Aparicio, 2003; Maza, 2007

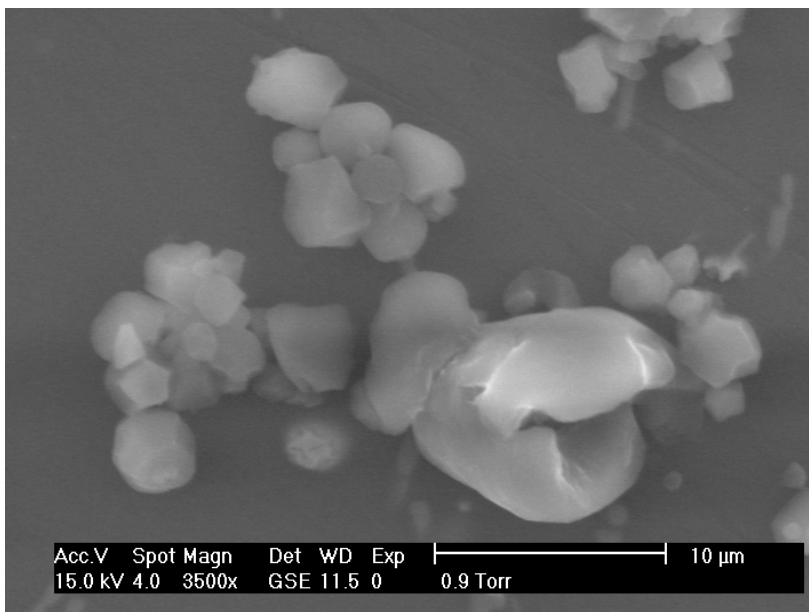


Figura 6.16 Gránulos de almidón de Malanga Morada por microscopía electrónica de barrido

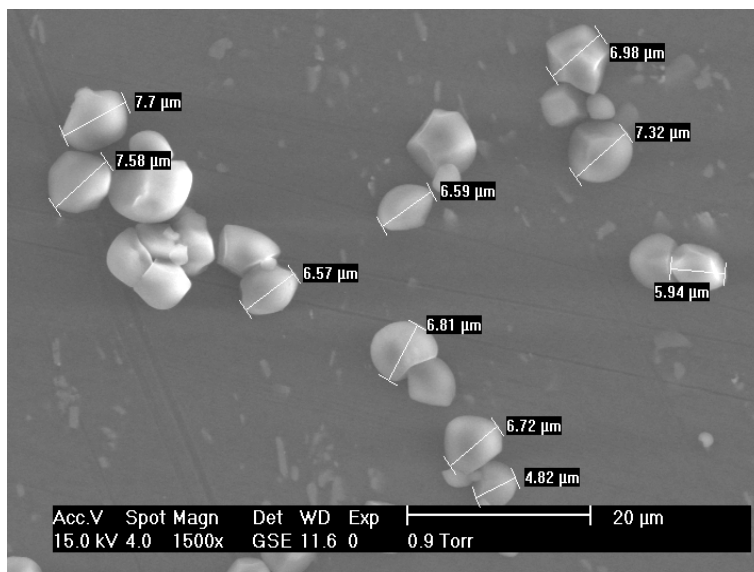


Figura 6.17 Gránulos de almidón de Macal Chino por microscopía electrónica de barrido

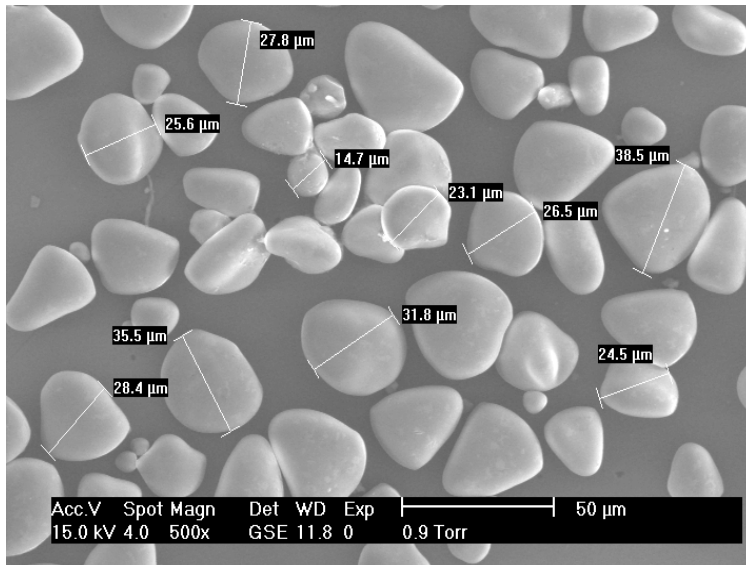


Figura 6.18 Gránulos de almidón de suco por microscopía electrónica de barrido

Otra característica de los gránulos de almidón, es el patrón de difracción de rayos X, que ha sido utilizado para revelar la presencia de estructura cristalina en el gránulo, además de las amorfas y que dependiendo del contenido, longitud de las cadenas y forma de empacamiento de los glucanos amilosa y amilopectina, presentan picos de difracción de la luz a la misma intensidad relativa, siendo denominados de tipo A o C en el caso de los cereales, o bien de tipo B, característicos de almidones de raíces y tubérculos (Figuras 6.19 y 6.20). Por ser la amilopectina un glucano ramificado, la mayor contribución a la estructura cristalina de los gránulos de almidón proviene de la misma (Hoover, 2001).

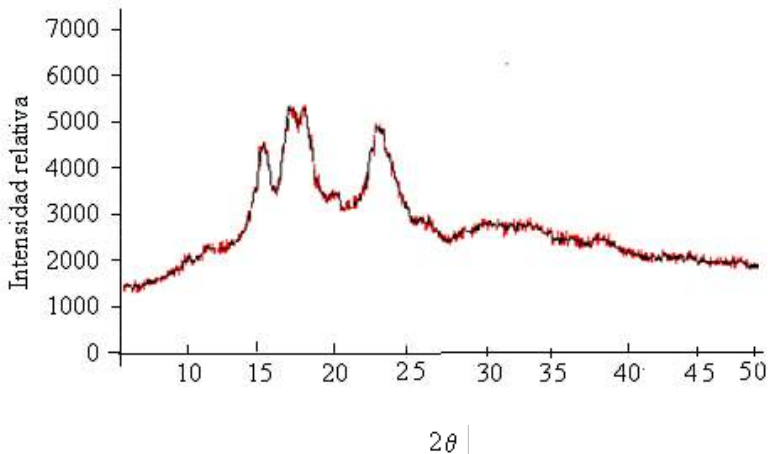


Figura 6.19 Patrón de difracción de rayos X tipo B de almidón nativo de camote

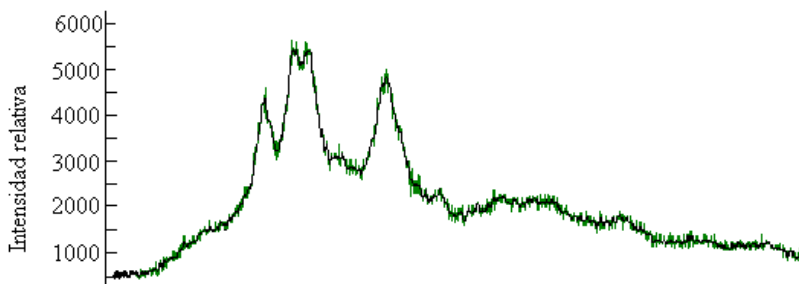


Figura 6.20 Patrón de Difracción de rayos X tipo B de almidón nativo de yuca

La amilosa es un polímero lineal de residuos de D-glucosa, unidos por enlaces a 1,4 y su masa molecular puede alcanzar hasta 10^6 daltones, en los gránulos de almidón este polímero está presente bajo forma cristalizada, debido principalmente al gran número de enlaces hidrógeno existentes entre los grupos hidroxilo. Los enlaces hidrógeno también son responsables de la adsorción de agua y de la formación de geles, en el curso de la retrogradación, después de la gelatinización, por lo que las soluciones acuosas de amilosa no son estables, sobre todo cuando la temperatura desciende, las soluciones concentradas dan rápidamente geles amorfos firmes y elásticos. Con el tiempo también hay formación de geles cristalinos y precipitados irreversibles (Hoover, 2000).

En el Cuadro 6.14 podemos observar que los tubérculos que contienen mayor contenido de amilopectina son: Cueza de chayote, macal criollo, sagú, suco y yuca, por lo que se espera un comportamiento similar entre las suspensiones y geles de los mismos, sobre todo entre el sagú y la yuca por lo que el primero podría sustituir a la yuca cuyo almidón ha dado origen a una importante industria en México, como lo es la de los adhesivos y pegamentos, mientras que los más altos en amilosa podrían ser aprovechados como fuentes de almidón resistente (fibra dietética soluble) ya que los altos contenidos de amilosa han sido relacionados con el comportamiento probiótico (Topping y Clifton, 2001).

Cuadro 6.14

Contenido de amilosa total en almidón nativo de raíces y tubérculos tropicales

Camote	33.73
Cueza de chayote	11.57
Macal chino	45.28
Macal criollo	7.56
Malanga	37.73
Ñame	41.5
Papa voladora	38.75
Sagú	28.75
Suco	12.57
Yuca	28.29

Fuente: Aparicio, 2003; Maza, 2007

La amilopectina es un polímero ramificado de D-glucosa. Los enlaces son del tipo a 1,4, salvo a nivel de ramificaciones, donde son del tipo a 1,6. Durante la cocción, la amilopectina absorbe mucha agua y es, en gran parte, responsable de la hinchazón de los gránulos de almidón (Cheftel y Cheftel, 2000), en el Cuadro 6.15 se presentan las temperaturas de gelatinización de seis de los tubérculos estudiados, su temperatura de gelatinización así como su comportamiento frente al agua, se ha adjudicado a sus diferentes contenidos de amilosa y amilopectina.

Cuadro 6.15

Temperaturas de gelatinización inicial (To) media TM y final (Tf) de seis almidones nativos de los tubérculos estudiados

Tubérculo	To °C	Tm °C	Tf °C
Camote	64,6	75,6	80,5
Macal criollo	62,99	70,45	76,16
Malanga morada	73,64	78,28	81,42
Ñame	64,46	79,67	83,98
Papa Voladora	79,55	82,72	86,21
Yuca	59,46	69,46	74,01

Los gránulos ricos en amilopectina son más fáciles de disolver en el agua, a 95 °C, que los que contienen mucha amilosa. Debido al incremento estérico, las moléculas de amilopectina no tienen tendencia a la recristalización y por lo tanto poseen un elevado poder de retención de agua, contrariamente a las de amilosa. Las soluciones de amilopeptina no retrogradan (Cheftel y Cheftel, 2000).

Por ser la amilopectina un glucano ramificado, la mayor contribución a la estructura cristalina de los gránulos de almidón proviene de la misma. La amilopectina, por calentamiento en agua, proporciona soluciones claras y de alta viscosidad (geles de yuca), que son además filamentosas y cohesivas. Al contrario que la amilosa, no tiene casi tendencia a la retrogradación, ni presenta envejecimiento ni formación de gel, aunque la concentración sea muy alta. La viscosidad decrece sin embargo fácilmente en medio ácido en tratamientos en autoclave o fuerte agitación mecánica (Belitz y Grosch, 1988).

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, sin embargo, cuando se calientan empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas amorfas que el ser menos organizadas, las convierte en más accesibles, ya que los puentes de hidrógenos no son tan numerosos y rígidos como en las áreas cristalinas (Badui, 1993). En el Cuadro 6.16 el almidón de las raíces y tubérculos presenta un incremento en sus propiedades funcionales frente al agua a los 70°C, debido a que alcanza su temperatura inicial de gelatinización, por lo que a 90 °C (temperatura a la cual gelatiniza totalmente) se observa un incremento mayor de absorción de agua; así por ejemplo, los almidones de cueza de chayote y ñame, alcanzan una solubilidad de más de 90% y su capacidad de retención de agua sobrepasa los 9 g de agua.g⁻¹ de almidón a los 90 °C; como puede observarse, el mayor índice de retención lo presentó el camote, con 13g agua.g⁻¹ de almidón, seguido de los almidones de yuca, sagú y macal con más de 11.4 g agua.g⁻¹ de almidón.

