

00566  
1  
2eq

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MÉXICO

**EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS Y  
LÍQUIDOS DE LA AGROINDUSTRIA, CINCO EJEMPLOS**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRÍA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS  
(INGENIERÍA DE ALIMENTOS)**

**PRESENTA:**

**JULIO ALBERTO SOLÍS FUENTES**

**MÉXICO, D. F.**

**1998**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

25/10/1998



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAGINACIÓN  
DISCONTINUA

# CONTENIDO

## Resumen/Abstract

## Índice de tablas y figuras

### 1. Introducción

- 1.1. El carácter relativo del concepto de residuo
- 1.2. Enfoques para el manejo, estudio y atención de los residuos
  - 1.2.1. La disposición de los residuos
  - 1.2.2. El enfoque de tratamiento en el manejo de los residuos
  - 1.2.3. El aprovechamiento de los residuos
- 1.3. El estado del arte del aprovechamiento de residuos de la agroindustria alimentaria

### 2. La pulpa y el mucílago del café

- 2.1. Importancia de los residuos del procesamiento húmedo del café
- 2.2. Composición química y usos potenciales de la pulpa de café
  - 2.2.1. Composición química
  - 2.2.2. Usos actuales y potenciales
  - 2.2.3. Contribución experimental:  
Remoción de cafeína y polifenoles de la pulpa usando procesos de lixiviación con agua
- 2.3. Composición química y usos potenciales del mucílago de café
  - 2.3.1. Composición química
  - 2.3.2. Usos actuales y potenciales
  - 2.3.3. Contribución experimental:  
Obtención de pectinas a partir del mucílago de café

### 3. Los residuos provenientes del procesamiento de frutas

#### 3.1. Semilla de mango

- 3.1.1. El mango (*Mangifera indica*), importancia económica y social
- 3.1.2. Características fisicoquímicas y nutricias del mango
- 3.1.3. Los residuos del consumo e industrialización del mango
- 3.1.4. Composición de la almendra de la semilla del mango
  - 3.1.4.1. Los lípidos de la almendra de la semilla de mango
  - 3.1.5. Contribución experimental:  
La grasa de almendra de semilla de mango como posible sustituto de la manteca de cacao

*Con respeto y agradecimiento por la revisión y por sus valiosas observaciones en relación a este trabajo. A los miembros del jurado:*

*DR. Ernesto Moreno Martínez*

*DRA. Sara Valdés Martínez*

*M. en C. Ruth Pedroza Islas*

*M. en C. Angela Sotelo López*

*DR. Mario Vizcarra Mendoza*

*Con especial agradecimiento a la DRA. Carmen Durán de Bazúa, Directora de Tesis. Mi aprecio y reconocimiento a su alta calidad como profesional y como ser humano.*

*Para toda mi familia con singular cariño. En especial para mi madre y para Lilú.*

## RESUMEN

En este trabajo, se realiza una revisión de la importancia que tiene el estudio y manejo de los residuos sólidos y líquidos de la agroindustria alimentaria, haciendo énfasis en la necesidad de considerar y procurar su aprovechamiento. Se presentan cinco casos tipo de residuos provenientes de agroindustrias que procesan productos agrícolas de alta producción y consumo en México y el Estado de Veracruz; en específico: del beneficiado húmedo del café, de la agroindustria procesadora de frutas y de la industria beneficiadora de arroz.

La pulpa y el mucilago de café, la almendra de semilla de mango, las melazas "cítricas" y el salvado del arroz, son materiales residuales importantes desde el punto de vista ecológico, económico y nutricional que han sido estudiados profusa y ampliamente por investigadores en diversos lugares del mundo y que permiten ejemplificar la riqueza potencial que mantienen los innumerables residuos biológicos que la actividad productiva alimentaria genera y el modo y estado de conocimiento de sus características y alternativas de aprovechamiento. Se citan aquí aportes valiosos de estudiosos y grupos de investigación, incluyendo algunas contribuciones del autor, en la construcción del conocimiento necesario para contar, en el futuro, con tecnologías que rescaten tales materiales de su condición de residuos para su transformación en materias primas y bienes de consumo económica y socialmente necesarios.

### **3.2. Melaza cítrica**

- 3.2.1 Los cítricos y la industria juguera en México
  - 3.2.1.1. El proceso de elaboración de jugos naturales y concentrados
  - 3.2.1.2. Recuperación de residuos en el proceso tradicional
  - 3.2.2. Composición química de la melaza “cítrica”
  - 3.2.3. La melaza “cítrica”, como residuo en el proceso
- 3.2.4 La producción de levaduras como alternativa de uso de la melaza “cítrica”
  - 3.2.4.1. Las levaduras en la industria
- 3.2.4.2. Contribución experimental: Crecimiento de *S. cerevisiae* en melaza cítrica
  - 3.4.2.3 Simulación en computadora del crecimiento de *S. cerevisiae*

### **4. Salvado de arroz**

- 4.1. Importancia económica y social del arroz
- 4.2 El procesamiento industrial del arroz
- 4.3. Características fisicoquímicas del salvado de arroz
- 4.4. Los procesos de deterioro: acción enzimática y enranciamiento
  - 4.4.1. Las características de las lipasas y peroxidases del salvado de arroz
  - 4.5. La estabilización bioquímica del salvado de arroz
    - 4.5.1. Contribución experimental:  
Estabilización de salvado de arroz por tratamiento combinado químico-calentamiento dieléctrico
- 4.6. Perspectivas en el procesamiento y desarrollo de productos de salvado de arroz

### **5. Discusión final**

### **6. Conclusiones y recomendaciones**

### **7. Bibliografía**

### **8. Anexos**

## Índice de tablas

Número	Nombre
1.1	Ubicación de los residuos en relación a sus valores de uso y de cambio
2.1	Demanda bioquímica de oxígeno en aguas residuales de diferentes orígenes
2.2	Composición química de la pulpa de café
2.3	Perfil de aminoácidos de la pulpa de café
2.4	Composición química del mucilago de café
2.5	Características fisicoquímicas de las pectinas de café
2.6	Efectos fisiológicos adversos observados en animales alimentados con pulpa de café
2.7	Cambios en la composición química de la pulpa de café ensilada
2.8	"Detoxificación" de la pulpa de café con <i>P. roqueforti</i>
2.9	Niveles de cafeína y polifenoles de la pulpa fresca y fermentada con hongos filamentosos
2.10	Pérdida de polifenoles y cafeína de la pulpa de café fermentada con basidiomicetos
2.11	Características fisicoquímicas de las aguas del primer lavado en el procesamiento húmedo del café
2.12	Balace de sólidos en las aguas de primer lavado del mucilago de café
3.1	Principales variedades de mango cultivadas en el mundo
3.2	Características morfológicas del fruto del mango
3.3	Rendimiento de las diferentes porciones del mango
3.4	Composición de la pulpa de mango
3.5	Composición de la fibra de mango
3.6	Composición proximal del núcleo de la semilla de mango de diversas variedades
3.7	Índice antioxidante del polvo de almendra de semilla de mango (PASM)
3.8	Características promedio de la grasa de semilla de mango
3.9	Distribución de los ácidos grasos en la grasa de semilla de mango
3.10	Porcentaje promedio de pulpa y residuos de cinco variedades de mango cultivadas en México
3.11	Rendimiento de extracción de grasa de la semilla de mango de 5 variedades cultivadas en México
3.12	Composición de las grasas de semilla de 5 variedades de mango y de la manteca de cacao
3.13	Características fisicoquímicas de la grasa de semilla de mango manila y de la manteca de cacao
3.14	Resumen del análisis de varianza
3.15	Producción de los principales países productores de naranja y exportadores y productores de cítricos
3.16	Japón: demanda de jugos concentrados
3.17	Cítricos y naranja procesados en los principales países productores para 1990/91
3.18	Composición característica de la melaza "cítrica"
3.19	Levaduras "industriales"
3.20	Levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , composición promedio
3.21	Biotransformaciones importantes realizadas por levaduras
3.22	Saborizantes producidos por levaduras
3.23	Estructura de costos de procesos fermentativos típicos



- 3.24 Composición de la melaza "citrica" de piña
- 3.25 Consumo de azúcares reductores totales (ART) y concentración celular (CC) de *S. cerevisiae*
- 3.26 Velocidades específicas de crecimiento y tiempo de duplicación de *S. cerevisiae* en melaza "citrica"
- 3.27 Adecuación de los datos al modelo de Lineweaver y Burk
- 3.28 Constantes cinéticas de crecimiento de microorganismos en diferentes sustratos
- 4.1 Producción de arroz palay en el mundo, 1980
- 4.2 México, producción nacional de arroz palay en 1995
- 4.3 Composición proximal del salvado de arroz
- 4.4 Aminoácidos del salvado de arroz
- 4.5 Actividad amilolítica del salvado de arroz
- 4.6 Contenido en ácidos grasos del aceite de salvado de arroz de diferentes variedades cultivadas en México
- 4.7 Vitaminas en el salvado de arroz
- 4.8 Análisis proximal de salvado de arroz de un molino arrocero de Córdoba .Ver.
- 4.9 Porcentaje de ácidos grasos libres en muestras de salvado de arroz estabilizadas por diferentes métodos después de 50 días de almacenamiento
- 4.10 Efecto de la temperatura, pH y humedad en el porcentaje de ácidos grasos libres del salvado de arroz después de 50 días de almacenamiento
- 4.11 Análisis de varianza de la regresión
- 4.12 Porcentaje de ácidos grasos libres calculados a partir del modelo ajustado

# 1. Introducción

La agroindustria es un proceso de trabajo complejo que integra aspectos importantes de la realidad material y social del hombre: la naturaleza y las capacidades sociales de transformación.

Tales capacidades sociales de transformación, perfectibles en el hombre, no siempre ni en todo lugar, han llevado a las sociedades humanas a derroteros mejores o estadios más elevados de desarrollo. En muchos casos de la historia y todavía de la actualidad, aquella denominada lucha con la naturaleza ha sido llevada al cabo con un estricto apego a su significado literal y en consecuencia la derrota del contrario o el "triumfo del hombre" se han traducido en una destrucción considerable del o de los ecosistemas o del medio natural del cual el hombre es integrante.

Desde aquellos trabajos pioneros del Club de Roma o de la Comisión Bariloche que preveían el agotamiento de los recursos naturales ante una población mundial, literalmente en explosión y en un planeta finito, el peligro de devorarnos el mundo se antojaba inminente. Afortunadamente, esas habilidades del hombre para transformar la naturaleza han ido corriendo acordes, optimistamente hablando, con una creciente toma de conciencia en torno a la integridad de los procesos bióticos -incluidos los humanos- y a su concordancia ineluctable con las formas de desarrollo. De acuerdo con Sachs (1974), ambiente y desarrollo son caras de un mismo rostro, que las crisis, las catástrofes ecológicas o sociales han develado en los últimos años, a veces con notable dramatismo. Cada estilo de desarrollo de la sociedad va determinando sus efectos sobre el medio.

Los nuevos paradigmas tecnológicos han abierto a América Latina un escenario completamente diferente al prevaleciente hasta mediados del siglo XX. La dimensión endógena del desarrollo y el objetivo de hacerlo sustentable han incorporado dos componentes determinantes para el futuro: el bienestar humano y la protección del ecosistema. Tal vez todavía no se ha llegado al momento en el que la sociedad mundial mantenga una actitud racional en el aprovechamiento de muchos recursos naturales. Quizá esté aún lejano el día en que predomine una visión integral en el desarrollo de la humanidad, más lo estimulante es sin duda constatar el esfuerzo creciente de algunos sectores de la sociedad mundial por procurar mantener y fortalecer los lazos inherentes del hombre con la naturaleza.

## Índice de figuras

Número	Nombre
2.1	Fruto del café
2.2	Balance de materiales en el procesamiento industrial del café
2.3	Alternativas de uso de la pulpa y mucilago de café
2.4	Remoción de cafeína de la pulpa de café por lixiviación
2.5	Remoción de polifenoles de la pulpa de café por lixiviación
2.6	Porcentaje de recuperación de pectinas a partir de las aguas de primer lavado usando óxido de calcio, etanol e isopropanol
3.1	"Iconos de amibas" de Fourier para las variables estudiadas
3.2	Diagrama de árbol del análisis de "clusters" para los ácidos grasos
3.3	Diagrama del proceso para la producción de jugos concentrados de frutas
3.4	Balance de materiales en la obtención del licor de prensado
3.5	Diagrama de flujo en la obtención de las melazas "cítricas"
3.6	Consumo de azúcares reductores totales (ART) por <i>S. cerevisiae</i> en melaza "cítrica"
3.7	Cambio en la concentración de células de <i>S. cerevisiae</i> en melaza "cítrica"
3.8	Crecimiento celular de <i>S. cerevisiae</i> en melaza "cítrica". Simulación por computadora
3.9	Crecimiento celular de <i>S. cerevisiae</i> en glucosa. Simulación por computadora
3.10	Crecimiento celular de <i>A. nidulans</i> en glucosa. Simulación por computadora
3.11	Crecimiento celular de <i>G. candidum</i> en glucosa. Simulación por computadora
3.12	Crecimiento celular de <i>A. aerogenes</i> en glucosa. Simulación por computadora
4.1	Diagrama de bloques del proceso de beneficiado de arroz
4.2	Estructura del grano de arroz
4.3	Esquema de autooxidación de lípidos
4.4	Efecto del pH sobre la actividad de la lipasa de arroz
4.5	Efecto de la temperatura sobre la actividad de la lipasa de arroz
4.6	Diagrama del proceso alcalino para la extracción de proteína de salvado de arroz
4.7	Efecto del tipo de tratamiento en el porcentaje de ácidos grasos libres en el salvado de arroz
4.8	Gráfica de contorno: Porcentaje de ácidos grasos libres en función de la temperatura de calentamiento y pH del salvado de arroz
4.9	Gráfica de contorno: Porcentaje de ácidos grasos libres en función de la temperatura de calentamiento y porcentaje de humedad del salvado de arroz
4.10	Gráfica de contorno: Porcentaje de ácidos grasos libres en función de pH y del porcentaje de humedad del salvado de arroz
4.11	Superficie de respuesta: Porcentaje de ácidos grasos libres en función de temperatura de calentamiento y pH del salvado de arroz
4.12	Superficie de respuesta: Porcentaje de ácidos grasos libres en función de la temperatura de calentamiento y del porcentaje de humedad del salvado de arroz
4.13	Superficie de respuesta: porcentaje de ácidos grasos libres en función del pH y del porcentaje de humedad del salvado de arroz

La cuestión del aprovechamiento de los residuos que genera la actividad humana y productiva del hombre, no es algo nuevo. De hecho se puede inferir que esto se ha presentado -no precisamente como acto reflejo- cada vez que un grupo social humano se ha enfrentado a la escasez o ausencia de sus satisfactores más elementales, ante necesidades crecientes, como puede ser el caso de proveerse de alimentos. Alimentos que, hoy en día, en casi todo tipo de colectividad, es menester sean sujetos de algún tipo de procesamiento -sencillo o complejo- previo a su consumo. Tal circunstancia producto del llamado "proceso de modernización" de las sociedades a nivel mundial y propia de las formaciones sociales dominantes, se materializa en una corriente enorme y variada de materiales considerados residuales que, en el caso de la producción y procesamiento de alimentos, tienen un origen y características biológicas tales que su existencia y disposición final, a menudo significan un problema a la par que una enorme potencialidad.

Si bien el proceso industrializador, cuyos resultados de gran magnitud en ciertos lugares (que en su efecto negativo ha provocado graves contaminaciones), ha ido sugiriendo, recomendando o imponiendo acciones para el tratamiento de los residuos. Las crecientes limitaciones en la disponibilidad de materias primas, el estancamiento de la productividad, etc, que se dan por diversas razones de los ecosistemas y economías mundiales y locales, han orientado la atención hacia el reciclamiento y aprovechamiento ulterior de un gran número de residuos.

El presente trabajo contiene parte del producto de cuatro años de operación de un proyecto general de investigación, coordinado por el autor, que se viene desarrollando en el Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Veracruzana con la participación de investigadores de otras instituciones de educación superior y, de un modo destacado, de egresados de las facultades de Ingeniería Química y Química Farmacéutica Biológica de la Universidad Veracruzana, tanto en actividades de servicio social como en otras tendientes a conformar trabajos recepcionales para la obtención de sus tesis. El proyecto denominado "Aprovechamiento de Residuos Agrícolas y Agroindustriales del Estado de Veracruz", estudia de un modo sistemático los múltiples y variados materiales residuales de origen biológico que se logran durante la operación de los procesos productivos, principalmente alimentarios, en la región de Veracruz, con el fin de encontrarles alternativas de uso, tecnológica y económicamente viables. Además, el proyecto pretende contribuir a difundir la importancia de fortalecer y mantener una visión de aprovechamiento integral de los recursos renovables, principalmente de aquellos que están relacionados con la producción primaria y el procesamiento de alimentos.

En este documento, se realiza primero, un comentario exploratorio hacia un mejor entendimiento de los conceptos de recurso, residuo y subproducto, poniendo énfasis en el carácter relativo del concepto, dada su relación estrecha con los niveles de conocimiento científico y técnico y con los

conceptos de "valores de uso" y "valores de cambio" que tácita o definitivamente les son asignados. Se realiza, a manera de ejemplo, una revisión del estado reciente en torno a las propiedades y alternativas de uso de los residuos o subproductos de algunas de las agroindustrias más importantes en México y otros países, como lo son: la industria cafetalera, aquella que procesa frutas para la elaboración de jugos y otros productos de fruta y la industria beneficiadora de arroz. Los casos específicos estudiados en lo que se refiere a los residuos logrados durante el beneficiado húmedo del café son: la pulpa y mucílago de café; los que se logran durante la elaboración de conservas de mango y jugos concentrados de fruta: la almendra de semilla de mango y la melaza "titrica" y el importante "subproducto" del beneficiado del arroz: el salvado de arroz. Estos son materiales que han venido siendo estudiados, mediante el mencionado proyecto general de investigación, como proyectos modulares, en los últimos cuatro años. Se resumen así, algunas de las pesquisas más relevantes que se han realizado, en relación a estos residuos comparando los resultados aquí obtenidos con aquellos que, en los últimos años han sido desarrollados en diferentes regiones geográficas del mundo. Incluyen algunas aportaciones originales resultado de las experiencias del autor referente al estudio experimental de estos materiales (que han sido presentadas en diversos foros nacionales e internacionales).

### **1.1. El carácter relativo del concepto de residuo**

Los residuos así como los recursos naturales, son conceptos sujetos a un estadio de conocimiento y desarrollo tecnológico determinado. El carácter de residuo o de recurso para un mismo material tiene así una determinación histórica y social; esto es, depende del lugar y del momento en que se considere, en términos de las necesidades y progreso técnico de la sociedad. Las desigualdades regionales en tiempo y espacio, en la esfera del progreso técnico se traducen entonces en connotaciones o calificativos diferentes -de residuo o de recurso- para un mismo material. De este modo el progreso técnico visto como el conjunto de conocimiento y capacidades materiales y sociales para transformar un material en un bien útil con posibilidades mercantiles, aparece como el elemento primordial que le dará a los residuos su posibilidad como recursos.

Si se considera el proceso completo que se requiere para transformar la "calidad de residuo" de un material en su opuesto, el de recurso, implica el considerar además de los procesamientos fisicoquímicos necesarios para convertirlo en bienes de utilidad, las variables económicas que en un sitio y momento concreto lo llevan a ser también un bien intercambiable. En otras palabras, el residuo debe incorporarse a la esfera de la producción dotándolo de un valor de uso y a la esfera de la circulación mediante la asignación de un valor de cambio. De hecho, se pueden distinguir y aún clasificar los materiales que intervienen en, y resultan de, la actividad productiva a partir de

los niveles que tienen incorporados de valores de uso y cambio. Como valor de uso se entiende el valor que poseen las cosas debido a sus cualidades materiales intrínsecas y por valor de cambio, aquel que poseen las cosas en el mercado. La tabla 1.1 proporciona los niveles relativos de estos valores a fin de ubicar convenientemente los residuos.

**Tabla 1. 1. Ubicación de los residuos en relación a sus valores de uso**  
(Solís-Fuentes, 1995)

Material	Valor de uso	Valor de cambio
Materias primas	bajo/alto	bajo
Productos	bajo/alto	alto
Subproductos	bajo/alto	bajo
Residuos	nulo/bajo	nulo

Como fácilmente puede observarse, la distinción tajante entre algunos de estos conceptos, para casos concretos, no siempre puede darse. El correspondiente a materia prima, los llamados productos intermedios o a los aquí indicados como subproductos, pueden asignarse, en un cierto caso, con propiedad, para un mismo material que fuera, a la vez, base para un proceso industrial, proveniente de otra industria y/o ser el producto secundario de un cierto proceso productivo. O el de subproducto y residuo ante el caso de un subproducto con un bajo valor de uso y una baja capacidad para ser comercializado al grado de no entrar a la esfera de la circulación mercantil en una economía o región concreta. Sin embargo lo que resalta en todo ello es que hay ciertos materiales resultantes de la actividad productiva que pueden poseer -sin conocerse-, incrementar o incorporar valores de uso, mediante el ahondamiento en el conocimiento de sus propiedades, procesamiento o transformación. En cuanto al valor de cambio, si bien es cierto que estaría determinado por las leyes económicas, su posibilidad dentro de la esfera de la circulación estaría influida por la eficiencia tecnológica y económica de los procesos involucrados en su transformación.

## 1.2. Enfoques para el manejo, estudio y atención de los residuos

En el manejo de los residuos provenientes de la producción y procesamiento de los alimentos pueden distinguirse algunos enfoques que han venido orientando dicha actividad y que han

determinado, hasta cierto punto, el modo, grados y medios de atención de los mismos, así como el destino y efectos finales que tienen estos materiales sobre el ambiente.

De este modo puede hablarse de tres enfoques principales: el que podría denominarse de disposición de residuos, el que orienta hacia el tratamiento de los residuos y el que recomienda su aprovechamiento.

### **1.2.1. La disposición de los residuos**

Éste es sin duda el más antiguo de los enfoques, mismo que ha venido siendo reemplazado o complementado por los otros. Está referido al objetivo principal de resolver la ubicación final de los residuos sin profundizar mayormente sobre las características fisicoquímicas, potencialidades, efectos contaminantes, o impactos ambientales que provoca su devolución al medio ambiente. De hecho, este enfoque privilegia la racionalidad económica de beneficio máximo y corto plazo que caracteriza a los agentes económicos de la formación capitalista, sobre cualquier otro de los aspectos sociales o ecológicos.

Tal vez no sea necesario abundar mucho en cuanto a los notables efectos contaminantes y depredadores de los ecosistemas que, en algunos casos para ciertos tipos de industrias, han acarreado las acciones orientadas por este tipo de visión, mismo que pareciera considerar al entorno ambiental de las factorías como un resumidero inmutable y sin fondo. Es importante apuntar que, si bien este enfoque predominó en las primeras etapas del proceso industrializador y continuó hasta poco antes de que la contaminación fuera considerada una problemática seria en los llamados países avanzados, continúa siendo el que rige en la orientación del manejo de ciertos residuos en los que las características propias del residuos, el nivel de conocimiento científico y tecnológico sobre sus propiedades y posibilidades de tratamiento o reciclamiento es poca y los esfuerzos se dirigen tan sólo a resolver su disposición al medio ambiente.

En cuanto a los residuos de la agroindustria, este enfoque se vió y aún en algunas regiones se ve, favorecido por el hecho de que la calidad biodegradable de los mismos ha permitido, en ocasiones, por largos periodos, su asimilación natural, real o aparente, por parte de los ecosistemas. También en la actualidad este enfoque suele ser predominante en el manejo de residuos en áreas y regiones subdesarrolladas de industrialización incipiente y también donde el marco legal referente a cuestiones ambientales es inexistente o su aplicación es de tal modo ineficiente que favorece la deposición indiscriminada de los residuos.

### **1.2.2. El enfoque de tratamiento en el manejo de los residuos**

Este criterio significó un gran avance en cuanto al manejo de residuos y alivio de la contaminación. Está soportado en racionalidades ecológicas, más que económicas y en su aparición estuvo precedido de un conjunto de reflexiones en torno a las relaciones entre la ecología y el desarrollo de las sociedades y en torno a los costos ecológicos de ciertos estilos de desarrollo (Restrepo-Fernández, 1976). Este enfoque toma cuerpo una vez que es aceptado en muchos ámbitos que la contaminación del ambiente por efecto de las descargas residuales es una problemática que debe abordarse mediante acciones que permitan reducir o eliminar el desequilibrio en los sistemas naturales, incidiendo sobre las características fisicoquímicas de los residuos mediante su procesamiento ulterior, previo a su disposición al medio ambiente. De este modo, mediante esta visión del manejo de los residuos, se intenta lograr una disminución considerable de la contaminación al limpiar y mejorar los procesos productivos y reducir, en términos globales, los costos ambientales de la producción.

De la gama de residuos que se obtienen en las diferentes industrias y/o agroindustrias, los residuos fluidos han encontrado en este enfoque un criterio de amplitud para su manejo. Así, para el tratamiento de efluentes, se han desarrollado tecnologías para su filtración, oxidación u otro tipo de modificación necesaria que reduzca los impactos ambientales. En general, este enfoque ha permitido la modificación de las tecnologías existentes y el desarrollo de las llamadas "tecnologías más limpias" (cleaner technologies en inglés)

### **1.2.3. El aprovechamiento de los residuos**

Este enfoque surge de la necesidad de darle una nueva concepción al proceso de desarrollo de los pueblos, rebasando en mucho las meramente economicistas y las puramente conservacionistas de los medios naturales. En un cuerpo teórico más amplio, en lo que se conoce dentro de las teorías del desarrollo como ecodesarrollo, la variable "medio ambiente" se incluye en la clásica función de producción junto con el trabajo, la tierra y el capital para que, enlazados mediante la tecnología, permitan la producción de los bienes necesarios para la población en condiciones de rentabilidad económica y estabilidad ecológica, dotando al proceso productivo de una nueva racionalidad (Sachs, 1974; Gallopin, 1976). La utilización de este enfoque ha permitido evitar en muchos casos la contaminación, encontrar o mejorar los valores de uso y/o cambio de los residuos, aumentar la oferta de bienes y mejorar en muchos casos, la productividad global de los procesos productivos.



Este enfoque, en primera instancia, mantiene el criterio de que todo residuo es potencialmente utilizable en la medida en que las necesidades humanas crecientes y el desarrollo científico y técnico en torno a él así lo justifiquen.

Es claro que aunque el aprovechamiento de los residuos pueda significar que los procesos productivos se realicen haciendo un uso integral, su diversidad aunada al estado del arte actual en el aprovechamiento de muchos residuos, que en sí mismos y por su procesamiento, generarían muchos otros, hace materialmente imposible considerar la desaparición absoluta de los residuos. Sin embargo, es de esperarse que el proceso encontrado para el aprovechamiento de un residuo, además de provocar una ampliación de la oferta de bienes, resulte en residuos de menores efectos adversos al medio ambiente, en términos del equilibrio de los ecosistemas.

Por otro lado, el aprovechamiento de los residuos no implica solamente la posibilidad de reducir sus efectos contaminantes, sino que se orienta a encontrarles un uso o a provocar un uso más eficiente, minimizando los costos económicos, sociales, energéticos, etc. de los procesos, como es el caso de muchos materiales de este tipo que provienen de la actividad agrícola, pecuaria, pesquera o agroindustrial, que son biodegradables y cuyo impacto ambiental en muchos casos por ello se ve notablemente minimizado.

Hasta hace algunos años y como resultado de la previsión en el agotamiento de algunos recursos naturales de los denominados no-renovables, se difundió la idea, que en muchos lugares ha tenido calidad de norma, de darle un uso racional no dispendioso a tales recursos. En contraposición, los llamados recursos renovables, por esta última condición, se vieron expuestos a un uso ineficiente e irracional, tan solo limitado, en algunos casos por consideraciones de tipo económico. Hoy en día, los recursos naturales renovables se están viendo limitados por una gran cantidad de factores que hace evidentemente cuestionable, para el futuro, ese carácter de renovación a los niveles requeridos del proceso de expansión y cambio de la población del planeta. Los efectos del ritmo de erosión y desertificación de la tierra potencialmente útil para la agricultura, silvicultura o ganadería, la creciente angostura en la disponibilidad de los recursos acuíferos, las crisis económicas y la descapitalización de los países pobres y los procesos de pauperización de grandes sectores de la población mundial, recomiendan cuidar con extremo celo no solo los recursos naturales no renovables, sino aquellos que si bien son renovables, su proceso de obtención requiere condiciones y elementos reducidos o limitados, ahora, por la destrucción o desequilibrio de los ecosistemas naturales (Sachs, 1976).

Muchos de estos recursos naturales renovables son las materias primas o los insumos para el funcionamiento de una gran variedad y diversidad de agroindustrias. Las agroindustrias que son

las entidades industriales que procesan recursos naturales de origen biológico son, en muchos casos, el eslabón indispensable entre el proceso de producción primaria de bienes y el consumo de los mismos

Por la misma diversidad y variabilidad que presentan las materias primas de origen biológico, los residuos que las agroindustrias generan, poseerán adicionalmente otra vertiente de variabilidad atendiendo a los diferentes tipos de procesamiento de los cuales provienen. De esta primera condición puede estimarse el tamaño y complejidad que encierra el conocer, transformar y aprovechar los residuos provenientes de la agroindustria.

Gracias a este enfoque en el manejo de los residuos provenientes de la agroindustria se ha logrado ampliar la dotación de materias primas de fuentes no convencionales y la producción de bienes de consumo diverso; ejemplos bien conocidos son los productos generados de la utilización de algunos hasta hace algunos años residuos del procesamiento de caña de azúcar: papel, aglomerados, alcohol, levaduras forrajeras, etc; otro ejemplo es el suero de quesería en forma deshidratada, como jarabe en sus formas hidrolizada o sin tratamiento alguno, etc. No obstante, el panorama actual en relación a la cantidad de residuos que son objeto de reciclamiento en los niveles comerciales es todavía reducido, en proporción a las cantidades que se generan durante los procesos productivos. El nivel de reaprovechamiento para un mismo residuo suele variar, no solo entre las regiones del mundo, sino en ocasiones entre las regiones de un mismo país, ello por diversas razones de orden económico, cultural, institucional, etc.

Actualmente, pueden distinguirse dos vías alternas para el aprovechamiento de los residuos, una es mediante procesamientos fisicoquímicos y otra por procesamientos biotecnológicos. Como su nombre lo indica y dependiendo del residuo que se trate, de sus características y del producto que se proyecte desarrollar en relación a la primera vía, será el conjunto de operaciones físicas o transformaciones químicas de que deba constar el procedimiento completo. Mediante procesamiento biotecnológicos el uso de microorganismos o enzimas bajo condiciones controladas, provocan las transformaciones deseadas en los materiales residuales. Ambos tipos de procesamiento no son necesariamente excluyentes.

### **1.3. El estado del arte del aprovechamiento de residuos de la agroindustria alimentaria**

Los residuos de la agroindustria, como ya se ha mencionado, incluyen una gama amplia de materiales en fase sólida y líquida, preferentemente. El conocimiento y tipificación de tales materiales, su potencialidad como materias primas y su uso y reciclamiento está aún por lograrse

para una gran cantidad de ellos. El proceso completo de generación de conocimiento, creación de tecnología y estrategias de comercialización de un producto a partir de un residuo es un proceso sumamente complejo. Para muchos residuos de la agroindustria, por ejemplo, del ramo alimentario, muchos de estos aspectos han sido de tal modo logrados que en la actualidad en algunas partes del mundo han pasado a ser subproductos importantes que soportan incluso una parte relevante de los costos de producción de los productos principales. En el otro extremo, algunos materiales requieren se inicie el proceso de conocimiento de sus características físicas o químicas más elementales. Entre ambos extremos existe o se difunde el conocimiento en torno a la problemática que representa su disposición actual, a sus características y propiedades, físicas, químicas, termodinámicas, nutricias, etc, posibilidades y modos de procesamiento, patentes o paquetes tecnológicos, etc. En casos concretos, el aprovechamiento del residuo plantea la necesidad de atender antes que todo al estado del arte actualizado en torno a él y, en función de ello, completar los requerimientos de estimación, estudio o investigación. Tales requerimientos de conocimiento pueden caer según sea el caso, en cualesquiera de los niveles de la actividad científica: investigación teórica orientada, para casos en que la utilización práctica del conocimiento en torno al residuo en cuestión, demande un trabajo científico teórico; investigación aplicada en el sentido de caracterizar, por ejemplo, fisicoquímicamente un residuo con el fin de llegar a elaborar un producto útil; investigación tecnológica fundamental, desarrollo experimental de productos, de procesos y de equipos e investigación adaptativa. Esta última para el caso, sumamente frecuente en los países con atraso tecnológico en el que la reutilización de un subproducto o residuo requiere la adquisición de procesos y equipos en el mercado internacional y que requieren algún tipo de adecuación a las condiciones locales, que pudieran deberse a variación en los parámetros fisicoquímicos del residuo, factores ambientales, escalas de producción, etc (Leff, 1976).

Una presentación del estado del arte en el aprovechamiento de los residuos de la agroindustria sería una tarea demasiado amplia, misma que queda fuera de los alcances del presente trabajo, es por ello que se han seleccionado cinco casos tipo que pueden ilustrar los diferentes niveles de aprovechamiento y conocimiento en torno a las características fisicoquímicas, nutricias, etc, de los residuos de la agroindustria alimentaria y a sus potencialidades para llegar a ser recursos de donde puedan obtenerse diversos productos de utilidad. Los casos aquí presentados se refieren a los residuos provenientes del procesamiento húmedo del café, del procesamiento de frutas y del beneficiado del arroz.

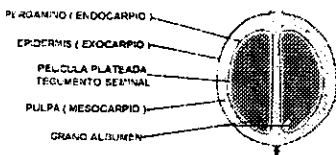
De hecho, estos ejemplos fueron seleccionados porque el autor ha realizado investigación original con cada uno de ellos y los resultados que se presentan fueron derivados de ese trabajo de investigación.

## 2. La pulpa y el mucílago del café

El café es un producto conocido y consumido en todo el mundo. Para obtenerlo, el fruto del cafeto, planta del género *Coffea* de la familia de las Rubiáceas, es sometido a una serie de tratamientos físicos, químicos y/o microbiológicos denominados en conjunto “beneficiado del café”. Este conjunto de operaciones se realiza para obtener y estabilizar fisicoquímica y microbiológicamente el endospermo, conocido por todos como grano de café. El procedimiento tradicional y más generalizado para el beneficiado del café fresco, llamado cereza, es aquel que utiliza etapas de procesamiento que combinando operaciones mecánicas y fermentativas usan una gran cantidad de agua -beneficiado húmedo- para remover el exocarpio y mesocarpio hasta obtener un grano limpio, constituido tan sólo por el endospermo y el endocarpio, que se denomina café pergamino (figura 2.1). Este grano limpio provisto de un contenido de humedad considerable, es sometido a un procesamiento seco, que lo lleva a eliminar gran parte de su contenido de humedad así como el endocarpio o cascarilla.

A partir de ahí, el grano de café puede ser objeto de diferentes tipos de procesamiento dependiendo del producto final a dirigir al consumidor, como café tostado y molido para la preparación de infusiones domésticas o como café soluble con o sin cafeína para la preparación de bebidas instantáneas.

Figura 2.1. Fruto del cafeto



Durante su procesamiento, esquematizado en la figura 2.2, el café genera diversos residuos o subproductos, cuya importancia, potencialidad y problemática ambiental deriva de los volúmenes obtenidos, características fisicoquímicas y estado de conocimiento actual para su tratamiento o aprovechamiento. De estos residuos, los más importantes por la cantidad en que se generan, el

impacto ambiental que provoca su disposición y potencialidad son los que se obtienen durante los procesamientos húmedo: la pulpa y el mucilago; y el seco: la cascarilla.

## 2.1. Importancia de los residuos del procesamiento húmedo del café

En cuanto a los volúmenes de residuos que la actividad industrial cafetalera genera puede estimarse en función del balance de materiales presentado en la figura 2.2, elaborado con base en los resultados reportados por Zuluaga (1989). En ella puede observarse que de cada 100 kg de café cereza procesado por vía húmeda se obtienen 39 kg de pulpa de café fresca y 22 kg de mucilago fresco. Estos porcentajes varían acordes con las variedades de café, condiciones de procesamiento y, para una misma variedad, según los fenotipos logrados. Balances realizados por otros investigadores como Bressani (1978a), muestran que, en promedio, la pulpa representa el 28.7%, el mucilago el 4.9% y la cascarilla el 11.9% del material seco que constituye el café cereza. De acuerdo con estas cifras, en el mundo se estarían logrando anualmente, si todo el café se beneficiara en forma húmeda, algo así como la mitad del peso de la producción de grano como pulpa de café y alrededor de un décimo de este total, como mucilago. Volúmenes considerablemente grandes si se atiende a que, por ejemplo, en el ciclo productivo 1993/94 se logró una producción mundial de 5.6 millones de toneladas de grano de café (ASERCA, 1995). Esto es, tal volumen de producción generó, aproximadamente, 2.9 millones de toneladas de pulpa de café seca y casi medio millón de toneladas de mucilago seco.

Estas cantidades enormes de residuos provocan la necesidad de resolver de inicio su disposición. Ello se ha resuelto tradicionalmente, mediante el amontonamiento de la pulpa en lugares cercanos a las plantas procesadoras, esperando su degradación espontánea y mediante la devolución a los cuerpos de agua cercanos, de las aguas residuales, que removieron, mediante lavados, el mucilago parcialmente degradado durante la etapa fermentativa. El carácter biodegradable de estos residuos y la gran capacidad de asimilación de muchos ecosistemas donde las plantas industrializadoras se han ubicado permitió, durante mucho tiempo, el ocultar la capacidad contaminante de la pulpa y eutroficante del mucilago de las aguas residuales. Sin embargo, los procesos de urbanización, el crecimiento de la población, la presión demográfica sobre la tierra agrícola y el desequilibrio notable en muchos ecosistemas que soportan el complejo cafetalero hicieron evidente la problemática ambiental que dicha disposición genera

Zuluaga y Cookman (1987) y Zuluaga (1989), han estimado y comparado el grado de contaminación de las aguas residuales (de despulpado y de lavado) de los beneficios, con las aguas residuales domésticas. El beneficio de un kilogramo de café cereza equivale en capacidad contaminante al que producen 45.5 litros de aguas residuales domésticas lo que equivale a decir

que un beneficio que procese una tonelada de café limpio por día contamina igual que las aguas residuales domésticas de un núcleo de población de dos mil habitantes en un día.

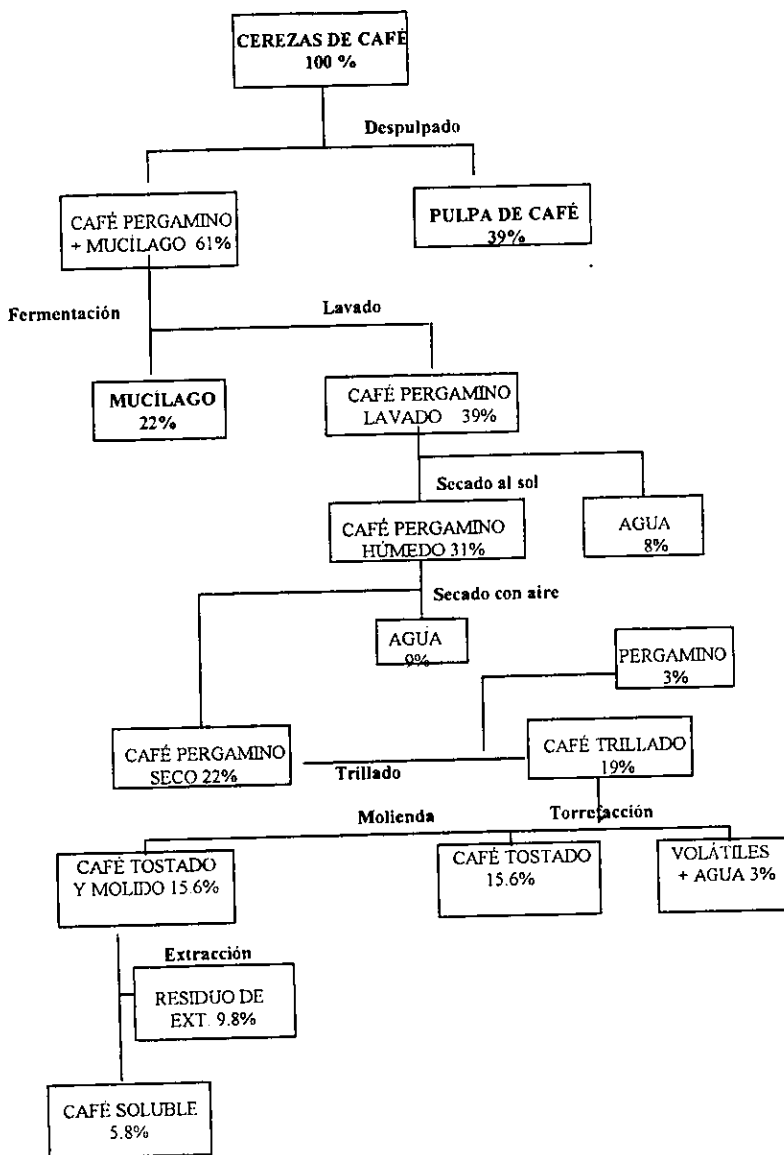
La demanda bioquímica de oxígeno (DBO), una medida indirecta del contenido de material disuelto biodegradable presente en los efluentes, que genera un beneficio de café, se sitúa entre las 3 000 y 10 000 ppm (Rodas, 1987; Arias y Nigiani, 1987), solo inferior a las que arrojan las plantas destiladoras de alcohol o algunos corrales y establos. La tabla 2.1 compara la DBO de las aguas residuales de diferentes orígenes.

**Tabla 2.1. Demanda bioquímica de oxígeno en aguas residuales de diferentes orígenes**  
(Olguín, 1985; Romero-Luna, 1985, referidos por Viniestra, 1986; \*\*Rodas, 1987, Arias y Nigiani, 1987)

Efluente	DBO (mg/L)
Aguas negras	200-400
Efluentes de queserías	800-1500
Efluentes de enlatadoras	250-6000
Empacadoras de carne	700-2000
Efluentes de cervecerías	400-1500
Efluentes de corrales y establos	500-6000
Efluentes de la industria del maíz	3500
Efluentes de la industria azucarera	1850
Efluentes de destilerías	11250
Efluentes de beneficios de café**	300-10000
Curtidurías	5750

El conocimiento de esta alta capacidad contaminante de los residuos de café ha dado la pauta para un gran número de estudios. Una buena cantidad de ellos ha llevado a soluciones que implican principalmente el tratamiento, dejando como un aspecto secundario el aprovechamiento o reciclamiento de los residuos. Este último objetivo ha sido resultado más propiamente del mayor conocimiento que se va generando en torno a las características y propiedades de la pulpa, mucilago y cascarilla.

**Figura 2.2. Balance de materiales en el procesamiento industrial del café**  
(Zuluaga, 1989)



## 2.2. Composición química y usos potenciales de la pulpa de café

### 2.2.1. Composición química

La pulpa de café ha sido ampliamente estudiada en cuanto a su composición química (Jaffe y Ortiz, 1952, Aguirre, 1966; Daquí, 1974, Bressani y col., 1972, Bressani, 1978a,b,c; Elías, 1978, Zuluaga, 1981, 1989)

La tabla 2.2 contiene dicha composición en base seca de acuerdo con los datos obtenidos por el autor de este trabajo y los reportados en la literatura (Solís-Fuentes y col., 1995, Elías, 1978, Zuluaga, 1989)

El contenido de humedad de la pulpa de café fresca es cercana al 80%. La composición en base seca del residuo indica que éste tiene un amplio potencial como alimento. El contenido de proteína es notable, aún cuando hay leves divergencias en cuanto a los datos encontrados en la literatura. Los valores fluctúan entre 8.80 y 11.2% según los valores de Aguirre (1966), Bressani y col (1972), Zuluaga (1989), Rojano- Hernández y col. (1995) y Solís-Fuentes y col. (1995). Es incluso superior al hallado en algunos forrajes tropicales de calidad, como el del forraje de sorgo dulce, heno de avena o rastrojos de maíz y bagazo de caña deshidratado (Morrison, 1977).

En cuanto a la calidad de la proteína Bressani y col (1972), Bendaña y Gómez-Brenes (1977) (referido por Elías, 1978) y Zuluaga (1981) han reportado la composición de aminoácidos de la pulpa de café, mostrando divergencias. No obstante la comparación del patrón de aminoácidos de la pulpa, aún en los valores más bajos encontrados en la literatura, con los correspondientes al maíz y a la proteína de soya, dan cuenta de que la pulpa tiene valores más altos que el maíz y similares a los de la harina de soya, en algunos aminoácidos (tabla 2.3)

Con respecto a la fibra cruda han encontrado variaciones que fluctúan entre 13.2 y 27.6%, lo mismo puede observarse en cuanto a las fracciones de carbohidratos y grasa cuyos valores fluctúan entre 57.8 y 66.1% y 2.3 y 2.5%, respectivamente (Elías, 1978). Esta variabilidad responde, sin duda, a diferencias en las muestras analizadas en cuanto a variedad de café, condiciones de procesamiento o métodos de análisis.

De suma importancia es la presencia de ciertos compuestos químicos que como los taninos, cafeína, ácidos clorogénico y cafeico y potasio proporcionan a la pulpa algunas limitaciones en cuanto a su eficiencia como posible alimento, pero que pudieran representar posibilidades para este residuo como materia prima para otros usos industriales (Cervantes, 1996)



**Tabla 2.2. Composición química de la pulpa de café**  
 ((1): Zuluaga 1989 y \*Elias, 1978; (2): Solis-Fuentes y col., 1995)

Componente	Pulpa seca (1)	Pulpa fresca (2)
	% base seca	
Extracto etéreo	2.68	3.33±0.83
Fibra cruda	16.22	27.26±0.60
Proteína (Nx6.25)	8.82	11.89±2.97
Cenizas	8.72	8.23±0.12
E.L.N.	63.56	50.71±1.13
Carbohidratos totales	79.78	77.97±0.86
Sustancias pécticas totales*	6.5	---
Azúcares reductores*	12.4	---
Azúcares no-reductores*	2.0	---
Taninos (y polifenoles (2))	3.97	3.88±0
Cafeína*	1.30	1.41±0
Ac. clorogénico*	2.60	---
Ac. cafeico total*	1.60	---
Calcio	0.34	---
Fósforo	0.05	---
Potasio	1.76	---
Sodio(ppm)	171	---
Hierro(ppm)	250	---

**Tabla 2.3. Perfil de aminoácidos de la pulpa de café**  
(Mertz, 1972<sup>1</sup> ; Hui, 1992<sup>2</sup> ; Zuluaga, 1989<sup>3</sup>)

Aminoácidos (AA)	gAA/16 g N		
	Maíz <sup>1</sup>	Soya <sup>2</sup>	Pulpa de café <sup>3</sup>
Lisina	3.0	6.4	3.59
Histidina	2.6	2.6	Trazas
Arginina	4.9	7.3	3.79
Ácido glutámico	9.2	18.6	11.55
Ácido aspártico	22.6	11.8	5.25
Treonina	4.1	3.9	3.73
Serina	5.6	5.5	8.84
Prolina	9.6	5.5	4.67
Glicina	4.7	4.3	4.34
Alanina	9.2	4.3	4.32
Cistina	1.7	1.4	Trazas
Valina	5.7	4.6	5.55
Metionina	1.3	1.1	0.78
Isoleucina	4.2	4.6	2.67
Leucina	14.6	7.8	3.82
Fenilalanina	5.8	5.0	3.86

## 2.2.2. Usos actuales y potenciales

En relación a los volúmenes en que se producen durante cada ciclo, es sumamente bajo aún el uso actual de los residuos del beneficiado del café. En la práctica comercial puede decirse que es nulo. Son varios los factores que pueden identificarse como limitantes en el aprovechamiento de estos residuos. Algunos factores tienen que ver con las características propias de los materiales residuales, cuya modificación en ocasiones implica el hacer uso de procesos tecnológicos conocidos pero costosos o de alto consumo de energía; el uso de procedimientos que todavía están en los niveles experimentales y de investigación. Algunos otros factores limitantes se refieren más a aspectos de índole socioeconómica, cultural o política de las zonas donde se producen, como es el caso de la atomización de los predios productores en algunas zonas cafetaleras, las escalas pequeñas en algunas instalaciones de beneficiado y la característica descapitalización de las zonas de producción de los países en vías de desarrollo especializados en la producción de café, el bajo precio de algunos posibles productos a partir de estos residuos, etc.

Puede decirse que todavía en la actualidad, las alternativas para los residuos del café son potenciales, en términos de sus valores de cambio, habiendo un gran número de estudios y propuestas en torno a una gran diversidad de alternativas de uso. La figura 2.3, esquematiza un resumen de las variadas alternativas encontradas en la literatura (Bressani, 1978b, Porres y col., 1987; Zuluaga, 1989).

La utilización más difundida de la pulpa de café es, sin duda, como mejorador orgánico de los suelos. La obtención de este fertilizante orgánico la realizan, por lo general, los propios productores y beneficiadores, en la mayoría de los casos como un resultado de la descomposición natural de los materiales dispuestos y amontonados a cielo abierto, en los lugares aledaños a los beneficios. Una vez que la descomposición es completa, el material resultante se devuelve a los cafetales en forma de abono orgánico.

En las grandes acumulaciones que se llegan a formar en los beneficios, la descomposición natural de la pulpa sólo se efectúa en las capas superficiales; en el resto, a niveles más profundos, los procesos fermentativos, láctico, alcohólico, acético, etc, retardan e impiden el proceso de descomposición orgánica. Aún cuando tales fermentaciones son en estricto sentido un proceso de descomposición, las condiciones de pH -ácidas- así como las condiciones anaerobias limitan el crecimiento de microorganismos de descomposición que provoquen la transformación de la pulpa en productos más estables como los ácidos húmicos y el CO<sub>2</sub>. Las labores de extensión y volteos repetidos de la pulpa o el composteo para el favorecimiento de la descomposición natural son

prácticas cada vez más difundidas en las zonas cafetaleras. El uso de lombrices como *Eisenia fetida* y *Metaphire californica* han sido empleadas en niveles experimentales para la producción de abono orgánico (Aranda-Delgado, 1989).

Otra posibilidad ampliamente difundida y frecuentemente practicada para la pulpa de café es en la alimentación animal, principalmente de bovinos. La pulpa fresca, prensada o deshidratada ha sido usada en los niveles doméstico y experimental. Su potencialidad deriva de su composición química que le da características nutricias aceptables principalmente para rumiantes aún cuando se ha ensayado en aves y ganado porcino. Las limitantes se refieren a su alto contenido de humedad y presencia de algunos compuestos que tienen una actividad antinutricia y tóxica a ciertos niveles de consumo. La cafeína, los compuestos fenólicos, el ácido clorogénico, el ácido cafeico y el potasio han sido de los más frecuentemente citados

El efecto que dichos compuestos de actividad antinutricia ocasiona en lo general en los seres vivos, es bien conocida. Se sabe que la cafeína es estimulante del sistema nervioso central, incidiendo sobre las respuestas psicomotoras, sueño, humor y conducta, además de tener efectos en el sistema cardiovascular, el tracto gastrointestinal, el sistema urinario y el metabolismo en general (IFT, 1987). En cuanto a los compuestos fenólicos, como los taninos, se sabe que los alimentos que los contienen provocan astringencia, forman complejos con las proteínas, que son de difícil digestión, disminuyen los niveles de absorción del hierro y pueden poseer efectos tóxicos y aún carcinogénicos a ciertos niveles de ingestión (De Roza y col., 1985; Rojano-Hernández y col. 1995).

Respecto al efecto del potasio de la pulpa de café (alrededor de 1.765%) en la alimentación de animales, no ha sido del todo establecido. Se ha consignado que, en lo general, los minerales tienen un gran influencia sobre la presión osmótica en los niveles celulares y por ello, en los procesos metabólicos y en lo particular el balance de potasio y de calcio en la sangre, juegan un importante papel en la regulación de las contracciones cardíacas (Bressani, 1978c; Morrison, 1977). Sin embargo, el conocimiento preciso del papel que estos compuestos presentes en la pulpa de café, juegan en el proceso nutricional de los animales alimentados con este residuo, está todavía por completarse. Algunos síntomas y observaciones en animales alimentados con pulpa y que se presume se atribuyen a estos compuestos se resumen en la tabla 2.6, según reportes de Bressani (1978c).

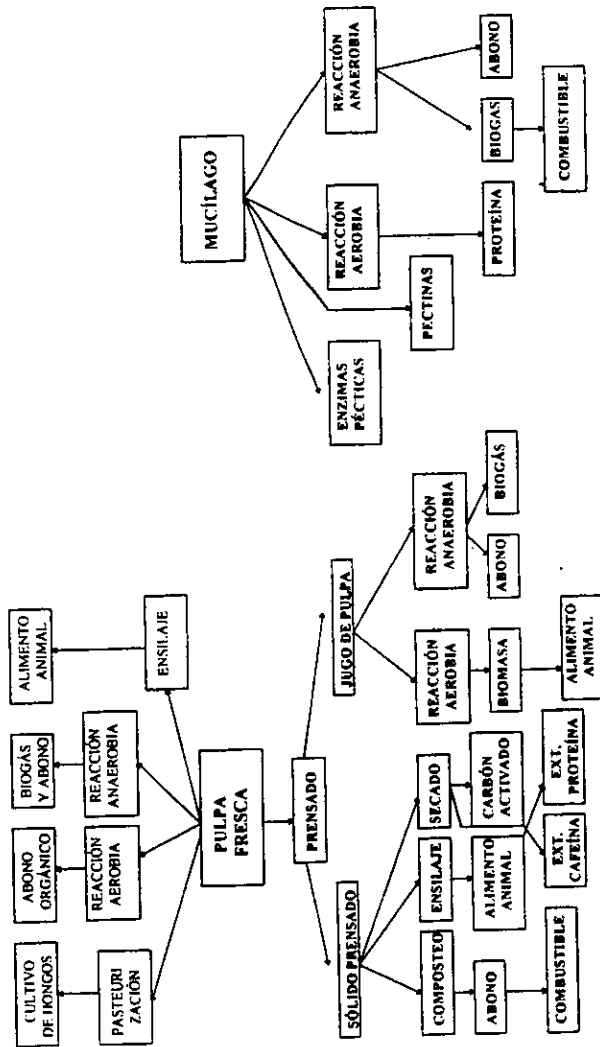


Figura 2.3. Alternativas de uso de la pulpa y mucilago de café (Zubanga, 1989)

**Tabla 2.6. Efectos fisiológicos adversos observados en animales alimentados con pulpa de café (Bressani, 1978c)**

Especie animal	Síntomas y observaciones
Ratas	Bajo consumo de la ración Ampollas en las plantas de los pies y piernas
Polluelos	Bajo consumo de alimentos Eficiencia de conversión, baja Aumento en el consumo de agua Si la calidad proteica de la ración es alta, no se presenta mortalidad hasta un nivel de sustitución del 30% Mortalidad alta con niveles superiores al 30% de la ración
Cerdos	Bajo consumo de alimento Eficiencia de conversión baja No se ha observado mortalidad Nivel recomendado: entre 15 y 20% de la ración Metabisulfito: no tiene ningún efecto Metionina: no tiene ningún efecto Nerviosismo Aumento en la excreción de orina Balance de nitrógeno y digestibilidad bajos
Ganado (de carne y cabras)	Bajo consumo de alimentos y baja palatabilidad Eficiencia de conversión baja Mortalidad esporádica Emaciación cuando el nivel de pulpa de café es alto Aumento de la excreción de orina Balance de nitrógeno bajo Digestibilidad baja de proteína Cafeína y ácido tánico juntos producen hiperactividad Aumento temporal de la libido Nivel recomendado: 20%
Ganado lechero	Ningún efecto adverso Producción normal de leche Nivel recomendado: sin determinar Más investigación es requerida

El modo en que estos problemas han sido encarados, en lo general, todavía en los niveles experimentales, son variados. Incluye diversos tratamientos físicos, químicos y biotecnológicos, entre los que pueden mencionarse, el prensado, la deshidratación, el ensilado, el mezclado en la formulación de raciones, el lixiviado con diferentes disolventes y soluciones, el cultivo de hongos filamentosos en fermentaciones sólidas y el crecimiento de lombrices (Gómez-Brenes, 1978;

Molina, 1978; Murillo y col. 1978; Vargas y col. 1982; Gómez-Brenes y col. 1985; Calzada y Rolz, 1987; Aranda-Delgado, 1989; ; Roussos y col. 1989; Solis-Fuentes y col. 1995; Rojano-Hernández, 1995).

Los resultados en lo general han sido exitosos en la disminución o solución de algunos de los inconvenientes, como reducir los niveles de humedad y bajar las concentraciones de compuestos antinutritivos y tóxicos hidrosolubles. Las tablas 2.7 y 2.8 y las figuras 2.4 y 2.5, contienen los cambios en la composición química de la pulpa sujeta a ensilado, a fermentación con *P. roqueforti* y, a lixiviación, reportados por Murillo y col., (1977), Roussos y col., (1989), Solis-Fuentes y col., (1995) y Rojano-Hernández y col., (1995).

El ensilaje de la pulpa de café, un procedimiento recomendado más para la conservación de la pulpa para favorecer su uso durante los periodos posteriores a los meses del beneficiado, se ha encontrado en algunos estudios como el reportado por Murillo y col. (1977) que mejora la ganancia en peso y la eficiencia alimenticia en novillos en comparación con la pulpa deshidratada. Tal efecto no está del todo explicado toda vez que, como se muestra en la tabla 2.7, el único aspecto notable es la pequeña disminución en los contenidos de cafeína y taninos, compuestos solubles en agua que se supone se pierden durante el drenado de la pulpa ensilada.

La utilización de la pulpa en animales de diversas especies, mediante el mezclado con otros materiales en la formulación de raciones, ha llevado a determinar por ahora que, en cerdos, el 16% de pulpa como límite máximo en mezclas con maíz y harina de torta de soya, no ha provocado efecto detrimental alguno, tanto en ganancia de peso como en conversión alimenticia (Jarquin, 1978). En bovinos alimentados con más del 20% de pulpa en las raciones ha provocado bajas eficiencias en la utilización del nitrógeno absorbido y trastornos en la función urinaria (Cabezas y col., 1978). En aves y peces, aún cuando los resultados de experimentos realizados no pueden ser concluyentes, las perspectivas no parecen promisorias en el uso de la pulpa de café, sin un tratamiento previo, que baje los niveles de sus principales factores antinutricios (Braham, 1978; Gómez-Brenes y col., 1985).

Otras posibilidades que se han estudiado y planteado para la pulpa es la de su uso como sustrato para el crecimiento de microorganismos. La expresión de la pulpa mediante prensado, produce un jugo que puede representar hasta el 60% del peso inicial de la pulpa, cuando se usa en combinación con tratamientos térmicos y enzimáticos y una torta de pulpa con mayores ventajas para la deshidratación, combustión, composteo, ensilado u otro tipo de fermentación en estado sólido (Calzada y Rolz, 1987).

**Tabla 2.7. Cambios en la composición química de la pulpa de café ensilada**  
(Murillo y col., 1977)

	Pulpa original	Pulpa ensilada
	% de la materia seca	
Materia seca	17.4	19.7
Paredes celulares	48.0	55.2
Proteína cruda	12.2	13.9
Proteína lignificada	4.5	6.1
Cafeína	0.9	0.6
Taninos	1.6	1.3
Digestibilidad in vitro de la materia seca	67.8	61.7
pH	5.6	4.2

**Tabla 2.8. "Destoxificación" de la pulpa de café con *P. roqueforti***  
(Roussos y col., 1989)

Tiempo h	pH	Humedad %	% Degradación de cafeína
0	4.44	69.1	0
12	4.41	68.5	0
27	4.58	70.5	13
35	4.51	69.7	22
48	4.51	69.7	73



La fermentación de la pulpa mediante el crecimiento de hongos filamentosos y basidiomicetos de los géneros *Agaricus* y *Pleurotus*, como el *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus flabellatus* y *Pleurotus sajorcaju* ha resultado en alternativas prometedoras. Guzmán y Martínez-Carrera (1987) así como De León y col. (1987) han reportado los métodos y resultados en la producción de estos hongos en sustratos constituidos fundamentalmente por pulpa de café, encontrando adicionalmente un efecto de reducción en los niveles de cafeína y polifenoles de la pulpa fermentada. Las tablas 2.9 y 2.10 muestran los resultados obtenidos en los niveles de cafeína y polifenoles en la fermentación de la pulpa fresca prensada con *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae* y *Sporotrichum pulverulentum* y la pérdida de polifenoles y cafeína de la pulpa durante el cultivo de los basidiomicetos *P. ostreatus*, *P. flabellatus* y *Phaenerochaete chrysosporium*, respectivamente. El jugo del prensado es un líquido rico en carbohidratos, cuyas concentraciones dependen del nivel del prensado y los tratamientos previos dados a la pulpa y que ha sido probado para la producción de biogás en fermentadores (reactores anaerobios), pero que, teóricamente, tiene posibilidades como fuente de carbono en el cultivo de otros microorganismos, como ha sido ensayado con las aguas de lavado del procesamiento húmedo, en la obtención de proteína unicelular (Bressani, 1978b).

**Tabla 2.9. Niveles de cafeína y polifenoles de la pulpa fresca prensada y fermentada con hongos filamentosos (De León y col., 1987)**

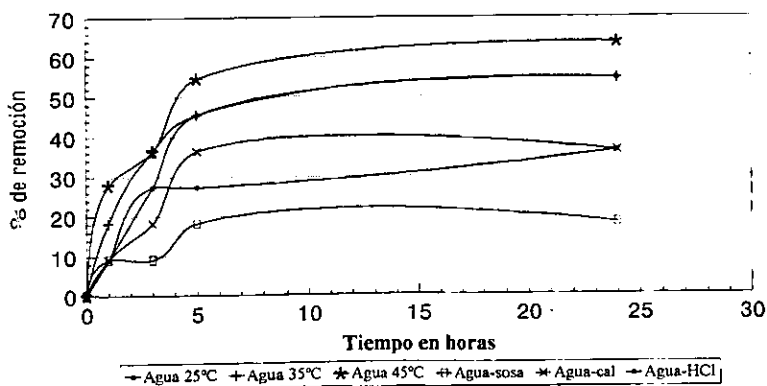
	<b>Cafeína (%)</b>	<b>Polifenol (%)</b>
Pulpa fresca	0.54	0.32
<i>A. niger</i>	0.37	0.33
Pulpa fresca	1.16	1.53
<i>A. oryzae</i>	0.89	0.79
Pulpa fresca	1.16	1.53
<i>S. pulverulentum</i>	0.54	0.71

En la literatura se presenta un diagrama completo del proceso experimental seguido, las técnicas de análisis y las condiciones de operación empleadas para cada lixiviación: temperaturas de 25, 35 y 45°C y proporciones pulpa seca: agua de 1:1, 1:2 y 1:4 (Rojano-Hernández, 1993; Solís-Fuentes y col., 1995). Las soluciones de agua acidulada con HCl tuvieron concentraciones de 1.0M, 0.1M y 0.01M. Las soluciones alcalizadas se obtuvieron usando sosa (1.0M, 0.1M, 0.01M) y cal (1.0M, 0.1M, 0.01M). Una copia del artículo publicado, en relación a estos estudios, se presenta en el anexo al final del presente trabajo.

De entre los resultados obtenidos destacó que la proporción pulpa: agua tuvo un mayor efecto que el cambio de temperatura ensayado en la eliminación de la cafeína y taninos de la pulpa sujeta a lixiviación. Pudo constatarse también que durante las primeras tres horas del proceso se obtuvieron los mayores porcentajes de remoción de estos compuestos (figuras 2.4 y 2.5) e incluso, cuando se usó solo agua y en la mayor proporción pulpa: agua estudiados, se lograron remover hasta el 65% de los taninos y polifenoles contenidos en la pulpa original. De los sistemas de extracción ensayados el tratamiento más simple, con agua, superó a los restantes en la eficiencia de la remoción. Los resultados globales de laboratorio indicaron que más del 60% de la cafeína y del 75% de los taninos y polifenoles que contiene la pulpa de café cereza pueden eliminarse con la lixiviación de la pulpa en una operación en etapa simple usando agua a temperaturas no mayores de 45°C.

**Figura 2.4. Remoción de cafeína de la pulpa de café por lixiviación**

(Rojano-Hernández y col., 1995; Solís-Fuentes y col., 1995)



**Tabla 2.10. Pérdida de polifenoles y cafeína de pulpa de café fermentada con basidiomicetos en (1) 30 y (2) 60 días**  
(De León y col., 1987)

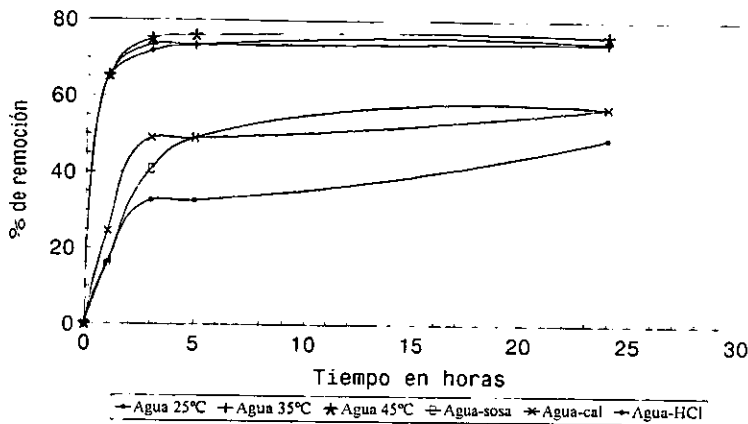
Basidiomiceto		% de pérdida	
		Polifenoles	Cafeína
<i>P. flabellatus</i>	1	41.3	20.7
	2	38.3	30.7
<i>P. ostreatus</i>	1	32.2	15.1
	2	60.8	34.9
<i>P. chrysosporum</i>	1	70.0	12.4
	2	44.0	47.7

El perfil aminoácido de la proteína de la pulpa ha sido el principal motivo para estudiar la posibilidad de obtener aislados proteínicos de pulpa de café. Los resultados no han sido del todo satisfactorios por el hecho de estar presentes en la pulpa compuestos de fácil acomplejamiento con las proteínas evitando o dificultando su extracción. Tales compuestos son los taninos y los fenoles libres, éstos últimos, en la pulpa se oxidan a quinonas (mediante un mecanismo enzimático de encafecimiento), mismas que actúan sobre los grupos esenciales de las proteínas (Bressani, 1978b). Otras posibilidades de extracción a partir de la pulpa se han referido a la descafeinización, como un medio no solo de obtener una pulpa disminuida en sus contenidos de este alcaloide, sino también el de contar con una materia prima para la producción de cafeína, de amplias aplicaciones en la industria de alimentos y farmacéutica.

### **2.2.3. Contribución experimental: Remoción de cafeína y polifenoles de la pulpa usando procesos de lixiviación con agua**

En estudios coordinados por el autor del presente trabajo, se planteó la necesidad de investigar la remoción de polifenoles y cafeína de la pulpa de café de una manera simple, a través de la lixiviación usando agua a diferentes proporciones con respecto de la cantidad de pulpa y a diferentes temperaturas y tiempos de lixiviación; evaluándose también el efecto de un cambio de pH del solvente de extracción.