Cuadro 6.16

Características funcionales del almidón nativo de raíces y tubérculos tropicales

	Capacidad de retención de agua g agua.g-1 de almidón		Capacidad de Hinchamiento %	Solubilidad %
Camote	A 50°C	1.00	de 50°C a 90 °C	de 50°C a 90 °C
	70°C	3.00	0.75- 9.25	4.00 - 19.25
	90°C	13.00		
Cueza de chayote	A 50°C	1.80	de 50°C a 90 °C	de 50°C a 90 °C
	70°C	4.50	1.83 - 9.18	0.40 - 94.31
	90°C	9.20		
Macal chino	A 50°C	1.917,	de 50°C a 90 °C	de 50°C a 90 °C
	70°C	2.05	1.93 – 9.64	0.39 - 92.40
	90°C	9.58		
Macal criollo	A 50°C	1.87	de 50°C a 90 °C	de 50°C a 90 °C
	70°C	3.39	1.88 - 11.46	0.39 - 60.18
	90°C	11.47		
Malanga morada	A 50°C	2.68	de 50°C a 90 °C	de 50°C a 90 °C
	70°C	3.00	2.70 - 10.85	0.67 - 71.60
	90°C	6.10		
Ñame	A 50°C	1.98	de 50°C a 90 °C	de 50°C a 90 °C
	70°C	2.41	2.00 - 9.34	0.33 - 92.40
	90°C	9.14		
Papa Voladora	A 50°C	1.98	de 50°C a 90 °C	de 50°C a 90 °C
	70°C	2.66	2.00 - 6.36	0.51 - 77.42
	90°C	6.23		
Sagú	A 50°C	1.73,	de 50°C a 90 °C	de 50°C a 90 °C
	70°C	2.33	1.74 - 11.64	0.41 - 1.23
	90°C	11.64		
Suco	A 50°C	1.79	de 50°C a 90 °C	de 50°C a 90 °C
	70°C	2.29	1.74 - 8.62	0.41 - 63.47
	90°C	8.52		
Yuca	A 50°C	1.8	de 50°C a 90°C	de 50°C a 90°C
	70°C	6.6	0.44 a 64.45	8 a 30
	90°C	11.70		

Fuente: Aparicio, 2003; Maza, 2007

Las propiedades funcionales de almidones se han atribuido a su contenido de amilosa y amilopectina, los almidones de cereales contienen 20 a 25% de amilosa. El hinchamiento puede ser definido como el máximo incremento en volumen y peso que alcanza una sustancia cuando absorbe libremente el agua (Balagopalan *et al.*,

1988). Los almidones de yuca, papa y maíz céreo hinchan bien, dan una viscosidad elevada y, aun en frío, retrogradan poco. Se utilizan en algunos condimentos y salsas y como agentes espesantes temporales, durante las operaciones de llenado, con el fin de mantener los diversos ingredientes o partículas en suspensión homogénea. Los almidones ricos en amilosa se utilizan para preparar películas comestibles (por ejemplo recubrimientos que conforman algunas píldoras farmacéuticas).

La gráfica presentada en la Figura 6.21, muestra el comportamiento viscoelástico determinado en un gel de almidón de camote nativo al 3% (p/v) en función de la frecuencia. Los valores del módulo de almacenamiento G' fueron dependientes de la frecuencia mientras que el módulo de pérdida G'' fue independiente, lo cual indica que el componente elástico contribuye mas a la estructura del gel que el componente viscoso. Mientras que en la Figura 6.22, se observa que el comportamiento viscoelástico del almidón de camote nativo fue independiente de la concentración, puesto que al variar la concentración de almidón de los geles ensayados no hubo cambios en el comportamiento.

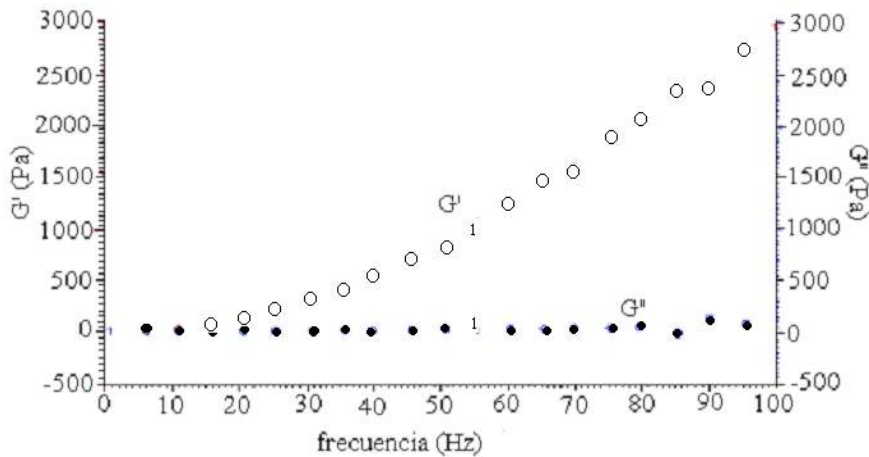


Figura 6.21 Comportamiento viscoelástico del gel de almidón de camote al 3% en función de la frecuencia

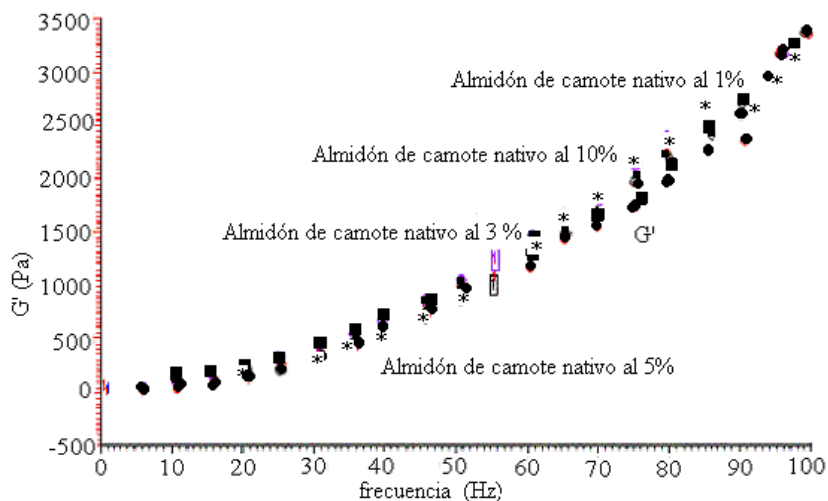


Figura 6.22 Módulo de almacenamiento G' en geles de almidón de camote a cuatro diferentes concentraciones.

En cuanto a la estabilidad a bajas temperaturas de almacenamiento, se ensayaron diez ciclos de congelamiento y deshielo en almidones nativos de camote y yuca, los cuales permanecieron estables, sin liberación de agua.

6.5 Conclusiones

Los trabajos realizados muestran que los tubérculos cultivados en el trópico, son fuente alternativa de almidones, debido al contenido del mismo en cada una de las especies y aportan nuevos datos, en cuanto a las características fisicoquímicas de los mismos, que pudieran ser usados como fundamento de nuevos estudios, que permitan encontrar alternativas viables económicamente para la industrialización, no solo como alimentos energéticos, si no también como aditivos o para el desarrollo de nuevos productos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, M. F. y Dufour, D. 1998. Almidón agro de yuca en Colombia: producción y recomendaciones. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical; Montpellier, Francia: Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Département D'amélioration des Méthodes pour L'innovation Scientifique. En http://webapp.ciat.cgiar.org/agroempresas/pdf/almidon_agrio_1.pdf 35 p.; consulta: marzo del 2011.
- Aparicio, T. M. A. 2000. Comportamiento fisicoquímico y reológico de los almidones nativos y modificados de yuca (*Manihot esculenta*), camote (*Ipomoea batatas* (L) Lam) y plátano Enano (*Musa cavendish*) Reporte técnico, Proyecto de investigación Clave 97-01-004-T, SIGOLFO/ CONACYT.
- Aparicio, T. M. A. 2003. Caracterización fisicoquímica de los almidones nativos y modificados de yuca, camote y plátano Valery. Tesis doctoral. Instituto Tecnológico de Veracruz. Veracruz. México. 138 p.
- Badui, D. S. 1993. Química de los Alimentos. Tercera edición. Editorial. Alambra Mexicana, México. pp. 94-100.
- Balagopalan, C., Padmaja, G., Nanda, S. K. y S. N. Moorthy. 1988. Cassava in Food, Feed, and Industry. CRC. Press, Inc. Boca Ratón, Fla, EUA. pp. 144-190.
- Belitz, D.H y Grosch, W. 1988. Química de los Alimentos. Editorial Acirbia. España. Pp. 257-261.
- Bello, P.A., Betancourt, D., Bravo, L. , González, Z., Ruales, J., Santacruz, S., Tovar, J. 2000. Manual de Métodos de Caracterización de Carbohidratos. Escuela Politécnica Nacional. Quito Ecuador. pp. 26-27 y 53-54.
- Buitrago A. J. A. 1990. La Yuca en la Alimentación Animal. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia 446 p.
- Cai, T. and Nip, W.K. 1990. Biochemical changes in the development of alcoholic products from taro (*Colocasia esculenta* (L) Schott. Tropical Science, 30, 379-390.
- CIP CPAD. 2009. Annual Report 2008. Potatoes & sweetpotatoes: providing food security. International Potato Center. En: www.cipotato.org/cipotato/publications/pdf/004736.pdf.; consulta marzo 2011.
- Corbishley, D. A. 1984. Tapioca, Arrowroot and Sago Starches Production. Starch. 2nd. Ed. Academic Press, Inc., San Diego, Ca., EUA. pp: 469-476.
- Calverley, D.J.B. (editor). 1998. Storage and processing of roots and tubers in the tropics. (FAO), Rome. pp. 7-71.
- CIP CPAD. 2009. Annual Report 2008. Potatoes & sweetpotatoes: providing food security. International Potato Center. En <http://www.cipotato.org/cipotato/publications/pdf/004736.pdf>.; consulta marzo 2011.
- Centro Internacional de Papa (CIP). Annual Report 1988. Lima, Peru. En <http://www.cipotato.org/cpad/sitemap>.; consulta marzo 2011.
- Centurión, H. D., Espinosa, M. J., y Cázares, C. J. G. 2000. Catálogo de Plantas de Uso Alimentario Tradicional en la Región Sierra del Estado de Tabasco. Fundación Produce Tabasco, SIGOLFO- CONACYT, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. pp. 8, 30-32, 37, 42, 46-47.
- Centurión, H. D., Cázares, C. J. G. Espinosa, M. J. Poot Matu, J. E. y Mijangos, C. M.A. 2003. Aprovechamiento alimentario de inflorescencias en la Region Sierra del Estado de Tabasco. Polibotánica 15. I.P.N. México. pp 91.

- Cheftel, J.C y Cheftel H. 2000. Introducción a la Bioquímica y Tecnología de Alimentos. Volumen 1. Editorial Acribia, España. pp.119-129.
- FAO.1990. Utilización de alimentos tropicales. Raíces y Tubérculos. Estudio Alimentación y Nutrición 47(2): 1-29.
- FAO. 1993. Valor nutritivo y usos en alimentación humana de algunos cultivos autóctonos subexplotados de mesoamérica. Chile. pp 89.
- FAOa, 2006. <http://apps.fao.org/faostat>.; consultado mayo 2009.
- FAOb, 2006. http://www.infoagro.com\Agricultura_El cultivo de la batata.htm/.; consulta mayo 2009.
- FAO Regional Office for Asia and the Pacific. Bangkok, Thailand. 2008. Linking Farmers to Market:Some Success Stories from Asia-Pacific Region.Asia-Pacific Association of Agricultural Research. Institutions. En http://www.apaari.org/new/images/AP_Documents/.; consulta mayo 2009.
- Fuenmayor, F.; V. Segovia; J.G. Albarrán y W. Cabaña. 2004. Banco de Germoplasma de Batata (*Ipomoea batata* (L) Lam.) del INIA-CENIAP-Venezuela. Revista Digital CENIAP HOY Número 6, septiembre-diciembre 2004. Maracay, Aragua, Venezuela. En www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n6/arti/fuenmayor_f/.; consulta mayo 2009.
- FUNIF. Informe FAO 2008: La Inseguridad Alimentaria en el Mundo. En: <http://www.funif.org.ar/test/modules/news/article.php?storyid=206>.: consulta marzo 2011.
- Gallegos, M. L y H. A. Cruz. 1996. Evaluación de las Características Físicas y Composición Química de Cinco Variedades de Yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tesis Licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tab. México. pp. 29-30
- Gobierno del estado de Veracruz. 2009. MONOGRAFÍA DE LA MALANGA. Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria. Fichas técnicas, Productos frescos y procesados. Raíces y tubérculos. <http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/ae620s/index.htm>.; consulta marzo 2011.
- Herrera, G. E. 1986. Ensayo de Rendimiento de Variedades de Camote (*Ipomea batata* (L) Lam) y Descripción Morfológica en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco. Tesis de Licenciatura. Colegio Superior de Agricultura Tropical.Cárdenas, Tab. México. 120 p.
- Hoover, R. 2001. Composition molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. Carbohidrates Protocols, 45: 253-287
- Lira, S. R. 1994. Chayote. En: Cosechas Descuidadas: 1492 de una diversa perspectiva. 1994. J. E. Hernández B. y J. León (eds.). Producción de planta y serie No. 26 de la protección. FAO, Roma, Italia. pp. 79-84.
- Martínez, G; Parga, R; Manzanilla, E y D. Muñoz. 1995. El banco de Germoplasma de musáceas del CENIAP: I. Fuente de diversidad genética. Fonaiaop Divulga 50: 29-32.
- Maza, H. P. B. 2007 Determinación del rendimiento, solubilidad e hinchamiento de almidón de tubérculos tropicales. Tesis Licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.Villahermosa, Tab.México. 44 p.
- Monroy, R. J. A. 1991. Elimination de l'acide cyanhydrique du manioc au cours du séchage à l'air chaud. Etudes préliminaires. Tesis de doctorado. Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires. Massy, Francia. 110 p.
- Montaldo, A. 1991. Cultivo de Raíces y Tubérculos Tropicales. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 2ª Ed. pp. 131-288.

- Muñozcano, R.M. 2009. Ven en Malanga cultivo rentable en Sinaloa. Fundación Produce Sinaloa A.C. ENLACE, INNOVACIÓN Y PROGRESO. En www.fps.org.mx/divulgacion/index.php.; consulta marzo 2009.
- Murales, M. T. A. 2004. Evaluación De 3 Distanciamientos De Siembra En Cultivo De Macal (*Xanthosoma sagittifolium*) Con 3 Niveles De Fertilización en el Caserío Santa Cruz, San Francisco, Peten. Universidad De San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Olguín P.C. 2001. Cultivos y Tecnologías alternativas: El caso de la malanga (Colocasia esculenta). Agricultura Sostenible. VI Simposio Internacional. La agricultura sostenible: moda o condición necesaria para afrontar los retos del nuevo milenio y Simposio Internacional sobre Agricultura Orgánica. Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz. 25-28 de noviembre. Conferencia magistral.
- Onuma, O. B. y V. F. Kosikowski. 1982. Cassava as a Food. Crit Rev. Food Sci. Nutr. 17: 259-275.
- Opara, U.L. 2003. Edible Roids: Post-Harvest Operation In: compendio .AGST/FAO. http://www.fao.org/inpho/compent/text/ch25_01.htm.; Consultado en marzo 2011.
- Sánchez C. M. S., Ruíz, R. E. G. y Alvarado, G. D. 2008. Informe del Proyecto: Búsqueda, colecta y caracterización agromorfológica de cultivares de macal (*Xanthosoma violaceum*) procedentes del suroccidente de Guatemala. Programa Universitario de Investigación en Alimentación y Nutrición (PRUNIAN). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. pp 12-14.
- Scott, G. J., Rosegrant, C. R., Ringler C. 2000 Raíces y Tubérculos para el siglo 21, Tendencias, Proyecciones y Opciones de Política. Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias. pp: 1, 7, 12, 49-50.
- Siqueira, M.V.B.M. y Veasey E.A. 2009. Raíces y tubérculos tropicales olvidados o subutilizados en Brasil. Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas. 3(1): 110-125.
- Terán, S., Rasmussen, Ch., May, C. O. 2009. Las plantas de la milpa entre los mayas. Dirección General de Desarrollo Académico. Universidad Autónoma de Yucatán. En <http://www.mayas.uady.mx/>.; consulta marzo 2010.
- Topping D.L. y Clifton P.M. 2001. Short-chain fatty acids and human colonic function: Roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides. Physiology Review, 81: 1031- 1064.
- Truong, V.D. y W.M. Walter, Jr. 1994. Physical and Sensory Properties of Sweetpotato Puree Texturized with Cellulose Derivatives. Journal of Food Science, 59: 1175-1180.
- Truong, V.D., Biermann, J.Ch. y A.J. Marlett. 1986. Simple Sugars, Oligosaccharides, and Starch Concentrations in Raw and Cooked Sweet Potato. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 34: 421-425.

CAPÍTULO 7

CARACOL TOTE (*Pomacea flagellata*), PROCESAMIENTO PRIMARIO DE LA CARNE

Avalos-González, H. M.; Iriarte-Rodríguez, F. V.; Ochoa-Flores A. A. y Hernández – Hernández, L.C.

7.1 Introducción

Desde los tiempos de la edad de piedra los moluscos han sido uno de los alimentos principales para el hombre (Corona y Arroyo, 2002), debido principalmente a que presentaban poca o ninguna movilidad; por lo que eran fácilmente recolectados.

Se calcula que pueden existir cerca 100000 especies de moluscos vivientes, que agrupan a organismos cefalópodos como el pulpo y el calamar, bivalvos como el ostión y las almejas y los gasterópodos que congregan a caracoles terrestres y acuáticos. Éstos colonizan prácticamente todos los ambientes, desde grandes alturas a más de 3.000 m sobre el nivel del mar hasta profundidades oceánicas de más de 5.000 m de profundidad, en las aguas polares o tropicales y suelen ser elementos comunes de los litorales de todo el mundo. Sin embargo, no obstante esta enorme diversidad el hombre solo ha aprovechado apenas unas pocas especies del ámbito marino (ostiones y almejas) y terrestres (caracoles de jardín o “scargots”); desarrollando esquemas de cultivo tecnológica y económicamente efectivas.

La mayor experiencia obtenida en el cultivo de moluscos gasterópodos es con el género Hélix que habita normalmente en los jardines y cuyo consumo se encuentra difundido de manera amplia en Europa donde existe un mayor conocimiento y disposición hacia la transformación y consumo del caracol terrestre, en España, se procesan caracoles envasados en lata sin su concha, al natural o en salsa. En Francia, los caracoles se venden en lata o saquitos de plástico con una o más docenas de caracoles (Gallo, 1984).

En el comercio internacional se puede encontrar distintas formas de preparación del caracol terrestre como son: vivo pero operculado, escaldado, carne cocida, caviar de caracol y en algunos casos se han empleado en repostería, considerando que su consumo a nivel mundial se encuentra en constante crecimiento (Fontanillas y Cuenca, 2001).

Por otro lado el cultivo de moluscos en Mesoamérica se ha realizado principalmente con algunas especies acuáticas: bivalvos marinos y estuarinos de las familias Mytilidae, Ostreidae y Pectinidae (mejillones, ostiones y almejas, Rodríguez-Romero 2004). En el caso de los gasterópodos solo algunas especies del género *Pomacea* nativas del Centro y Sudamérica destacan por su importancia biomédica o alimenticia, siendo consideradas con potencial suficiente para el cultivo comercial (Hayes y Cowie, 2005; Penchaszadeh, 2005).

El hombre les ha dado varios usos a estos caracoles a través de la historia, aunque es evidente que como alimento aún no se ha explotado todo su potencial. Se considera que uno de los primeros usos que se le dio a los moluscos no fue como alimento, sino que se empleaba en la industria farmacéutica, continuando vigente en la actualidad (Naranjo y García-Cubas, 1985).

En México el uso y aprovechamiento de los caracoles dulceacuícolas del género *Pomacea* como alimento se centra principalmente en el tegogolo (*Pomacea patula catemacensis*) y en el tote (*Pomacea flagellata*), ambos organismos nativos, cuya tradición de consumo se encuentra íntimamente ligados con las etnias Zoque, Popoluca, Náhuatl y Chontal (CONANP, 2004, CDI, 2004); y aunque actualmente perdura el consumo de estos organismos, algunas características de los usos y formas de manejo requieren ser rescatadas como parte integral de la cultura prehispánica del país.

En Tabasco son las comunidades chontales de la zona de Nacajuca quienes consumen en mayor medida el caracol tote, producto de la recolección para el autoconsumo en los cuerpos de agua lagunares así como de ríos y arroyos y de un manera incipiente organismos producto del cultivo en asociación con mojarra tilapia, consumiéndolos habitualmente asados o en caldo (CDI, 2004). Existen usos de tipo farmacológico que se le da a la carne, a la baba y las puestas de caracol descritas por personas mayores de las comunidades chontales pero que aun no han sido evaluadas (Iriarte, 2006).

Por otro lado los gasterópodos del género *Pomacea* poseen un alto potencial acuícola (sobre todo en el campo comercial o de sustento) pues presentan diversas ventajas adaptativas para desarrollarse en condiciones de confinamiento, tales como altos porcentajes de eclosión (83% en condiciones de laboratorio y 90% en el medio natural), así como presentar desoves múltiples; a lo que se suma su desarrollo directo y un corto periodo de incubación (Carreón *et al.*, 2004). Debido a ello, para que este potencial se traduzca en producciones tangibles y constantes de carne de caracol, se deben establecer modelos de cultivo que respondan a necesidades culturales, económicas y productivas locales y regionales (Iriarte, 2006), de tal manera que al facilitar su cultivo se favorezca entre otras cosas la reintegración a la dieta del tabasqueño de este caracol cuya carne posee características inigualables y al mismo tiempo se genere una oportunidad de negocio con amplias expectativas en el mercado de productos acuícolas regional y nacional.

Esto es posible dado que la acuicultura ha experimentado en los últimos años un desarrollo considerable como alternativa y complemento de la explotación de los recursos acuáticos, debido principalmente a la cada vez más urgente necesidad de alimento para una población creciente, por lo que las perspectivas para el desarrollo de la producción acuícola son cada vez más promisorias, como una actividad competitiva frente a la pesca (Cervigón, 1983), que ha sido explotada a niveles tales; que la mayoría de las pesquerías han alcanzado el máximo nivel sostenible. En este contexto el cultivo de organismos acuáticos constituye una alternativa de producción de alimento de alto nivel nutricional para la población (Tello y Padilla, 2000), es destacable señalar que el caracol tote representa en la acuicultura uno de los potenciales más importantes desde el punto de vista productivo y económico, debido a que sus costos de producción no son muy elevados en relación a la inversión requerida para la producción de otros grupos zoológicos (Bautista, 1988).

El caracol *Pomacea flagellata* (Say, 1827), se localiza en aguas con poca profundidad, con escasa corriente y con abundante vegetación acuática (Rangel, 1984). Es principalmente herbívoro y las hembras ponen cúmulos de huevos sobre la vegetación emergente a varios centímetros de la superficie del agua y también sobre troncos, ramas gruesas o sobre las rocas (Rangel-Ruiz, 1987). Se reproduce todo el año, de acuerdo con lo reportado por Rangel (1984), quien observó puestas de huevos permanentes durante los dos años en los que hizo visitas de campo al área de los Tuxtlas, Veracruz.

7.2 Características de la especie

El caracol *P. flagellata* se encuentra en los pantanos, ríos, lagunas y drenes, donde es recolectado por los lugareños para su consumo y se localiza desde el norte de Veracruz, hasta Tabasco y por la vertiente del Golfo hasta la península de Yucatán y el estado de Chiapas; extendiéndose hasta Guatemala, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá y Colombia, (Rangel, 1984), (Figura 7.1).

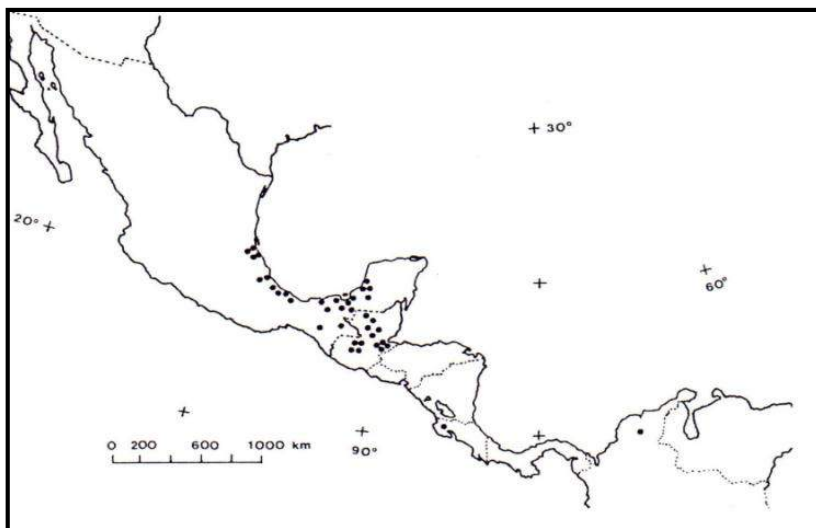


Figura 7.1 Distribución de *Pomacea flagellata* en México y Centroamérica (Naranjo y García-Cubas, 1985)

El caracol tote es un organismo dulceacuícola que alcanza hasta 10 cm de longitud, concha delgada en espiral, ovalado y lisa. La abertura opercular es ligeramente más alta que ancha en el ápice. El color es variable, siendo más oscuro en la parte inferior de la espiral, en la parte superior es de color amarillo pardo, algunas franjas a lo largo del caparazón de color pardo oscuro, la abertura es blanquecina transparentándose en algunas partes las bandas oscuras (Figura 7.2). Es de hábitos alimenticios herbívoros, se alimenta de plantas sumergidas (Rangel, 1984), aunque en cultivo se ha alimentado de hortalizas, frutas, cereales y alimento balanceado para peces, crustáceos y pollos con excelentes resultados.



Figura 7.2 Caracol Tote (*Pomacea flagellata*)

Su importancia comercial radica principalmente en la alta demanda presentada en el sur de los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche y Quintana Roo; debido principalmente a que tiene sabor agradable, y su músculo no es tan duro como el del caracol marino. El comercio de moluscos como *Pomacea flagellata* y *Pomacea patula catemacensis* produce divisas tanto a nivel local como regional (Rangel, 1984), un análisis de mercado regional durante los meses de enero y febrero de 2006, mostró que los precios de la carne de caracol de agua dulce del genero *Pomacea* al menudeo son fluctuantes para las localidades de las Choapas y Catemaco (Veracruz), en Escárcega, Campeche y en Villahermosa, Tabasco el valor en el mercado varía desde los \$ 70,00 hasta los \$ 150, 00 por kilogramo (Iriarte, 2006).

Se han obtenido importantes avances en el cultivo semintensivo del caracol tote (en relación a obtención de puestas, incubación controlada, engorda con alimentos inertes y frescos, etc.)(Figura 7.3) que permiten que la obtención de carne sea comercial al potenciar la producción durante todo el año con tallas y volúmenes de acuerdo a la demanda de los diferentes tipos de mercados; sin embargo esta capacidad de producción ha generado la necesidad de manejar aspectos previos al procesamiento y así mismo la implementación de los procesos primarios para el aprovechamiento eficiente de la carne estableciendo para ellos los protocolos de depuración, sacrificio y desconchado del caracol así como el análisis proximal de sus principales componentes tales como: proteína, humedad y grasa.



Figura 7.3 Ciclo de cultivo del caracol Tote (*Pomacea flagellata*)

7.3 Características de la carne de caracol

Desde el punto de vista dietético, el caracol es un alimento que contribuye a reducir los niveles altos de colesterol y triglicéridos. También hay que decir a su favor que es rico en sales minerales de toda clase (calcio, zinc, cobre, magnesio, hierro) y también en vitamina C (De Bernardi, 2003).

La calidad nutricional de la carne del caracol tote va ligada estrechamente con la forma en que es cultivado y la calidad del alimento suministrado durante su engorda, sin embargo también es cierto que ésta también se encuentra relacionada con la manera en que se sacrifican a estos organismos. Para ello debe considerarse depuraciones efectivas, lavado de la concha y condiciones de manejo no relajadas que mantengan un nivel adecuado de glucógeno antes de su sacrificio, por el método de inmersión en agua caliente, con la finalidad de que se desprenda la concha más fácilmente.