**Figura 2.5. Remoción de polifenoles de pulpa de café por lixiviación**  
(Rojano-Hernández y col., 1995; Solís Fuentes y col., 1995)



Molina y col. (1974) evaluaron el proceso de descafeinización con agua usando procesos de extracción a 25°C y percolación a 90°C. Mediante este último en el que emplearon altas proporciones de sólido: solvente (1:20) obtuvieron rendimientos altos en la remoción de cafeína (alrededor de 80%) y medianos en la separación de taninos. Los elevados volúmenes de agua y las altas temperaturas empleadas indicarían procesos industriales más costosos, que los que podrían derivar de las condiciones empleadas y los resultados obtenidos en este estudio. Dado que el efecto del pH en el porcentaje de remoción alcanza su valor máximo cerca de la neutralidad, se planteó una segunda fase experimental usando un sistema multietapas para verificar la eficiencia a nivel de banco o planta piloto de la descafeinización y la despolifenolización de la pulpa del beneficiado del café, para estudiar las economías de escala y su viabilidad técnico-económica. Finalmente, una vez obtenidas cantidades mayores de pulpa parcialmente descafeinada y despolifenolizada deberán realizarse pruebas *in vitro* con animales de laboratorio para corroborar su efecto en ganancias en peso y digestibilidad de la proteína.

## 2.3. Composición química y usos potenciales del mucilago de café

### 2.3.1. Composición química

En relación a las partes anatómicas del fruto, el mucilago está constituido por el mesocarpio, mismo que constituye una capa entre 0.5 y 2.0 mm de espesor fuertemente adherida a la cáscara del grano de café. Durante el procesamiento y después del proceso fermentativo, el mucilago parcialmente hidrolizado en algunos de sus constituyentes es acarreado por las aguas de lavado, en una mayor proporción por las aguas del primer lavado, que por esta razón reciben el nombre genérico de mucilago. Este es otro residuo importante del procesamiento húmedo del café.

Físicamente, el mucilago como parte constituyente del fruto fresco, es un sistema coloidal líquido, liófilo. Químicamente es un material complejo constituido principalmente por agua, carbohidratos, ácidos orgánicos y minerales. Hay disimilitud en los componentes reportados para los principales constituyentes del mucilago. La tabla 2.4 contiene las cifras para la composición química del mucilago, según Nadal (1959) y Bressani (1973) citados por Zuluaga (1989). Uno de los componentes de mayor interés y atención de la porción mucilaginoso del café es el constituido por las pectinas, mismas que han sido valoradas y estudiadas por Picado (1934), Carbonell y Vilanova (1952), Coleman y col. (1955), Rolz y col. (1971), Menchú y col. (1974) y Sudhakara Rao (1975), Cleves, (1975), García y col. (1987), Castellanos-Hernández y col. (1993), Solís-Fuentes y col. (1995), entre otros.

García y col. (1987), caracterizaron las pectinas del mucilago y de la pulpa obtenidas en el laboratorio a partir de frutos frescos de café de diferentes variedades, encontrando que las muestras de pulpa estudiadas fueron 1.9 veces más ricas en pectina que las de mucilago (2.09 g de pectina/100 g de sólidos secos de pulpa contra 1.1 g de pectina/100 g de s.s. de mucilago), globalmente 1.22% de pectinas del fruto seco de café.

La tabla 2.5 contiene las características de las pectinas de café comparadas con las correspondientes a las de cítricos según García y col. (1987).

**Tabla 2.4. Composición química del mucílago de café (Zuluaga, 1989)**

Componente	Nadal (1959)	Bressani (1973)
	%	% b.s.
Sustancias pécticas totales	n.d.	35.8
Azúcares totales:	4.1	45.8
- Azúcares reductores	n.d.	30.0
- Azúcares no-reductores	n.d.	20.0
Celulosa + cenizas	n.d.	17.0
Agua	84.2	
Proteína	8.9	n.d.
Ácido péctico	0.91	n.d.
Cenizas	0.70	n.d.

**Tabla 2.5. Características fisicoquímicas de las pectinas de café (García y col., 1987)**

Componente	Café		Cítricos*
	Mucílago	Pulpa	
% Base seca			
Ácido galacturónico	93.00	95.24	93.20
Contenido de metoxilo	9.98	0.41	11.65
% de esterificación	65.76	2.64	76.59
Contenido de acetilo	0.38	0.34	0.30
Nitrógeno	0.10	0.08	0.24
Carbohidratos	49.53	51.73	42.60
Humedad	13.74	14.57	8.35
Cenizas	6.20	1.97	2.96
Peso mol prom (Da)	20 965	-----	86 774

\*Pectina de cáscara de cítrico

### 2.3.2. Usos actuales y potenciales

En lo que respecta al mucilago, acarreado por las aguas de lavado del café fermentado, durante el beneficiado húmedo, ha recibido más atención dentro de un enfoque de tratamiento que de aprovechamiento. No obstante y acorde con el conocimiento de su composición y propiedades, sus alternativas se refieren a (1) sus posibilidades como sustrato en reacciones aerobias para la producción de proteína microbiana o a la vía anaerobia con el fin de propiciar reacciones metanogénicas y (2) la recuperación de enzimas y sustancias pécticas.

A la fecha, el mucilago de café de estas aguas residuales no tiene ningún uso. No obstante, acorde con sus características y composición, se han planteado diferentes posibilidades, entre las que destacan: la recuperación de enzimas pécticas, la obtención de proteína unicelular mediante una reacción aerobia, la recuperación de pectinas y la producción de biogás combustible, esto último mediante reacciones anaerobias, más diseñadas como método de tratamiento de estas aguas residuales que una vía de aprovechamiento.

### 2.3.3. Contribución experimental: Obtención de pectinas a partir del mucilago de café

En estudios coordinados por el autor, (Castellanos-Hernández y col., 1993; Solis-Fuentes y col., 1995) sobre las características fisicoquímicas de las aguas de primer lavado durante el procesamiento húmedo del café, se destacan los niveles de sustancias pécticas (28.0%), azúcares (40.4%) y proteína (9.14%) de la materia seca contenida en éstas. Cabe hacer mención que la materia seca en estos líquidos residuales fluctúa alrededor del 2% y que algunos constituyentes se ven modificados por las reacciones hidrolíticas a las que se ven sujetos durante la etapa de fermentación. El caso de las pectinas es relevante dada la inequívoca participación de las pectinasas que favorecen el desprendimiento de la capa mucilaginoso del grano de pergamino. El resultado adicional de ello son los productos de degradación de la hidrólisis del ácido poligalacturónico lo que modifica algunas de las características de las sustancias pécticas del fruto en fresco.

Orozco (1974), Cleves (1975), Sudhakara-Rao (1975), Castellanos-Hernández y col. (1993) y Solis Fuentes y col. (1995), entre otros, han estudiado y sugerido la posibilidad de recuperar las

pectinas del mucílago de café. Menchú y col. (1974) separaron las pectinas en un rendimiento de 17 g/100 g de mucílago mediante una precipitación alcohólica, previa extracción de las pectinas a un valor de pH de 2. Orozco (1974) coaguló las sustancias pécticas de las aguas de lavado mediante la adición de óxido de calcio y Cleves (1975), realizó estudios de factibilidad de estos procedimientos encontrando amplias posibilidades.

Dentro de esta contribución se recolectaron muestras del mucílago de beneficios industriales de café con períodos de fermentación de 36 horas a temperaturas entre 21 y 23°C y valores de pH finales entre 4.3 y 4.5. Las muestras fueron caracterizadas fisicoquímicamente y tratadas para la recuperación de pectinas de acuerdo con las técnicas y metodología general detallada por Castellanos-Hernández y col. (1993) y Solís-Fuentes y col. (1995). La recuperación de las sustancias pécticas se realizó con tres diferentes agentes: óxido de calcio, etanol y alcohol isopropílico a tres diferentes concentraciones. Las muestras originales sujetas a la precipitación se concentraron en rotavapor a tres diferentes proporciones de mucílago (1:1, 1:0.5, 1:0.25). Con estas soluciones concentradas se probaron los diferentes agentes precipitantes. Los sólidos obtenidos fueron separados por centrifugación a baja temperatura y secados mediante liofilización. Finalmente, se purificaron los compuestos pécticos y caracterizados en términos del índice de metoxilo.

Mediante este procedimiento se lograron recuperar con el etanol hasta casi un 35% de las pectinas originalmente existentes en las aguas residuales (tabla 2.11 y figura 2.6), con un índice de metoxilo de 50.6%, llegándose a la recomendación, como alternativa, estimar la obtención de etanol mediante procedimientos fermentativos de los mismos residuos del procesamiento del café. Esta posibilidad está soportada por los estudios realizados por De Cabrera y col. (1987) en los que obtuvieron rendimientos de alcohol entre 2.4 y 2.9% en fermentaciones con *S. cerevisiae* de grano entero y despulpado de café.

También en estos experimentos se encontró que los sólidos suspendidos en las aguas residuales tienen un notable contenido de nitrógeno que medido como proteína es superior al 30% b.s lo que estaría señalando otra vía probable de aprovechamiento en la alimentación animal, mediante operaciones de filtrado y deshidratación de los sólidos así recuperados. El balance de sólidos mostrado en la tabla 2.12 muestra los contenidos de proteína y sustancias pécticas de los sólidos, tanto solubles como suspendidos, del mucílago de café.



**Tabla 2.11. Características fisicoquímicas del mucilago de las aguas del primer lavado en el procesamiento húmedo del café** (Castellanos-Hernández y col., 1993; Solís Fuentes y col., 1995)

Característica	Valor
Color	Café claro
Densidad, g/mL	1.175
pH	4.300
Sólidos totales, %	2.000
Humedad, %	98.000
Sólidos solubles, %	1.250
Cenizas*	8.900
Proteína*	9.140
Grasa*	1.000
Azúcares:	
Directos*	38.500
Totales*	40.400
Fibra cruda*	1.000
Substancias pécticas*	28.000
% esterificación	50.600

\*Valor % en base seca

**Tabla 2.12. Balance de sólidos en las aguas de primer lavado del mucilago de café**  
(Solís-Fuentes y col., 1995)

1.0 L de mucilago	
152.0 g de sólidos suspendidos	853.2 mL de líquido sobrenadante
96 % de humedad	1.25% de sólidos solubles
6.1104 g de sólidos secos	12.50 g de sólidos secos
2.1% de pectinas/30.98% de proteína	34.5% de pectinas/19.2% de proteína
0.1283 g de pectinas/1.893 g de proteína	4.3125 g de pectina/2.4g de proteína
4.4408 g de pectinas/4.2930 g de proteína/ L de mucilago	

### 3. Los residuos provenientes del procesamiento de frutas

Las frutas son alimentos imprescindibles en la dieta humana, tanto por sus cualidades nutricias como por la insuperable variedad de propiedades organolépticas que estas presentan. Las variadas condiciones ecológicas de las regiones del mundo han provocado la especialización de la producción de especies frutales de un modo, en algunos casos, marcadamente diferenciado. Gracias al procesamiento e industrialización, aún las frutas más restringidas geográficamente en su producción y estacionalidad, pueden estar disponibles como fruta conservada o como producto elaborado a base de ellas, en todo lugar y en toda ocasión. En muchos de los países productores el cultivo, comercialización y procesamiento de frutas se constituyen en actividades económicas importantes. Sin embargo, y si bien la fase industrial de estas actividades, no es considerada entre las de mayor impacto ambiental y generadora de contaminación, su proceso de transformación a menudo genera diversos materiales que en muchos de los casos son considerados como residuos.

México y, especialmente, las regiones ecológicas caracterizadas por su clima cálido y alta humedad se han distinguido por su alta especialización en el cultivo de frutales y, en algunos casos, en el procesamiento de frutas. El estado de Veracruz, en México, es el principal productor de frutas en el país. En él se logran más de 50 especies frutales y en su territorio se ha desarrollado una importante agroindustria procesadora de estos alimentos. El procesamiento industrial de las frutas involucra desde operaciones tan sencillas como la selección y empaquetado de frutas en fresco hasta la extracción de importantes compuestos a partir de ellas o la elaboración de diversos productos derivados de frutas como pueden ser los jugos concentrados, jaleas, mermeladas, refrescos, etc, pasando por la deshidratación y el secado en sus diferentes modalidades.

Los residuos del procesamiento de frutas son diversos y variados y dependen de la especie frutal, producto a elaborar, tipo de procesamiento, tecnología empleada, etc. De la amplia gama de residuos que deriva de ello, se abordan en este trabajo dos de ellos: uno que corresponde a los residuos que entraña el procesamiento de una de las frutas más importantes y aceptadas mundialmente, el mango (*Mangifera indica*), específicamente en lo que se refiere a la semilla de mango y que se logra durante la elaboración de purés, néctares y almibares y, el otro, que se refiere a un residuo que se presenta durante la elaboración de jugos naturales y concentrados de frutas, por lo general de cítricos y piña y que recibe el nombre genérico de "melaza cítrica"

## 3.1. La semilla del mango

### 3.1.1. El mango, importancia económica y social

El mango, *Mangifera indica* L., es el miembro más importante de las *Anacardiaceae* o familia del marañón, integrada por 64 géneros. La mayoría de los miembros de esta familia se caracteriza por los canales de resina y muchos son famosos por su savia irritante y venenosa. El género *Mangifera* comprende más o menos 50 especies nativas del sureste de Asia. Sólo 3 o 4 especies producen frutos considerados comestibles (Ochse y col., 1982).

El fruto del mango es variable en cuanto a su forma y dimensiones pero, por lo general, es ovoide oblongo, notoriamente aplanado, redondeado y obtuso en sus extremos, entre 4 y 25 cm de largo y de entre 1.5 y 10 cm de grueso, de color verde amarillento a amarillo o anaranjado cuando está maduro, algunas variedades se tiñen de morado, rojo o anaranjado; la cáscara es gruesa, con frecuencia muestra lenticelas blancas prominentes, la pulpa es de color amarillo o anaranjado, de consistencia jugosa y blanda. El endocarpio es grueso y leñoso con una capa fibrosa externa que puede extenderse dentro de la carne (Ochse y col., 1982; Singh, 1960).

La semilla, por lo general plantiforme y formada por dos cotiledones, se desarrolla alrededor de la 14a. semana del periodo de desarrollo fisiológico del fruto. Ésta puede estar formada por un solo embrión o de dos a cinco embriones; los de uno solo se denominan monoembriónicos, característicos de los tipos hindúes y los de dos o más, poliembriónicos o indochinos.

En el mundo se producen más de 500 variedades de este fruto, cuya nomenclatura obedece a veces a cierto regionalismos, complicando en mucho su distinción. A este respecto, la tabla 3 1 resume algunas de las variedades de mango más conocidas en los principales países productores del mundo.

En cuanto a los volúmenes mundialmente logrados de esta fruta las estimaciones de los últimos años dan cuenta de aproximadamente 14 millones de toneladas, considerándose por ello, al mango, entre los diez cultivos frutícolas principales del mundo. De esa producción, aproximadamente el 78% se logra en países de Asia, el 16% en América y el restante entre Africa y Oceanía. Dentro de este contexto, México participa con alrededor del 5% de la producción mundial, ocupando con ello el segundo lugar, después de la India, cuya aportación rebasa el 60% de la producción total (FAO, 1992)

**Tabla 3.1 Principales variedades de mango cultivadas en el mundo**  
(Lakshminarayana, 1980)

País/ Continente	Variedades cultivadas para pulpa y jugo
<b>India</b>	Alfonso, Bangalora, Banganapali, Bombai, Bombay verde, Chausa, Crukurasm, Cowasjipatel, Dashehari, Fajri, Fajri Zafrani, Fazli malda, Fernandian, Gulab Khas, Himsagar, Imran pasand, Jehangir, Kalepad, Khas-ul khas, Kishenblog, Langra, Mankurad, Markeara, Mulgoa, Mundappa, Neelum, Olour, Pairi, Panchadarakalasa, Rajapuri, Raneepasand, Raspuri, Rataul, Rumani, Safdarpasand, Safeda Malihabad, Samarbahisht chowsa, sehroli, Shah pasand, Suvarnarekha, Zardulu, Begrain, Mithwa, Ghazipur. Nauras, Peddarasam, Rasgola, Raspoonia, Sharbathi, Sundershah, Taimuriya
<b>Pakistán</b>	Sindhri y varios cultivos de la India
<b>Filipinas</b>	Carabao y Pico
<b>África</b>	Boribo, Ngowe, Apple, Malindi, Mabroka
<b>Israel</b>	Nimbrod y algunos cultivos de Florida
<b>Australia</b>	Kensington
<b>Florida</b>	Adams, Alice, Anderson, Brooks, Cambodiana, Carrie, Cecil, Davis, Haden, Dixon, Early gold, Edward, Eldon, Fascell, Florigon, Fragrance, Gibbons, Glenn, Golden Brooks, Heinlen, Herman, Irwin, Jacquelin, Keitt, Kent, Lippens, Lucile, Palmer, Pettigrew, Ruby, Saigon. Samini, Sensation, Simmonds, Smith, Springfels, Strothman, Sunset, Tommy Atkins, Van Dyke, Julie y Zill
<b>Hawai</b>	Pope, Edwards, Buchanan, Joe Welsch, Kensington, Gouveia, Waterhouse, Momi K. Trinidad, Julie
<b>México</b>	Ataulfo, Diplomático, Esmeralda, Haden, Irwin, Keitt, Kent, Manila, Manzana, Naranja, Oro, Piña, Canario, Sensation, Tommy Atkins, Julie y Zill

La producción nacional de mango ha experimentado un crecimiento notable y sostenido en los últimos 20 años. De 1973 a 1991, creció a un promedio anual de casi 15%, pasando de 300 871 toneladas en 1973 a 1 117 900 toneladas en 1991. En lo que respecta al estado de Veracruz, éste ha sido

tradicionalmente, la principal entidad productora de mango del país, actualmente, aporta alrededor del 24% de la producción nacional de este fruto (INEGI, 1993).

El cultivo del mango en estados como Veracruz se ve favorecido por las condiciones ecológicas de la entidad. De hecho, éste se localiza, en esta región, casi en la mitad de sus municipios, destacando por sus amplias superficies cultivadas con este frutal las regiones de Chacaltianguis, Actopan y Los Tuxtlas, Jalcomulco y Medellín de Bravo, entre otras.

Otras entidades productoras importantes de mango en México son Oaxaca, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Guerrero, Chiapas y Michoacán.

El destino de la producción nacional de este importante fruto es principalmente el mercado interno, aún cuando las exportaciones en los últimos años han ido en crecimiento. El consumo interno está constituido principalmente por el de la fruta en fresco oscilando el consumo por cabeza y año alrededor de 10 kg. La producción de esta fruta que se dirige al procesamiento industrial ha venido representando entre el 10 y 25% de la cosecha nacional, influyendo notablemente en ello las fluctuaciones regionales de producción, precios, cuotas de exportación, etc (SARH, 1982; INEGI, 1993).

De las 20 principales variedades de mango cosechadas en México, la variedad Manila es la más importante por la superficie cultivada, los volúmenes de producción y el mayor grado de aceptación, hasta ahora, en su consumo en fresco e industrial.

Del volumen de mango producido en México alrededor del 35% corresponde a mangos variedad Manila, el 40% a tipos criollos y el 25% restante a variedades mejoradas provenientes de Florida (Saucedo-Veloz y Lakshminarayana, 1977).

### **3.1.2. Características fisicoquímicas y nutricias del mango**

Algunas de las características morfológicas más importantes de los mangos Manila, criollos y variedades mejoradas se presentan en las tablas 3.2 y 3.3.

**Tabla 3.2. Características morfológicas del fruto del mango (Lakshminarayana, 1980)**

Variedad	Forma	Color	Longitud (cm)	Peso (g)
Manila	Elongada	Amarillo Naranja	9-17	180-500
Criollo	Ovalada	Amarillo	10-12	150-250
Mejorada	Ovalada	Amarillo Rojizo	12-14	300-900

**Tabla 3.3. Rendimiento de las diferentes porciones del mango (Laksminarayana, 1980)**

Variedad	Rendimiento: %		
	Pulpa	Cáscara	Hueso
Manila	69-70	10-12	10-16
Criollo	42-48	17-19	20-28
Mejorada	62-72	14-17	10-19

La variedad Manila pertenece al grupo de los poliembriónicos o indochinos. En México, esta variedad es la de mayor importancia ya que por su sabor, aroma y falta de fibras en su pulpa es muy apreciado por el consumidor nacional; sin embargo, es importante señalar que, por muy diversos factores, algunos aspectos de su producción, manejo, conservación, procesamiento y otras potencialidades no han sido totalmente estudiados. En las regiones veracruzanas, el mango manila representa alrededor del 90% de la cosecha de mango.

En general, el mango verde es astringente, ácido y rico en vitamina C. Los mangos maduros, por su parte, son dulces, ricos en provitamina A, moderadamente abundantes en vitamina C y muy aromáticos. La composición química de esta fruta cambia de variedad en variedad, pero sus principales constituyentes son los carbohidratos, los ácidos orgánicos, proteínas y aminoácidos, pigmentos, sustancias pécticas, polifenoles, vitaminas, minerales, ácidos grasos y compuestos odoríferos. Los

principales constituyentes de la porción tradicionalmente comestible del mango se muestran en la tabla 3.4, comparando la variedad Manila, con mangos maduros de la India y México.

**Tabla 3.4. Composición de la pulpa del mango** (Lakshminarayana, 1980)

	Origen y/o variedad		
	India	México	Var. Manila
Porción comestible (%)	74.0	55.0	70.0
Humedad	81.0	--	--
Fibra	0.7	--	--
Carbohidratos	16.0	11.7	11.1
Grasa	0.4	0.1	0.0
Proteínas	0.6	0.9	0.8
Minerales	0.4	--	--
Carotenos*	2743.0	--	--
Vitamina C**	16.0	65.0	76.0
Tiamina	0.08	0.06	0.11
Riboflavina	0.09	0.08	0.06
Niacina	0.09	0.06	0.08
Calcio	14	19	12
Fósforo	16	11	13
Hierro	1.3	1.5	0.7

\*microgramos por ciento

\*\*miligramos por ciento

Los principales azúcares libres en la pulpa de mango son la glucosa, fructosa y sacarosa. Durante el proceso de maduración, los principales cambios en la composición de la pulpa y de la cáscara se refieren al almidón y los azúcares libres, mientras el material insoluble en alcohol se mantiene más o menos constante. Los azúcares libres inicialmente a un nivel alto tienden a decrecer y a estabilizarse hacia el final del periodo de crecimiento. Durante la maduración, la glucosa y la fructosa se mantienen estables mientras la sacarosa se incrementa entre 3 y 4 veces. El incremento en la sacarosa es principalmente atribuido al rompimiento del almidón que resulta materialmente ausente en la etapa de madurez comestible. Se ha sugerido que la dulzura del mango maduro se debe principalmente a la sacarosa (Lakshminarayana, 1980, Mitcham y McDonald, 1992).

Como puede observarse en el cuadro anterior, el mango no es una fruta que contenga, en su porción tradicionalmente comestible, cantidades apreciables de proteínas. La mayoría de las variedades cultivadas y estudiadas a la fecha mantienen valores que fluctúan entre el 0.5 y 1.0% de proteínas (en base húmeda).

### **3.1.3 Los residuos del consumo e industrialización del mango**

Con el desarrollo de procesos industriales alimentarios que incluyen la elaboración de productos a partir de frutas y verduras se hace cada vez más relevante la existencia de gran cantidad de "residuos", a veces inevitable y colateralmente producidos. Tales materiales denominados de diferente modo acorde con los niveles en sus valores de uso y cambio son, en muchos de los casos, potencialmente viables de aprovechamiento para el consumo humano y animal. Tal es la situación, en general, de los residuos de la industrialización y del consumo del mango.

Como de algún modo ya se mencionó arriba, este producto se consume mayormente en el mercado nacional como fruta fresca y procesada industrialmente en forma de jugos, néctares congelados, rebanadas deshidratadas, hojuelas de mango, polvos, helados, refrescos, jaleas, mermeladas y rebanadas en almíbar, entre otros, exportándose una pequeña porción como fruta fresca. En México, su industrialización está teniendo un creciente desarrollo, incrementándose su demanda como materia prima para la industria, especialmente de néctares.

Los tipos y cantidades de desperdicios que la industrialización del mango genera son muy variados y diversos. Ello depende, entre otras cosas, principalmente del grado de transformación en términos de los productos a lograr, la eficiencia de los procesos, las variedades procesadas y las calidades de fruta procesada. Sin embargo, de acuerdo a las cantidades promedio de las porciones de la fruta tradicionalmente no-comestibles se puede afirmar que, en conjunto, tales desperdicios fluctúan entre un 40 y un 60% del peso de la fruta fresca. Los desperdicios provienen de la cáscara, hueso y material fibroso de la fruta obtenida durante el tamizado del puré.

El procesamiento industrial de jugo o extracción de néctar de mango requiere a veces el uso de 2 o más variedades, dependiendo de los rendimientos, sabor y aroma deseados. Los residuos fibrosos logrados de tales procesamientos provienen así de diferentes orígenes. Independientemente de los rendimientos en jugo o contenido de azúcares de las variedades empleadas, la caracterización fisicoquímica de diferentes fracciones ha mostrado que la composición del material purificado obtenido por tratamiento con etanol es muy similar.



Gourgue y col., (1992) estudiaron la fibra dietética proveniente de los residuos fibrosos del procesamiento del mango; asimismo, caracterizaron y estimaron los efectos hipoglucémicos de la fibra. Es claro que los polisacáridos son los principales componentes de la fibra dietética en las frutas y vegetales, mismos que recientemente se ha encontrado tienen un efecto benéfico en diversos desórdenes de la salud como son la diabetes y desarreglos cardiovasculares, dado que las fibras bajan los niveles de azúcar y colesterol en la sangre (Jenkins y col., 1978; Stasse-Wolthuis y col., 1980).

Durante la preparación industrial de puré de mango, se obtiene como un primer residuo, la cáscara y, después del despulpador o 'pulper', las semillas y, refinada la pulpa se obtienen los residuos fibrosos de la pulpa. La tabla 3.5 presenta la composición de la fibra de mango de diversas variedades después de su purificación con etanol.

**Tabla 3.5. Composición de la fibra del mango después de su purificación con etanol (Gourgue y col., 1992)**

Compuesto	Variedad		
	Kent	Mangot	Amélie
Rendimiento de SIA*	36.70	41.40	34.20
Cenizas	5.03	6.52	6.05
Proteína (Nx6.25)	5.59	6.45	4.67
Fibra dietética total**	74.50	74.60	72.00
Fibra soluble en agua	33.70	33.80	33.90
Fibra insoluble en agua	40.80	40.80	38.10
Ácido galactourónico	20.30	18.70	16.90

\* Sólidos insolubles en alcohol (SIA)

\*\* Gramos por cada 100 gramos de SIA

En general, los residuos fibrosos de la pulpa son ricos en azúcares libres y los sólidos solubles en alcohol representan más de la mitad del material. Como puede observarse en la tabla anterior la composición de la fibra en las variedades presentadas muestra ligera variación, la media en fibra dietética total está en 74% con una relación soluble/insoluble muy cercana a 1. Según Gourgue y col. (1992), los azúcares libres presentes en los residuos fibrosos son predominantemente glucosa, ácidos urónicos, arabinosa y galactosa.

Según el estudio mencionado, los rendimientos de sólidos insolubles en alcohol de los residuos fibrosos de las variedades de mango citadas son más bajos que los que se obtienen en el procesamiento de

cítricos (45 - 75%) o pulpa de remolacha (90%). Sin embargo, el material purificado tuvo una relación balanceada de fibra dietética soluble/insoluble y un contenido entre 16.9 y 20.3% de ácido urónico. Por otro lado, los contenidos de hemicelulosa, celulosa y ácidos urónicos son intermedios entre los valores de la fibra de remolacha, de naranja y de uva o de la fibra de manzana comercial (Gourgue y col., 1992).

Como puede observarse, los residuos fibrosos del procesamiento del mango en la elaboración de jugos, néctares o pulpas son una fuente de fibra dietética. Los materiales obtenidos después de una simple purificación con etanol son especialmente ricos en sustancias pécticas y tienen una alta relación de fibra soluble/insoluble. La conducta reológica de la fracción soluble en agua es comparable a algunas de las gomas de más alta viscosidad. Aún sin purificar, las fibras de mango tienen una alta viscosidad (a bajas velocidades de corte) debido al efecto sinérgico de los azúcares solubles en la viscosidad de la fibra. Como es sabido, la degradación del almidón y la difusión de la glucosa se ven retardados en la presencia de la fibra de los alimentos, aspecto que en el proceso digestivo puede retardar la respuesta glucémica postprandial y, de este modo, controlar los niveles de glucosa en sangre. En el caso de la fibra de mango, adicionalmente, su característico aroma a frutas cuando esta fibra está sin purificar, podría favorecer su incorporación como ingrediente en alimentos altos en fibra, manteniendo una ventaja sobre fibras dietéticas de otros orígenes.

La pulpa fibrosa junto con la cáscara han sido utilizadas para la obtención de jugo. Cuando ello ha sido así, el jugo resultante suele mantener una alta astringencia debido a un considerable nivel de taninos, cuestión que se ha venido resolviendo mediante el tratamiento con una solución de gelatina. Estos residuos también han sido utilizados para la elaboración de almibares, vinos o vinagre, estos últimos por una vía fermentativa.

Cuando se procesa fruta previa a su estado de madurez fisiológica, la cáscara verde se ha utilizado en algunas regiones para la preparación de "chutney" y "pickle", productos fermentados en soluciones salinas y/o acéticas, comunes en la India.

Por otro lado, la cáscara por su riqueza relativa (respecto al resto de las porciones del fruto) en sustancias pécticas ha sido procesada para la obtención de pectinas. Simpson y col. (1984) encontraron que el contenido de pectinas en el mango se sitúa en un promedio de 2.14 gramos de pectina seca por cada 100 gramos de fruta fresca, con una desviación estándar de 0.15.

En ese estudio se pudo constatar que el mango mantiene un nivel de pectinas intermedio entre el conjunto de las frutas tropicales más conocidas y consumidas (4.10 g/100g para la uva y 0.15g/100g

para la piña). En cuanto al grado de esterificación, que es un parámetro de calidad de estas sustancias, el de las pectinas de mango, es comparable con el que presentan la manzana y la naranja.

Otro residuo importante, mismo que algunas regiones productoras es utilizado generalmente a nivel doméstico, desde tiempo atrás como un recurso comestible incluso para consumo humano, es la almendra del hueso de la fruta.

La semilla del mango consiste de una cubierta tenaz y correosa y de un núcleo interno o almendra. Esta última es la que en algunas regiones del mundo se ha venido consumiendo en diferentes modos y presentaciones, ya que es una fuente rica en almidón y contiene adicionalmente proteínas de alta calidad y grasas.

Diversos estudios relativos a las porciones tradicionalmente no comestibles del mango dan cuenta de que la semilla representa entre el 3 y 25% del peso del fruto fresco entre las variedades estudiadas y que la almendra es, a su vez, entre 54 y 85% del peso de la semilla en base húmeda (Lakshminarayana y col., 1983). Esto para algunas variedades de alta producción, consumo e industrialización representa volúmenes considerables de este residuo.

### **3.1.4 Composición de la semilla del mango**

Lakshminarayana y col. (1983), estudiaron la semilla y la composición proximal del núcleo de 43 variedades de mango de mayor producción y consumo en la India. La tabla 3.6 resume los datos correspondientes a las variedades de mayor producción en ese país.

En otro estudio de la semilla de otras dos variedades importantes de la India, Dhingra y Kapoor (1985), reportan, además de la composición química de la almendra de la semilla de la fruta, la composición aminoácida de sus proteínas, presentando una comparación de su perfil aminoácido con el de la proteína entera de huevo y la referencia recomendada por la FAO. De este estudio se desprende que, para la variedades analizadas, la proteína de la almendra de la semilla del mango contiene todos los aminoácidos esenciales incluso a niveles superiores (excepto en metionina) que el patrón de referencia de la FAO. Sin embargo, ello no es así cuando la comparación se realiza con el perfil de la proteína del huevo; en este caso, la metionina, la valina, isoleucina, lisina, treonina y fenilalanina estuvieron presentes en menores cantidades, pero el triptofano, histidina y cistina se presentaron en porcentajes superiores. Estos autores reportan una calificación química de aminoácidos esenciales entre 67 y 77 y

una digestibilidad *in vitro* de entre 29.8 y 26.7%. Estos valores notablemente bajos para la digestibilidad *in vitro* son atribuidos a la presencia en la semilla de compuestos fenólicos que, como los taninos, se unen a las proteínas formando complejos de baja digestibilidad.

En algunos de los países productores más grandes, principalmente de Asia, esta composición de la almendra de la semilla de mango ha sido la base de su amplio uso como alimento. De este modo se han preparado almendras hervidas en agua, "pickle" de almendra en aceite, harina de semilla, almidón, pan y grasa.

**Tabla 3.6. Composición proximal de la almendra de la semilla de mango de diversas variedades** (Lakshminarayana y col., 1983)

Variedad	Humedad*	Grasa	Proteína	Cenizas
Alfonso	39	11.2	4.0	1.9
Badami	34	11.1	6.0	1.0
Benishan	60	7.1	6.0	1.7
Dil pasand	72	5.1	6.1	2.6
Dusheri	49	6.8	7.6	2.5
Himayat	52	5.9	7.5	1.9
Jehangir	86	10.9	7.1	1.8
Langra	63	7.0	6.9	2.2
Malgoa	44	5.8	7.1	1.9
Mehmood	48	6.0	6.7	2.4
Neelam	45	9.9	7.0	1.3
Pedda rasalu	56	9.5	5.3	1.9
Romani	34	8.8	7.3	2.0
Suvarna rekha	39	8.7	6.6	2.1
Totapuri	61	11.3	5.7	1.1

\* corresponde a la semilla del fruto fresco, todos los demás valores son en base seca.