Figura 7.4 Condición corporal del caracol tamaño homogéneo

7.4 Depuración

La depuración consiste colocar a los caracoles previamente seleccionados por talla y condición corporal (preferentemente deben estar “gordos” es decir, el músculo o pie debe llenar completamente la cavidad de la concha) (Figura 7.4) durante 48 horas en agua limpia (a razón de 1 caracol por cada 50 ml de agua); sin suministro de alimento, realizando un recambio total de agua a las 24 horas con el fin de eliminar las heces fecales, este proceso se hace con el fin de que los animales eliminen la mayor cantidad de residuos de alimento de su tracto digestivo, no obstante que las vísceras no se usan para el consumo humano, pero que permitirán un manejo de la carne más limpio al momento del sacrificio y sobre todo del desconchado, es un protocolo que se sigue en todos los animales, previo a su consumo, para lo cual y en específico para el caracol se toma en consideración las buenas prácticas del proceso de manufactura y productos acuícolas, sobre el transporte, manejo, procesamiento y almacenamiento (Cárdenas y Noriega, 2003).

7.4.1 Condiciones sanitarias

Las condiciones sanitarias que deben prevalecer en el procesamiento primario de caracol tote son las que contemplan las Normas Oficiales Mexicanas para el manejo de productos acuícolas, así como las buenas prácticas de manufactura que ponen como base el control del ambiente donde el producto es procesado a través del cumplimiento de las prácticas de limpieza y desinfección así como el manejo y prácticas de higiene del personal. Para ello es indispensable contar con un programa de limpieza y desinfecciones efectivas, que sea verificado periódicamente. El monitoreo de las condiciones sanitarias de equipos y utensilios utilizados durante el proceso, ayuda a detectar lugares donde se favorece el desarrollo bacteriano permitiendo así, su control. Esto también es aplicable para equipos y utensilios menores manejados por el personal puesto que en muchas ocasiones se descuida su limpieza y desinfección (Cárdenas y Noriega, 2003).

7.4.2 Lavado de los caracoles

Esta operación, es manual y por lo tanto es importante que se realice con cuidado, ya que la superficie de la concha de cada uno de los caracoles seleccionados debe cepillarse con una escobilla y abundante agua (Figura 7.5), haciendo énfasis en la parte del opérculo con dos o tres repeticiones, la finalidad es retirar cualquier resto de sedimentos, heces o crecimiento algal (muy común en cultivos prolongados y con bajo porcentaje de recambio de agua) que pueden generar mal sabor al músculo al momento del sacrificio. Una vez limpia la concha se deja reposar los caracoles en agua limpia (preferentemente purificada) durante no más de 15 minutos a fin de relajar el músculo del caracol.



Figura 7.5 Lavado de caracol

7.4.3 Sacrificio

Una vez limpia la superficie de la concha, se realiza el sacrificio por grupos a razón de 1 kg de caracol entero por cada 5 litros de agua, sumergiendo todos los caracoles de una sola vez en agua caliente a una temperatura de (80 °C) durante quince minutos (Figura 7.6) para facilitar el desprendimiento de su concha, estas condiciones propician que no llegue a producirse una efectiva cocción de la pulpa, aunque tal tratamiento térmico haya originado una leve modificación superficial del molusco.

Se mantiene constante la temperatura del agua durante todo este tiempo y como en los animales de sangre fría, los músculos no dependen tanto del control cerebral como en los de sangre caliente y los cambios metabólicos no son tan activos, exhiben una mayor actividad después de la muerte.



Figura 7.6 Sacrificio de los caracoles por inmersión en agua caliente 80 °C durante 15 minutos.

Al momento que entra en contacto con agua caliente, la carne modificará su color, más adelante comenzará a disminuir la cantidad de jugo y terminará destruyendo el tejido conjuntivo (colágeno), contribuyendo a su ternura, además de la coagulación de las proteínas, lo que las hace más fácilmente digestibles.

7.4.4 Enfriado

Después del sacrificio por inmersión, se colocan los caracoles extraídos del agua caliente en agua al tiempo para disminuir la temperatura en tinas de plástico con capacidad de tres o cuatro litros aproximadamente durante no más de 20 minutos con la finalidad de poder manipular el caracol con más facilidad al momento del desconchado y eviscerado.

7.4.5 Desconchado y eviscerado

Una vez muerto el caracol, los músculos ya relajados permiten que el opérculo quede entreabierto, existen dos maneras para extraer el músculo o pulpa del caracol y está en función del tamaño del organismo: cuando se trata de caracoles grandes se tira ligeramente del opérculo hasta que éste se desprenda de la concha. Posteriormente se sujeta el músculo y se jala de una manera firme y constante hacia afuera hasta extraerlo en su totalidad, esto resulta fácil debido a su gran tamaño; sin embargo cuando el caracol es pequeño, se recomienda atravesar su musculo con un tenedor o gancho y tirar de él hacia afuera de manera firme y continua, girando al mismo tiempo la concha para facilitar el tránsito del cuerpo a través de la espiral de la concha; también hasta que la carne se desprenda o bien romper la concha del caracol con una herramienta pesada (normalmente la parte posterior de un cuchillo sirve).

Cabe mencionar que para extraer el cuerpo del animal es necesario tener a mano un utensilio adecuado: lo normal es ayudarse de un tenedor (Figura 7.7), algún tipo de gancho metálico, o un anzuelo que pueda servir para dicho propósito; o bien podemos fabricar uno de acero inoxidable, cuidando siempre que cumpla con las condiciones de higiene adecuadas.

Es importante procurar que no se rompa el músculo, ya que en ese caso se nos quedará una parte (normalmente las vísceras) en el interior, y son más complicadas de extraer. Puede irse enganchando al caracol a medida que va saliendo para reducir este riesgo.

Posteriormente se separa la parte comestible (pulpa) de las vísceras y la concha, se cuantifica la pulpa obtenida y pesa para conocer el rendimiento de la carne. De la misma manera se pesa el subproducto obtenido (vísceras y conchas) y se anota el peso. En este paso la pulpa no debe mojarse para que no retenga agua y rendimiento obtenido no sea engañoso.



Figura 7.7 Desconchado y eviscerado del caracol

7.4.6 Lavado de la pulpa

Una vez separada y pesada la pulpa del caracol, se enjuaga con agua purificada en dos o tres repeticiones de manera que no queden residuos de vísceras adheridas a ella y se deja escurriendo por un periodo aproximado entre cinco y diez minutos. Se revisa que no contenga restos de concha o vísceras adherida en la parte interna de los cuerpos del caracol (Figura 7.8).



Figura 7.8 Pulpa de caracol libre de restos de conchas o vísceras

7.4.7 Almacenamiento

El almacenamiento de la pulpa se puede realizar de varias formas, las más comunes son: congelada y enhielada (Avalos, 1999).

Congelada: La pulpa se coloca limpia y drenada en bolsas de plástico cerradas, extendida en forma de placa de no más de 3 cm de ancho (a fin de que el congelamiento sea uniforme) y en porciones que no excedan un kilo, se estiban en un congelador a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (es decir a la temperatura promedio que provee un congelador comercial). Se recomiendan periodos de almacenamiento no mayores a 45 días con este método.

Enhielada: A través de la reducción de la temperatura en alrededor de 0 °C, se reduce el crecimiento de microorganismos de deterioro, así como de patógenos, disminuyéndose de esta forma la velocidad de deterioro de la pulpa o carne y reduciendo o eliminando algunos riesgos de seguridad. La pulpa se mezcla limpia y drenada con hielo picado en una proporción de 1 parte de pulpa por dos de hielo, se colocan en una capa homogénea de no más de 5 cm de ancho en recipientes plásticos o bien en bolsas de plástico, para mantener el enhielado se puede utilizar refrigeradores o cuartos de enfriamiento a temperaturas de 3 a 4 °C, pudiendo realizarse drenado del agua y/o recambios de hielo cuando se considere necesario (principalmente cuando la temperatura del hielo-agua sea mayor a 0 °C).

El hielo derretido mantiene la humedad de la pulpa, previniéndose así principalmente la deshidratación superficial, al tiempo que se reduce su pérdida de peso. Colocar el producto fresco en hielo alargará su vida de anaquel de una forma bastante simple, Sin embargo, prolongar la duración en almacén no es un fin en sí mismo, sino un medio para producir un producto fresco, seguro y de calidad aceptable (Huss, 1999).

De acuerdo con las disposiciones sanitarias los moluscos cefalópodos y gasterópodos, deben ajustarse a las siguientes disposiciones (Norma Oficial Mexicana NOM-129-SSA1-1995, Bienes y Servicios. Producto de la Pesca: secos-salados, ahumados, moluscos cefalópodos y gasterópodos frescos-refrigerados y congelados. Disposiciones y especificaciones sanitarias). El hielo que se emplea para conservar la materia prima debe ser elaborado con agua potable que cumpla con los requisitos sanitarios establecidos en el Reglamento y en la Norma Oficial Mexicana correspondiente, cuando el glaseado sea necesario, la temperatura del agua empleada debe ser inferior a 5 °C, la temperatura de almacenamiento para los productos refrigerados no debe ser superior a 7 °C y para los productos congelados no será superior a -18 °C.

7.5 Composición de la carne o pulpa de caracol

El análisis químico proximal de la carne del caracol tote incluyó las determinaciones analíticas de Humedad (NOM-116-SSA1-1994) y de Proteína, Grasa y Cenizas (AOAC, 2000). Los resultados obtenidos de dicho análisis se presentan a continuación en el Cuadro 7.1; los cuales concuerdan con los resultados de los componentes de proteína y grasa, obtenidos en Nicaragua (Mijail, 2002).

En México, la ingesta de alimentos de origen animal está representada, en orden de importancia, por el consumo de pollo, res y cerdo, así como de productos de origen acuático (Martínez-Jasso, 2001). Sin embargo, la tendencia al consumo de productos "saludables" como el caracol es creciente; dado su alto valor nutritivo, ya que contienen vitaminas A, B y D, compuestos glicerofosfóricos, cloruros, carbohidratos y proteínas en cantidades adecuadas y digeribles casi en su totalidad (Luna *et al.*, 2006), además posee un bajo contenido de grasas y un elevado valor nutritivo. También aporta entre otros elementos, una importante cantidad de proteínas y contiene además, una baja cantidad de calorías en comparación con otros productos cárnicos (Cuadro 7.2).

Cuadro 7.1

Composición proximal del músculo del caracol tote (*Pomacea flagellata*) (datos por cada 100 gramos)

Componente	Producto					
	Pollo	Res	Cerdo	Calamar	Pulpo	Caracol
Agua (g)	68.6	71.6	47.8	81.0	84.8	77.6
Proteínas (g)	20.2	20.4	13.4	16.4	12.6	7.2
Grasa (g)	11.1	6.3	37.8	1.1	1.0	0.1
Cenizas (g)	1.4	0.7		1.5	1.6	2.4
Energía (Kcal)	167	142	180	76	59	85

Cuadro 7.2

Características nutricionales de productos cárnicos y pesqueros (datos por cada 100 gramos de porción comestible)

Componente	Valor (promedio \pm DS)	(Mijail, 2002)
Humedad	77.56 \pm 2.27	-
Proteína	7.20 \pm 0.48	7.17
Grasa	0.12 \pm 0.02	0.16
Cenizas	2.42 \pm 0.07	-

7.6 Conclusiones

El caracol es un producto de buenas características nutricionales, poseedor de un bajo contenido de grasas y un elevado valor nutritivo con proteínas de calidad altamente digeribles además, con una baja cantidad de calorías en comparación con otros productos cárnicos.

Se considera, que la carne de caracol "tote" (*P. flagellata*) puede llegar a competir con otras especies animales, siendo otra alternativa de fuentes de proteínas; y dado que el tote es un organismo nativo, con características inigualables para el cultivo además de una excelente textura y apreciado por su sabor, se espera que diversos grupos sociales se interesen por implementar y diversificar sus actividades agropecuarias, adoptándola como actividad comercial productiva alterna, ya que al tiempo que representa una opción para mejorar la dieta de las comunidades rurales contribuiría a mejorar sus ingresos económicos, dado que en la actualidad el precio oscila entre \$140 pesos en Veracruz y \$75 pesos en Tabasco.