Respecto a la harina que es la forma más difundida, principalmente en Java, su elaboración consiste de etapas sencillas (deshidratación, molienda y lavado) que se dirigen a proporcionarle al producto una

estabilidad bioquímica y microbiológica a la vez de disminuir la astringencia producida por los taninos presentes y favorecer la digestibilidad de sus proteínas. La harina de la almendra se ha utilizado en combinación con harina de trigo en diversas proporciones para la elaboración de pan.

Se ha observado que el rendimiento de almidón de la semilla de mango, es de aproximadamente el 21%. Las propiedades físicas y químicas de este almidón son similares a aquellos obtenidos de la papa y tapioca. La solubilidad es muy similar, pero la viscosidad específica intrínseca es un poco inferior, así como su poder de gelificación. Está formado por un polímero de glucosa con uniones alfa 1-4 constituyéndose de 39.9% de amilosa y 60.1% de amilopectina, en promedio (Lakshminarayana y col., 1983).

Los compuestos fenólicos, junto con algunos otros de las fracciones lipídicas, constituyentes de la almendra de la semilla del mango, le proporcionan propiedades antioxidantes. El efecto de este residuo sobre la estabilidad oxidativa de grasas comestibles, no ha sido totalmente estudiado; sin embargo, Parmar y Sharma (1986, 1990) han probado esta propiedad de la semilla de mango en la estabilidad oxidativa del "ghee" (especie de mantequilla o producto graso elaborado a base de leche de búfalo y de vaca). En sus primeras investigaciones Parmar y Sharma (1986), añadieron cantidades variables de polvo seco de almendras de semilla de mango (PASM) de diferentes variedades a muestra de "ghee". Al "ghee" fundido fue añadido polvo de almendra de semilla de mango en proporciones de 0, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5% (v/w) y posteriormente calentadas. La mezcla se filtraron a 60°C. A manera de comparación en cada prueba, un último tratamiento fue mediante la adición de hidroxianisol butilado (HAB) a muestras de "ghee" en una proporción de 0.02% (v/w). Para probar la estabilidad oxidativa, las muestras tratadas se almacenaron en una estufa a una temperatura de  $80 \pm 2^\circ\text{C}$  y se observó la elevación en el índice de peróxidos. El desarrollo en el índice de peróxido fue más rápido en las muestras de control que en aquellas con aditivo. Los periodos de inducción (tiempo en horas que toma cada muestra en alcanzar un valor de peróxido de 5) se incrementaron con la adición del polvo de almendra de mango. La efectividad de los tratamientos se hizo más evidente cuando se calcularon los índices antioxidantes (relación entre el periodo de inducción de las muestras tratadas y el correspondiente a la muestra de control). Estos se muestran en la tabla 3.7.

Los resultados en el valor de peróxido, periodos de inducción e índice antioxidante sugieren que la adición del polvo de almendra de semilla de mango favorece la estabilidad del "ghee" contra la autooxidación. Como puede observarse en la tabla 3.7 la adición de PASM a un nivel de 1.5% (v/p) y mayores puede proteger a este producto graso del deterioro oxidativo por periodos mayores que el HAB.

**Tabla 3.7. Índice antioxidigénico del polvo de almendra de semilla de mango (PASM)**  
(Parmar y Sharma, 1986)

Tratamiento	Índice antioxidigénico
1.0% PASM	1.34
1.5% PASM	1.66
2.0% PASM	1.97
2.5% PASM	3.40
0.02% HAB*	1.36

\* Hidroxianisol butilado

En otra investigación sobre esta capacidad antioxidativa de la almendra de semilla de mango, Parmar y Sharma (1990), corroboraron tal actividad realizando experimentos apropiadas para el proceso de elaboración industrial del "ghee" mediante el uso de extractos de harina de almendra de semilla de mango.

El efecto mostrado, tanto de harina de almendra de semilla de mango como de sus extractos, puede ser atribuido al incremento en los fosfolípidos y compuestos fenólicos ya que son transferidos en cantidades significativas de la harina a las muestras de ghee. Es sabido que estos compuestos, fenólicos y fosfolípidos, actúan como agentes potenciadores de los períodos de inducción mediante diversos mecanismos. Además de estos compuestos, los tocoferoles y carotenoides presentes también en menor cantidad, pudieran estar involucrados en la efectividad de la capacidad antioxidante de este material (Parmar y Sharma, 1990).

#### 3.1.4.1. Los lípidos de la almendra de semilla de mango

Uno de los constituyentes químicos de la almendra de semilla del mango más importante y que ha sido objeto de un buen número de estudios ha sido la grasa. Narasimha-Char y col., (1977), Van Pee y col., (1980), Lakshminarayan y col., (1983), Dhingra y Kapoor, (1985), Ali y col., (1985), Jiménez-Bermúdez y col., (1995) y Solís-Fuentes y col., (1996b), entre otros, han estudiado la porción lipídica de este residuo desde diferentes enfoques. En todas estas investigaciones se resalta la importancia de ser este material potencialmente utilizable como fuente de grasas de uso industrial principalmente en la industria alimentaria, gracias a las características fisicoquímicas de sus lípidos.

Narasimha-Char y col. (1977) presentan los promedios de las características fisicoquímicas de la grasa proveniente de un buen número de variedades estudiadas, mismas que se presentan en la tabla 3.8.

**Tabla 3.8. Características promedio de la grasa de semilla de mango**  
(Narashima-Char y col., 1977)

Característica	Grasa cruda	Grasa refinada
Punto de fusión °C	38	38
Gravedad específica (30 °C)	0.901	--
Índice de refracción (40 °C)	1.447	1.457
Número de Belier	38.5	--
Humedad %	0.08	--
Valor de ácido (mgKOH/g)	6.0	0.3
Valor de saponificación	191	190
Valor de Iodo	50	50
Materia no-saponificable (%)	1.5	0.7

La grasa estudiada por estos autores fue objeto de una refinación y blanqueo mediante un procedimiento alcalino, tierras blanqueantes y carbón activado. El producto resultante tuvo un 0.09% de ácidos grasos libres (en contraste con un 5% en la grasa cruda) y un color blanco (de 0.4Y + 0.0R en la escala Lovibond) contra un color amarillo (4.5Y + 0.4R) de la grasa refinada y café (14Y + 1.4R) de la grasa cruda.

Respecto a la composición de ácidos grasos de la grasa se ha encontrado que el ácido graso de mayor abundancia es el oleico (18:1) que en muchas variedades, fluctúa entre un 38 y 55%, seguido del esteárico (18:0) que va del 26 al 49% y el palmítico (16:0) entre el 6 y el 14%. Otros ácidos grasos que van más allá de un porcentaje traza son el linoleico (18:2), entre 2 y 12% y el araquídico (20:0), hasta un 2% (Lakshminarayana y col., 1983).

La distribución de los ácidos grasos en los tres grupos hidroxilo del glicerol se muestran en la tabla 3.9, de acuerdo con la investigación realizada por Van Pee y col. (1980), para la grasa de la almendra

de mango de diez variedades de mango cultivadas en Zaire. Se presentan aquí solo los datos referentes a tres de éstas.

**Tabla 3.9. Distribución de los ácidos grasos en la grasa de la semilla de mango**  
(Van Pee y col., 1980)

Variedad	Composición y Posición	Ácidos grasos (mol %)					
		16:0	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0
Amini	Total	6.7	44.0	43.7	3.6	0.5	1.5
	1	11.0	57.1	29.3	1.7	--	0.9
	2	0.6	1.1	89.8	8.0	0.5	--
	3	8.5	73.8	12.0	1.1	1.0	3.6
Gedon	Total	7.8	34.0	51.1	4.9	0.7	1.5
	1	12.8	48.7	33.7	2.7	0.5	1.6
	2	--	0.8	88.9	9.0	1.3	--
	3	10.6	52.5	30.7	3.0	0.3	2.9
Haden	Total	7.8	36.2	49.5	4.9	0.3	1.3
	1	12.9	49.6	34.2	--	2.6	0.7
	2	--	0.7	86.8	11.7	0.8	--
	3	10.2	58.5	27.7	0.4	--	3.2

Los ácidos grasos saturados, palmítico, esteárico y araquídico han sido hallados como en otros triacilglicéridos vegetales, casi exclusivamente en las posiciones 1 y 3. Sin embargo, el ácido araquídico está asimétricamente distribuido entre las posiciones 1 y 3; el exceso está localizado en la posición 3. Una similar incorporación asimétrica de ácido araquídico ha sido encontrada en otras grasas como las de cacahuate y cacao. Los ácidos oleico y linoleico están principalmente situados en la posición 3 acorde con la conocida hipótesis de que los ácidos grasos saturados se distribuyen en las posiciones sn-1 y sn-3 y que los lugares restantes son proporcionalmente receptores de los ácidos oleico, linoleico y linoléico.

Por la importancia que tienen en la estabilidad bioquímica de las grasas vegetales, Ali y col. (1985), estudiaron la composición de las diferentes fracciones lipídicas de la grasa del núcleo de 10 diferentes



variedades de mango existentes en Bangladesh y encontraron que la fracción de hidrocarburos y esteroides esterificados fluctuó entre un 0.3 y 0.7%, los triacilglicéridos entre un 55.6 y 91.5%, glicéridos parciales entre un 2 y 4 %, y esteroides libres entre un 0.3 y 0.6%. Los ácidos grasos libres estuvieron en el orden de 3.0 y 3.7%, glucolípidos y fosfolípidos entre un 0.6-1.2 y 0.11-0.8%, respectivamente. Además reportaron la presencia de lisofosfatidilcolina, fosfatidilcolina, fosfatidilinositol, fosfatidiletanolamina y ácido fosfatídico en la fracción fosfolípida.

### 3.1.5. Contribución experimental: La grasa de almendra de semilla de mango como posible sustituto de la manteca de cacao

En un estudio reciente realizado dentro del proyecto de investigación coordinado por el autor de este trabajo, Jiménez-Bermúdez y col., (1995) y Solís-Fuentes y col. (1996b) investigaron los rendimientos de extracción de grasa de 5 variedades de mango comercialmente importantes en México (variedades Tabasco, Paraíso, Manila, Heidi y Oro), así como su composición y propiedades químicas e hicieron una comparación con las que presenta la manteca de cacao.

Los rendimientos encontrados de cáscara, pulpa, hueso, cubierta del hueso y almendra de los mangos de las variedades Tabasco, Paraíso, Manila, Heidi y Oro, procesados manualmente, se consignan en la tabla 3.10. En ella puede observarse que el mayor rendimiento en pulpa del fruto en fresco corresponde al mango Heidi (73.30%), siendo la variedad "Tabasco" la que menor porcentaje de pulpa mostró. En general, las porciones "no comestibles" de las variedades de mango estudiadas representaron entre el 26.7 y 39.20%. De éstas, la almendra de la semilla representó entre 4.92 y 8.5% de la fruta entera. En lo que respecta a la variedad manila que es la que mayormente se produce e industrializa en México, los materiales residuales representan el 31.4% del fruto, 18.33% de cáscara, 13.06% de hueso completo y 5.1% de almendra.

**Tabla 3.10. Porcentaje promedio de pulpa y residuos de 5 variedades de mango cultivadas en México**  
(Jiménez-Bermúdez y col. 1995; Solís-Fuentes y col. 1996b)

Variedad	Cáscara	Pulpa	Cubierta	Almendra
Tabasco	26.00	60.80	4.70	8.50
Paraíso	27.30	61.30	4.50	6.90
Manila	18.33	68.61	7.76	5.30
Heidi	15.0	73.30	1.60	5.10
Oro	15.45	73.21	6.42	4.92

El rendimiento de extracción de la grasa a las almendras del hueso de las cinco variedades de mango se realizó en aparato Soxhlet durante 6 horas y en serie de tres extracciones para agotar totalmente la harina. El resultado de estas extracciones se presenta en la tabla 3.11 en porcentajes en base seca de la harina de almendra deshidratada. En ella puede observarse que la variedad que más rindió en grasa fue la “Manila”, hasta con un 13.6%, en promedio, valor superior al encontrado en algunas referencias en la literatura para esta variedad.

**Tabla 3.11. Rendimiento de extracción de grasa de la semilla de mango**  
(Jiménez-Bermúdez y col., 1995; Solís-Fuentes y col., 1996b)

Variedad	% Base seca
Manila	13.61
Paraiso	12.67
Heidi	12.00
Tabasco	7.58
Oro	7.56

La composición en ácidos grasos de los acilglicéridos que constituyen la grasa de la semilla de mango de las cinco variedades estudiadas y de la manteca de cacao se presentan en la tabla 3.12, de acuerdo con los resultados encontrados mediante cromatografía en fase gaseosa. En ella puede observarse que los ácidos grasos que están presentes en mayor cantidad son el oleico (18:1) y el esteárico (18:0), al igual que en la manteca de cacao, sólo que en este caso son, en general, valores superiores a los que incluye el intervalo correspondiente encontrado en la literatura para la grasa de cacao. La mayor diferencia observable es en cuanto a la presencia del ácido palmítico, ya que en el caso de las grasas de las semillas estudiadas se encuentra en porcentajes inferiores (de 8.7 a 11.7 contra 23 a 30%). El resto de los ácidos presentes, linoleico, linoléico y araquídico están presentes en las grasas de mango en niveles semejantes a los hallados en la manteca de cacao. En resumen, las grasas estudiadas tuvieron 54.92, 52.59, 60.88, 53.2 y 41.28% de ácidos grasos saturados, porcentaje inferior al promedio de 61% de la manteca de cacao. La relación de ácidos esteárico/oleico fluctuó desde 0.605 para la variedad paraiso, hasta 1.49 para la variedad manila.

**Tabla 3.12. Composición de las grasas de cinco variedades de mango y de la manteca de cacao (\*Gerhartz .1987; Jiménez-Bermúdez y col, 1995; Solís-Fuentes y col., 1996b)**

Ácido graso	Variedad de mango					Cacao *
	Tabasco	Heidi	Manila	Oro	Paraiso	
Láurico 12:0	---	---	---	---	---	0.1
Mirístico 14:0	---	---	---	---	---	0.2
Palmitico 16:0	9.035	9.194	11.687	9.468	8.720	23-30
Palmitoleico 16:1	---	0.737	1.300	---	---	1
Estearico 18:0	43.277	41.803	46.417	41.936	30.990	31-37
Oleico 18:1	39.848	42.505	31.023	39.842	51.215	31-38
Linoleico 18:2	5.122	4.165	4.167	5.331	5.927	1.5-4.2
Linolénico 18:3	---	---	---	1.139	0.389	0.0-0.3
Araquídico 20:0	2.625	1.596	2.778	1.810	1.568	0.0-1.5
No identificados	---	---	2.628	0.474	1.154	---

Los valores promedio de las características fisicoquímicas estudiadas en la grasa de semilla de mango de la variedad Manila y de las muestras de manteca de cacao, en sus formas cruda y refinada se presentan en la tabla 3.13. Es destacable la poca diferencia en el valor del índice de refracción y en las temperaturas durante las cuales las grasas funden, característica importante en términos de algunas de las principales aplicaciones que se le han venido dando a la manteca de cacao. La refinación de las grasas ocasionó una leve variación en algunas características. El porcentaje de ácidos grasos libres mostró niveles pequeños aún para las grasas en sus formas crudas, todos los valores para esta característica están por debajo del 1.75% máximo establecido por la Comisión del Código Alimentario de la FAO. El índice de yodo, útil en la determinación del grado de dureza de la grasa, dado que altos valores de yodo indican altos contenidos de ácidos grasos insaturados, componentes que proporcionan la suavidad en la manteca de cacao, mostraron poca diferencia, sobre todo cuando la comparación se hizo con las grasas refinadas. Los valores individuales de estos ácidos grasos fueron de 55.75, 41.76, 48.47 y 43.15, para las grasas de semilla de mango y manteca de cacao en sus formas cruda y refinada, respectivamente. La similitud de las grasas estudiadas encontradas mediante el análisis cromatográfico de la composición de ácidos grasos encuentra corroboración con los valores del índice de saponificación que, a la vista, muestran escasa diferencia, lo que está indicando semejanzas en el peso molecular promedio entre cada una de ellas.

**Tabla 3.13. Características fisicoquímicas de la grasa de semilla de mango Manila y de la manteca de cacao (1) (Jiménez-Bermúdez y col., 1995; Solís-Fuentes y col., 1996b)**

Característica	Semilla de mango		Manteca de cacao	
	Cruda	Refinada	Cruda	Refinada
Punto de fusión, °C	29-31	28-30	32-33	30-31
Índice de refracción (2)	1.465	1.466	1.464	1.463
Humedad y m. volátil, %	1.57	---	1.73	---
Impurezas insolubles, %	0.42	---	0.49	---
Ácidos grasos libres (3)	0.80	0.60	0.67	0.42
Valor de acidez (4)	4.53	0.30	2.88	0.21
Materia insaponificable, %	1.69	0.69	1.25	0.61
Índice de saponificación (5)	190.67	189.00	190.60	188.33
Índice de yodo	55.75	41.76	48.47	43.15
Índice de tiocianógeno	331.70	519.03	304.37	312.20
Índice de Crismer, °C	100.56	82.31	77.47	76.09

(1) Valores promedio de tres determinaciones

(2) Determinado a 40°C

(3) porcentaje como ácido oleico

(4) En mg de KOH/g de grasa

(5) En mg KOH/g de grasa

Los resultados en términos del índice de peróxido, de la prueba de estabilidad practicada a las muestras de grasa refinada de mango variedad manila y cacao según las observaciones de olor y color de las grasas expuestas a una temperatura de 70°C a las 120, 168 y 216 horas de incubación, muestran que a las primeras 120 horas ambas muestras desarrollaron cambios de color hacia tonos más profundos del color amarillo pálido original, con un incipiente aparición del olor característico de la rancidez. Al cabo de las 216 horas con índice de peróxido de 280.6 y 286 Meq de peróxido/kg para las muestras de la grasa de mango y manteca de cacao, respectivamente, ambas tuvieron un color café y los olores propios de la rancidez.

Los resultados de los análisis estadísticos se muestran en la tabla 3.14 y en las figuras 3.1 y 3.2. Los resultados del análisis de varianza (ANDEVA) indican, que no hay diferencia significativa en cuatro de las nueve características fisicoquímicas estudiadas a la grasa de semilla de mango y a la manteca de cacao. En la figura 3.1 puede constatarse la mayor semejanza entre estas dos grasas que entre ellas y las grasas de cerdo, maíz y coco. La comparación entre grupos mediante un análisis de "clusters" aplicado a la composición ácido-grasa de las muestras revela estrechas

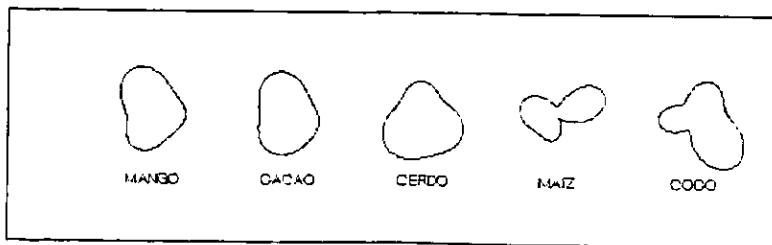
semejanzas entre las grasas de semilla de mango de las variedades Tabasco, Manila, Heidi y Oro, en tanto la correspondiente a la variedad Paraíso se acerca más a las características de la manteca de cacao.

**Tabla 3.14. Resumen del análisis de varianza**  
(Solís-Fuentes y col., 1996b)

Variable	Entre S C	g. l.	Dentro SC	g. l.	Relación F	Probabilidad
FUSION	3.375	1	2.500	4	5.400	0.081
REFRACC	0.000	1	0.000	4	1.000	
SAPONIFI	0.667	1	6.667	4	0.400	0.561
YODO	2.898	1	30.254	4	0.383	0.569
ACIDEZ	0.011	1	0.001	4	42.250	0.003
MATINSAP	0.010	1	0.005	4	8.224	0.046
AGL	0.045	1	0.003	4	54.080	0.002
TIOCIANO	64170.035	1	9506.644	4	27.000	0.007
CRISMER	58.095	1	64.975	4	0.132	3.576

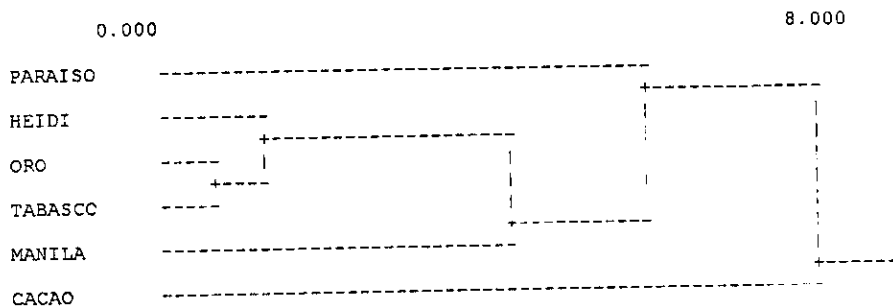
S C : suma de cuadrados  
g l : grados de libertad  
F: estadístico F

**Figura 3.1. "Iconos de Amibas" de Fourier para las variables estudiadas**  
(Solís-Fuentes y col., 1996b)



**Figura 3.2. Diagrama de árbol del análisis de "clusters" para los ácidos grasos.**  
(Solís-Fuentes y col., 1996b)

DISTANCIAS



NOTA: La distancia métrica es la distancia euclidiana por el método de enlace simple ("vecino más cercano")

Las muestras de harina residual de la extracción de la grasa fueron objeto de análisis de nitrógeno total para una estimación del contenido proteínico de estos materiales, pudo apreciarse un contenido alto de nitrógeno en las muestras proveniente de mango variedad Oro. Valores individuales fueron 3.24, 2.03, 1.72, 1.50 y 1.23% de nitrógeno, en base seca, para las variedades Oro, Paraíso, Heidi, Manila y Tabasco, respectivamente.

Considerando todas estas características y los volúmenes de la almendra de semilla de mango que se generan como residuo durante la industrialización de esta conocida fruta, la factibilidad de usar la grasa como sustituto de la manteca de cacao se presenta como altamente prometedora desde una perspectiva tanto técnica como económica.

## 3.2. Melaza cítrica

### 3.2.1. Los cítricos y la industria juguera en México

La industria que procesa frutas para la obtención de jugos y concentrados de frutas es una de las más importantes agroindustrias de México. En lo general, las plantas industriales dedicadas a la elaboración de estos productos están diseñadas y operan con tal versatilidad que pueden procesar y obtener jugos de diferentes frutas: Naranja, toronja, tangerina, limón, piña, mango, etc. La especialización en una o más tipo de frutas, por parte de las plantas productoras se orienta por los mercados locales y nacionales de las materias primas y por los mercados nacional e internacional de jugos.

En esta circunstancia no es extraño encontrar en regiones, como la veracruzana, principal productora de naranja y destacada productora de otros cítricos, así como de otras frutas como piña y mango, que las plantas ubicadas en su territorio se orienten preferencialmente al procesamiento de éstas para la obtención de jugos, natural y concentrado.

El mercado mundial de jugos concentrados de frutas es uno de los más importantes en el comercio internacional de alimentos procesados. Tan sólo los Estados Unidos importaron de diferentes regiones del mundo en el periodo 1990/91, poco más de 12 millones de hectólitros de jugo de naranja con un valor de aproximadamente 684 millones de dólares. Las importaciones mundiales de jugo concentrado y natural de naranja llegaron en 1990 a alrededor de un millón 500 mil toneladas (FAO, 1992).

En el ciclo 1990-91 se produjeron en el mundo 66.2 millones de toneladas de cítricos, siendo los principales países productores Brasil, Estados Unidos y China (Tabla 3.15). Entre este grupo de frutas, la naranja es sin duda la más importante. La producción mundial de ésta llegó a los 48.8 millones de toneladas en el periodo 1989-90, siendo los mismos países mencionados los tres más grandes productores. De hecho, México es uno de los principales productores de naranja en el mundo: en el periodo 1988-1989 ocupó el 4o lugar con el 4.9% de la producción total. En los últimos ciclos agrícolas el cultivo de ese fruto en el país ha registrado una expansión notable, debido en gran medida a la creciente demanda interna de fruta fresca (100% en el periodo citado). Sin embargo, el

principal impulso ha provenido del desarrollo del mercado de exportación de jugo concentrado. Un dato interesante es que alrededor del 20% de la producción del período señalado, se destinó a la industrialización y se estima que en 1991 este porcentaje fue de 35. En comparación con otros países productores de esta importante fruta cítrica, sin embargo, el porcentaje industrializado en México es todavía bajo, puesto que, por ejemplo, Brasil que cosecha alrededor de 10 millones de toneladas anuales de naranja (aproximadamente 5 veces la producción anual de México), industrializa el 85% y el estado de Florida en Estados Unidos, procesa el 90% de su producción (SARH-BANCOMEXT, 1993).

**Tabla 3.15. Producción, en miles de toneladas, de los principales países productores de naranja y de los exportadores y productores de cítricos**  
(FAO, 1992)

País	Naranja		Cítricos	
	1989-1990	1990-1991	1989-1990	1990-1991
Total mundial	48 864.3	46 905.3	68 343.3	66 225.1
Brasil	14 150.0	11 950.0	15 412.0	13 188.0
Estados Unidos	6 115.0	6 843.1	8 813.5	9 794.5
China	4 691.7	4 732.0	5 485.7	5 537.0
España	2 651.0	2 575.8	4 849.5	4 876.1
Italia	2 170.0	1 880.0	3 441.6	3 025.0
México	2 200.0	2 400.0	3 178.0	3 429.0
Japón	----	----	2 632.0	2 214.0
Egipto	1 397.0	1 600.4	1 781.0	1 944.4
Argentina	----	----	1 570.0	1 600.0
Marruecos	792.5	1 097.0	----	----
Grecia	932.2	819.1	----	----
Turquía	797.0	811.0	----	----



No se tienen cifras disponibles sobre la demanda creciente de jugos de frutas concentrados y naturales a nivel mundial; sin embargo, como es sabido y común para muchos productos alimenticios, los rasgos notables de la modernidad van dando la pauta para una creciente preferencia social de productos elaborados o procesados en detrimento de sus presentaciones en fresco. A manera de ejemplificar el dinamismo de la demanda de este tipo de productos en las sociedades más adelantadas industrialmente, la tabla 3.16, muestra datos sobre las demanda de jugos concentrados de diferentes frutas en Japón, mientras que la 3.17 da cifras para cítricos y naranja procesados, según cifras de SARH-BANCOMEXT (1993).

**Tabla 3.16. Japón: demanda, en toneladas, de jugos concentrados 1986-1990 (SARH-BANCOMEXT, 1993)**

Jugo de:	1986	1987	1988	1989	1990
Naranja	57 347	62 741	71 457	85 921	82 451
Toronja	5 885	7 720	9 341	8 717	8 548
Manzana	25 747	31 148	37 337	49 757	48 397
Uva	5 338	6 352	8 692	9 046	8 493
Durazno	2 724	3 096	3 088	3 272	4 140
Piña	1 610	1 635	1 738	1 659	3 249
Limón	816	893	982	873	775
Ciruela	333	504	558	735	n.d.
Guayaba	63	58	62	51	n.d.
Otros	3 365	4 671	5 162	5 198	6 228
Total	103 228	118 818	138 417	166 229	161 506

**Tabla 3.17. Cítricos y naranja procesados en los principales países productores para 1990/1991. Cifras en miles de toneladas**  
(SARH-BANCOMENT, 1993)

<b>País</b>	<b>Cítricos</b>	<b>Naranja</b>
Brasil	8 568	8 450
Estados Unidos	7 315	6 100
Italia	1 190	890
México	----	840
Israel	835	459
Argentina	598	195
España	529	207
Australia	352	305
Sudáfrica	305	225
Grecia	227	180
Marruecos	219	195

La producción en México de jugos concentrados ha observado notables fluctuaciones dada la variabilidad propia de la producción primaria de las diferentes frutas y de los cambios que por diversos factores se propician en los mercados internacionales y que impactan las expectativas de mercado para los productores nacionales. En 1988, por ejemplo, la producción de jugo concentrado de naranja ascendió a 10 millones de litros y en 1989 y 1990 descendió en forma considerable por siniestros naturales en las huertas de Nuevo León y Tamaulipas. En 1991, la producción de jugo se recuperó considerablemente.

En lo que respecta a Veracruz, a nivel nacional, la entidad es de las principales regiones productoras de frutas. En los últimos años ha sido el principal estado productor de cítricos y, de entre éstos, la naranja juega un papel sumamente importante. En 1989 se produjeron en México 2 millones 372 mil toneladas de naranja, de las cuales, 1 millón 242 mil se produjeron en el estado de Veracruz (cultivadas en poco más de 120 mil hectáreas). Ello representó el 52.4 % de la producción nacional.

En la actualidad, México cuenta con 26 plantas procesadoras con una capacidad de evaporación de 280 000 kg. Se estima que la capacidad utilizada llega apenas a un 30%, con un período efectivo de operación de concentración en los meses de enero a mayo para el procesamiento de naranja. El período restante, es llevado al cabo con operaciones reducidas y/o destinadas al procesamiento de otras frutas relativamente menos abundantes. En lo que a la naranja respecta, el número de plantas y la capacidad de evaporación crecieron 80%, mientras que la producción de naranja creció menos del 20% (SARH-BANCOMEXT, 1993).

Es destacable el hecho de que en el mercado internacional de jugo concentrado, el proveniente de México es de gran aceptación; no obstante, las posibilidades nacionales de competencia se ven reducidas por algunos factores que inciden más directamente sobre el precio que la calidad. De hecho, la calidad del jugo concentrado de naranja mexicano es alta e incluso se ha llegado a considerar superior a la de Brasil y Estados Unidos. Ello se debe a que en México la producción se basa en naranjas de la variedad valencia, la cual es más adecuada para la obtención de zumos. Las ventajas del concentrado mexicano se basan en su color, aroma, sabor y sólidos solubles ("Brix").

En México, el concentrado se suele envasar en una bolsa doble de polietileno, dentro de tambores metálicos de 52 galones, almacenados en cámaras a -20°C. Se transporta por tierra y por mar a Estados Unidos y Europa en "pipas-termo" a granel y tambores Brasil, por su parte, lo comercializa a granel empleando buques tanque, lo cual disminuye tanto el espacio muerto como el costo, el tiempo de envasado, la transportación y la entrega. Parece ser que el punto crítico de la comercialización mexicana radica en el sistema de distribución y transporte, pues se mantienen ciertas desventajas frente a los sistemas de otros países. Brasil, por ejemplo, que dispone de cubas isotérmicas que permiten optimizar los tiempos de carga y descarga.

No obstante lo anterior, en los últimos años, las exportaciones de jugo concentrado de naranja registraron un avance importante en cuanto a volumen, aunque ello no se reflejó en una mejora en términos de valor, entre otras razones por las fluctuaciones de las cotizaciones en la bolsa de productos a futuro de Estados Unidos. En 1990, sin embargo, el valor de las exportaciones se incrementó 49%, como resultado de un aumento de 32% en la producción y de mejores condiciones de mercado. En 1990, México exportó 83 mil 200 toneladas de jugo concentrado de naranja (SARH-BANCOMEXT, 1993)

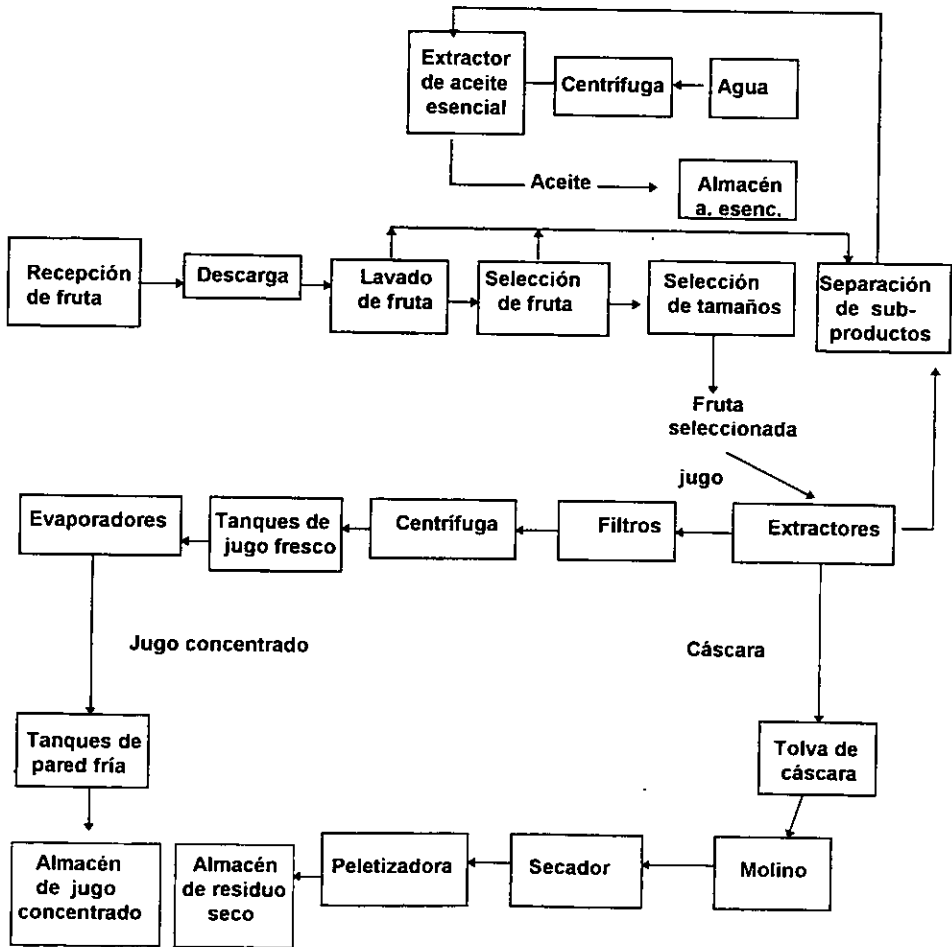
### 3.2.1.1. El proceso de elaboración de jugos naturales y concentrados

La mayoría de las frutas más importantes que se cultivan en el mundo se procesan para su conversión en algún tipo de jugo comercial. Mientras algunos observan limitaciones en sus mercados, distribución o disponibilidad, varios de estos productos cuentan con un amplio mercado entre los mercados de los productos alimenticios. Estos jugos incluyen en orden decreciente de su valor comercial: los cítricos incluyendo el de naranja, limón y lima, y los de uva, piña, manzana y pera, fresa, ciruela, guayaba, mango y papaya.