BIBLIOGRAFÍA

- Avalos, G.H.M. 1999. Prolongación de la vida de anaquel de Mojarra Tilapia (*Tilapia niloticus*) almacenada en hielo con aditivos. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Veracruz. Pp. 21-23.
- Bautista, 1988. Moluscos “Tecnología de cultivo”. España. 167 p.
- Carreón, P.A., Uria G., Espinosa Ch., Martínez J., 2004. Desarrollo morfológico e histológico del sistema reproductor de *Pomacea patula catemacensis* (Backer, 1922) (Mollusca, Caenogastropoda; Ampullariidae). Sociedad de Biología de Chile, Santiago de Chile. 23 p.
- Cárdenas, B.A. y Noriega, O.L. 2003. Manual de buenas prácticas de cultura en el procesamiento de productos acuícola. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad de Guaymas en Aseguramiento de calidad y aprovechamiento sustentable de recursos naturales (SENASICA), SAGARPA. 96 p.
- Cervigón, F. 1983. La acuicultura en Venezuela. Estado Actual y perspectivas. Edit. Arte, Caracas. 121 p.
- CDI (Comisión para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas), 2004. Chontales de Tabasco. ¿Chontales de Tabasco-Yokot anob o Yokotan <http://www.cdi.gob.mx/index.php?idsección=279> Fecha de consulta: 12 de Noviembre de 2005.
- CONANP, 2004. Programa de Conservación y Manejo de la Reserva de la Biosfera de los Tuxtlas. SEMARNAT. México. 248 p.
- Corona, M.E., Arroyo, C.J. 2002. Conchas caracoles y seres humanos. Ed. Plaza y Valdez. Pp. 105, 106.
- De Bernardi L.A., 2003. Caracoleando Rev. Alimentos Argentinos pg. 15. Disponible en:http://www.alimentosargentinos.gov.ar/0-3/revistas/r_15/15_03_carac.htm Fecha de consulta: 24 de julio de 2008.
- Fontanillas, P.J.C. y Cuenca, G.I. 2001. El caracol y la helicultura. Mundiprensa. España. pp. 20, 85, 88.
- Gallo, G. 1984. El caracol cría y explotación. Mundi – Prensa. España. pp. 111, 112, 137.
- Hayes, K.R. y Cowie. 2005. Apple snail invasions in Asia and beyond. Resúmenes del VI Congreso Latinoamericano de Malacología (CLAMA). Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales Panamá 4-7 de Julio de 2005. Disponible en URL: <http://www.striweb.si.edu/7congresomalacologia>.
- Huss, H.H. 1999. Métodos mejorados para la manipulación del pescado fresco. En “El pescado fresco su calidad: y cambios de su calidad”. FAO Documento Técnico de Pesca 348. Disponible en URL: <http://www.fao.org/DOCREP/v7180s/v7180s08.htm> Fecha de consulta 25 de Febrero de 2008.
- Iriarte-Rodríguez, F.V. 2006. Validación de un cultivo semintensivo de caracol tote (*Pomacea flagellata*) en el trópico húmedo. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur.
- Instituto Nacional de la Pesca, 2000. Estado de Salud de la Acuicultura. Dirección General de Investigación en Acuicultura, SEMARNAT. México, D.F.
- Luna, M.C.R., Urciaga, J.I.G., Salinas, C.A.Z., Cisneros, M.A.M. y Beltrán, L.F.M. 2006. Diagnóstico del consumo del calamar gigante en México y en Sonora. Economía, Sociedad y Territorio. VI (22): 535-560.

- Martínez-Jasso, I. 2001. La disponibilidad de alimentos en México. Las hojas de balance alimentario de la FAO. Entorno Económico, Centro de Investigaciones Económicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. 39 (232): 11-19.
- Mijail, P.A. 2002. Normas técnicas para regular la extracción y aprovechamiento sostenible de la concha negra en el Pacífico de Nicaragua, informe final. Managua, Nicaragua. P. 62.
- Naranjo, E. y García-Cubas, A. 1985. Algunas consideraciones sobre el género *Pomacea* (Gastropoda: *Plidae*) en México y Centroamérica. Anales del Instituto de Biología, Serie Zoológica UNAM, 2: 603-606.
- Norma Oficial Mexicana NOM-031-SSA1-1993, Bienes y Servicios. Productos de la pesca. Moluscos bivalvos frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias.
- Norma Oficial Mexicana NOM-116-SSA1-1994, Bienes y Servicios. Determinación de humedad en alimentos por tratamiento térmico. Método por arena o gasa.
- Norma Oficial Mexicana NOM-129-SSA1-1995, Bienes y Servicios. Productos de la pesca: secos-salados, ahumados, moluscos cefalópodos y gasterópodos frescos-refrigerados y congelados. Disposiciones y especificaciones sanitarias.
- Official Methods of Análisis of AOAC Internacional. 2000. Fish and Other Marine Products. 17 th Edition. Gaithersburg, Maryland 20877-2417 USA. Cap. 35.
- Penchaszadeh, P.E. 2005. La investigación de las especies autóctonas como base para la explotación sustentable de los recursos y a una acuicultura responsable. VI Congreso Latinoamericano de Malacología (CLAMA) Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales Panamá, Republica de Panamá 4-7 de Julio de 2005. Disponible en URL: <http://www.striweb.si.edu/congresomalacología>.
- Rangel, L.J. y J. Gamboa A. 2000. Gasterópodos epicontinentales de la "Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla", Tabasco. Universidad y Ciencia. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), 15 (30): 129-140.
- Rangel, L.J. 1984. Estudio taxonómico de algunos gasterópodos dulceacuícolas de la región de "Los Tuxtlas" Veracruz, México. Tesis Profesional. Fac. de Ciencias, UNAM. México D.F. 69 p.
- Rangel-Ruiz, L.J. 1987. Estudio morfológico de *Pomacea flagellata* Say, 1827 (Gastropoda: Ampullaridae) y algunas consideraciones sobre su taxonomía y distribución geográfica en México. Anales del Instituto de Biología UNAM. Serie Zoológica, 58: 21-34.
- Rodríguez-Romero, F. 2004. Recursos malacológicos de México de interés biotecnológico. III Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura CIVA 2004. Disponible en URL: <http://www.civa2003.org>, 2003:260-272.
- SAGARPA, 2006. Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-041. Pesca. 2004. Pesca responsable en el Lago de Catemaco, ubicado en el estado de Veracruz. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros. Diario Oficial de la Federación. Jueves 2 de Marzo de 2006. 11 p.
- Tello M.S., y Padilla, P. 2000. Cultivo y procesamiento del churo. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Programa de Ecosistemas Acuáticos (PEA), Iquitos, Perú. 54 p.

CAPÍTULO 8

LAS LEGUMINOSAS DE GRANO

Espinosa-Moreno, J.; Centurión-Hidalgo, D.; Solano, M. L. y Lagunes-Gálvez, L. M.

8.1 Introducción

La importancia de las leguminosas se basa en la cantidad de especies y su distribución en todo el mundo y han sido reconocidas por su valor nutricional, es decir, por el contenido de proteína, alto valor calórico, vitaminas y minerales, principalmente (Sotelo, 1996).

La familia de las leguminosas se compone de unas 18 000 especies, de las que se aprovechan como alimento humano apenas unas 30, en la mayoría de los casos de semillas maduras, pero a veces también son vainas, raíces o frutos. De las semillas maduras, tienen gran importancia las de frijol común, lenteja, haba, garbanzo, frijol de soya, chícharo y cacahuete. Estas especies, que se producen y se utilizan en casi todo el mundo, fueron domesticadas hace miles de años casi al mismo tiempo que los cereales que formaron parte central de la dieta que permitió el desarrollo de las grandes culturas de la antigüedad (Bourges-Rodríguez, 2001).

De las leguminosas de grano se han aprovechado las diferentes partes de la planta: las semillas se han utilizado secas o verdes, la vaina verde, la planta verde o seca para forraje o como abono orgánico (Cubero y Moreno, 1983).

8.2 El frijol

Los pueblos precolombinos han cultivado durante miles de años los frijoles (*Phaseolus* spp) como principal fuente de proteína, aunque *P. vulgaris* ha tenido mayor aceptación y se ha seleccionado más intensamente (Debouck 1992). Se ha aceptado que el principal centro de origen del género *Phaseolus* fue Mesoamérica, específicamente México, y de ahí se difundieron algunas especies hacia el sur del continente. Las cinco especies cultivadas son: *P. vulgaris* o frijol común, *P. acutifolius* o frijol tépari, *P. lunatus* o frijol lima, *P. coccineus* o frijol escarlata y *P. polyanthus* o frijol anual (Paredes *et al.*, 2006). La información sobre el contenido de nutrientes de los alimentos reviste gran importancia para diversas aplicaciones como la evaluación nutricional de la población, planificación de dietas, programación de la producción, entre otras (Maldonado y Sammán, 2000).

El frijol es un grano maduro proveniente de los géneros *Phaseolus* sp., *Vigna* sp. y *Cajanus* sp. El género *Phaseolus* incluye a *Phaseolus vulgaris* (frijol), *Phaseolus mungo* y *Phaseolus lunatus*. *Phaseolus vulgaris* incluye al frijol de castilla (*Vigna unguiculata*), frijol de palo (*Cajanus cajan*) y otros. El uso del frijol es variado: alimenticio, agronómico, industrial, uso médico y el residuo del cultivo de frijol es utilizado como alimento para

animales. En el primer caso, es un importante nutrimento vegetal para la alimentación humana por su alto contenido proteico y, en lo agronómico, el cultivo de frijol mejora el suelo por su característica de fijar nitrógeno, incrementar el contenido de materia orgánica y porque permite controlar la erosión del suelo (Arotoma, 1999).

Las potencialidades de frijol incluyen una alta productividad de algunas zonas aún con tecnología media, las características agronómicas de algunas especies que permiten obtener hasta tres cosechas por año y en contraestación, su valor nutritivo demostrado con estudios clínicos en donde el contenido de fibra soluble o pectina del frijol tiene poderosos efectos en la prevención y tratamiento de condiciones médicas crónicas como: enfermedades cardiovasculares, diabetes *mellitus*, obesidad, hipertensión, cáncer, enfermedades del tubo digestivo. Por estas bondades, el frijol es patrocinado por la Asociación Americana del Corazón (AHA), la Sociedad Americana del Cáncer (ACS) y la Asociación Americana de Diabetes (ADA) en Estados Unidos. En opinión de importantes instituciones académicas y de investigación, entre ellos el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos (NCR), el frijol será el alimento fibra de la próxima década (Arotoma, 1999).

Los frijoles se han diferenciado por sus características de: aceptabilidad por parte de los consumidores (tamaño, forma, color, estabilidad de almacenamiento, comportamiento en el remojo, facilidad de cocción, sabor, tamaño de partícula después de la cocción), de sus componentes inorgánicos (calcio, hierro, cobre, zinc, potasio, magnesio y fósforo), físicas y anatómicas (grosor de la cáscara, densidad, peso y ancho de la semilla) (Reyes y Paredes, 1992).

8.3 Producción de frijol

En cuanto a la producción mundial de frijol en 1997 fue de 18 990 000 toneladas métricas, siendo Asia el primer productor (9 604 000 ton) con alrededor del 50% de la producción total y en segundo lugar se encontró Suramérica con 3 691 000 ton (FAO 1997). Por otro lado, la producción nacional promedio de frijol en el periodo 2001-2003, fue de 1 364 000 ton siendo Zacatecas el mayor productor con 432 000 ton seguido de Sinaloa (178 000 ton) y Durango (163 000 ton) (García *et al.*, 2006). En el VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal de México, en el ciclo otoño-invierno de 2007, se reportó una producción nacional de frijol de 252 604.12 ton siendo los estados más productores Sinaloa (106 281.03 ton), Nayarit (71 782.52 ton) y Chiapas (11 343.98 ton). En ese mismo ciclo, Tabasco tuvo una producción de 349.80 ton (INEGI, 2007). En México, el frijol es la leguminosa más consumida (más de un millón de toneladas por año) y tiene a su favor millones de experiencia culinaria y la existencia de numerosas variedades (Bourges-Rodríguez, 2001).

Sin embargo, la presencia de estas variedades diferentes de frijol ha obstaculizado tener un registro detallado del contenido nutricional de cada una por lo que es importante realizar estudios que registren estos datos y llenar así los vacíos que aun se tienen en las Tablas de Nutrimentos con que trabajan los nutriólogos para mejorar la dieta de la población mexicana.

8.4 Composición química y la presencia de sustancias antifisiológicas en semillas de leguminosas producidas y consumidas en Tabasco

Los frijoles juegan un papel importante en la dieta por su contenido energético, proteína y hierro, también contienen factores antinutricionales tales como inhibidores de tripsina, hemaglutininas, saponinas, taninos y ácido fítico, entre otros; muchos de los cuales son destruidos al menos en parte por los tratamientos culinarios. La mayor parte de estos inhibidores son termolábiles, por lo que su capacidad inhibitoria se reduce significativamente con los procesos térmicos culinarios. Los taninos presentes en los frijoles pueden tener actividad antiamilasa, dificultando la digestión de los carbohidratos glicémicos (Serrano y Goñi, 2004).

Los granos contienen alrededor 19.05 a 23.86% de proteína, 247 a 277 mg por 100 g de calcio y de 5.30 a 12.63% de hierro. Sin embargo, su utilización eficiente es afectada por la presencia de factores antinutricionales. Entre estos factores, el ácido fítico baja la digestibilidad de la proteína por inhibición de las enzimas proteolíticas y el complejo proteína-fitato. También el ácido fítico y los taninos reducen la biodisponibilidad de minerales. El ácido tánico disminuye la digestibilidad de proteína y carbohidratos (Philip y Prema, 1998; Paredes *et al.*, 2006).

8.4 Materiales y métodos

Las semillas de frijoles, aproximadamente dos kilogramos de cada una, fueron adquiridas en los mercados municipales de Tabasco: frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.); frijol pelón (*Vigna unguiculata* L.); frijol sin tiempo (*Phaseolus acutifolius* Asa Gray); frijol colorado o rojo (*Vigna sinensis* L.); frijol de leche (*Phaseolus lunatus* L.); frijolillo (*Phaseolus calcaratus*); las semillas de chícharo de árbol (*Cajanus cajanus* L.) se colectaron en el Municipio de Tacotalpa, Tabasco y se seleccionaron por color: blanco, púrpura, negro, jaspeado, café oscuro y café claro. Todas las muestras fueron secadas en un horno a 55 °C, molidas y tamizadas en una malla de 1 mm (Sotelo *et al.*, 1995).

Para el análisis bromatológico (humedad, cenizas, proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda) se utilizaron los métodos oficiales de la AOAC y la determinación de minerales (sodio, potasio, calcio, magnesio, zinc, cobre y hierro) fue realizada mediante la técnica de espectrometría de absorción atómica y el fósforo por el método fotométrico (AOAC, 1995).

La determinación de los factores antifisiológicos se llevó a cabo mediante la determinación de saponinas por el método de O'Dell y Monroe (1952) y taninos mediante el método propuesto por la AOAC (1990). La energía bruta fue determinada por calorimetría (bomba calorimétrica). El diseño estadístico fue completamente al azar con tres repeticiones.

8.5 Resultados y Discusión

El contenido nutricional de las seis variedades de frijol estudiadas se presenta en el Cuadro 8.1. El frijol negro aporta 341.55 kcal.100 g⁻¹ de energía bruta y el frijol sin tiempo tiene 269.76 kcal.100 g⁻¹. También se puede observar que los valores de proteína fueron de 22.22% a 27.30% siendo el frijol negro el que presentó el mayor contenido. Con respecto al hierro, el frijol pelón tuvo 17.24 mg.100 g⁻¹ y el frijolillo tuvo el valor más alto con 20.00 mg.100 g⁻¹. En cuanto al calcio, el frijol de leche aporta 269.12 mg.100 g⁻¹ y el frijol pelón tiene 189.24 mg.100 g⁻¹. También se observa que el frijolillo presentó los valores más altos de los factores antifisiológicos determinados, presentando 28.57% de saponinas y 0.81 g.100 g⁻¹ de taninos y que el frijol sin tiempo tiene 3.57% de saponinas y el frijol de leche 0.21 g.100 g⁻¹ de taninos.

Vargas-Torres *et al.* (2006) estudiaron cuatro variedades de *Phaseolus*, entre ellos el frijol negro, encontrando que el contenido de proteína varió de 22.16 a 24.20%. Estos valores están dentro de los encontrados en el presente trabajo excepto para el frijol negro que presentó 27.30% de proteína. Granito *et al.* (2004) reportaron 26% de proteína en *V. sinensis* (frijol colorado) y Pérez *et al.* (2006) reportaron que *P. lunatus* (frijol de leche) presentó 24.8% de proteína siendo un valor ligeramente más alto que el encontrado por los autores debido probablemente a diferencias ecológicas de su cultivo. Por otro lado, Sangronis *et al.* (2004) reportaron 23.3% de proteína para *P. vulgaris*. León *et al.* (1993) realizaron la caracterización química y nutricional de leguminosas tropicales reportando para *V. unguiculata* (frijol sin tiempo) 26.16% de proteína, 110 mg.100 g⁻¹ de calcio, 450 mg.100 g⁻¹ de fósforo y 0.077% de taninos. Iniestra *et al.* (2005) que dentro de las variedades de *P. vulgaris* se presentó una gran variación en el contenido de taninos fluctuando entre 3.5 mg.g⁻¹ a 115.6 mg.g⁻¹ encontrando que la variedad con testa blanca presentó la menor concentración de taninos.

Los valores obtenidos para las seis variedades analizadas de chícharo de árbol (blanco, púrpura, negro, jaspeado, café oscuro y café claro) se muestran en el Cuadro 8.2. En el mismo se observa que los valores de energía varían de 319.07 a 350.60 kcal.100 g⁻¹. El contenido de proteína oscila de 19.18 a 20.26% no habiendo una gran diferencia debida al color de la semilla. En cuanto a los minerales, la semilla de color negro del chícharo de árbol presentó el mayor contenido de calcio con 213.26 mg.100 g⁻¹ y el tuvo el menor valor fue el café oscuro con 125.15 mg.100 g⁻¹. Con respecto al hierro, el café oscuro tuvo 8.2 mg.100 g⁻¹ y los que presentaron los valores más altos de calcio fueron el café claro con 22.00 mg.100 g⁻¹ y el púrpura con 20.24 mg.100 g⁻¹. Analizando los valores de los factores antifisiológicos, se observa que el chícharo de árbol café claro fue el que presentó el valor más alto de saponinas con 10.71% y los que presentaron los valores más altos de taninos fueron el púrpura con 0.86 g.100 g⁻¹ y el café claro con 0.78 g.100 g⁻¹.

Cuadro 8.1

Valor nutritivo de seis variedades de frijol

	Frijol sin tiempo	Frijolillo	Frijol negro	Frijol pelón	Frijol rojo	Frijol de leche
Energía bruta (kcal/100 g)	269.76	333.20	341.55	330.08	332.20	335.60
Humedad (%)	12.69	12.65	10.81	10.84	15.28	12.32
Cenizas (%)	3.34	3.80	4.33	3.34	4.01	3.98
Proteína cruda (%)	23.43	22.36	27.30	22.22	22.24	22.64
Extracto etéreo (%)	0.94	0.67	0.93	1.08	1.16	1.50
Fibra cruda (%)	9.87	7.94	4.80	4.29	5.56	7.15
Hidratos de carbono (%)	49.90	52.58	51.84	58.23	51.76	51.98
Cobre (mg/100 g)	0.52	0.25	0.87	0.39	0.52	0.36
Zinc (mg/100 g)	0.60	0.58	0.77	0.73	0.60	0.52
Hierro (mg/100 g)	18.25	20.00	19.26	17.24	18.39	18.00
Sodio (mg/100 g)	225.10	287.10	275.26	284.54	280.15	279.18
Potasio (mg/100 g)	1581.10	1398.24	1499.15	1521.92	1289.10	1425.15
Calcio (mg/100 g)	284.25	287.22	278.15	289.24	280.24	269.13
Magnesio (mg/100 g)	299.20	255.13	238.15	225.13	225.29	219.12
Fósforo (mg/100 g)	375.14	388.15	408.25	352.15	326.15	359.12
Saponinas (%)	3.57	28.57	10.71	10.71	10.71	14.28
Taninos (g/100 g)	0.76	0.79	0.35	0.26	0.81	0.21

León *et al.*, 1993 reportaron para *Cajanus cajan* (chicharo de árbol) 19.73% de proteína, 160 mg-100 g-1 de calcio, 400 mg.100 g-1 de fósforo y 0.27% de taninos. Sangronis *et al.*, 2004 reportaron 21.7% de proteína y Torres *et al.*, 2003 encontraron 22.3% de proteína en la harina de *C. cajan* y mencionan que los minerales más importantes fueron calcio, hierro y fósforo

Cuadro 8.2 Valor nutritivo de variedades de chícharo de árbol

	Blanco	Púrpura	Negro	Jaspeado	Café oscuro	Café claro
Energía bruta (kcal/100 g)	321.76	346.25	350.60	323.30	319.07	343.40
Humedad (%)	11.01	10.93	10.71	10.65	10.55	10.98
Cenizas (%)	2.92	3.24	3.25	3.21	3.38	3.14
Proteína cruda (%)	19.18	19.48	19.81	19.33	20.26	18.30
Extracto etéreo (%)	1.42	0.954	1.07	1.31	1.22	0.852
Fibra cruda (%)	9.65	4.5	7.09	5.2	7.2	7.05
Carbohidratos (%)	55.79	60.76	57.1	60.27	57.36	56.65
Cobre (mg/100 g)	0.58	0.37	0.87	0.47	0.26	0.59
Zinc (mg/100 g)	0.82	0.87	0.79	0.87	0.59	0.67
Hierro (mg/100 g)	8.36	20.24	9.36	10.12	12.80	22.00
Sodio (mg/100 g)	139.42	126.15	139.46	180.25	118.10	135.01
Potasio (mg/100 g)	1071.12	1048.12	945.89	1072.59	875.26	998.25
Calcio (mg/100 g)	189.25	137.15	213.26	199.15	125.15	136.24
Magnesio (mg/100 g)	139.24	89.99	159.10	160.15	110.15	125.10
Fósforo (mg/100 g)	279.89	209.25	292.56	272.52	206.14	201.34
Saponinas (%)	7.14	7.14	7.14	7.14	7.14	10.71
Taninos (g/100 g)	0.23	0.86	0.75	0.36	0.63	0.78

8.6 Conclusiones

El general, las variedades frijoles tiene un mayor contenido de proteína y calcio que las del chícharo de árbol y el mayor contenido de taninos se presentó en los frijoles de color oscuro (frijol rojo, frijolillo y sin tiempo). En el caso del chícharo de árbol, el color de la semilla no fue determinante en el contenido de taninos.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th Edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C., USA.
- AOAC. 1995. Mineral Absorption Atomic. Official Methods of Analysis. 16th Edition. Vol. 19.165.09. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C., USA.
- Arotoma, C.S. 1999. Joint Venture: estrategia en la producción y comercialización de frijol- Perú. Tesis de Grado. Maestría en Administración, Mención: Comercio Internacional. Escuela de Post Grado, Facultad de Ciencias Administrativas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Bourges-Rodríguez, H. 2001. Los alimentos y la dieta. En: Casanueva, E., Kaufer-Horwitz, M., Pérez-Lizaur, A.B., Arroyo, P. Nutriología Médica. Editorial Panamericana, México.
- Casanueva, E. y Bourges-Rodríguez, H. 2001. Los nutrimentos. En: Casanueva, E., Kaufer-Horwitz, M., Pérez-Lizaur, A.B., Arroyo, P. Nutriología Médica. Editorial Panamericana, México.
- Cubero, J.L. y Moreno, M.T. 1983. Leguminosas de grano. Ed. Mundi-Prensa, España. pp 217-253.
- Debouck, G.D. 1992. Frijoles (*Phaseolus spp*). En: Hernández, B. y León, J. (Editores). Cultivos marginados. Colección FAO. Producción y protección vegetal 26: 45
- FAO. 1997. Production Yearbook. Volume 51.
- FAO. Statistical Yearbook 2005-2006. Volume 2.
- García, S.J.A., Rodríguez, L.G., Sáenz, T.A. y Rebollar, R.S. 2006. Políticas para mejorar la competitividad de la producción de maíz y frijol en México. Revista Fitotecnia Mexicana 29(2): 115-121.
- Granito, M., Guerra, M., Torres, A., Guinand, J. 2004. Efecto del procesamiento sobre las propiedades funcionales de *Vigna sinensis*. Interciencia 29(009): 521-526.
- INEGI. 2007. México, Datos por entidad federativa. VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal.
- Iniestra, G.J.J., Ibarra, P.F.J., Gallegos, I.J.A., Rocha, G.N.E., González, L.R.F. 2005. Factores antinutricios y actividad antioxidante en variedades mejoradas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Agrociencia 39(006): 603-610.
- León R.A., Angulo, I., Jaramillo, M., Requena, F. y Calabrese, H. 1993. Caracterización química y valor nutricional de granos de leguminosas tropicales para la alimentación de aves. Zootecnia Tropical 11(2):151-170.
- Maldonado, S., y Sammán, N. 2000. Composición química de minerales de leguminosas y cereales producidos en el noreste Argentino. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 50 (2): 195-199.
- O'Dell, E.N. y Monroe, E.E. 1952. Detection and estimation of esteroidal saponins in plant tissue. Analytical Chemistry, 8(24):1337-1341.
- Paredes, L.O., Guevara, L.F., Bello, P.L.A. 2006. Los alimentos mágicos de las culturas indígenas mesoamericanas. FCE, SEP, CONACYT, CAB, México. 197 p.
- Pérez, N.C., Cruz, E.R.H., Chel, G.L., Betancur, A.D. 2006. Caracterización física de extruidos preparados con mezclas de harinas de maíz QPM (*Zea mays* L.) y frijol lima (*Phaseolus lunatus* L.). Revista Mexicana de Ingeniería Química 5(002): 145-155.
- Philip, J., y Prema, L. 1998. Variability in the antinutritional constituents in greengram *Vigna radiata*. Plant Food for Human Nutrition 53: 99-102.

- Reyes, M.C. y Paredes, L.O. 1992. Endurecimiento del frijol común. Cuadernos de Nutrición 15(2):20-21.
- Sangronis, E., Machado, C., Cava, R. 2004. Propiedades funcionales de las harinas de leguminosas (*Phaseolus vulgaris* y *Cajanus cajan*) germinadas. Interciencia 29(002); 80-85.
- Serrano, J. y Goñi, I. 2004. Papel del frijol negro *Phaseolus vulgaris* en el estado nutricional de la población Guatemalteca. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 54(1):36-44.
- Sotelo, A. 1996. The nutritive value of wild Mexican legumes with a potential for nutritional use. In: E. Nwokolo and Smartt. Legumes and Oilseeds in Nutrition 33-47.
- Sotelo, A., Contreras, E., y Flores, S. 1995. Nutritional value and content of antinutritional compounds and toxics in ten legumes of Yucatan Peninsula. Plant Food for Human Nutrition 47: 115-123.
- Torres, A., Guerra, M. 2003. Sustitución parcial de harina de maíz precocida con harina de quinchoncho (*Cajanus cajan*) para la elaboración de arepa. Interciencia 23(011): 660-664.
- Vargas-Torres, A., Osorio-Díaz, P., Agama-Acevedo, E., Morales-Franco, L., Bello-Pérez, L.A. 2006. Digestibilidad del almidón en diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Interciencia 31(12): 881-884.

CAPÍTULO 9

LAS PALMAS TROPICALES COMO FUENTE DE FIBRA DIETARIA

Centurión-Hidalgo, D.; Espinosa-Moreno, J.; Gómez-García, E. y García-Alamilla, P.

9.1 Introducción

Las palmas se consideran como el segundo grupo vegetal en importancia económica, después de las gramíneas y numerosas comunidades de las regiones tropical y subtropical dependen de ellas para su sustento. La contribución de estas plantas a la economía mundial y a los mercados y modos de vida locales es muy importante (Pérez y Rebollar, 2003).