El proceso de elaboración de jugos para las diferentes frutas es básicamente el mismo; las diferencias encontradas tienen que ver mayormente con las diferencias morfológicas de los frutos y de algunas de sus características fisicoquímicas. La figura 3.3 muestra, en un diagrama de bloques, las operaciones típicas que se realizan para la elaboración de jugo concentrado. Una vez que las frutas llegan a la planta procesadora éstas se limpian y a menudo se almacenan en tolvas por horas o incluso unos cuantos días hasta que son procesadas. El procesamiento incluye etapas de extracción del jugo, acabado (separación del jugo de la pulpa y otras porciones del fruto) y estabilización, que puede incluir algún tipo de procesamiento térmico o tratamiento químico para garantizar el mantenimiento de la calidad del jugo y evitar el deterioro microbiano. En la obtención de jugos de frutas pulposas como la manzana y la pera, se requiere primero la desintegración del fruto en molinos o pulperos. El jugo de cítricos, por el contrario, requiere extractores especialmente diseñados para mantener la cáscara separada del jugo. En el caso de los jugos de manzana que son comercializados como jugos claros, requieren etapas de acabado cuidadosamente realizadas usando tamices muy finos, filtros o centrifugas de alta velocidad. Después de ello, los jugos pueden ser tratados con algunos agentes químicos floculantes para eliminar toda turbiedad residual. Por el contrario los jugos de los cítricos o de otras frutas tropicales como la piña, se comercializan como suspensiones uniformemente estables en su turbiedad (Tressler y Joslyn, 1971).

La mayoría de los jugos se comercializan ya sea como jugos naturales o jugos concentrados. Ambos pueden prepararse mediante procesos de empaclado en caliente o en frío. En el primer caso y tratándose de jugos naturales, los aceites esenciales se remueven mediante procesos de "flasheo" al vacío para después pasteurizar el jugo a temperaturas entre 77 y 94°C embotellándose o enlatándose en caliente. En el empaquetado en frío, el jugo se vierte en los recipientes preesterilizados con agentes químicos, siguiendo un procedimiento de empaque aséptico.

Figura 3.3. Diagrama de proceso de producción de jugo concentrado de frutas (SARH-BANCOMEXT, 1993)



### 3.2.1.2. Recuperación de residuos en el proceso tradicional

En las plantas procesadoras de fruta para la obtención de jugos; por lo general existe una sección donde la cáscara, pulpa, semilla y otros residuos comunes se deshidratan, comúnmente en secadores rotatorios, se almacenan y se venden para la alimentación ganadera. Algunas plantas cuentan con evaporadores de múltiple efecto para concentrar los licores provenientes del prensado de la cáscara hasta melazas de 72 °Brix (72% de sólidos solubles medidos como azúcares). Dichas melazas por sus primeros orígenes en el procesamiento de cítricos, son denominadas melazas "cítricas", no obstante provenir hoy en día del procesamiento de otras frutas diferentes a los cítricos, como la piña.

El prensado de la cáscara que se dirige a los secadores reduce el peso de la carga hasta en un 50%. En la figura 3.4 se presenta un balance de materia típico.

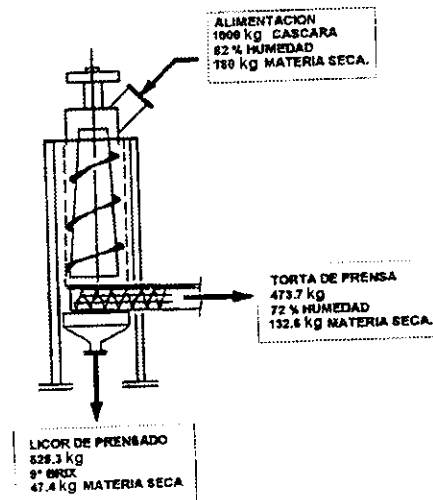


Figura 3.4. Balance de materia en la obtención del licor de prensado

Con esta operación la humedad de la torta de la prensa se sitúa entre 68 y 75% dependiendo del tipo de prensa y de las condiciones de la cáscara. El licor del prensado contiene de 88 a 92% de agua

(Rebeck y Cook, 1977) La torta posteriormente se deshidrata y el licor se dirige a los evaporadores para la obtención de la melaza.

Esta operación de prensado tiene una lógica desde el punto de vista de la economía de energéticos puesto que los evaporadores de múltiple efecto remueven agua con menores costos de energía que los secadores (en promedio éstos requieren entre 780 a 950 kcal para remover 1 kg de agua, mientras que en un evaporador de seis efectos necesita 0.22 kg de vapor para evaporar un kilogramo de agua o 95 kcal si el hervidor requiere 950 kcal para producir 1 kg de vapor)

### 3.2.2. Composición química de la melaza cítrica

La tabla 3.18 proporciona la composición química promedio de la melaza cítrica que se obtiene en la elaboración de jugo concentrado de naranja. Es destacable el hecho de que aproximadamente el 50% de sus sólidos totales estén constituidos por azúcares y de éstos la otra mitad sea de azúcares sencillos fácilmente asimilables por microorganismos (Rebeck y Cook, 1977)

**Tabla 3.18. Composición característica de la melaza cítrica de naranja (Rebeck y Cook, 1977)**

Componente	%
Grados Brix	64 - 74
Sólidos totales	63.8 - 74.1
Azúcares totales	33.1 - 45.5
Azúcares reductores	16.9 - 33.9
Azúcares no reductores	12.7 - 26.8
Acidos orgánicos	0.24 - 1.20
Acidos volátiles	0.02 - 0.17
Cenizas	1.62 - 2.05

### 3.2.3 La melaza cítrica, como residuo, en el proceso

La figura 3.5 muestra el diagrama de flujo de las etapas del proceso de fabricación de jugo concentrado que tienen que ver con la generación de los residuos y su posterior tratamiento. En ella es posible ubicar el conjunto de operaciones y materiales que dan lugar a la generación de la melaza cítrica.

Como se mencionó anteriormente, en una planta extractora de jugos, el jugo es obtenido y la cáscara o bagazos separados se transportan hacia las unidades procesadoras de la cáscara. La pulpa y semillas también son removidas durante las operaciones de refinación.

Posteriormente, las pulpas recuperadas se juntan con la cáscara. La humedad de estas combinaciones varía con el tiempo de la estación y con el tipo, condición y variedad de las frutas. Si no ha sido añadida agua durante la extracción, el contenido de humedad se sitúa entre 76 y 78%. En algunas plantas donde se recupera el aceite de cáscara, como en el caso de los cítricos, el aceite se recupera con agua y por tanto, el contenido de humedad de la cáscara o bagazos residuales se incrementa.

De las tolvas de cáscara, donde ésta no debe permanecer más allá de 4 horas, sobre todo en los tiempos más húmedos y calurosos, el material húmedo se lleva mediante transportadores de tornillo hasta un tratamiento alcalino, donde se le agrega una lechada de cal (hidróxido u óxido de calcio) en una proporción entre 0.3 y 0.6% en peso, con agitación. Después, la pulpa se desmenuza, mediante el uso de molinos de martillos o cuchillas, provistos de tamices, para facilitar más el contacto con la cal (a veces melazas provenientes del evaporador son añadidas durante esta etapa para ayudar a fluidificar la lechada y lubricar un poco el equipo), continuando el mezclado por un tiempo mínimo de 6 minutos para que se efectúe la reacción de desmetilación de las pectinas existentes en la cáscara. La degradación de las pectinas permite, a través de la sinéresis, que gran parte del agua "atrapada" se libere; en estas condiciones, el material está listo para el prensado. Esta operación, que puede realizarse tanto en prensas de tornillo horizontal como vertical, reduce la humedad de la cáscara a 70-75%. Los sólidos solubles en los licores fluctúan entre 8 y 13°Brix dependiendo de la madurez, tipo y variedad de la fruta y de la cantidad de agua añadida durante la extracción.

Un balance de material típico se muestra también en la misma figura 3.5. La torta resultante es transportada a los secadores y los licores tamizados y bombeados a los tanques alimentadores del evaporador.



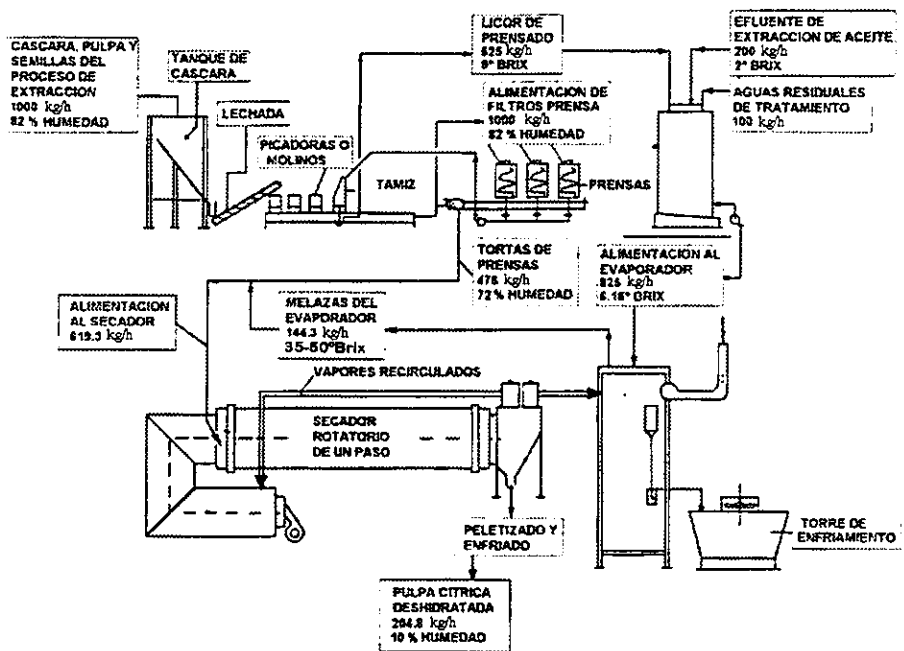


Figura 3.5. Diagrama de flujo en la obtención de las melazas "cítricas" (Rebeck y Cook, 1977).

El licor del prensado es concentrado, generalmente en evaporadores de múltiple efecto, donde pueden conseguirse melazas "cítricas" de hasta 72°Brix, aún cuando es común obtener melazas de 35 a 50°Brix. Éstas por lo general vuelven a mezclarse con la pulpa antes de la deshidratación y estos subproductos son vendidos para la alimentación animal. Igual proceso siguen las melazas cítricas provenientes del procesamiento de otras frutas (Rebeck y Cook, 1977).

En algunas plantas procesadoras de este tipo, los aceites esenciales remanentes en las cáscaras son recuperados durante la evaporación al condensar los vapores y separar por decantación la mezcla de agua y aceite esencial.

El rendimiento en jugo en este tipo de procesos varía alrededor de 55.6 kg de jugo por cada 100 kg de fruta. El contenido de sólidos también varía, pero un 12% de sólidos solubles es un promedio. Se obtienen alrededor de 45 kg de cáscara, pulpa y semillas con un porcentaje de humedad de alrededor del 77.5%, lo que representa 9.9 kg de sólidos secos por cada 100 kg de fruta procesada.

La pulpa, la cáscara y demás materiales residuales absorben agua fácilmente y cuando en el proceso se incluye la recuperación de aceites esenciales la humedad de estos materiales se incrementa considerablemente. De ahí que la humedad de estos materiales en la tolva de pulpa y cáscara sea variable. El dato que se utiliza en el diagrama es de 82%, que resulta al añadir 11 kg de agua por cada 100 kg de fruta extraída.

Los efluentes mostrados en el diagrama de la figura 3.5, corresponden a los de una centrifuga en el sistema de recuperación de aceites por prensado en frío, donde el aceite lavado de las cáscaras de la fruta se separa por centrifugación. Los flujos de aceite pueden contener hasta 2% de sólidos totales. Si no se añadiera agua durante el proceso y el material residual mantuviera el 77.5% de humedad, el licor después del prensado tendría aproximadamente el 1% de sólidos solubles del jugo extraído, esto es, 13°Brix.

En la figura 3.5 se observa, también, un tipo de procesamiento típico de los residuos de las agroindustrias jugueras que ilustra el uso y destino más común de las melazas cítricas. Este empleo consiste en su mezclado con las porciones de cáscara para su posterior deshidratación y, eventualmente, su presentación en forma de "pellets" para su comercialización y uso en la alimentación animal.

No hay datos a la fecha de otros usos comerciales. A nivel de investigación, Méndez-Dauzón y col. (1994) y Solís-Fuentes y col. (1996a), han reportado la posibilidad de su uso como sustrato en la producción de levadura forrajera. Esta vía pudiera representar una alternativa para la ampliación de las perspectivas de utilización de este residuo. Esta posibilidad se comenta a continuación.

### **3.2.4. La producción de levaduras como alternativa de uso de la melaza cítrica**

#### **3.2.4.1. Las levaduras en la industria**

Como es sabido, el grupo de microorganismos conocido como levaduras se ha definido de muy variadas maneras: hongos, la forma usual de la cual es unicelular; un grupo que no está ni bien definido ni es homogéneo; con apariencia de hongos que, al generar gases durante su proliferación, le producen agujeros a una hogaza de pan, etc. Aunque este grupo comprende subdivisiones de varias especies relacionadas, en sí mismo no constituye una entidad taxonómica. Comparado con otros grupos de microorganismos (algas, bacterias o protozoarios), las levaduras están representadas por pocos géneros y especies. Se estima que hay aproximadamente 500 especies agrupadas en 60 géneros. La cantidad total de levaduras producidas anualmente en el mundo es por encima de un millón de toneladas (Crumplen y col., 1987). Las especies mayormente utilizadas para la realización de procesos industriales se listan en la tabla 3.19 y la composición promedio de la levadura cervecera (*Saccharomyces cerevisiae*) se presenta en la tabla 3.20.

Se ha afirmado con frecuencia que las levaduras son el grupo más importante de microorganismos explotados por el hombre. Ello es, sin duda, no solo válido hoy en día sino que quizás se prolongue por muchos años en el futuro. Con los desarrollos de la biotecnología moderna, las levaduras están encontrando mayor importancia como productoras de proteínas heterólogas, como agentes de importantes biotransformaciones y como productores de compuestos saborizantes naturales, y grasas y aceites. Sin embargo, actualmente todavía la importancia industrial de las levaduras sigue cifrada en su capacidad para convertir rápida y eficientemente carbohidratos y azúcares en etanol, dióxido de carbono y/o biomasa.

**Tabla 3.19. Levaduras "industriales"**  
(Crumplén y col., 1987)

Especie
<i>Candida utilis</i>
<i>Candida pulcherrima</i>
<i>Candida reukauffi</i>
<i>Candida shehatae</i>
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
<i>Saccharomyces carlsbergensis</i>
<i>Saccharomyces distasica</i>
<i>Saccharomyces castellii</i>
<i>Saccharomyces occidentalis</i>
<i>Saccharomyces bayanus</i>
<i>Saccharomyces roxii</i>
<i>Kluyveromyces lactis</i>
<i>Kluyveromyces fragilis</i>
<i>Kluyveromyces marxianus</i>
<i>Hansenula wingei</i>
<i>Endomycopsis fibuligera</i>
<i>Pichia stipitis</i>
<i>Pichia tanophilus</i>

**Tabla 3.20. Levadura *Saccharomyces cerevisiae***  
composición promedio (Crumplén y col., 1987)

Compuesto	%
Nitrógeno total	6.5
Proteína bruta	42.02
Cenizas	10.0
Carbohidratos	43.0
Grasa	2.8
Fósforo	3.0
Calcio	2.2
Magnesio	0.3
Hierro	1950 ppm
Cobre	120 ppm
Zinc	10 ppm

Como grupo de microorganismos, las levaduras son capaces de utilizar y metabolizar un amplio espectro de carbohidratos y azúcares; no obstante, hasta ahora ninguna de las levaduras aisladas de ambientes naturales es capaz de metabolizar todos los tipos de carbohidratos y azúcares disponibles. Los carbohidratos más abundantes encontrados en la naturaleza son almidón (compuesto de cadenas de amilosa y amilopectina), material vegetal-celulósico (consistente de celulosa, hemicelulosa y lignina) e inulina (un polímero de la fructosa) junto con los disacáridos sacarosa (de azúcar de caña y remolacha) y lactosa (de la leche y otros productos lácteos). Los productos de hidrólisis de estos materiales incluyen glucosa, fructosa, galactosa, maltosa, maltotriosa, maltotetrosa, maltodextrinas, celobiosa, celulodextrinas, pentosas (xilosa, arabinosa, etc.), xilanos y lignina (Pelczar, 1982). Es muy raro que la hidrólisis de almidón o celulosa produzca un medio consistente de un sólo azúcar sencillo, es por ello que la fermentación de tal medio dependa de que los microorganismos en cuestión tengan la capacidad de metabolizar un buen número de azúcares o sus oligómeros

Crumplen y col., (1987) han destacado la importancia actual de las levaduras en función de las múltiples transformaciones que pueden realizar y que han dado lugar a importantes procesos comerciales. La tabla 3.21, resume algunas de las biotransformaciones más importantes realizadas por estos microorganismos y la tabla 3.22 contiene algunos de los saborizantes comúnmente obtenidos mediante la acción de síntesis de las levaduras, según ha sido reportado por Crumplen y col., (1987).

**Tabla 3.21. Biotransformaciones importantes realizadas por levaduras**  
(Crumplen y col., 1987)

Producto y/o biotransformación
Etanol, glicerol, biomasa y CO <sub>2</sub> , principalmente por <i>Saccharomyces sp.</i>
Producción de alfa-caroteno por <i>Rhodotorula glutinis</i>
Producción de L-fenilalanina por <i>Rhodotorula rubra</i>
Despolimerización de extractos de taninos por <i>Saccharomyces rouxii</i>
Producción de ácido ascórbico por <i>Candida norvegensis</i>

**Tabla 3.22. Saborizantes producidos por levaduras (Crumplen y col., 1987)**

Saborizante
Producción de ácido cítrico por <i>Yarrowia lipolytica</i>
Producción de acetato de etilo y acetaldehído por <i>Candida utilis</i>
Producción de monoterpenos por <i>Ambrosiozyma monospora</i>
Esteres y otros compuestos volátiles por <i>Kluyveromyces lactis</i>

La levadura *Saccharomyces cerevisiae* tiene la capacidad para consumir y fermentar una amplia gama de azúcares; por ejemplo glucosa, fructosa, manosa, galactosa, sacarosa, maltosa, maltotriosa y rafinosa. Adicionalmente, las especies cercanamente relacionadas *S. diastasicus* y *S. uvarum* son capaces de utilizar dextrinas y melobiosa respectivamente (Crumplen y col, 1987).

Hay otros azúcares que no pueden ser metabolizados por *Saccharomyces sp* pero si pueden serlo por otros géneros de levaduras, por ejemplo xilosa por *Candida shehatae*, *Pichia stipitis*, *Pachisolen tannophilis* y *Candida steatolytica*, celobiosa por *Candida wickerhamii* y *Schwanniomyces castellii*, lactosa por *Candida curvata* y *Kluyveromyces fragilis*, almidón por *Schwanniomyces sp* y *Saccharomycopsis fibuligera*, finalmente, inulina por *Kluyveromyces marxianus*.

Aparte de su contribución industrial, las levaduras han ayudado al progreso humano en el estudio y explicación de los procesos bioquímicos básicos, metabólicos y genéticos de las células vivas.

La levadura *Saccharomyces cerevisiae* es, con frecuencia, preferida como un microorganismo experimental porque es un organismo muy conocido, ampliamente utilizado y generalmente reconocido como seguro (GRAS por las siglas en inglés) y porque además es un organismo superior que consiste de células que poseen un núcleo verdadero rodeado por una membrana y contiene el material genético en múltiples cromosomas, lo que hace que puede crecer y ser analizado con mayor facilidad que las bacterias, que son procariontes (organismos unicelulares que carece de un núcleo "discreto" o separado rodeado por una membrana nuclear y que contienen su material genético dentro de un solo cromosoma).

Como todos los procesos industriales, los procesos fermentativos están sujetos a ciertos criterios los cuales son, en última instancia, económicos además de los tecnológicos, los que acotan la factibilidad de su operación. Algunos de estos criterios están íntimamente relacionados, con el peso

que tiene en la estructura de costos, cada uno de materiales y operaciones que en el intervienen. De acuerdo con algunos datos reportados por Whitaker y Stanbury (1984), el substrato, tiene una importancia primordial, de ahí los esfuerzos que se desarrollan constantemente por investigar materiales adecuados para su utilización como sustratos. Whitaker y Stanbury (1984) destacan las siguientes observaciones que se relacionan estrechamente con el desarrollo exitoso de un proceso fermentativo a nivel comercial:

- \* El capital invertido en el fermentador y equipos auxiliares debe de ser llevado a un mínimo previendo su versatilidad para ser utilizado en una variedad de procesos de fermentación.
- \* Las materias primas deben ser lo más baratas posibles y utilizadas eficientemente. Una investigación de posibles materiales alternativos es recomendable.
- \* Se debe utilizar una cepa de microorganismos de alto rendimiento.
- \* Debe ahorrarse mano de obra y error humano en lo posible, prefiriéndose procesos automatizados.
- \* Cuando se opera en procesos por lotes, el ciclo de crecimiento tendrá que ser lo más corto posible para obtener el más alto rendimiento del producto y permitir la máxima utilización del equipo.
- \* Los procesos de separación deben ser lo más simples, económicos y rápidos posibles.
- \* La descarga de efluentes contaminantes debe ser mantenida a un mínimo
- \* La energía en sus diferentes formas habrá de usarse eficientemente.

Para cualquier proceso es importante conocer la estructura de costos que permite observar donde es posible incidir con mayor eficacia en su reducción.

La tabla 3.23 muestra una estructura de costos de producción expresada como porcentaje del costo total para diferentes procesos fermentativos (Whitaker y Stanbury, 1984). En ella es notorio que hay 4 componentes básicos que contribuyen mayormente en el costo total de un proceso fermentativo. Estos son, en orden decreciente: Materias primas, costos fijos, servicios y mano de obra. En todos los procesos indicados es notorio el mayor peso de las materias primas. Ello indica claramente que la investigación sobre los medios de cultivo y las cepas a emplear es un aspecto de vital importancia.

**Tabla 3.23. Estructura de costos de procesos fermentativos típicos**  
(Whitaker y Stanbury, 1984)

Producto	M.Primas	Servicios	M.Obra	C.Fijos	Mantto.	Otros
Cerveza	38.4	----	24.5	7.2	29.9	----
Alcohol	73.4	13.3	-----	13.6	-----	----
A acético	46.8	23.1	19.5	10.5	-----	----
A. cítrico	42.2	6.0	51.7	----	-----	----
Biomasa	62.0	10.0	9.0	19.0	-----	----
Penicilina	58.0	20.3	5.4	-----	14.9	1.4

### 3.2.4.2. Contribución experimental: El crecimiento de *S. cerevisiae* en melaza "cítrica"

En un estudio realizado por Méndez-Dauzón y col. (1994) y Solís-Fuentes y col. (1995), donde se detallan los materiales y métodos empleados, se investigaron las condiciones de crecimiento de *S. cerevisiae*, mediante cultivo sumergido en melaza cítrica proveniente de una planta industrializadora de cítricos y piña, en el estado de Veracruz. En estos mismos trabajos se estimaron los parámetros cinéticos de reproducción celular y se compararon simulaciones de reacción, por computadora, de este microorganismo en este sustrato, con las de otros microorganismos en sustratos ya estudiados.

La composición de la melaza "cítrica" de piña utilizada, se da en la tabla 3.24 de acuerdo a los valores reportados por Méndez-Dauzón y col. (1994) y Solís-Fuentes y col. (1995)

Las muestras de melaza "cítricas", provenientes de la planta industrial de la localidad de Coatepec, Ver., correspondieron a los residuos de la elaboración de jugo concentrado de piña. Éstas consistieron de un líquido viscoso de color ámbar oscuro y aroma característico. El análisis físico-químico de acuerdo a las determinaciones realizadas se muestra en la tabla 3.24. En ella puede observarse la riqueza en carbohidratos sencillos de este material residual del proceso de elaboración de jugo de piña.



**Tabla 3.24. Composición de la melaza cítrica de piña**  
(Méndez-Dauzón y col., 1994; Solís-Fuentes y col., 1996a)

Característica	Valor
Grados Brix	44
Densidad, g/mL	1.14
pH	5.8
Azúcares reductores totales, %	31.96
Nitrógeno total, %	1.40

La prueba de viabilidad de la levadura *S. cerevisiae* empleada mostró que era adecuada. El conteo en placa arrojó una concentración de 132 millones de células por mL.

La tabla 3.25 muestra el cambio en la concentración de azúcares reductores totales, ART (en g de ART/mL) y el cambio en la concentración celular, CC (en g de células/L) estimada por el consumo de azúcares y el rendimiento promedio en peso de células formadas por peso de sustrato consumido, durante el tiempo de la fermentación, para concentraciones iniciales del sustrato de 5, 10, 17 y 25°Brix, respectivamente.

La figura 3.6 muestra las curvas de degradación de este sustrato por *Saccharomyces cerevisiae* a diferentes concentraciones y la figura 3.7 compara el cambio en la concentración celular de la levadura a las diferentes concentraciones iniciales de la melaza cítrica. En esta última puede observarse una mejor respuesta al crecimiento de la población del microorganismo en el estudio a una concentración de 17 °Brix de la melaza.

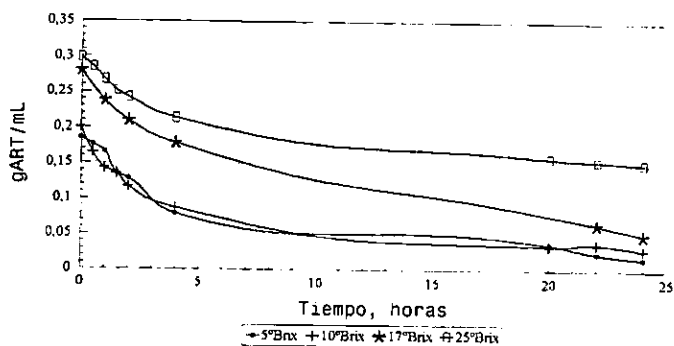
La estimación de las velocidades iniciales de crecimiento del microorganismo se calculó mediante la estimación de la velocidad específica de crecimiento ( $\mu$ ) durante la fase de crecimiento logarítmico de la levadura para las diferentes concentraciones de la melaza en estudio.

**Tabla 3.25. Consumo de azúcares reductores totales (ART) y concentración celular (CC) de *S. cerevisiae* (Méndez-Dauzón y col., 1994; Solís Fuentes y col., 1995)**

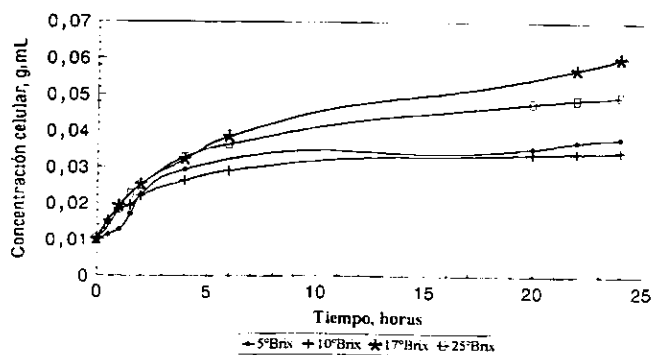
t (h)	Concentración de la melaza "citríca"							
	5°Brix		10°Brix		17°Brix		25°Brix	
	gART/mL	CC(g/L)	gART/mL	CC(g/L)	gART/mL	CC(g/L)	gART/mL	CC(g/L)
0	0.1851	0.0100	0.2003	0.0100	0.2798	0.0100	0.2981	0.0100
0.33	-----	-----	-----	-----	0.2688	0.0123	-----	-----
0.50	0.1759	0.0113	0.1643	0.0152	-----	-----	0.2848	0.0136
0.66	-----	-----	-----	-----	0.2543	0.0155	-----	-----
1.00	0.1656	0.0127	0.1424	0.0184	0.2374	0.0192	0.2671	0.0184
1.33	-----	-----	-----	-----	0.2261	0.0216	-----	-----
1.50	0.1356	0.0170	0.1349	0.0194	-----	-----	0.2513	0.0226
1.66	-----	-----	-----	-----	0.2192	0.0231	-----	-----
2.00	0.1283	0.0223	0.1165	0.0220	0.2094	0.0252	0.2419	0.0251
4.00	0.0791	0.0293	0.0871	0.0262	0.1781	0.0321	0.2137	0.0327
6.00	-----	-----	0.0625	0.0297	0.1492	0.0384	0.2003	0.0363
20	0.0369	0.0353	0.0346	0.0337	-----	-----	0.1582	0.0477
22	0.0241	0.0371	0.0324	0.0340	0.0646	0.0570	0.1544	0.0487
24	0.0169	0.0381	0.0290	0.0344	0.0499	0.0601	0.1508	0.0496

\* Reactor a escala laboratorio de 500 mL  
Temperatura de reacción 30°C

**Figura 3.6. Consumo de azúcares reductores totales por *S. cerevisiae* en melaza "citríca" (Méndez-Dauzón y col., 1994; Solís-Fuentes y col., 1996a)**



**Figura 3.7. Cambio en la concentración celular de *S. cerevisiae* en melaza "citríca" (Méndez-Dauzón y col., 1994; Solís-Fuentes y col., 1996a)**



Durante la fase de crecimiento logarítmico, la rapidez de cambio en la concentración celular está dada por

$$dx/dt = \mu x$$

La integración desde una concentración inicial  $x_0$  a un tiempo 0, hasta una concentración  $x$  a un tiempo  $t$  proporciona

$$x/x_0 = e^{\mu t}$$

Así, el tiempo de duplicación, esto es el tiempo necesario para que la concentración de la masa celular se el doble de la inicial, estará dado por

$$t_d = \ln 2/\mu$$

El cálculo de la velocidad específica de crecimiento ( $\mu$  en 1/h) mediante regresión lineal con los datos de las tablas anteriores y el tiempo de duplicación (en h) para cada concentración de la melaza se da en la tabla 3.26.

**Tabla 3.26. Velocidades específicas de crecimiento ( $\mu$ ) y tiempo de duplicación de *S. cerevisiae* en melaza cítrica**  
(Méndez-Dauzón y co., 1994; Solís-Fuentes y col., 1996a)

Concentración °Brix	$\mu$	tiempo de duplicación
5	0.2847	2.43
10	0.3640	1.90
17	0.4676	1.48
25	0.4696	1.47

El ajuste de estos datos, mediante el modelo de Lineweaver-Burk a la ecuación de Monod, permitió la determinación de las constantes cinéticas de reproducción o incremento de la masa celular, velocidad máxima y constante de saturación ( $V_{max}$  y  $K_s$ ) en este material complejo. La tabla 3.27 da los valores de  $\mu$ , su inverso y el inverso de la concentración del sustrato, de acuerdo al modelo de Lineweaver y Burk.

**Tabla 3.27. Adecuación de los datos al modelo de Lineweaver y Burk (Solis-Fuentes y col., 1996a)**

Concentración °Brix	1/S (mL/g)	$\mu$ (1/h)	1/ $\mu$ (h)
5	0.200	0.2847	3.5124
10	0.100	0.3640	2.7472
17	0.058	0.4676	2.1385
25	0.040	0.4696	2.1294

Como lo indica el método, la graficación del inverso de la concentración del sustrato contra el inverso de la velocidad específica de crecimiento y su ajuste a un modelo de regresión lineal se usaron para la estimar la constante de saturación  $K_s$  y la velocidad máxima,  $\mu_{max}$ . Los resultados encontrados fueron  $K_s = 2.2852 \text{ gART/L}$ ,  $\mu_{max} = 0.577/h$  y rendimiento promedio  $Y = 0.4513 \text{ g de levadura / g ART}$ .

La simulación mediante computadora del crecimiento celular de *S. cerevisiae*, acorde con los parámetros encontrados en este sustrato, así como la de otros microorganismos en sustratos más sencillos en función de los parámetros reportados en la literatura, muestra amplias posibilidades para el crecimiento de microorganismos en este residuo de la industria agroalimentaria.

La tabla 3.28 contiene las condiciones de crecimiento y las constantes cinéticas del modelo de Monod de diversos microorganismos en varios sustratos, acorde con lo reportado por diferentes autores.

**Tabla 3.28. Constantes cinéticas del crecimiento de microorganismos en diferentes sustratos**

Microorganismo	Sustrato	Ks	$\mu_{max}$	Y	Ref.
<i>Aspergillus nidulans</i>	glucosa	0.072	0.200	0.43	Moo-Young (1985)
<i>Geotrichum candidum</i>	glucosa	0.024	0.353	0.49	Moo-Young (1985)
<i>S. cerevisiae</i>	melaza*	-----	0.250	0.50	Moo-Young (1985)
<i>S. cerevisiae</i>	glucosa	0.025	0.500	0.50	Quintero (1981)
<i>E. coli</i>	glucosa	0.004	-----	0.14	Atkinson y Mavituna (1983)
<i>Aerobacter aerogenes</i>	glucosa	0.001	0.670	0.14	Atkinson y Mavituna (1983)
<i>Candida utilis</i> -	melaza*	-----	0.330	0.60	Moo-Young (1985)
<i>E. coli</i>	lactosa	0.020	1.200	0.50	Viniegra (1986)

\* Melaza de caña de azúcar

### 3.2.4.3 Simulación en computadora del crecimiento de *S. cerevisiae*.

La simulación del crecimiento de algunos microorganismos, para los cuales se tienen los parámetros cinéticos del modelo de Monod, se programaron y ejecutaron con el paquete ISIM. Los resultados se presentan en las figuras 3.8 a la 3.12.

La figura 3.8 muestra el crecimiento celular de la levadura *S. cerevisiae* en melaza cítrica mediante el uso del simulador. En ella puede observarse que, a las 16 horas, el sustrato es consumido por la acción del microorganismo. Como puede verse en la tabla 3.28, se han reportado en la literatura datos para el crecimiento del mismo tipo de levadura, en sustratos más sencillos (como en glucosa como fuente de carbono), mostrando rendimientos de 0.5 g de biomasa/g de sustrato consumido, una  $\mu_{max}$  de 0.05 h<sup>-1</sup> y una Ks de 0.025g/L. En este caso la simulación mostró, como era de esperarse por las condiciones menos complejas del sustrato, un agotamiento más rápido del mismo.

Los resultados de estos experimentos mostraron que aún cuando la melaza cítrica es un sustrato complejo, cuya composición pudiera incluir sustancias inhibitoras o no favorecedoras del crecimiento de microorganismos, puede, a la luz de estos primeros resultados, considerarse como una fuente no convencional de azúcares para su uso como sustrato en fermentaciones,

delineándose la posibilidad de una vía de aprovechamiento para este, hasta ahora, residuo de la agroindustria

Figura 3.8. Crecimiento celular de *S. cerevisiae* en melaza "citríca". Simulación por computadora (Méndez-Daizón y col., 1994; Solís-Fuentes y col., 1996a)

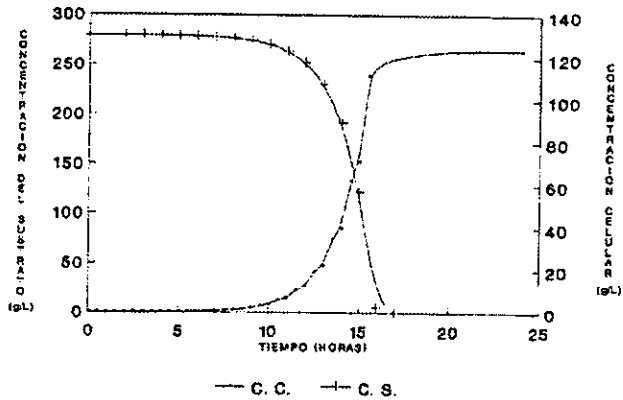


Figura 3.9. Crecimiento celular de *S. cerevisiae* en glucosa. Simulación por computadora (Méndez-Daizón y col., 1994; Solís-Fuentes y col., 1996a)

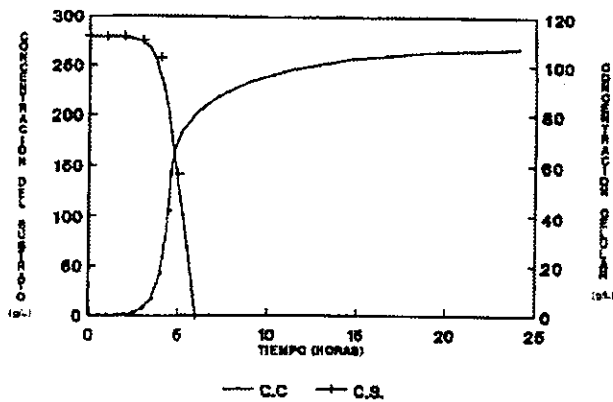


Figura 3.10. Crecimiento celular de *Aspergillus nidulans* en glucosa. Simulación por computadora (Méndez-Daurón y col., 1994; Salis-Fuentes y col., 1996a)

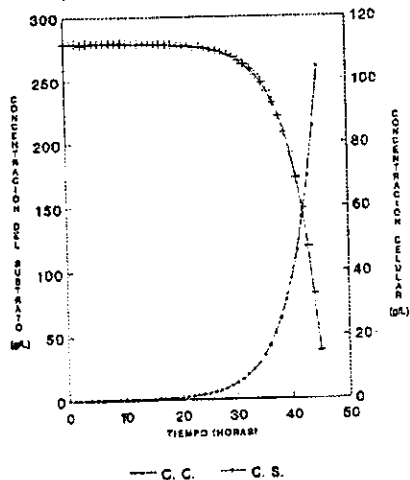
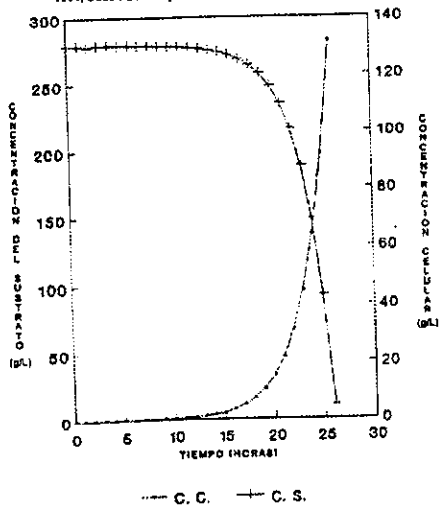


Figura 3.11. Crecimiento celular de *Gaerickium candidum* en glucosa. Simulación por computadora (Méndez-Daurón y col., 1994; Salis-Fuentes y col., 1996a)





## 4. Salvado de arroz

Otro material importante es el salvado de arroz, cuyas características económicas y nutrimentales son destacables y por ser éste un subproducto del procesamiento del arroz, cereal de consumo básico y generalizado en México y en el mundo. Las más recientes investigaciones identifican en el salvado de arroz características nutricias de gran valor en la alimentación animal y humana y compuestos extraíbles de importante valor económico.

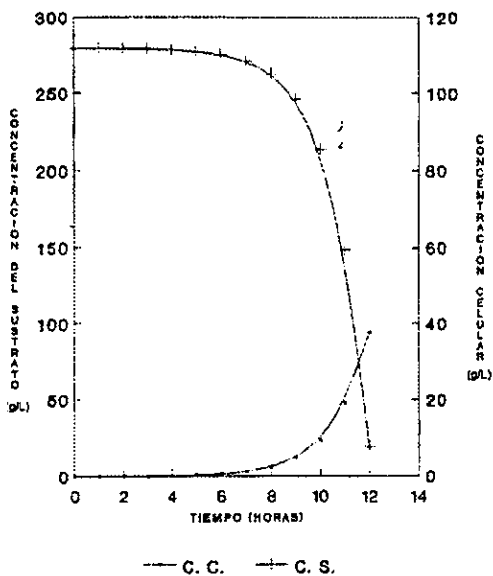
### 4.1. Importancia económica y social del arroz

El arroz es un cereal de suma importancia en el mundo, que si bien se produce en su mayor cantidad en los países del Asia, su consumo es generalizado en todas las naciones de occidente, estimándose que su producción representa un equivalente de alimento para cerca de la mitad de la población humana de la tierra (Salunkhe y col., 1985) La tabla 4.1, sintetiza la distribución de la producción de arroz en las diferentes regiones del mundo.

**Tabla 4.1. Producción, en millones de toneladas,  
de arroz palay en el mundo, 1980**  
(Salunkhe y col., 1985)

Región	Producción
Africa	8.429
América	23.127
Asia	365.734
Europa	1.835
Oceanía	.654
Total	399.799

Figura 3.12. Crecimiento celular de *Aerobacter aerogenes* en glucosa. Simulación por computadora (Méndez-Dauzón y col., 1994; Sois-Fuentes y col., 1996a)



En la actualidad, según el Servicio Nacional de Información de Mercados (SNIM, 1996), la dinámica del mercado mundial del arroz ha provocado incrementos sustanciales de la producción de arroz, en el mundo, en los últimos años. Para el ciclo 1995/96 se estima, según datos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por las siglas en inglés) que la producción mundial de arroz pulido, al mes de febrero de 1996, alcanzó 367.7 millones de toneladas (alrededor de 500 millones de toneladas de arroz palay). Tal volumen es superior en alrededor de 1.8% al obtenido en el periodo anterior. Los principales países productores del cereal son China, India, Indonesia, Bangladesh, Vietnam, Tailandia y Burma.

En México, el arroz se cultiva en una superficie promedio de alrededor de 200 mil hectáreas donde se ha logrado, en las dos últimas décadas, una producción promedio anual de alrededor de 650 mil toneladas. Dependiendo de varios factores, entre los que se destacan los climáticos y económicos, la producción de arroz en México ha venido fluctuando en los últimos años entre las 300 mil y 800 mil toneladas en números redondos, con notables descensos en los últimos 5 años. Como puede observarse en la tabla 4.2, la producción nacional de arroz en 1995 se ubicó en las 308 mil toneladas.

**Tabla 4.2. México, producción nacional de arroz palay en 1995**  
(SNIM, 1996)

<b>Entidad</b>	<b>Producción en miles de toneladas</b>
Veracruz	120.6
Sinaloa	42.5
Campeche	28.3
Otros	117.1
<b>Total</b>	<b>308.5</b>

Las zonas de mayor producción de arroz en la República Mexicana se localizan en los estados de Sinaloa, Campeche, Michoacán y Veracruz, cultivándose también de un modo importante en los estados de Nayarit, Morelos, Jalisco, Tamaulipas, Colima, Quintana Roo y Chiapas.

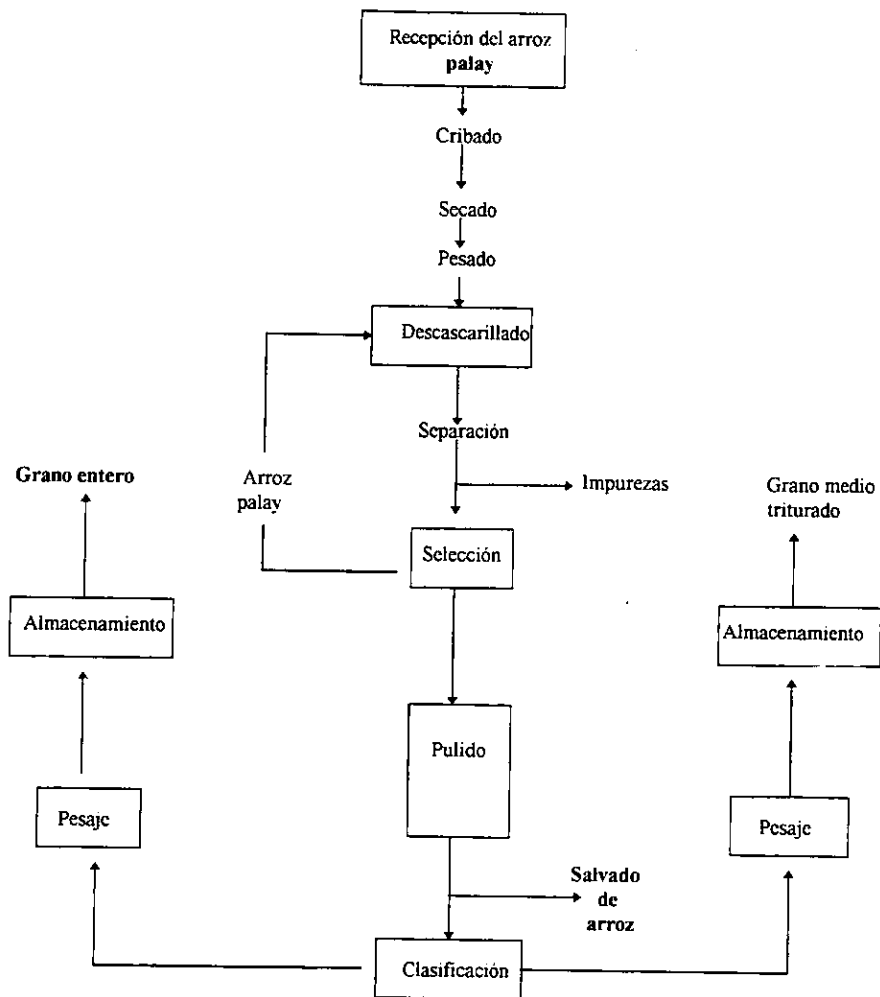
#### 4.2. El procesamiento industrial del arroz

Para ser consumido por el hombre, el arroz desde la antigüedad, ha requerido ser procesado después de cosechado en los campos de cultivo. El procesamiento tradicional incluye dos tratamientos fundamentales: La deshidratación y el beneficiado. El primero, por lo general, se realiza en el lugar mismo de su cosecha, ya sea mediante el secado al sol o mediante el uso de secadores de diversos tipos, disminuyendo la humedad del grano hasta un 14%.

La molienda o beneficiado del arroz consiste en términos generales en la eliminación de la cáscara del arroz palay y en la remoción de las capas más externas de la testa. El proceso es en sí mismo sencillo y se realiza industrialmente mediante diversos dispositivos mecanizados: cribas, descascaradoras, pulidoras, clasificadoras, etc. La figura 4.1 presenta, mediante bloques, una descripción general del proceso de beneficiado típico del arroz.

El procesamiento industrial del arroz produce colateralmente una variedad considerable de subproductos y/o residuos, de los que se distinguen por su subutilización y cantidades producidas, dos: la cascarilla y el salvado de arroz. La cantidad que de ellos se logre, en un caso específico, depende fundamentalmente del tipo, grado de procesamiento y variedad de arroz empleada. La cascarilla, según González y col., (1986), representa alrededor del 20% del arroz con cáscara (palay) beneficiado.

Del arroz que se cultiva en México, Delgado y col., (1984) reportan que, de 14 variedades estudiadas por ellos, las Grijalva A-71, Joaquín A-74, Macuspana A-75 y Huasteca A-80 producen, durante su beneficiado, un mayor porcentaje de salvado. El porcentaje promedio se ubicó en 7.4 kg de salvado de arroz por cada 100kg de arroz procesado.



**Figura 4.1. Diagrama de bloques del proceso de beneficiado de arroz**  
(Salunkhe y col., 1985)

Los usos actuales del salvado de arroz en México son casi con exclusividad en la alimentación de animales, ya sea proporcionándosele directamente a los animales o como ingrediente en las formulaciones comerciales de alimentos balanceados. En otros países, como los asiáticos, donde se cosecha la mayor cantidad de arroz en el mundo, el salvado de arroz es materia prima importante para la obtención de aceite comestible y, en ocasiones, ha dado lugar al desarrollo de diversos productos alimenticios para consumo humano.

### 4.3. Características fisicoquímicas y nutricias del salvado de arroz

La cariopsis del arroz es un fruto en el que la semilla ocupa la mayor parte; está cubierta por dos glumas fluorescentes: la lema y la palea. Dos pequeñas lemas estériles, la rachila y el pedicelo pueden estar presentes en el grano de arroz palay dirigido a la molienda. La estructura del grano de arroz ha sido descrita por varios autores (Salunkhe y col., 1985). La estructura fina del grano de arroz se muestra en la figura 4.2.

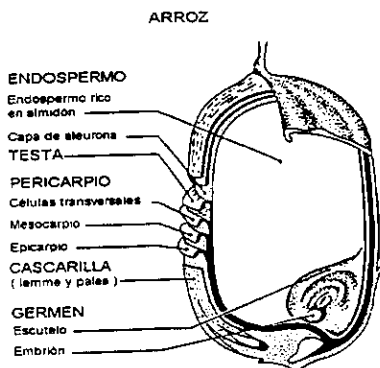


Figura 4.2. Estructura del grano de arroz  
(Salunkhe y col., 1985)

Durante el proceso de molienda, la cariopsis es rota, mostrando la capa más externa o pericarpio. Inmediatamente después del pericarpio, en la semilla cubierta, conocida por algunos autores como testa y como tegumen por otros, se localizan la capa de aleurona y el endospermo almidonáceo. El germen se ubica en una cavidad en la parte baja de la cariopsis. El proceso de beneficiado o blanqueo del arroz se realiza para remover el pericarpio, la testa, las capas de aleurona y el germen, aún cuando a veces se separan también, partes de endospermo. El salvado del arroz entonces, está constituido de fragmentos de las porciones del grano antes mencionadas más algunas partículas del endospermo y, ocasionalmente, algunas porciones de cascarilla.

Algunos estudios han identificado las diferentes clases de partículas "discretas" que conforman el salvado de arroz (Barber y Benedito de Barber, 1980): fragmentos de glumas fluorescentes, fragmentos de glumas estériles, porciones de pedicelo, pericarpio, endospermo almidonáceo, germen entero o sus fragmentos, porciones de aleurona y pericarpio

La composición fisicoquímica del salvado de arroz depende de múltiples factores asociados con el grano en sí mismo y con el proceso de molienda a que ha estado sujeto. Dentro de lo primeros se encuentra la variedad y las condiciones de cultivo del arroz, que se traducen en la composición química promedio del grano, en la distribución de los mismos en las diferentes partes anatómicas y en el tamaño y forma de los granos así como en su diferente resistencia al rompimiento y la abrasión (Barber y Benedito de Barber, 1980).

Entre los factores que pueden asociarse al proceso de molienda se encuentran las variaciones en los métodos y equipos utilizados para el beneficiado y a las condiciones mismas de la molienda. Los "diferentes" salvados de arroz que pueden obtenerse durante el procesamiento del cereal son: el que proviene de la primera etapa del proceso y los que se originan durante las múltiples etapas del blanqueo mismo. Durante estas últimas pueden obtenerse: salvado de primer cono, salvado de arroz parcialmente desgerminado o con germen que puede contener o no pulido, pulido de arroz y germen de la etapa de blanqueo. Por lo general, el salvado de arroz comercial es una mezcla de las diferentes porciones de subproductos que se logran durante todo el proceso, exceptuando casi siempre, la cascarilla.

Los datos publicados sobre la composición del salvado de arroz se establecen en un intervalo amplio de valores. Barber y Benedito de Barber (1980), reporta los intervalos usuales de variación de la composición proximal de salvado de diferentes variedades de arroz cultivadas en algunos países. La tabla 4.3 presenta estos valores.

**Tabla 4.3. Composición proximal de salvado de arroz**  
(Barber, 1977)

Constituyente	Valor mínimo*	Valor máximo*
Proteína	6.7	17.2
Grasa cruda	4.7	22.6
Fibra cruda	6.2	26.9
Cenizas	8.0	22.2
Extracto libre de nitrógeno	33.5	53.5

\*Valores % en base seca

Como es lógico suponer, por las diferencias histoquímicas del grano, el salvado que proviene de las primeras etapas del proceso es diferente en composición de aquel que se logra durante las etapas posteriores de blanqueo. El primero tenderá a ser más bajo en grasa y proteínas y más alto en cenizas y fibra. El tipo de maquinaria usada para las primeras etapas de beneficio también influye en la composición de los salvados obtenidos en los diferentes conos de blanqueo. Por ejemplo el descascarador de banda, produce un arroz sin cáscara, moreno, sin daño a partir del cual podrá obtenerse un salvado más rico en grasa. El descascarador de discos por su parte, remueve además de las capas deseadas algunas partes del germen y otras capas ricas en aceite, mismas que no se incorporarán ya al salvado posteriormente obtenido.

El tipo de máquinas destinadas al proceso de pulido del arroz, también provoca en su uso variaciones en la composición fisicoquímica del salvado. Las máquinas que funcionan a base de fricción producen un salvado de mayor contenido en grasa que el que se produce mediante pulidoras que funciona por abrasión (Barber y Benedito de Barber, 1977). Estas últimas máquinas con frecuencia fracturan el grano, alcanzando capas más profundas durante el pulido.

Las capas histológicas del grano de arroz a diferentes profundidades, difieren en su composición. Por ello, el grado de molienda determina grandemente la composición del salvado obtenido. En procesos de blanqueo que incluyen el paso del arroz por una serie de pulidoras, el salvado de los últimos conos es más rico en extracto libre de nitrógeno y más bajo en proteína, grasa, fibra y cenizas. En términos generales, las diferencias entre los salvados de diferentes conos no son tan



grandes como para justificar una separación de las fracciones de los diferentes conos de pulido. En la práctica, las diferentes fracciones de salvado logrado durante las sucesivas etapas de blanqueo, se mezclan, como ya se dijo, para obtener un solo producto comercial.

A continuación se presentan, a un poco más de detalle, algunas cifras reportadas sobre la composición del salvado de arroz en términos de sus carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas y minerales.

### Carbohidratos

Los carbohidratos presentes en el salvado de arroz son, en su mayor parte, almidón. Esto es porque el salvado contiene una buena proporción de partículas de endospermo, porción del grano rica en este polisacárido. El contenido de almidón en el salvado se incrementa conforme se va avanzando en el proceso de blanqueo.

La presencia de azúcares libres en el salvado según algunos reportes (Barber, 1977), está entre el 3 y 5% b.s., de éstos, los azúcares reductores se encuentran en mayor abundancia en una proporción que va de 3 a 1, a 4 a 1 respecto a los no-reductores. Entre estos azúcares libres se encuentra la glucosa, la fructosa, la sacarosa y la rafinosa.

Otros polisacáridos importantes son la celulosa y la hemicelulosa que se encuentran en este material entre un 9.6 y 12.8 para la celulosa y alrededor del 5% para la hemicelulosa (Shibuya e Iwasaki, 1985).

La lignina, otro biopolímero importante que es parte constitutiva de la matriz estructural de las células vegetales se encuentra en muestras de salvado de arroz en valores que van del 7.7 al 13.1% (De Rege, 1964)

Los polisacáridos pécticos, poco estudiados en los cereales han sido hallados e investigados por Shibuya y col. (1984) en el endospermo almidonáceo del arroz. En esta porción, según estos autores, puede llegar a alcanzar valores de hasta el 10% de los componentes totales.

## Proteínas

La mayor parte del nitrógeno del salvado de arroz es nitrógeno proteínico, llegando a ser hasta del 84% del nitrógeno total. Los datos reportados para aminoácidos libres en este material fluctúan entre 22 y 300 mg por cada 100 gramos de salvado. Los que en mayor proporción se han encontrado son el ácido glutámico, alanina y serina. Otros compuestos nitrogenados reportados son la guanina, xantina, adenina, hipoxantina, histidina, amoniaco, dimetilamina, trimetilamina, citosina, ácido nicotínico, guanidina, betaína, colina, uracilo y flavin-adenin-dinucleótido y mononucleótido.

En lo que respecta a la composición aminoácida de las proteínas del salvado de arroz, se han reportado datos que muestran una gran variabilidad. El principal factor de variación parece ser el método analítico empleado. La variedad de arroz y el tipo de salvado han tenido menos significación en estas variaciones. Por otro lado, se ha encontrado que las condiciones de hidrólisis durante la determinación analítica, afectan los contenidos de metionina, serina, treonina, triptofano y cistina, así como la formación de aminoácidos ramificados. La tabla 4.4, contiene los valores promedio y las desviaciones estándar del contenido de aminoácidos de muestras de salvado de arroces cultivados en España, Japón y Estados Unidos de América, según lo reportado por Barber y Benedito de Barber (1977).

Barber (1977) señala que las fracciones proteínicas del salvado de arroz son principalmente albúminas y globulinas, así como glutelinas en los salvados con mayor proporción de pulido proveniente de los últimos conos de blanqueo y en menor proporción la fracción de prolaminas.

Por otro lado, se ha reportado la existencia de una amplia variedad de enzimas en el salvado de arroz. Así, se ha identificado la presencia de alfa y beta amilasa, ácido ascórbico-oxidasa, catalasa, citocromo oxidasa, deshidrogenasa, desoxirribonucleasa-I, estearasa, flavin oxidasa, alfa y beta glucosidasa, ácido glutámico descarboxilasa, glutamina sintetasa, glutation reductasa, betaglicerofosfatasa, invertasa, lecitinasa, lipasa, lipooxigenasa, maltasa, pectinasa, peroxidasa, fosfatasa, fitasa, polifenoloxidasa, proteasa y piridin nucleótido transhidrogenasa, entre otras (Barber, 1977).

El germen y las capas más externas de la cariopsis son las partes de mayor actividad enzimática. Por ejemplo, la actividad amilolítica (mg de maltosa/10 g de sustrato) en productos del beneficiado de arroz han sido reportados, como puede verse en la tabla 4.5, tomada de Barber y Benedito de Barber (1980).

**Tabla 4.4. Aminoácidos del salvado de arroz**  
(Barber y Benedito de Barber, 1977)

Aminoácido	Promedio*	Desviación estándar
Lisina	3.88	0.82
Histidina	2.11	0.57
Arginina	6.50	1.31
A. aspártico	7.62	2.03
Treonina	3.06	0.69
Serina	4.24	0.73
Triptófano	1.70	0.51
A. glutámico	12.84	2.86
Prolina	4.10	1.01
Glicina	4.52	0.86
Alanina	5.67	1.22
Cistina	1.63	0.58
Valina	5.45	0.43
Metionina	2.22	0.35
Isoleucina	3.94	0.54
Leucina	6.96	1.44
Tirosina	3.65	1.28
Fenilalanina	4.47	0.83

\* g /16 g de N

**Tabla 4.5. Actividad amilolítica en los productos del arroz**

(Barber y Benedito de Barber, 1980)

Productos	*
Arroz sin cáscara	39
Arroz blanco	15
Germe	310
Salvado	320

\*mg de maltosa/10 g de sustrato

## Lípidos

Las mayores especies lipídicas del aceite de salvado de arroz fresco son las grasas neutras existentes entre un 88.1 y 89.2%; glicolípidos entre 6.3 y 7.0% y fosfolípidos entre 4.5 - 4.9%. Los lípidos neutros consisten principalmente de triacilglicéridos (de 83 a 85.5%), monoacilglicéridos (de 5.9 a 6.8%) y pequeñas cantidades de diacilglicéridos, esteroides y ácidos grasos libres (Aibara y col., 1986; Hemavathy y Prabhakar, 1987). Diversas investigaciones han mostrado que los ácidos grasos más abundantes constituyentes de los acilglicéridos del salvado son: linoleico, oleico y palmítico y que las especies moleculares LLO, LOO y PLO son las tres halladas en mayor cantidad (Aibara y col., 1986).

Los monoacilglicéridos son los segundos componentes de mayor abundancia de acuerdo a su cantidad en los lípidos del salvado, sin importar la variedad de arroz de que se trate, algo poco común en las grasas de los cereales y de semillas oleaginosas. Por otro lado, la cantidad de sn-1,2(3) diacilglicéridos, es ligeramente mayor que la de los sn-1,3, algo muy semejante a lo que sucede con el aceite de cacahuate (Hemavathy y Prabhakar, 1987). Los contenidos de ácidos grasos libres fluctúan, cuando el salvado es fresco, entre 2.1 y 3.7%.

Los glucolípidos más abundantes son los glucósidos esterilacilados y los digalactósidos diacilglicéridos, estando presentes en menor proporción. Todos estos glucolípidos contienen proporciones mayores de los ácidos palmítico, oleico y linoleico.

Hemavathy y Prabhakar (1987) reportan que los fosfolípidos más abundantes en el salvado de arroz son la fosfatidilcolina, la fosfatidiletanolamina, fosfatidilinositol y el ácido fosfatídico y, en menores proporciones, fosfatidilglicerol, lisofosfatidilcolina y lisofosfatidiletanolamina.

Delgado y col. (1984), reportan el contenido y la composición química del aceite de salvado de arroz de 14 variedades de arroz que se comercializan en México. La tabla 4.6 reporta los resultados obtenidos por estos autores respecto a la composición en ácidos grasos de los aceites de salvado. En este mismo estudio se hizo evidente que las variedades Grijalva A-71, Macuspana A-75, Huastecas A-80, Campeche A-80 y Joaquín A-70 son las de mayor rendimiento en salvado, fluctuando tal rendimiento entre 8.24 y 9.38%. De éstas, sólo la Joaquín A-74 y Macuspana A-75 reportaron valores altos de rendimiento en aceite, 20.8 y 22.4% respectivamente.

**Tabla 4.6. Contenido porcentual en ácidos grasos del aceite de salvado de arroz de diferentes variedades de arroz cultivadas en México**  
(Delgado y col., 1984)

Variedad	Ácidos grasos					
	16.0	16.1	18.0	18.1	18.2	18.3
Grijalva	15.65	0.34	1.24	43.27	35.88	3.61
Morelos A-70	22.26	0.75	1.79	43.47	29.50	2.24
Novolato A-71	19.04	0.41	2.14	42.31	33.25	2.85
Joaquín A-74	13.15	0.40	3.87	50.42	30.82	1.34
Juchitán A-74	20.31	1.23	1.85	44.62	30.77	1.23
P. Negras A-74	18.18	0.37	1.84	49.59	27.55	2.48
Macuspana A-75	17.26	0.24	1.30	45.78	33.06	2.35
Bamoa A-75	17.36	0.40	1.74	41.46	36.72	2.34
Cárdenas A-80	17.70	0.41	1.80	36.97	40.25	2.87
Huastecas A-80	16.60	0.77	3.47	48.65	30.50	1.74
Champotón A-80	16.08	0.71	1.89	41.47	37.83	2.13
Campeche A-80	16.27	0.74	1.85	44.36	35.45	1.48
Sinaloa A-80	18.63	0.98	1.63	45.10	30.75	2.94

## Vitaminas

El salvado de arroz es rico en vitaminas, particularmente, del complejo B y tocoferol; mientras que se ha encontrado una relativa escasez en vitaminas A y C. La tabla 50 resume los contenidos promedio de vitaminas en el salvado de acuerdo a lo reportado por Barber y Benedito de Barber (1980).

**Tabla 4.7. Vitaminas en el salvado de arroz\***  
(Barber y Benedito de Barber, 1980)

Vitamina	Contenido
Vitamina A	4.2
Tiamina	10.1 - 27.9
Riboflavina	1.7 - 3.4
Niacina	236.0 - 590.0
Piridoxina	10.3 - 32.1
A. pantoténico	27.7 - 71.3
Biotina	0.2 - 0.60
Inositol	4627.0-9270.0
Colina	1279.0- 1700.0
A. fólico	0.5 - 1.46
Vitamina B12	0.005
Tocoferol	149.2

\* En  $\gamma/g$  b s.

Al igual que los otros constituyentes, las vitaminas en el grano de arroz no están uniformemente distribuidas. La mayor concentración se localiza en las capas más externas de la testa. Es por ello que el salvado contienen una buena parte del contenido vitamínico del grano de arroz. Sin embargo, el patrón de distribución no es idéntico para todas las vitaminas. De este modo, alrededor del 80% de la niacina y alrededor del 35% de la tiamina se ha hallado presente en el pericarpio y la capa de aleurona. En el germen se localiza aproximadamente el 55% de la tiamina y el 2.5% de la niacina. Los niveles de concentración de algunas vitaminas como el ácido

pantoténico, son más altos en algunas capas más internas del grano en las proximidades del endospermo almidonáceo. Estas vitaminas en el salvado de arroz se encuentran tanto en forma libre como combinada. Algunos estudios han mostrado que aproximadamente el 75% de la riboflavina se encuentra en forma esterificada, el 89% del ácido fólico, el 49% del ácido pantoténico y el 86% de la niacina están presentes en sus formas combinadas (Barber y Benedito de Barber, 1980).

#### Minerales

El fósforo es uno de los minerales que se encuentra en mayor cantidad en el salvado de arroz. También se hallan presentes en cantidades importantes el potasio, magnesio y sílice. En niveles menores están el calcio, cloro, manganeso, hierro y sodio, y bario y boro en cantidades vestigiales o traza. De igual manera que con los otros constituyentes químicos, la presencia de minerales en el salvado varía según el grado de molienda a que se sujeta el arroz del cual proviene, dada la distribución de los minerales en las diferentes capas histoquímicas del grano. Así se ha observado que el fósforo, potasio y magnesio existen en mayor cantidad en las capas más externas del grano y, por tanto, su concentración en las fracciones de salvado se eleva en las primeras etapas del blanqueo y decrece a medida que la molienda se hace más profunda. El calcio, el magnesio y el hierro presentan un decremento de concentración desde las primeras etapas del proceso. El fósforo está presente en el salvado como ácido fitico, fósforo inorgánico, ácidos nucleicos y fosfátidos (Barber, 1977).

#### 4.4. Los procesos de deterioro: acción enzimática y enranciamiento

Los procesos bioquímicos de deterioro de los alimentos son un aspecto ampliamente estudiado por las consecuencias nutrimentales y económicas que acarrear.

En el salvado de arroz, uno de tales procesos que parece ser determinante en las posibilidades de mayor y mejor uso de este subproducto es la alteración de sus lípidos. La hidrólisis y oxidación son dos de los principales procesos bioquímicos responsables de la descomposición de los alimentos y que, en el caso de las grasas, se traduce en la producción de malos olores y sabores de la rancidez. Tal estado puede desarrollarse tanto por mecanismos no enzimáticos como por la acción de enzimas.

La hidrólisis de los enlaces éster en los lípidos puede ocurrir por la acción del calor y humedad o por la acción de enzimas lipolíticas, resultando en la liberación de ácidos grasos libres. Estos, en el caso de los animales, se encuentran ausentes en los tejidos adiposos y si bien pueden formarse, lo hacen por la acción enzimática una vez que el organismo ha muerto. En contraste con ello, el aceite de las semillas oleaginosas maduras puede hidrolizarse después de cosechadas provocando una liberación de ácidos grasos libres. Una característica importante de los ácidos grasos libres dentro del proceso global de enranciamiento es la de ser mucho más susceptibles a la oxidación que los ácidos grasos esterificados.