Las palmas son uno de los principales componentes característicos de la selva tropical y están distribuidas ampliamente en las zonas húmedas de todo el mundo. La variabilidad en formas de vida, la estructura de la comunidad de palmas en la selva y los múltiples usos de productos obtenidos de las palmas, está considerada como una fuente en los sistemas hortícolas y para el desarrollo sustentable (Mendoza y Oyama, 1999). Las palmas son un elemento común y a veces dominante de la vegetación natural (Jones, 1999).

Las palmas tropicales han sido, y continuarán siendo, un recurso valioso para la vida en el trópico por su alta diversidad y oportunidad de usos así como su contenido nutrimental (Ocampo, 1998).

En cuanto a la importancia que tienen las palmas con respecto a sus usos actuales y potenciales, así como el papel que juegan en la vegetación de nuestro país, uno de los usos más generalizados de las palmas es el ornamental en parques, camellones y jardines; para construcción o artesanías. Otro aspecto importante de las palmas es el uso que les da la gente del campo como alimento.

La contribución de estas plantas a la economía mundial y a los mercados y modos de vida locales es muy importante. En investigaciones etnobotánicas (uso de las plantas por el ser humano) sobre las palmas se ha reportado que de ellas se extrae fibra, cera, azúcar, almidón, palmito, alcohol y aceites; se usan para la construcción de casas, elaboración de artesanías; algunas especies tienen además valor medicinal, alimenticio, ornamental, forraje (Caballero, 1993; Quero, 1989; Pérez y Rebollar, 2003; Jones, 1999, Castillo, 1999).

9.2 Distribución geográfica de las palmas tropicales

El género *Chamaedorea* Willd es endémico de las regiones tropicales y templadas de América y se han identificado 133 especies, de las cuales alrededor de 50 se desarrollan en México, en las zonas selváticas de Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Tamaulipas, Yucatán, Campeche y Quintana Roo; se distribuyen además en zonas de cultivo de San Luis Potosí, norte de Veracruz, Hidalgo y Puebla (Granados *et al.* 2004).

México y América Central constituyen una de las subregiones del mundo con mayor riqueza florística (10% de la flora del mundo) señaladas como centro de origen y diversidad de plantas cultivadas que han adquirido gran importancia a nivel mundial. La región posee una diversidad extraordinaria desde el punto de vista geográfico, biológico y cultural y se considera uno de los más importantes centros de origen de la agricultura (Hernández, 1993).

El conocimiento de las áreas rurales actuales sobre los recursos comestibles incluye, además de los ya cultivados desde antaño, los que están en pleno proceso de domesticación y los silvestres de los ecosistemas circundantes constituyendo una diversidad biológica nada despreciable y una esperanza en la ampliación de la dieta en el mundo de hoy, lo cual indudablemente vendrá a mejorar la dieta de buena parte de la población. No obstante, la marginación actual de algunas de estas especies ha aportado, desde tiempos muy remotos, productos alimentarios imprescindibles en la dieta de las comunidades rurales y de algunas urbanas, determinados en gran medida por el azar y condicionados por los valores sociales, económicos y políticos de las culturas dominantes (Hernández y León, 1992).

La gran mayoría de los pobladores urbanos ignoran cuáles son las especies nativas comestibles, la forma como deben consumirse así como el valor nutricional que poseen. En muchas ocasiones, por desconocimiento de las cualidades de consumo y del valor nutricional, no se ha dado la debida importancia a una amplia variedad de plantas que pueden ayudar a resolver parte de la problemática alimentaria del país. Entre estas especies se encuentran diferentes especies de palmas.

9.3 Comercialización de Inflorescencias

En particular, el World Conservation Monitoring Center (WCMC) y el United Nations Environment Programme (UNEP) han realizado un estudio de mercadeo de la inflorescencia de palma *Chamaedorea tepejilote*, conocida como pacaya, tepejilote, guaya de joma o joma. La demanda de esta especie se presenta principalmente en el sureste de México y en algunos países de Centroamérica. En el caso de México, la demanda se centra en los estados donde crece de manera natural: Chiapas, Oaxaca, Veracruz y Tabasco. Por otro lado, en este estudio también se menciona la palma tepejilote de río (*C. cataractarum*), conocida como guayita de río en Tabasco, donde presenta una distribución geográfica muy restringida en las orillas de algunos ríos y se consume localmente en pequeña escala. En Guatemala y Honduras, la oferta sobre la comercialización la realizan dos compañías de conservas de tepejilote que abastecen los mercados de nostalgia en Estados Unidos y Canadá (Flores, 2002).

9.4 Palmas comestibles en América

La guaya de joma, *Chamaedorea tepejilote*, ha sido reportada con una distribución en América Central donde es conocida como “pacaya” y se ha desarrollado un comercio importante a su alrededor (Haynes y McLaughlin, 2000).

En el caso de las palmas comestibles, destacan las inflorescencias masculinas tiernas de especies del género *Chamaedorea* (pacayas) y los frutos de algunas otras especies,

como *Bactris*, que también son comestibles (Castillo *et al.* 1994). Por otro lado, Araya *et al.* (1981) mencionaron a la pacaya como parte de la cultura alimentaria rural en Guatemala donde se han realizado estudios del valor nutritivo en el INCAP (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá) y encontraron que aporta proteína y minerales, principalmente calcio, a la dieta. Ibarra-Manríquez *et al.* (1997) describieron una cultura del consumo de la inflorescencia de la especie *Astrocaryum mexicanum* en el entorno de Los Tuxtlas, Veracruz, México, donde es conocida como “chocho”.

El género *Chamaedorea* está distribuido desde México a Brasil y Bolivia; la especie más estudiada es *C. tepejilote* que juega un papel importante como alimento tradicional desde el sureste de México hasta Guatemala. La parte comestible es la inflorescencia y la parte apical del tallo (palmito). En Guatemala existen plantas de procesamiento en las cuales todas las operaciones son manuales y en donde las inflorescencias son extraídas de la bráctea (cubierta o corteza) y son sometidas a un pretratamiento de escaldado por 30 minutos y envasadas en caliente en frascos de 907.2 g con líquido de cobertura (una solución de vinagre con un pH de 3.9), sal, especias y benzoato de sodio (Castillo *et al.*, 1994). Esta especie también es consumida en México en los estados de Jalisco, Veracruz, Tabasco, Oaxaca y Chiapas (Ibarra–Manríquez, 1988).

El fruto de la palma *Acrocomia mexicana* es utilizado para preparar un dulce y como medicina popular (Quero, 1992). En Honduras, se produce vino de la palma o vino de savia de palma (*Attalea butyraceae*) que al ser talada se hace una incisión en la corona donde ocurre la fermentación por 24 horas, se extrae y es embotellado (Balick, 1990). En el estado de Chiapas, México, se produce una bebida alcohólica de gran aceptación entre la población local denominada “taberna”; el proceso de elaboración incluye el corte de la palma antes de la floración y extracción de 2 a 5 litros de agua miel diariamente (Cabrera, 1991).

Se ha estudiado el valor de uso principalmente en *Astrocaryum mexicanum* que se localiza desde México (Veracruz, Tabasco, Oaxaca y Chiapas) hasta Guatemala. Es una palma con mayor número de individuos por hectárea en la Reserva de Los Tuxtlas, México. Esta especie juega un papel importante en la economía local ya que las inflorescencias inmaduras y el endospermo del fruto son alimenticias (Ibarra–Manríquez *et al.*, 1997).

En un estudio realizado por De la Cruz (2005), desarrolló harina desengrasada de *A. mexicanum* y llamó al producto “Chapaharina” la cual contiene principalmente 20% de proteínas y 10.63% de fibra.

En Tabasco, México, se han encontrado 13 especies comestibles de palmas (Cuadro 9.1). Las inflorescencias de cuatro especies (chapaya, guaya de río, guaya de cerro, guaya de joma) se encuentran presentes en los mercados municipales con una estacionalidad muy marcada, durante la época de floración, principalmente entre los meses de enero a marzo. El fruto que se comercializa es el chiquiyul porque además tiene un uso medicinal y el de cocoyol sólo se comercializa en forma de dulce. Las demás especies no se comercializan porque son especies silvestres y son colectadas para autoconsumo por los habitantes de la zona durante sus labores cotidianas.

Cuadro 9.1

Nombre y parte comestible de las palmas tropicales

Nombre común	Nombre científico	Parte comestible
Cocoyol	<i>Acrocomia aculeata</i>	Fruto
Corozo	<i>Attalea butyraceae</i>	Fruto
Coquito	<i>Reinhardtia gracilis</i>	Fruto
Chapaya	<i>Astrocaryum mexicanum</i>	Inflorescencia y fruto
Chiquiyul	<i>Bactris baculifera</i>	Fruto
Escoba	<i>Cryosophila stauracantha</i>	Inflorescencia y parte apical del tallo
Jaguacte	<i>Bactris major</i> var. <i>major</i>	Fruto
Guacta	<i>Bactris gracilior</i>	Inflorescencia
Guayita de río	<i>Chamaedorea cataractarum</i>	Inflorescencia
Guaya de joma	<i>Chamaedorea tepejilote</i>	Inflorescencia
Guaya de cerro	<i>Chamaedorea alternans</i>	Inflorescencia
Moj-toi	<i>Chamaedorea sartorii</i>	Inflorescencia
Pojay	<i>Geonoma interrupta</i> var. <i>interrupta</i>	Inflorescencia y parte apical del tallo

Las partes comestibles de la palmas son, en orden de importancia, la inflorescencia, el fruto y la parte apical (“cabeza” de la palma, es decir, la parte del tallo en donde inician las hojas); a las palmas que se les consume el ápice son: chapaya (*Astrocaryum mexicanum*), escoba (*Cryosophila stauracantha*) y pojay (*Geonoma interrupta* var. *interrupta*). En cuanto a la inflorescencia, existen dos formas de consumirlas: primero se les quita la cubierta y se extraen las flores inmaduras que son cocidas en agua y guisadas con condimentos regionales o bien, es asada a las brasas con toda la cubierta y después se le quita para extraer las flores inmaduras.

Los frutos de corozo, *Attalea butyraceae* maduros se colectan y se les quita la cubierta externa. Los frutos pelados se muelen y se combinan con maíz nixtamalizado para elaborar tortillas o preparar bebidas como el pozol o se preparan en compota. Los frutos maduros pelados se usan también para extraer la grasa que contienen para preparar un jabón muy apreciado.

9.5 Aporte de la fibra dietaria de las inflorescencias de palmas en Tabasco

La mayoría de los alimentos que habitualmente forman parte de las raciones alimenticias son el producto resultante de una serie de manipulaciones más o menos intensas de los productos alimenticios con el fin de asegurar su higiene, hacerlos más digeribles y mejorar sus cualidades organolépticas (Icaza y Béhar, 1981).

Los cereales de grano, leguminosas, frutas, verduras, nueces y semillas contienen fibra. Esta se clasifica en soluble (hidrosoluble) o insoluble, según sus componentes, en una solución acuosa. La fibra soluble comprende muchos polisacáridos como las pectinas, gomas, mucílagos, polisacáridos derivados de algas y algunas hemicelulosas; todos presentan una alta capacidad de retención de agua y algunos de ellos son altamente viscosos en solución acuosa. La fibra insoluble comprende a la celulosa, lignina, cutina, suberina y la mayor parte de las hemicelulosas, que son componentes de la pared celular de los cereales y las verduras. La fibra insoluble, al no ser degradada y retener muy poca agua, contribuye en forma importante en la formación del bolo fecal por lo que sus funciones se limitan a los efectos mecánicos que produce su paso a lo largo del tubo digestivo (Milke, 2002).

9.5.1 Materiales y métodos

Las inflorescencias de *Astrocaryum mexicanum* (chapaya), *Chamaedorea alternans* (guaya de cerro), *Chamaedorea tepejilote* (guaya de joma) y *Chamaedorea* sp (guaya de calzón) se adquirieron, en manojos de 20-25 unidades, en los mercados municipales de Teapa y Tacotalpa, Tabasco, durante su estacionalidad (de Enero a Marzo). Se trasladaron a la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco donde se contaron las unidades y se midió la longitud, diámetro y peso de cada una debido a que se consideró que estas características son una manifestación de la madurez comercial de las inflorescencias de cada especie. Con estos datos se realizó una prueba de comparación de medias para determinar el número de grupos a formar para cada especie y cada uno de los tratamientos (asado, hervido y crudo). Una vez clasificadas las inflorescencias, se separó la parte comestible, se aplicaron los tratamientos a cada grupo y se deshidrataron a 55 °C para almacenar en frascos de polietileno para su posterior análisis. La determinación de la fibra dietaria total y sus fracciones se realizó con el método 991.43 (A.O.A.C., 1997).

9.6 Resultados y discusión

Los grupos se conformaron de acuerdo con el diámetro (guaya de cerro) y peso (chapaya, guaya de joma y guaya de calzón) de las inflorescencias. Para la fibra dietaria total (FDT) y la fibra dietaria insoluble (FDI) de *Chamaedorea alternans* se observó que el tratamiento asado fue el de mayor contenido: 60.4% y 60.1% respectivamente, para el grupo de menor diámetro. El mayor contenido de fibra dietaria soluble (FDS) fue para el tratamiento cocido (4.1%) en las inflorescencias con mayor diámetro (Cuadro 9.2).