Durante el proceso de enranciamiento, además de los olores y sabores característicos que se producen, las reacciones oxidativas que involucra pueden disminuir sustancialmente la calidad nutricional del alimento y, en ocasiones, producir compuestos potencialmente tóxicos.

Es de conocimiento generalizado que la autoxidación, que es la reacción efectuada con oxígeno molecular, es la principal reacción en el proceso de deterioro oxidativo de las grasas. Aún cuando las reacciones fotoquímicas se conocen desde hace mucho tiempo, el papel de la oxidación fotosintética y su interacción con la autoxidación es de consideración relativamente reciente.

En los alimentos, la oxidación de lípidos puede llevarse a cabo tanto por mecanismos enzimáticos como por vías no enzimáticas. Los desarrollos teóricos para la explicación de tales procesos han estado soportados en el estudio de sistemas simplificados que consideran substratos de lípido puro y, por lo general, en fase líquida.

Tales sistemas difieren en grado sumo con los sistemas biológicos como los encontrados en los alimentos, donde las moléculas de lípido a menudo existen en un estado altamente ordenado. Están, además, relativamente restringidas en términos de su distancia entre ellas y su movilidad y están cercanamente asociadas con material no graso como lo son proteínas, carbohidratos, sales, enzimas, vitaminas y pro y antioxidantes. Claro está, que los grados de ordenación y asociación molecular con otros compuestos diferentes a los lípidos, varían considerablemente con la alta variabilidad de las especies animales y vegetales y, en el caso de los materiales alimenticios de este origen, con las diferentes condiciones de manejo y procesamiento a que están sujetos durante su producción. Obviamente que las consecuencias de los mecanismos de reacciones oxidativas en tales sistemas biológicos son harto diferentes de aquellas que se suceden en modelos puros.



No obstante lo anterior, es importante resaltar algunas de las características generales de las reacciones de oxidación que han sido estudiadas en sistemas más simples como los constituidos por lípidos en fase acuosa.

Nawar (1985) puntualiza las evidencias que muestran que la autooxidación de grasas procede por la vía de un típico mecanismo de radicales libres. Dichas evidencias son: a) hay una marcada inhibición en la velocidad de oxidación, por especies químicas que se sabe interfieren otras reacciones de radicales libres bien establecidas, b) se produce catálisis mediante la luz y mediante sustancias productoras de radicales libres, c) hay altos rendimientos de hidroperóxidos, ROOH y d) se observa un periodo de inducción relativamente largo cuando se da inicio a la reacción con el sustrato puro.

Debido a que la reacción  $RH + O_2 \rightarrow$  radicales libres, es termodinámicamente difícil (con energías de activación de alrededor de 35 kcal/mol), la producción de los radicales libres necesarios para comenzar la propagación debe ocurrir por algún medio catalítico. Se ha propuesto que la etapa de iniciación se efectúa mediante la descomposición de hidroperóxido, por catálisis metálica o por exposición a la luz. Más recientemente se ha propuesto que el oxígeno es la especie activa involucrada con pigmentos de plantas o animales tales como clorofila o mioglobina, actuando como sintetizadores (Nawar, 1985)

Después de la formación de suficientes radicales libres, la reacción en cadena se propaga por la eliminación de átomos de hidrógeno en la posición alfa de los dobles enlaces, el oxígeno se pega en esas posiciones resultando en la producción de radicales peroxi ( $ROO^*$ ) y estos, a su vez, quitan hidrógeno de los grupos RH alfa-metilénicos de otras moléculas para producir hidroperóxidos ROOH y grupos  $RO^*$ . Los nuevos grupos  $RO^*$  reaccionan con oxígeno y la secuencia descrita se repite.

Debido a la estabilización resonante de las especies  $RO^*$  la secuencia de reacción es acompañada por un corrimiento en la posición de los dobles enlaces, formándose hidroperóxidos isoméricos a veces con grupos dieno conjugados atípicos de acilgliceroles naturales no oxidados.

Los hidroperóxidos, productos primarios iniciales de la autooxidación de lípidos, son inestables e intervienen en numerosos y complejos mecanismos de rompimiento e interacción, responsables de la producción de millares de compuestos de variados pesos moleculares, olores, y sabores de importancia biológica. En la figura 4.3 se presenta un esquema general de la autooxidación de lípidos.

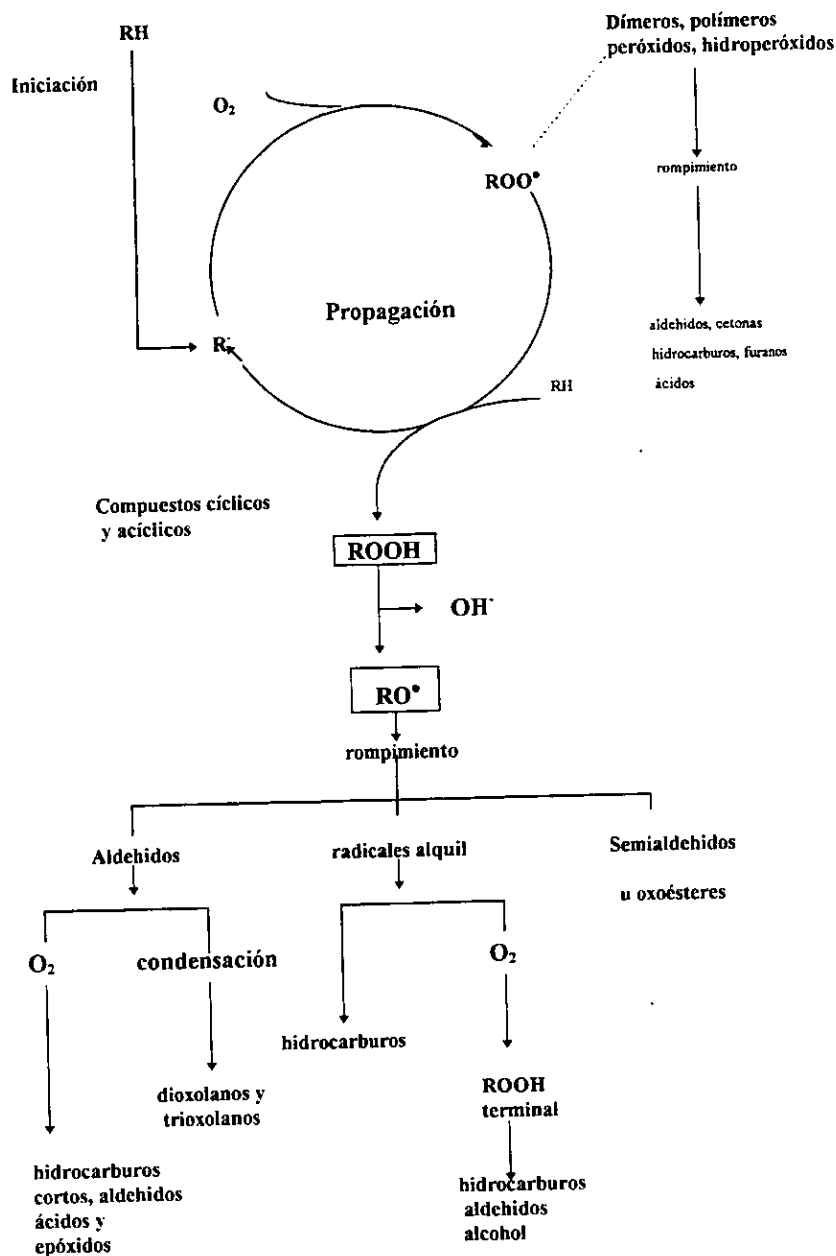


Figura 4.3. Esquema de autoxidación de los lípidos (Nawar, 1985)

El interés puesto en sistemas simples para el estudio de la degradación de las grasas, con la esperanza de que las conclusiones obtenidas puedan ser interpretables en sistemas más complejos, se ha dado principalmente por la enorme complejidad de los sistemas biológicos completos. Tales sistemas han incluido monocapas (sobre la superficie de fases acuosas o adsorbidas sobre sílica), vesículas artificiales de lípidos y bicapas de fosfolípido. Nawar (1985) da cuenta de algunos de los resultados obtenidos con estos sistemas indicando que, a diferencia de lo que sucede con el sistema de grasa pura en fase líquida, la oxidación de ésteres de ácido linoleico en monocapa, resulta en compuestos epoxi *cis* o *trans*. Cinéticamente, la reacción que ocurre es de primer orden en contraste con el sistema en fase líquida que, como se vió, procede mediante una ecuación de velocidad más compleja.

Gardner (1975) y otros, revisaron el proceso enzimático de oxidación de los lípidos. La secuencia de la acción enzimática comienza con la lipólisis. Los ácidos grasos liberados, son entonces oxidados ya sea por lipooxigenasas o ciclooxigenasas para formar hidroperóxidos. Las etapas siguientes involucran el rompimiento de hidroperóxidos y endoperóxidos para producir una gran variedad de productos de degradación.

En presencia de otros compuestos tales como proteínas y antioxidantes, las reacciones de oxidación, sean por vía enzimática o no, pueden terminar en compuestos diferentes a aquellos originados por la oxidación del sustrato graso y ello puede influir en las velocidades de reacción. Por ejemplo, algunos productos del empardeamiento no enzimático, se sabe actúan como antioxidantes. También, los grupos básicos en las proteínas pueden catalizar la condensación de aldol de carbonilos producidos por la oxidación lipídica resultando en la formación de pigmentos café.

Adicionalmente, los hidroperóxidos lípidos pueden inducir cambios oxidativos en proteínas que contienen azufre (metionina, cistina y cisteína), causando pérdidas nutrimentales significativas y los productos secundarios de oxidación pueden iniciar reacciones de radicales libres en proteínas o formar productos de adición de base Schiff con los grupos épsilon amino de la lisina.

En resumen, en el caso del salvado de arroz, el proceso degradativo de sus grasas es un factor que ha venido limitando en grado sumo su adecuada utilización como materia prima de cualidades nutricias notables, para la elaboración de diversos productos alimenticios de consumo humano. Dada la existencia de una variedad importante de enzimas en este subproducto del procesamiento del arroz y, en específico, de aquellas que aceleran los procesos degradativos grasos, lipasas y peroxidasas, el conocimiento generado en torno a sus características y formas y posibilidades de

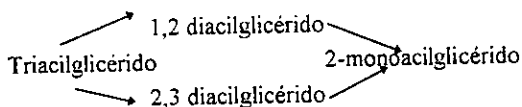
inactivación, aparecen como elementos relevantes en la consideración del salvado de arroz como parte de las reservas alimentarias no convencionales.

#### 4.4.1 Las características de las lipasas y peroxidasas del salvado de arroz

##### Lipasas

Las lipasas son enzimas que hidrolizan los enlaces éster de triacilglicéridos emulsificados en la interfase aceite/agua. Tales enzimas están ampliamente distribuidas en la naturaleza, estando presentes en plantas, animales y microorganismos, ya sea en fluidos biológicos, células, semillas, órganos y otros tejidos.

Por lo general, las lipasas hidrolizan los ácidos grasos esterificados a glicerol de un modo que se esquematiza sintéticamente:



Hay cuatro tipos de especificidades asociadas a las lipasas. Éstas están referidas al tipo de acilglicérido, al tipo de ácido graso que se encuentre esterificado, a su posición y a la estereoespecificidad de la enzima. La especificidad del acilglicérido se caracteriza por una preferencia hacia la hidrólisis de triacilglicéridos de bajo peso molecular sobre los substratos de alto peso molecular. En lo que se refiere a la preferencia posicional, las preparaciones de lipasa que hidrolizan ácidos grasos, tanto en posiciones 1 y 2 de un mismo triacilglicérido, se cree contienen más de una enzima, probablemente una que ataca los triacilglicéridos y otra específica para los monoacilglicéridos. A la fecha no se sabe de lipasas que se especialicen en hidrolizar solo ácidos grasos en la posición dos. La especificidad para el ácido graso se refiere a la preferencia de hidrolizar ésteres que contengan un cierto tipo de ácido graso en relación con otros enlazados en la misma posición de moléculas de triacilglicéridos (Richardson e Hyslop, 1985).

Las consecuencias de la acción de las lipasas sobre los lípidos en los alimentos son semejantes a las indicadas para la hidrólisis de los acilglicéridos por otras vías no enzimáticas, así como la producción de olores indeseables o no, dependiendo del tipo de alimento y el cambio en las características organolépticas, vida de anaquel y mayor viabilidad de los ácidos grasos liberados para ser oxidados.

Funatsu y Aizono (1971), Aizono y col. (1971), Aizono y col. (1973) y Aizono y Funatsu (1976) reportan estudios bioquímicos sobre la purificación, caracterización, propiedades químicas y enzimáticas de las lipasas del salvado de arroz.

Funatsu y Aizono (1971) extrajeron la enzima del salvado de arroz desengrasado con una solución 0.01 M de cloruro de calcio, la purificaron mediante precipitación con sulfato de amonio, seguido por sucesivas cromatografías en columna en DEAE- celulosa, Sephadex G-75 y CM Sephadex C-50, en presencia de iones calcio. La actividad específica de la enzima pura fue de 47 unidades/miligramo y su actividad fue 480 veces la actividad observada en el extracto crudo. La homogeneidad de la enzima fue evaluada mediante electroforesis en poliacrilamida. El punto isoelectrico fue de 8.56 y el peso molecular calculado de 40 000.

El espectro de absorción de la lipasa de salvado de arroz aislada por Funatsu y Aizono (1971), presentó absorciones máximas y mínimas a 278 nm y 250 nm, respectivamente.

La presencia de subunidades en la lipasa del salvado, fue evaluada por Aizono y col. (1971), mediante el tratamiento de la enzima con urea 8 M, conteniendo  $1 \times 10^{-3}$  M de EDTA, confirmando la suposición de que la enzima está compuesta de por lo menos dos subunidades. La estructura aminoácida de la proteína de la enzima, contiene 312 residuos aminoácidos, siendo aminoácidos con terminal amino y carboxilo, como el ácido glutámico y glicina y serina, respectivamente.

Dentro de esa misma investigación, Aizono y col. (1971) confirmaron la presencia de lípidos, específicamente ácidos grasos y triacilglicéridos, en la proteína de la enzima aislada, mediante cromatografía en capa delgada, la significación de este hallazgo no está del todo esclarecido, pero las sugerencias de Okuda y Fujii (1964) en términos de que la esterasa de hígado de rata es parcialmente convertida en lipasa mediante la formación de un complejo con lípido y de School y Melius (1969), en términos de que la lipasa pancreática de porcinos forma un complejo con lípidos que la estabiliza y la protege contra pérdidas de actividad hace especular sobre el posible papel de estos compuestos en la proteína de la enzima.

Aizono y col. (1973) investigaron las propiedades enzimáticas de la lipasa del salvado, encontrando que ésta tiene un pH óptimo de actividad entre 7.5 y 8, siendo la temperatura óptima de 37°C. La enzima fue estable en un intervalo de pH que va de 4 a 9 y a una temperatura abajo de 40°C, mostrando una pérdida de sus propiedades activas por calentamiento a 60°C durante 15 minutos. La enzima fue activada por la presencia de bajas concentraciones de iones calcio e inhibida parcialmente por altas concentraciones de este ión y por EDTA.

Respecto a la especificidad por el sustrato, la lipasa de salvado mostró una alta preferencia hacia triacilglicéridos e hidrolizó enlaces éster de triacilglicéridos de cadena corta más rápidamente que los de peso molecular elevado. Con respecto a la posición del enlace éster, la enzima fue capaz de hidrolizar preferentemente ésteres de ácido graso en las posiciones 1,3.

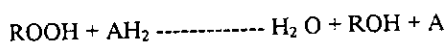
Las figuras 4.4 y 4.5 muestran el efecto del pH y la temperatura sobre la actividad y estabilidad de la lipasa de salvado de arroz, y la amplitud de la hidrólisis producida en función de la longitud de la cadena de los ácidos grasos esterificados, según el reporte de Aizono y col. (1973).

La lipasa del salvado de arroz, como muchas otras enzimas, existe en múltiples formas, como ha sido confirmado por Aizono y Funatsu (1976), mediante la separación de tres lipasas por electroforesis en disco de gel de poliacrilamida. Las propiedades fisicoquímicas y enzimáticas encontradas para las lipasas I, II y III, no difirieron en grado sumo de las anotadas líneas arriba, por lo que dichas lipasas pueden ser consideradas como isoenzimas.

### Peroxidasas

Las peroxidasas son un grupo de enzimas ubicuo, encontrándose en todas las plantas que han sido investigadas y en los leucocitos. De las peroxidasas vegetales, la de rábano es la que ha recibido mayor atención.

Las peroxidasas de varias fuentes, por lo general, contienen un grupo prostético hemo (ferriprotoporfirina), aunque pueden también estar involucrados otros grupos prostéticos. Estas enzimas catalizan la siguiente reacción:



El proceso catalítico de las peroxididasas parece resultar en la oxidación del ión hierro ( $Fe^{2+}$ ) a estados de mayor valencia. El peróxido ( $ROOH$ ) puede ser peróxido de hidrógeno o un peróxido orgánico. En la reacción anterior, el peróxido es reducido, mientras el donador de electrones se oxida.

Los donadores de electrones pueden ser ascorbatos, fenoles, aminas u otros compuestos orgánicos. En muchos casos, el producto de oxidación es coloreado, lo que sirve de base para la estimación colorimétrica de la peroxidasa.

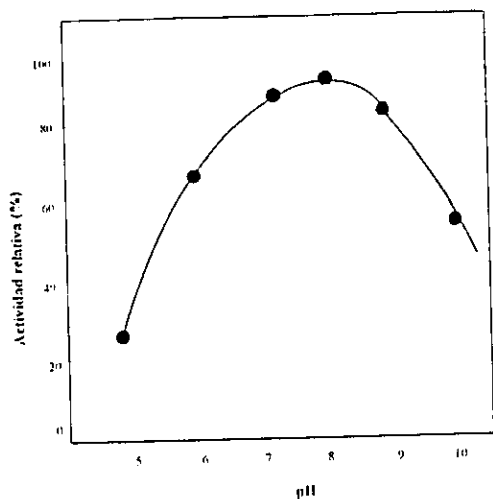
Por su alta resistencia a la inactivación térmica y a la relativa facilidad para medir su actividad por métodos colorimétricos, la peroxidasa ha sido utilizada como un indicador del tratamiento térmico, bajo el supuesto de que la destrucción de peroxidasa se acompaña de la destrucción de todas las otras enzimas de interés.

La peroxidasa, como la mayoría de los pigmentos hemo, cataliza la degradación peroxidativa no enzimática de ácidos grasos no saturados, que producen compuestos carbonilo volátiles que contribuyen al sabor característico de rancidez en los alimentos. Parece ser que los pigmentos hemo, como los de la peroxidasa, catalizan la descomposición de hidroperóxidos resultando en la generación de radicales libres. Estos radicales libres pueden causar la descomposición de una amplia variedad de componentes del alimento.

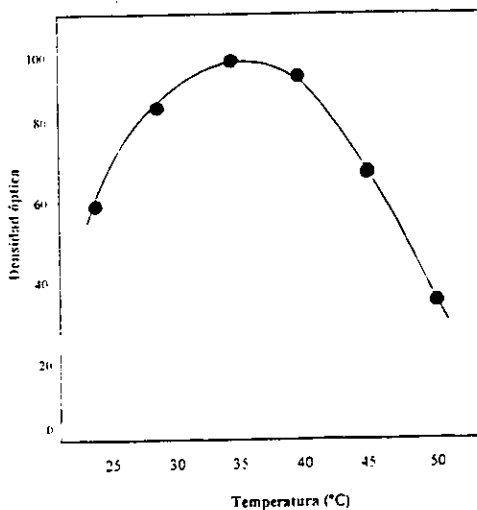
En sus estudios sobre las enzimas respiratorias del grano de arroz, Morita e Ida (1968) e Ida y col. (1970, 1972) aislaron, caracterizaron y estudiaron las peroxididasas del germen de arroz. En dichas investigaciones se aislaron 17 isoenzimas mediante electroforesis en gel de poliacrilamida. Las isoenzimas individuales mostraron algunas diferencias en su actividad enzimática hacia el guayacol como donador de hidrógeno y en sus dimensiones moleculares, lo que sugirió el que cada isoenzima pueda requerir sustancias específicas como donadores de hidrógeno en el metabolismo celular.

La peroxidasa 556 fue el componente básico mayor de entre las enzimas del germen de arroz. Para esta, se estimó un peso molecular de 46 700.

El espectro de absorción de las formas oxidada y reducida de la peroxidasa 556 del germen de arroz exhiben máximos de absorción a 280, 403, 500 y 640 nm en la forma oxidada y 436 y 556 nm en la forma reducida.



**Figura 4.4. Efecto del pH sobre la actividad de la lipasa de salvado de arroz (Aizono y col., 1973)**



**Figura 4.5. Efecto de la temperatura sobre la actividad de la lipasa del salvado de arroz (Aizono y col., 1973)**



Según los investigadores citados, la peroxidasa 556 resultó tener una alta actividad comparable con el común de las peroxidases vegetales. La enzima se tenía protohematina como grupo prostético en un porcentaje de 1.36% y un punto isoelectrico de 10.5.

#### **4.5. La estabilización bioquímica del salvado de arroz**

Como ha sido mencionado líneas arriba, la incorporación del salvado de arroz como materia prima o producto destinado al consumo humano, requiere que todos los componentes que producen su rápido deterioro sean en algún modo inactivados. Un factor importante en este sentido es la inactivación de las enzimas lipolíticas y oxidativas, requiriéndose que tal inactivación sea amplia e irreversible y, paralelamente, el que los componentes de alto valor nutricional o económico permanezcan convenientemente inalterados.

Barber y Benedito de Barber (1980) señalan que, en los múltiples estudios realizados sobre la inactivación de las enzimas del salvado de arroz, se ha encontrado que ésta depende de la temperatura y tiempo de tratamiento térmico, así como del contenido de humedad del mismo, siendo este último un parámetro crítico del proceso. En términos generales, mayores contenidos de humedad provocan menor resistencia al calor.

Los diferentes procesos ensayados para lograr la estabilización del salvado de arroz, pueden clasificarse en los siguientes tratamientos:

- a) Tratamiento térmico
- b) Tratamiento químico
- c) Almacenamiento en atmósferas controladas
- d) Almacenamiento a bajas temperaturas
- e) Proceso simultáneo de "blanqueo y extracción".

Respecto del tratamiento térmico, éste ha incluido aquellos en condiciones de calentamiento en seco y los efectuados bajo condiciones húmedas. El uso de calor seco para estabilizar el salvado se ha investigado ampliamente. Las condiciones de tratamiento y los resultados logrados difieren considerablemente (Barber y Benedito de Barber, 1980). En lo general, se ha encontrado que el calor seco no inactiva totalmente las lipasas y los niveles de humedad del 3 al 6% recomendados favorecen los procesos de deterioro oxidativo (Yocochi, 1977).

Los aparatos usados han sido muy diversos, calentamiento en estufa, charolas provistas de agitación, secadores rotatorios, tambores enchaquetados con agitación, aparatos calentados eléctricamente e incluso calentamientos en lechos fluidificados, con temperaturas que van de 70 a 200°C y tiempos de tratamiento entre 10 minutos y 2 horas. En la mayoría de los casos, se observó un incremento significativo en los ácidos grasos libres del salvado tratado a las pocas semanas de almacenamiento. Por otro lado, tales tratamientos se caracterizaron por las severas condiciones de proceso capaces de dañar algunos componentes valiosos del salvado. Un alto consumo energético involucra operaciones de relativa dificultad en la práctica industrial debido a la necesidad de remover cantidades substanciales de humedad para mantener el contenido de humedad del salvado a niveles bajos y una inactivación de enzimas ineficiente al no alcanzarse el objetivo de ser tal inactivación completa e irreversible (Barber y Benedito de Barber, 1980).

Es ampliamente reconocido que el calor húmedo es más efectivo que el calor seco, debido a que la termolabilidad de la enzimas es mayor a niveles de humedad superiores al encontrado en el salvado "fresco". El vapor ha sido usualmente empleado como fuente de humedad adicional debido a sus favorables características térmicas. Fuera de muchos tratamientos que usan vapor, pocos han alcanzado resultados satisfactorios. Barber (1977) calentaron el salvado con vapor a 100°C por 3 minutos seguido de un proceso de secado hasta el contenido de humedad inicial del material, logrando resultados satisfactorios. Otros trabajos interesantes dentro de este tipo de tratamiento se reseñan en los reportes de Cordero y col. (1985, 1986a,b).

Los equipos utilizados para el tratamiento térmico húmedo han incluido cocedores al vapor, autoclaves, unidades de preacondicionamiento para expulsores ("expellers", en inglés) y tanques de sancochado, transportadores helicoidales, unidades de extrusión con o sin inyección de vapor y/o agua y con tiempos de tratamiento desde menos de 1 minuto a 3 horas y temperaturas desde alrededor de 90 a 140°C (Barber y Benedito de Barber, 1980) y más recientemente, el calentamiento dieléctrico (microondas).

Prabhakar y Venkatesh (1986) reportan un método químico simple para la estabilización del salvado de arroz, basado en el principio de que la actividad de las lipasas debe ser más baja en la medida en que el pH del salvado sea más bajo. En este método, el salvado fue rociado con ácido clorhídrico al 30% en una proporción de 40 litros de ácido por tonelada de salvado. El mezclado se logra, ya sea mediante una operación manual o con el empleo de un mezclador rotatorio. Después de ello, el salvado tratado fue empacado en sacos de yute y almacenado en condiciones ambientales. El tratamiento ácido redujo el pH del salvado de aproximadamente 6.5 a 4.0. De igual manera, tal tratamiento redujo el incremento en ácidos grasos libres

después de 51 días de almacenamiento, de alrededor del 50% para el salvado sin tratamiento a valores que van de 3.0 al 9.3%. Adicionalmente, los autores reportan que el método ensayado favoreció la resistencia a la infestación del salvado por insectos como *Tribolium castaneum*, así como la extracción de aceite, en comparación con lo observado al salvado natural y estabilizado mediante métodos térmicos. Por otro lado, indican que la calidad alimenticia del salvado no se vió afectada por el tratamiento ácido. Por su parte, Cabel y Waldroup (1989) ensayaron un método químico para la prevención de la rancidez en el salvado de arroz almacenado a elevada temperatura y humedad mediante el tratamiento del material con el ácido etilendiamintetracético (EDTA), reportando resultados satisfactorios.

El almacenamiento en atmósferas de humedad relativa controlada a niveles bajos, así como el almacenamiento a temperaturas bajas, reduce la rapidez de generación de ácidos grasos libres, pero no es lo suficientemente eficiente como para ser un proceso atractivo desde el punto de vista comercial, a menos que tales almacenamientos sean precedidos por tratamientos de estabilización térmica (Prabhakar y Venkatesh, 1986)

La extracción simultánea al proceso de molienda del arroz es una medida que se ha puesto en práctica para salvar los procesos de deterioro asociados con el almacenamiento del salvado cuando éste está destinado a servir como materia prima para la obtención de aceite. Consiste en efectuar la molienda en presencia de un disolvente, generalmente hexano, obteniéndose un salvado desengrasado y una micela de aceite de salvado de arroz/hexano en una sola operación. Tal proceso, sin embargo, se ha encontrado que, además de ser antieconómico para escalas de producción pequeñas, es poco eficiente en términos de que el salvado obtenido aún conserva cantidades significativas de aceite y actividades importantes de lipasa (Barber y Benedito de Barber, 1980).

El uso de extrusores para lograr la inactivación de las enzimas que deterioran la calidad del salvado de arroz ha sido objeto de ensayos e investigaciones importantes en el pasado reciente. Williams y Baer (1965) usaron un extrusor de un solo tornillo y agregaron vapor y agua al salvado hasta un contenido de humedad de 23%, durante un proceso efectuado a temperaturas entre 121 y 163°C, después de lo cual el producto fue secado hasta un 10% de humedad. El producto obtenido no mostró cambios en su contenido de ácidos grasos libres hasta por un periodo de 84 días.

En un estudio amplio para analizar las condiciones necesarias para estabilizar salvado de arroz y determinar el consumo de energía, la calidad del aceite extraído del salvado estabilizado y los valores alimenticios de los productos, Randall y col (1985) usaron un extrusor-cocedor Brady

operado en un intervalo de temperaturas de 90 a 150°C y con tiempos de residencia de hasta 30 segundos. En estos experimentos, el salvado fue humectado para llevarlo a contenidos de humedad hasta de 4% más que el contenido de humedad del salvado fresco (el cual tuvo una humedad promedio de 10.5% b.s.). Dentro de las conclusiones reportadas, los autores encontraron que, bajo las condiciones experimentales ensayadas, el salvado fue estabilizado a 130°C para todas las humedades consideradas y a 120°C, excepto para el nivel de humedad inicial. El criterio utilizado para considerar al salvado con las características deseadas de estabilidad, fue la consideración de aquellos productos que tuvieran un nivel de peroxidasa residual menor al 3%, evidencia según ello de la completa inactivación de la lipasa. Por otro lado, temperaturas bajas como 105°C lograron la estabilización del producto pero solo a los niveles de humedad superiores a los incluidos en el experimento.

Respecto al consumo de energía, Randall y col. (1985) hallaron que, a una misma velocidad de procesamiento, esta variable se incrementó con la temperatura de extrusión y con el incremento en humedad. El consumo de energía fue entre 14 y 16% más para una temperatura de extrusión de 140°C, comparado con el consumo que se tuvo a 130°C.

En otro estudio, Kim y col. (1987a) investigaron el efecto de algunas variables de procesamiento como la velocidad de producción, el número de aberturas en la boquilla o troquel de salida, el contenido inicial de humedad del salvado, la temperatura de descarga y la energía consumida durante el proceso de extrusión en un extrusor autógeno de un solo tornillo. En estos experimentos, los autores ensayaron tres niveles de contenido de humedad inicial del salvado de arroz: 9.5, 11.0 y 15.0%, una velocidad de producción de 100, 200 y 400 kg/h y 3, 6, y 12 orificios en el troquel de salida del extrusor. En las conclusiones reportadas, se indica que la temperatura de descarga a diferentes niveles de humedad, decrece conforme la humedad aumenta, ello debido principalmente a que el incremento en la viscosidad del producto extrudido a mayores contenidos de humedad baja la cantidad de energía mecánica disipada como calor. La temperatura de salida también disminuye en cuanto se aumenta el número de orificios en el troquel de salida del extrusor como una consecuencia termodinámica del carácter autógeno del extrusor utilizado. En los extrusores-cocedores autógenos, que operan con una sola velocidad del tornillo, la cantidad de calor generado por fricción está determinado por el esfuerzo de corte y el tiempo de residencia. Con salidas pequeñas, la cantidad de producto extrudido presente en el canal del tornillo se incrementa, aumentando con ello el área efectiva de contacto entre el salvado y las paredes del canal y, por tanto, aumentando la fricción.

A temperaturas mayores de 128°C, Kim y col. (1987a) encontraron que la lipasa del salvado se inactivó completamente. De este modo, la actividad de lipasa residual en el producto

extrudido se relacionó de un modo inverso a la temperatura de extrusión. Dentro del intervalo del experimento, el incremento de humedad no influyó en el grado de inactivación de la enzima, debido a que tales incrementos ocasionaron disminuciones en la temperatura de extrusión, por las razones arriba expuestas. Por otro lado, la influencia de la velocidad de producción fue en el sentido de que, a mayor velocidad (aumento en la cantidad de material alimentado al extrusor), el perfil de temperatura a lo largo del barril fue decreciendo. Williams (1989) realizó ensayos de estabilización de salvado de arroz mediante extrusión, logrando un producto con un contenido de ácidos grasos libres de 2 a 3%, después de 6 meses de almacenamiento a condiciones ambientales y de 2.3 a 3.3% después de 79 días a 37°C. Encontraron que el intervalo de temperaturas de 105 a 140°C es satisfactorio para la inactivación de la lipasa del salvado de arroz. Sin embargo, en el límite más bajo, la velocidad de reducción tiene que mantenerse a casi la mitad de la velocidad de producción a 140°C, para poder lograr una estabilización satisfactoria.

Una cuestión interesante hallada por Williams (1989) es que el valor de peróxido del aceite en el salvado de arroz extrudido se incrementa más rápidamente que el correspondiente valor en el salvado de arroz sin estabilizar. Éste es un fenómeno importante ya que puede llevar a la modificación del producto con características no deseadas de rancidez oxidativa. La explicación de tal resultado no está del todo aclarado por la complejidad y las diferentes vías de oxidación de los lípidos en los alimentos. Como se sabe, el proceso de extrusión si bien permite la inactivación de enzimas que catalizan la formación de productos de oxidación grasa, se ha visto que reduce la susceptibilidad a la oxidación de algunos lípidos acomplejados con el almidón por efecto del proceso. Por otro lado, el tratamiento no detiene los procesos de oxidación que pueden ocurrir por vías no enzimáticas y se ha encontrado que severas condiciones de procesamiento como aquéllas que pueden ocurrir bajo ciertas condiciones de extrusión, pueden reducir significativamente la estabilidad de los lípidos (Rao y Artz, 1989).

En un interesante reporte, Rao y Artz (1989) analizan el efecto de la temperatura de extrusión sobre la estabilidad de los lípidos de productos coextrudidos de almidón de maíz y soya, evaluando la autooxidación de los lípidos y el efecto de la concentración de los metales de transición en la formación y descomposición de hidroperóxidos en el producto extrudido.