Cuadro 9.2

Contenido de tipos fibra de guaya de cerro (*Chamaeadora alternans*) con diferentes tratamientos

Grupo (Diámetro cm)	%FDT	%FDI	%FDS
Crudo			
> 25.5	54.2 ± 0.83	53.5 ± 0.50	1.0 ± 0.58
< 25.5	39.8 ± 0.02	37.1 ± 1.20	2.6 ± 1.21
Asado			
> 25.5	51.0 ± 1.73	47.5 ± 0.45	3.5 ± 1.48
< 25.5	60.4 ± 1.11	60.1 ± 0.60	0.085 ± 0.01
Hervido			
> 25.5	37.6 ± 0.70	33.4 ± 3.61	4.1 ± 3.92
< 25.5	43.2 ± 2.64	40.2 ± 1.39	2.9 ± 2.87

Para la inflorescencia de *Astrocaryum mexicanum* (chapaya), se formaron tres grupos (con base en el peso) encontrándose el mayor porcentaje de FDT (76.30%) en el tratamiento crudo de las inflorescencias mayores de 150 g y el de FDS (10.62%) en el tratamiento cocido del grupo menor de 100 g; sin embargo, el mayor porcentaje de FDI (68.50%) lo presentó el grupo cocido de inflorescencias entre 100 y 150 g (Cuadro 9.3).

Cuadro 9.3

Contenido de tipos fibra de chapaya (*Astrocaryum mexicanum*) con diferentes tratamientos

Grupo (Peso g)	%FDT	%FDI	%FDS
Crudo			
> 150	76.3 ± 0.076	66.4 ± 0.18	9.91 ± 0.26
< 100 > 150	76.5 ± 1.7	68.2 ± 0.78	8.25 ± 2.48
> 100	69.1 ± 1.4	66.7 ± 1.14	4.11 ± 0.01
Asado			
> 150	71.79 ± 0.43	67.40 ± 0.28	4.29 ± 0.14
< 100 > 150	71.86 ± 1.38	66.60 ± 0.04	5.16 ± 1.43
> 100	73.31 ± 0.49	67.90 ± 1.34	5.37 ± 1.83
Hervido			
< 150	72.50 ± 0.29	66.10 ± 0.23	6.44 ± 0.53

Para la inflorescencia de *Chamaedorea tepejilote* (guaya de joma) se encontró que el mayor porcentaje de FDT, FDI y FDS fue de 68.78%, 60.48% y 8.3%, respectivamente, en el grupo mayor de 200 g cocido (Cuadro 9.4).

Cuadro 9.4

Contenido de tipos fibra de Chamaedorea tepejilote (guaya de joma) con diferentes tratamientos

Grupo (Peso g)	%FDT	%FDI	%FDS
Crudo			
> 200	55.53 ± 1.24	52.94 ± 1.74	3.56 ± 2.15
> 150	55.86 ± 4.87	53.21 ± 2.63	1.09 ± 0.08
< 150	53.31 ± 1.87	44.77 ± 0.68	8.54 ± 2.46
Asado			
> 200	41.23 ± 1.01	36.90 ± 2.93	4.33 ± 2.92
> 150	54.54 ± 0.92	53.75 ± 0.62	0.78 ± 0.46
< 150	52.86 ± 0.83	50.23 ± 0.83	2.63 ± 1.61
Cocido			
> 200	68.78 ± 1.61	60.48 ± 8.18	8.30 ± 7.26
> 150	53.04 ± 1.50	49.66 ± 4.10	3.37 ± 2.64
< 150	57.95 ± 2.78	52.12 ± 0.30	5.82 ± 2.87

Los mayores valores de FDT y FDI (59.70 y 56.40%, respectivamente) se presentaron en las inflorescencias crudas entre 17.5 y 32 g de *Chamaedorea* sp y la mayor FDS fue para las inflorescencias cocidas menores de 17.2 g (Cuadro 9.5, página siguiente).

Cuadro 9.5

Contenido de tipos fibra de guaya de calzón (*Chamaedorea* sp) con diferentes tratamientos

Grupo (Peso g)	%FDT	%FDI	%FDS
Crudo			
> 32.1	47.00 ± 0.48	46.60 ± 0.38	0.33 ± 0.22
17.5 – 32.0	59.70 ± 0.46	56.40 ± 0.68	3.27 ± 0.78
< 17.5	35.60 ± 1.52	31.60 ± 0.73	4.05 ± 1.28
Asado			
> 32.1	42.37 ± 0.67	40.28 ± 0.48	2.09 ± 0.20
17.5 – 32.0	53.75 ± 1.78	53.23 ± 1.00	0.07 ± 0.02
< 17.5	48.29 ± 0.43	46.65 ± 0.36	1.65 ± 0.23
Cocido			
> 32.1	55.55 ± 28.61	51.17 ± 0.43	4.37 ± 0.18
17.5 – 32.0	47.8 ± 1.92	37.13 ± 3.29	10.76 ± 2.45
< 17.5	40.50 ± 1.50	21.44 ± 13.45	19.06 ± 11.99

La clasificación por categorías (diámetro, peso) de los grupos de inflorescencias presentó diferencias significativas, encontrándose dos grupos para *Chamaeadora alternans* por diámetro y tres grupos por peso para *Astrocaryum mexicanum*, *Chamaedorea tepejilote* y *Chamaedorea* sp. También se presentaron diferencias en el contenido de los tres tipos de fibra dietaria: total (FDT), insoluble (FDI) y soluble (FDS).

La fibra dietaria insoluble tiene mayor injerencia en aumentar el volumen de las deposiciones y disminuir el tránsito intestinal; a la fibra dietaria soluble se le relaciona con su acción sobre el metabolismo de hidratos de carbono y lípidos. Su contenido y composición varía en los diferentes alimentos, también un mismo alimento puede diferir en su concentración de fibra de acuerdo a su grado de madurez, refinación, tratamiento tecnológico, entre otros (Pak, 2002).

Entre la forma de cocción de las inflorescencias en una misma especie de palmas, se presentaron diferencias significativas en cuanto a los contenidos de los tres tipos de fibra (FDT, FDI y FDS). Friedman (1996) afirmó que los hidratos de carbono generalmente se consideran estables frente al cocinado. Sin embargo, hay algunas pérdidas producidas por solubilización (si el medio de cocción es el agua). Estas pérdidas por disolución dependen de los mismos factores que afectan a otros componentes hidrosolubles: tiempo, tamaño del producto, volumen de agua utilizada, entre otros.

En investigaciones realizadas por Alfonzo (2000), se encontró que un mismo tipo de tratamiento térmico puede tener efectos diferentes en el contenido de fibra dietaria de los alimentos y señaló que la cocción promueve el rompimiento de sus componentes (celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina, gomas), además de propiciar la interacción y enlace de estas sustancias con proteínas y lípidos así como la generación de cambios cualitativos y/o cuantitativos sustanciales que varían la composición total de la fibra dietaria al comparar el alimento crudo con el cocido.

Actualmente, no hay duda del rol importante que se le adjudica a la fibra dietaria tanto en la prevención como en el tratamiento de patologías como diabetes, obesidad, constipación, arteroesclerosis, entre otras. De allí el interés en conocer el aporte de fibra dietaria de las inflorescencias tropicales y más aún su desglose en fibra soluble e insoluble dado que se le adjudican roles fisiológicos diferentes y no se tiene al momento estudios similares.

9.7 Conclusiones

Las inflorescencias de las palmas *Chamaedorea* sp, *Chamaedorea alternans*, *Astrocaryum mexicanum* y *Chamaedorea tepejilote* son fuente de fibra dietaria.

El diámetro de las inflorescencias de palmas no tiene efecto significativo en el contenido de fibra dietaria.

El efecto del tipo de cocido influye en el porcentaje de fibra dietaria.

El mayor porcentaje de fibra dietaria se encontró en la inflorescencia de *Astrocaryum mexicanum*.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfonzo, G.G. 2000. Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de fibra dietética total soluble e insoluble en algunas leguminosas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 50(3): 281-285
- A.O.A.C. 1995. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemist. 16th Edition. Volumen I. Washington, D.C.
- A.O.A.C. 1997. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. Association Analysis of Chemist Organic. 17th Edition. Washington, D.C.
- Araya, H., Flores, M. and Arroyave G. 1981. Nutritive value of basic foods and common dishes of the Guatemala rural populations. *Ecology and Food and Nutrition* 11:174-175.
- Atchley, A.A. 1984. Nutritive value of palms. *Principes* 28(3): 138-143.
- Balick, M. 1990. Production of coyol wine from *Acrocomia Mexicana* in Honduras. *Economic Botany* 44 (1): 84-93.
- Caballero, J. 1993. El caso del uso y manejo de la palma de guano (*Sabal spp.*) entre los mayas de Yucatán México. En: Leff, E. y Carabias, J. (Coordinadores). *Cultura y manejo sustentable de los recursos naturales*. Volumen I. UNAM, Miguel Angel Porrúa, México. pp: 208-231.
- Cabrera, C.T. 1991. El coyol. *Plantas de Chiapas*. Sus usos, valores e importancia. *Yashtë* 6: 1-4
- Castillo, M. J. J., Gallardo, N.G. and Johnson, D.V. 1994. The pacaya palm (*Chamaedorea tepejilote*, *Arecaceae*) and its food use in Guatemala. *Economic Botany* 48(1): 68-75.
- Castillo, M.J.J. 1999. The palms of Guatemala and their ornamental uses. *Proc. of the 2nd Int. Symp. on Ornamental Palms and Other Monocots from the tropics*. Eds. M. Caballero Ruano. *Acta Hort* 486 ISHS: 33-39.
- De la Cruz, C.A.A. 2005. Alternativa de un alimento no convencional propio de la región. *Revista Salud Pública y Nutrición (RESPYN) Edición Especial* 10-2005. Consultado en la Web el 15/05/2007 en la página electrónica: <http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2005/ee-10-2005/documentos/estudiantesdoc.htm>
- Flores, J.C. 2002. *Tepejilote (Chamaedorea tepejilote)*. Informe de Mercadeo. World Conservation Monitoring Center (WCMC) y United Nations Environment Programme (UNEP)
- Friedman, M. 1996. Food browning and its prevention: an overview (review). *Journal Agricultural Food Chemistry*. 44(3): 631-653.
- Gelroth, J., Ranhorta, S.G. 2001. Food uses of fiber. In: *Handbook of Dietary Fiber*. Edited by Susan Sungsoo Cho, Mark L. Dheher, New York. pp. 435-449.
- Gómez, G.E. 2007. Efecto del procesamiento en el contenido de fibra dietaria de las inflorescencias de palmas. Tesis de Licenciatura de Ingeniería en Alimentos. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Granados, S.D., Hernández, G.M.A., López, R.G.F., Santiago, L.M. 2004. El cultivo de palma camedor (*Chamaedorea sp*) en sistemas agroforestales de Cuichapa, Veracruz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(3): 233-241.
- Haynes, J. and McLaughlin, J. 2000. Edible palms and their uses. Fact sheet MDCE-00- 50-1. Extension. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. pp: 4-6.
- Hernández, X.E. 1993. Aspects of plant domestication in Mexico: A personal view. In:

- Ramamoorthy, R., Bye, A., Lot, J. F. (Eds.). Biological diversity of Mexico, origins and distribution. pp. 733-753.
- Hernández, B. y León, J. (Editores) 1992. Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492. Colección FAO. Producción y Protección Vegetal 26. Roma, Italia 369 p.
- Icaza, S.J. y Béhar, M. 1981. Nutrición. Nueva Editorial Interamericana. México, pp: 178-181.
- Ibarra-Manríquez, G. 1988. The palms of tropical rain forest in Veracruz, México. Principes 32 (4): 147-155.
- Ibarra-Manríquez, G., Ricker, M., Angeles, G., Sinaca, C.S., Sinaca, C.M.A. 1997. Useful plants of Los Tuxtlas rain forest (Veracruz, México). Economic Botany 51: 363-376.
- Jones, D.L. 1999. Palmeras del mundo. Editorial Omega, España. pp: 23-25.
- Mendoza, A. and Oyama, K. 1999. Ecology management and conservation of potentially ornamental palms. Proc. of the 2nd Inter Symp. on Ornamental Palms and other monocot forms tropics. Acta Horticulturae, 486: 79-86.
- Milke, P. 2002. Fibra dietética y funciones gastrointestinales. En: García, O.P.G. (Ed.). Enciclopedia de la fibra. Kellogg's de México, Querétaro, Qro. pp: 64-65
- Ocampo, A. 1998. Las palmas, una estrategia de vida tropical. En: Conferencia electrónica de la FAO sobre Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. Consultado en la web: <http://www.fao.org/ag/AGA/AGAP/FRG/AGROFOR1/ocampo5.pdf>. pp. 61-75
- Pak, D.N. 2002. Fibra dietética en verduras cultivadas en Chile. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 50(1): 5-7.
- Pérez, M. y Rebollar, S. 2003. Anatomía y usos de las hojas maduras de tres especies de *Sabal* (*Arecaceae*) de la Península de Yucatán, México. Revista de Biología Tropical, 51(2): 333-344.
- Ruiz-Carrera, V., Peña-López, E.G., Lau-Vázquez, S.C., Maldonado-Mares, F., Ascencio-Rivera, J.M., Guadarrama-Olivera, M.A. 2004. Macronutrientes de fitorecursos alimenticios de especies aprovechadas por grupos étnicos en Tabasco, México. Universidad y Ciencia Número Especial 1: 27-31.
- Quero, R.J.H. 1989. Flora genérica de Arecaceas de México. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. pp: 1-13.
- Quero, R.H. 1992. Las palmas silvestres de la Península de Yucatán. Publicaciones Especiales 10. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 63 pp.

Esta obra se terminó de imprimir el 25 de enero de 2013, con un tiraje de 300 ejemplares. Impreso en los Talleres de Ideo Gráficos S. A. de C. V. Calle Juan Álvarez No. 505 Col. Centro, Villahermosa, Tabasco, México. El cuidado estuvo a cargo de los autores.