Otro procedimiento que ha sido y continúa siendo ensayado para lograr la estabilización del salvado conservando en la mayor medida posible sus características nutricias es mediante calentamiento dieléctrico. El calentamiento dieléctrico es aquel que se da mediante microondas, estas son radiaciones electromagnéticas cuya frecuencia varía de 300 MHz (millón de ciclos por

segundo) a 300 GHz (billón de ciclos por segundo), correspondiendo a longitudes de onda de entre 1 m y 1 mm.

Las microondas son reflejadas por los metales, transmitidas por materiales eléctricamente neutros (tales como: vidrio, muchos plásticos, cerámica y papel) y absorbidas por materiales cargados eléctricamente. En los alimentos las microondas penetran al interior y la energía que transportan es convertida en calor principalmente por los mecanismos de orientación iónica y polar de las moléculas y iones que lo constituyen.

Las moléculas de agua, las más comunes de las moléculas polares en los alimentos, están presentes en orientación al azar. Cuando es aplicado un campo eléctrico, por ejemplo cuando un alimento es colocado entre 2 electrodos, las moléculas polares de agua intentan alinearse con el campo eléctrico. Cuando el campo es eliminado las moléculas tienden a regresar a una orientación a azar. Cuando el campo eléctrico es alternado rápidamente, millones de veces por segundo, como por ejemplo a 2450 MHz en un horno de microondas, la energía cinética es gastada mientras las moléculas polares tienden a seguir el campo y esto desemboca en calor.

Aún cuando el desarrollo de este tipo de calentamiento en la industria de alimentos es reciente y relativamente lento, entre otras cosas por la escasez de equipos adecuados y de información básica sobre las propiedades dieléctricas de los alimentos, las perspectivas han sido calificadas de favorables por la economía de los procesos y la rapidez y la generación y conducción del calor respecto a los procedimientos convencionales y el efecto que esto último tiene en la retención de algunos nutrimentos más termolábiles durante el procesamiento de los alimentos (IFT, 1989; Ayappa y col., 1991).

Sreenarayanan y Chattopadhyay (1986) expusieron muestras de salvado de arroz al calentamiento dieléctrico a diferentes tiempos y midieron la producción de ácidos grasos libres de las mismas después de su almacenamiento en condiciones controladas. El incremento en ácidos grasos libres durante un período de almacenamiento de seis semanas fue de sólo 2% en el caso de las muestras expuestas a las microondas por 6 o 7 minutos, mientras las muestras almacenadas sin tratamiento alcanzaron hasta un 75% de incremento en ácido grasos libres.

El uso combinado de diferentes factores que inciden sobre la actividad de las enzimas causantes de la rancidez en el salvado de arroz, con el fin de encontrar vías más eficientes y adecuadas al contexto social económico y tecnológico de México y que permitan estabilizar el material conservando lo mejor posible sus características nutricias continúa siendo un aspecto de interés e

importancia fundamental en el proceso de "conversión" del salvado de arroz de subproducto a materia prima para la manufactura de alimentos en países como México (Solís Fuentes y col., 1996c).

#### **4.5.1 Contribución experimental: Estabilización de salvado de arroz por tratamiento combinado químico-calentamiento dieléctrico**

En un estudio reciente Solís-Fuentes y col (1996c) y Sánchez-López (1997) realizaron ensayos experimentales de estabilización de salvado de arroz mediante tratamiento térmico con vapor, calentamiento dieléctrico, tratamiento químico ácido y un procedimiento combinado de tratamiento químico y calentamiento dieléctrico, con el objeto de contar con elementos de comparación preliminar entre ellos y establecer las líneas pertinentes para estudios más completos de algunos de éstos métodos de estabilización en específico. En consecución de estos trabajos, se realizó un estudio de optimización de la estabilización del salvado mediante el procedimiento combinado químico-dieléctrico utilizando la metodología de superficie de respuesta empleando un diseño experimental compuesto de Box y Wilson. Para estos experimentos, muestras de salvado de arroz provenientes de molinos arroceros comerciales fueron sujetas a caracterización fisicoquímica, acondicionadas químicamente en cuanto a sus contenidos de humedad y pH y sujetas a los tratamientos de estabilización mencionados. Las muestras estabilizadas se analizaron en términos del desarrollo de ácidos grasos libres después de periodos y condiciones de almacenamiento preestablecidos. Detalles de la metodología empleada en estos experimentos se encuentran en las citas bibliográficas arriba mencionadas.

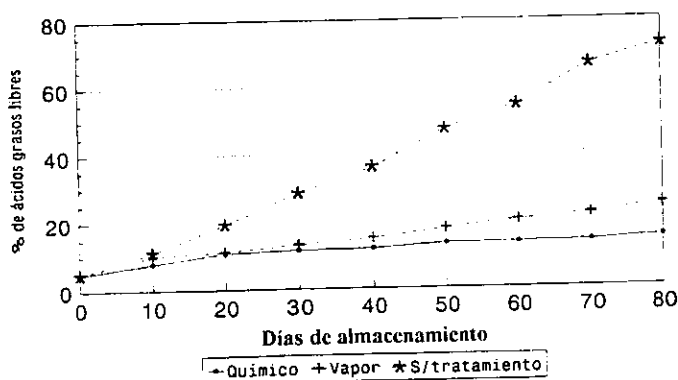
La tabla 4 8 muestra las características proximales de composición del salvado de arroz estudiado proveniente de un molino arrocero de la región de Córdoba, Ver

La figura 4 7 contiene el comportamiento en el desarrollo de ácidos grasos libres en muestras de salvado sin tratar y tratadas con vapor mediante calentamiento en autoclave de muestras de salvado fresco y de muestras acondicionadas químicamente mediante tratamiento con ácido clorhídrico concentrado a razón de 40 mL de HCl/kg de salvado, hasta un pH de 4.0 (Sánchez-López, 1997).

**Tabla 4.8. Análisis proximal de salvado de arroz de un molino arrocero de Córdoba, Ver.**  
(Solís-Fuentes y col. 1996c; Sánchez-López, 1997)

Composición	Porcentaje
Humedad	10.5
Cenizas	5.72
Extracto etéreo	19.41
Fibra cruda	9.42
Proteína	11.2

**Figura 4.7. Efecto del tipo de tratamiento en el porcentaje de ácidos grasos libres en el salvado de arroz** (Solís-Fuentes y col., 1996c)





La tabla 4.9 muestra comparativamente el porcentaje de ácidos grasos libres desarrollados en muestras de salvado de arroz tratadas mediante los diversos métodos, después de un período de almacenamiento de 50 días a temperatura y humedad relativa, ambientales.

**Tabla 4.9. Porcentaje de ácidos grasos libres en muestras de salvado de arroz estabilizadas por diferentes métodos después de 50 días de almacenamiento**  
(Solís-Fuentes y col., 1996c)

Método	% Ácidos grasos libres
Tratamiento químico	13.32
Calentamiento con vapor	17.78
Tratamiento combinado	7.46
Calentamiento dieléctrico	18.57
Sin tratamiento	47.28

El resultado evidente mostrado en la tabla 4.9 es la mayor eficacia en la estabilización del salvado de arroz mediante el tratamiento combinado químico-dieléctrico respecto de los demás tratamientos estudiados.

La tabla 4.10 contiene los resultados del efecto de las condiciones de pH y humedad inicial del salvado de arroz y temperatura de calentamiento en horno de microondas, acordes con el modelo experimental de Box y Wilson, en los ácidos grasos encontrados en el salvado de arroz después de 50 días de almacenamiento bajo condiciones ambientales.

El arreglo experimental permitió el ajuste de los resultados a una ecuación de regresión de segundo orden con tres variables, tal ecuación resultó ser, después de incluir solo los coeficientes de regresión significativos, la siguiente.

$$Y = -9.771 - 3.451 (X_1) + 69.374 (X_2) - 2.309 (X_3) + 0.0184 (X_1)^2 - 2.45 (X_2)^2 + 0.0854 (X_3)^2 - 0.215 (X_1 X_2) + 0.0474 (X_1 X_3) - 0.640 (X_2 X_3)$$

en la que Y es la variable respuesta medida como el % de ácidos grasos libres,  $X_1$  la temperatura de calentamiento en °C,  $X_2$  el pH del salvado de arroz antes del calentamiento y  $X_3$  la humedad inicial del salvado en %.

El análisis de varianza de la regresión se muestra en la tabla 4.11; en ella puede observarse mediante el factor estadístico F, que la ecuación de regresión se ajusta convenientemente a los datos experimentales, cuestión que se corrobora en la tabla 4.12 que muestra la capacidad predictiva de la ecuación en relación al desarrollo de ácidos grasos libres del salvado de arroz sujeto a los tratamientos ensayados.

**Tabla 4.10. Efecto de la temperatura, pH y humedad en el porciento de ácidos grasos libres del salvado de arroz después de 50 días de almacenamiento**

(Solís-Fuentes y col., 1996c, Sánchez-López, 1997)

Corrida experimental	Variables independientes			% Ácidos grasos libres (Y)	
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$r_1$	$r_2$
	T (°C)	pH	Humedad		
1	80	4.7	11.5	14.91	14.98
2	120	4.7	11.5	7.53	7.39
3	80	8.7	11.5	62.43	62.52
4	120	8.7	11.5	24.32	24.28
5	80	4.7	21.5	27.51	27.61
6	120	4.7	21.5	42.82	42.99
7	80	8.7	21.5	53.28	53.41
8	120	8.7	21.5	30.26	30.29
9	100	6.7	16.5	37.10	37.25
10	75.7	6.7	16.5	57.57	58.30
11	124.3	6.7	16.5	26.13	26.22
12	100	4.27	16.5	9.15	9.01
13	100	9.13	16.5	24.25	24.28
14	100	6.7	10.42	31.09	30.99
15	100	6.7	22.57	37.44	37.63

Tabla 4.11. Análisis de varianza de la regresión

Efecto	Suma de cuadrados	Grados de libertad (df)	Cuadrado medio	Estadístico F	Probabilidad
Regresión	3869.135	9	429.9039	2.273193	0.060563
Residual	3782.379	20	189.1189		
Total	7651.514				

Tabla 4.12. porcentaje de ácidos grasos calculados a partir del modelo ajustado  
(Solís-Fuentes y col., 1996c)

Variables independientes			% Ácidos grasos libres calculado
X <sub>1</sub> T (°C)	X <sub>2</sub> pH	X <sub>3</sub> Humedad	
80	4.7	11.5	16.75
120	4.7	11.5	6.83
80	8.7	11.5	64.68
120	8.7	11.5	20.83
80	4.7	21.5	29.68
120	4.7	21.5	38.68
80	8.7	21.5	52.01
120	8.7	21.5	27.11
100	6.7	16.5	32.50
75.7	6.7	16.5	53.80
124.3	6.7	16.5	32.93
100	4.27	16.5	7.15
100	9.13	16.5	28.93
100	6.7	10.42	29.82
100	6.7	22.57	41.52

Las figuras 4.8 a la 4.11 muestran las gráficas de contorno y de superficie de respuesta en el desarrollo de ácidos grasos libres de salvado de arroz, tratado químicamente con HCl y térmicamente en horno de microondas, debido a la combinación de dos de las tres variables independientes consideradas. En ellas pueden observarse las posibles combinaciones de los valores por pares de variables (temperatura de calentamiento, pH y humedad del salvado tratado) y las respuestas previstas en términos de el porcentaje de ácidos grasos libres generados después de 50 días de almacenamiento.

#### **4.6. Perspectivas en el procesamiento y desarrollo de productos de salvado de arroz**

La utilización del salvado de arroz como materia prima o insumo en la extracción y o elaboración de variados productos alimenticios dirigidos al consumo animal o humano, ha estado limitado, como ya se ha mencionado, por su alta inestabilidad y, también, por los relativamente altos contenidos de fibra y sílice en el mismo. La primera limitación, como ya ha sido expuesto, puede eliminarse mediante los procesos anteriormente descritos algunos de ellos todavía en niveles experimentales. Para las otras limitaciones, han sido propuestas diversas medidas que pueden englobarse en lo que se denomina procesos de fraccionamiento.

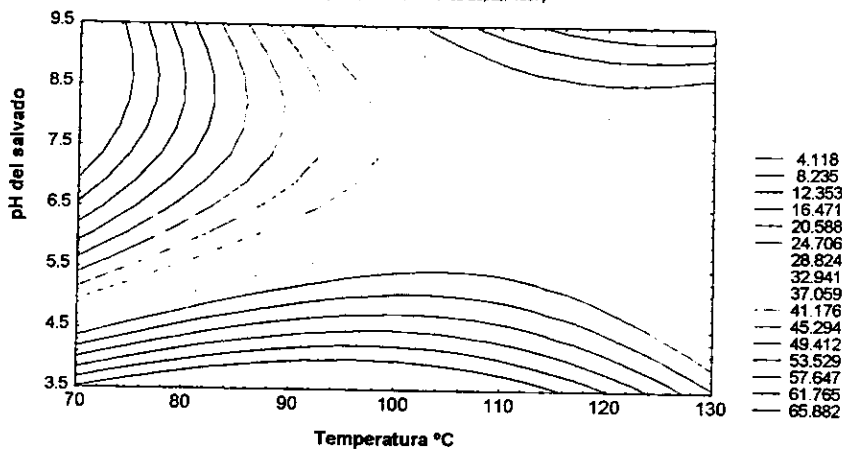
Barber y Benedito de Barber (1977) han propuesto procesos de fraccionamiento húmedos y secos tanto para la remoción de partículas fibrosas del salvado, como el aislamiento de proteínas y/o partículas ricas en proteína.

De hecho, la separación de las diferentes porciones removidas durante la molienda del arroz, en los llamados conos de blanqueo, es en sí mismo una primera separación en fracciones. El proceso de separación en fracciones en seco, después de los conos ha incluido la molienda del salvado desengrasado y la posterior clasificación, con aire, de las diferentes fracciones. Este proceso ha permitido la separación de fracciones de mayor contenido de proteína; sin embargo, los rendimientos han llegado tan solo a 25% (Barber y Benedito de Barber, 1980).

**Figura 4.8. Gráfica de contorno: % AGL en función de T y pH**

Salvado de arroz. Tratamiento combinado químico-dieléctrico

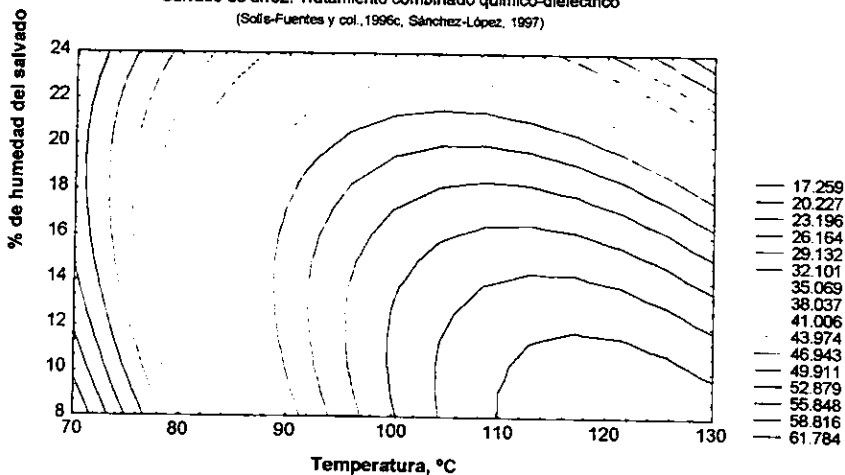
(Solís-Fuentes y col., 1996c; Sánchez-López, 1997)



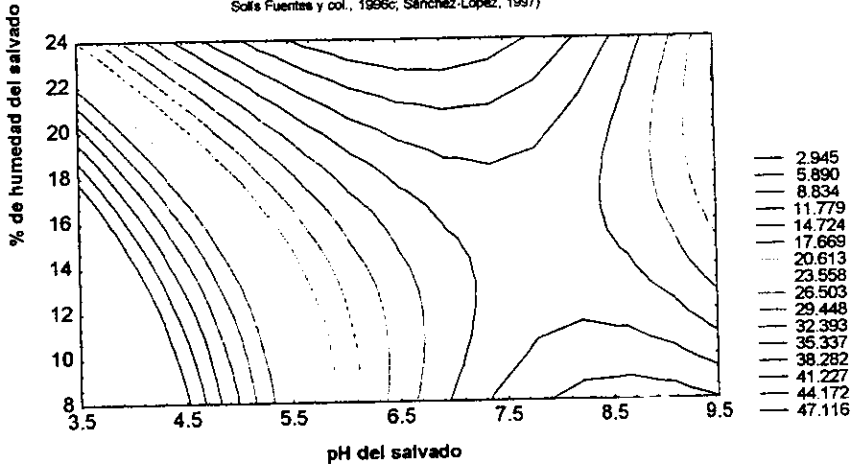
**Figura 4.9. Gráfica de contorno: %AGL en función de T y %humedad**

Salvado de arroz. Tratamiento combinado químico-dieléctrico

(Solís-Fuentes y col., 1996c; Sánchez-López, 1997)

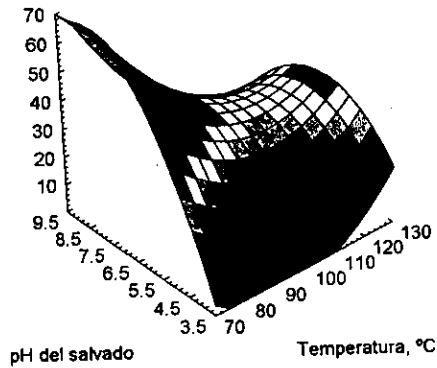


**Figura 4.10. Gráfica de contorno: %AGL en función de pH y % humedad**  
 Salvado de arroz. Tratamiento combinado químico-dieléctrico  
 Solís Fuentes y col., 1996c; Sánchez-López, 1997)



**Figura 4.11. Superficie de respuesta: %AGL en función de T y pH**  
 Salvado de arroz. Tratamiento combinado químico-dieléctrico  
 Solís-Fuentes y col., 1996c; Sánchez-López, 1997)

% de ácidos grasos libres

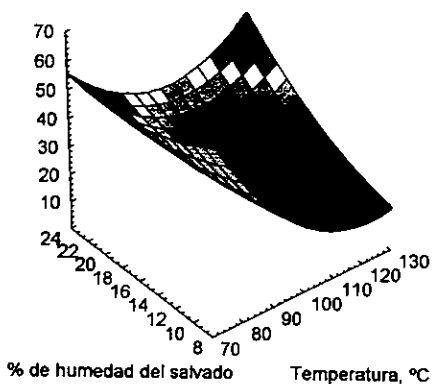


**Figura 4.12. Superficie de respuesta %AGL en función T y %humedad**

Salvado de arroz. Tratamiento combinado químico-dieléctrico

(Solís-Fuentes y col., 1996c; Sánchez-López, 1997)

% de ácidos grasos libres

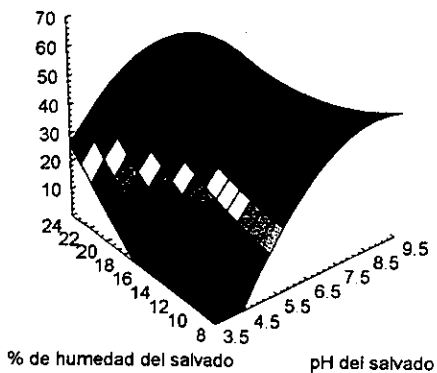


**Figura 4.13. Superficie de respuesta %AGL en función pH y % de humedad**

Salvado de arroz. Tratamiento combinado químico-dieléctrico

(Solís-Fuentes y col., 1996c; Sánchez-López, 1997)

% de ácidos grasos libres



Los procesos de separación por vía húmeda han consistido en: a) extracción alcalina, b) extracción/sedimentación acuosa y sedimentación en solventes orgánicos.

El proceso típico de extracción alcalina de proteínas consiste en la solubilización, separación de la fase líquida y precipitación isoeléctrica. La figura 4.12 muestra un diagrama de flujo del proceso alcalino para la extracción de las proteínas del salvado de arroz. El proceso español para la separación en fracciones del salvado en medio acuoso, se caracteriza por la molienda selectiva en molinos de disco, rotarios o coloidales y remoción de la fibra mediante tamices vibratorios o hidrociclones, siempre en medio acuoso. Se obtienen básicamente tres fracciones: dos fracciones sólidas (una alta en proteína y baja en fibra y, otra, alta en fibra y moderada en proteína) y una fracción líquida, concentrada en nutrientes, principalmente vitaminas y minerales.

La separación de las diferentes fracciones que constituyen el salvado de arroz, mediante el uso de solventes orgánicos, principalmente hexano, se ha intentado integrar al sistema convencional de extracción de aceite. El proceso involucra una etapa de desintegración del salvado con dos volúmenes de hexano en un mezclador de alta velocidad y, posteriormente, el cribado y la centrifugación. Una fracción de coloración café que contiene la mayor cantidad de celulosa es separada mediante este procedimiento. Una fracción de coloración blanca con sólidos suspendidos más finos se obtiene por sedimentación y centrifugación continua del sobrenadante. Esta fracción que lleva alrededor del 40% del salvado contiene en promedio un 22% de proteína, 50% de carbohidratos, 4% de fibra y 20% de cenizas en base seca (Mitsuda y col., 1977).

Otros factores que afectan el uso del salvado de arroz en productos alimenticios (para consumo humano y animal) son: el sabor, el color, las propiedades funcionales y las propiedades nutricias de este subproducto.

Las características de sabor y color del salvado de arroz dependen fundamentalmente de su composición, grado de procesamiento y/o deterioro. El salvado de arroz fresco tiene un sabor suave ligeramente amargo y dulce. En su estado alterado, el sabor ha sido descrito como ligeramente rancio y agrio. En cuanto a su color, varía del color canela ligero en muestras ordinarias a café oscuro en muestras procesadas térmicamente.

De acuerdo con Barber y Benedito de Barber (1980), el salvado de arroz ha mostrado buenas propiedades funcionales que lo hacen posea amplias potencialidades para el desarrollo de productos alimenticios. En general, los concentrados proteínicos muestran notables capacidades de absorción de agua y aceite y capacidad emulsificante comparables con aquéllas del concentrado proteínico de soya comercial.



En cuanto a las propiedades nutricias del salvado de arroz, los reportes en la literatura sobre la relacion de eficiencia proteica (PER por sus siglas en inglés) y digestibilidad de nitrógeno, comparan favorablemente al salvado con otros cereales y productos alimenticios (Barber y Benedito de Barber, 1977, 1980). Las proteínas del salvado de arroz son semejantes a aquellas de otros cereales y de algunas oleaginosas en lo que se refiere a su deficiencia en lisina; sin embargo, el "score" químico del salvado de arroz es alto, en lo general (Barber y Benedito de Barber, 1980). La proteína del salvado de arroz aun cuando tiene un valor nutritivo menor que la proteína de huevo y de las proteínas animales, se compara favorablemente con las de la soya, semilla de algodón y es más alto que las que presentan las proteínas del maíz y del trigo (Liener, 1972).

Adicionalmente y como ya fué mencionado en otras partes del presente trabajo, el salvado de arroz es una fuente notable de ácidos grasos esenciales no-saturados, tocoferoles, vitaminas del complejo B y minerales, lo cual lo hace un material de cualidades nutricias destacables para el desarrollo de diversos productos.

Los usos posibles del salvado de arroz se sitúan en una amplia gama de productos que van desde los combustibles hasta los alimentos, pasando por el más conocido y evidente que es como materia prima para la extracción de aceite comestible.

A pesar de su gran potencial, el uso del salvado de arroz, en México, esta lejos todavía de su realización práctica en renglones diferentes a la alimentación de animales. Barber y Benedito de Barber (1980), enumeran algunos de los usos todavía potenciales en la mayoría de los países del mundo: panes, panqués, galletas, pasteles, pays, productos extrudidos y de cereales "para el desayuno", recubrimientos para botanas y productos de confitería, soportes para especias, productos análogos de la leche y la elaboración de algunos productos tradicionales en países productores de oriente, miso (especie de pasta de frijol de soya) y shoyu (salsa de soya).

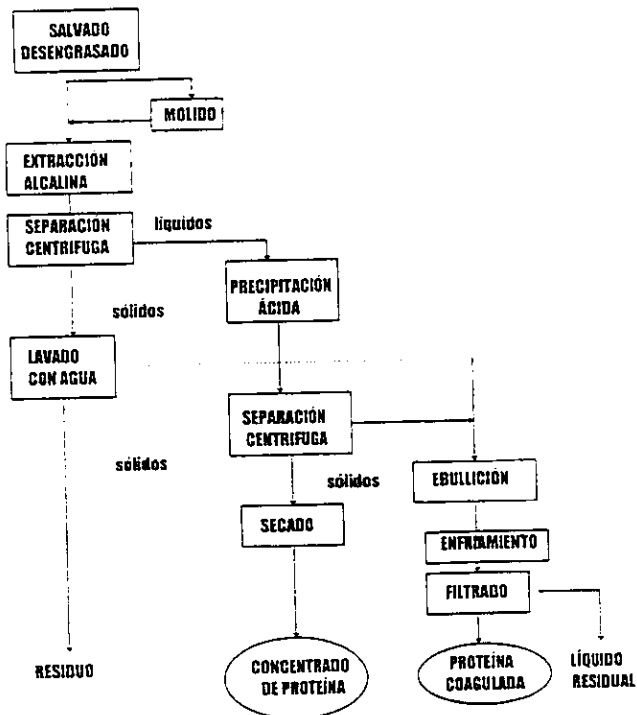


Figura 4.6. Diagrama del proceso alcalino para la extracción de proteína de salvado de arroz (Barber y Benedito de Barber, 1980)

## 5. Discusión final

El enfoque de aprovechamiento en el manejo de residuos de la agroindustria se inscribe en una concepción distinta del desarrollo de la sociedad humana. Está determinado por otro tipo de racionalidad que incluye, además de la dimensión económica, las dimensiones social y ambiental del desarrollo. El concepto de residuo tiene una connotación asociada al estilo y estadio de desarrollo de la sociedad, este último en términos del progreso técnico asequible a ella. El aprovechamiento de los residuos implica aumentar o asignar valores de uso y cambio a materiales que, por circunstancias específicas, no lo poseen. El alcanzar mayores niveles de uso y cambio, para los residuos de la agroindustria, implica avanzar en su conocimiento científico y técnico y en términos de sus posibilidades en la esfera de la circulación de las mercancías.

Los residuos y subproductos del procesamiento agroindustrial de los alimentos son, en México, por su gran diversidad y cantidad, una reserva potencial de materiales que pueden procesarse y convertirse en bienes económicos útiles como alimentos.

El nivel de conocimiento actual sobre las características, propiedades y posibilidades de reaprovechamiento de múltiples residuos líquidos y sólidos de la agroindustria es sumamente diverso; para algunos de ellos el cambio de la calidad de residuo a algún tipo de material con valor de uso y cambio tan sólo requiere su evaluación dentro de algún proyecto industrial y/o comercial en un contexto socioeconómico concreto; para otros, la investigación fundamental hacia su caracterización o procesamiento está en espera de realizarse. En cualesquiera de los casos, las circunstancias económicas y ecológicas actuales, sobre todo en países como México, plantean el reto necesario de dar inicio y/o reforzar la generación de conocimiento que hagan posible la realización de toda esa potencialidad.

Los residuos provenientes de la industrialización del café son, por sus características fisicoquímicas, por sus volúmenes producidos y por el impacto ambiental que su disposición provoca, un ejemplo de residuos que debe atenderse y estudiarse para su conveniente explotación y aprovechamiento. El estado del arte en el aprovechamiento de éstos, en algunos lugares subproductos, traza una amplia gama de posibilidades en diferentes grados de avance para concretarse, en el futuro, en proyectos productivos rentables. Las investigaciones desarrolladas hasta hoy permiten determinar que los residuos del café pueden ser utilizados en la nutrición

animal, como ya se realiza en niveles domésticos e industriales y en la industria alimentaria y farmacéutica.

Independientemente de la utilización que se le ha venido dando a la pulpa de café como mejorador de suelos, aplicación que puede verse favorecida mediante el empleo de técnicas apropiadas de composteo, el uso inmediato que puede dársele a la pulpa es el de ingrediente en dietas animales pudiendo sustituir parcialmente (entre un 15 y 30% de la ración según la especie) a algunos de los forrajes tradicionales que por su escasez o precio pudieran representar con ello un ahorro considerable a los productores. Una utilización en este sentido de un modo más amplio requerirá tratamientos fisicoquímicos como los reseñados en este trabajo para disminuir el contenido de cafeína, taninos y otros compuestos que desde el punto de vista nutricional son indeseables. Dichos tratamientos como la lixiviación, todavía en fase de investigación han mostrado eficacia y sencillez que sin embargo requieren ser profundizados en el estudio de procesos continuos que garanticen un uso económico del agua de lixiviado y la realización de los análisis pertinentes de costo-beneficio del proceso completo. De los sistemas de extracción ensayados (agua a diferentes temperaturas, soluciones de ácido clorhídrico, hidróxido de sodio e hidróxido de calcio a diferentes concentraciones) el tratamiento más simple, con agua, superó a los restantes en la eficiencia de la remoción. Los resultados globales de laboratorio indicaron que más del 60% de la cafeína y del 75% de los taninos y polifenoles que contiene la pulpa de café cereza pueden eliminarse con la lixiviación de la pulpa en una operación en etapa simple usando agua a temperaturas no mayores de 45°C.

La estabilización del residuo para su conservación durante períodos largos es un aspecto importante si la pulpa de café se ha de aprovechar en grandes volúmenes dentro de una alternativa como alimento. La deshidratación y el ensilaje de la pulpa se han estudiado aún cuando no de un modo sistemático y concluyente.

Otras opciones interesantes que completarían el panorama que se tiene sobre las posibilidades de este residuo en el desarrollo de alimentos se refieren al aislamiento de la proteína de la pulpa de café y al estudio de sus propiedades funcionales y características nutricionales.

En cualesquiera de los casos de las posibilidades mencionadas en este trabajo, la utilización de la pulpa de café en las escalas comerciales habrá de necesitar, en el futuro, mayores esfuerzos de investigación en diferentes niveles y aspectos, que desemboquen en paquetes tecnológicos debidamente evaluados.

Respecto a las aguas de lavado del procesamiento húmedo, comúnmente denominadas, mucilago, su condición altamente contaminante tanto por la carga orgánica que contiene (DBO hasta de 10000 ppm) como por la forma tradicional y generalizada de su disposición directa hacia los cuerpos de agua, hacen insoslayable su tratamiento; la posibilidad de recuperación de enzimas pécticas, pectina y producción de proteína unicelular reviste particular interés porque son tratamientos que podrían combinarse con aquellos cuyo objetivo es disminuir esa capacidad contaminante. Los filtros anaerobios que secundariamente producen gas combustible son una práctica ya encontrada en beneficios comerciales lo que podría facilitar la adopción de tecnologías dirigidas al aprovechamiento del residuo. Los estudios en relación a las pectinas de las aguas del primer lavado del café durante su procesamiento húmedo y las caracterizaciones que de la pectina del mucilago del grano fresco se tienen abren la posibilidad de orientar un enfoque más integral en el estudio de su recuperación. Se requiere sin duda profundizar en las condiciones de separación y un conocimiento más detallado de las características de las pectinas existentes en las primeras aguas de lavado. El comportamiento funcional de las pectinas en la elaboración de productos comúnmente fabricados con pectinas de otros orígenes, junto con estudios experimentales a escalas mayores de las de laboratorio, habrán de contribuir a estimar las bondades de esta alternativa de aprovechamiento del mucilago del café.

Los residuos provenientes del procesamiento de frutas son materiales de suma importancia por el volumen y diversidad con que se logran. El mango y los cítricos representan especies frutales de destacada producción en México.

Los residuos del procesamiento del mango son principalmente la cáscara, la semilla y el material fibroso.

La semilla del mango es un residuo que puede representar, dependiendo de la variedad, entre el 10 y el 30% del fruto entero. La almendra de la semilla posee características fisicoquímicas que le dan posibilidades en la alimentación e industria de los alimentos. Las proteínas que contiene, según algunos estudios comentados, posee un "score" químico comparable con el que presenta el patrón de referencia de la FAO. El almidón de esta almendra ha hecho propicio que en regiones de alta producción de mango, principalmente de Asia, se le consuma mediante la elaboración de harinas que sustituyen parcialmente a la harina de trigo en la fabricación de pan. La harina de almendra de semilla de mango ha sido estudiada por sus características antioxidantes de las grasas, en productos lácteos derivados de leches de vaca y búfalo y, la grasa de la semilla, cuya participación en la composición es de entre 4 y 14% (b.s.) ha sido estudiada abundantemente en virtud de su composición y propiedades.

La grasa de la semilla de mango es una de las posibles alternativas de aprovechamiento de uno de los variados residuos que genera el procesamiento e industrialización de esta importante y conocida fruta como lo muestran diversas investigaciones, algunas de ellas aquí referidas. Los resultados obtenidos hasta ahora, indican que las variedades de mango cultivadas e industrializadas en México, contienen en la almendra de la semilla niveles importantes de grasa cuyas características fisicoquímicas se asemejan en gran medida a la manteca de cacao. De esas variedades, la mayor producción corresponde a la Manila, apreciada como fruta para su consumo en fresco y ampliamente utilizada en la fabricación de diversos productos de mango. La semejanza de la grasa de semilla de esta variedad Manila (punto de fusión: 28-30°C; I. de refracción: 1.466; I. de yodo: 41.76) con la de la manteca de cacao (punto de fusión: 30-31°C; I. de refracción: 1.463; I. de yodo: 43.15) abre la perspectiva de usar, en el futuro, este residuo como materia prima para la producción de grasas con posibilidad de sustituir a la manteca de cacao en múltiples aplicaciones.

Las evidencias mostradas hasta ahora, en cuanto a esta posibilidad para este residuo, delimitan la necesidad de estudios complementarios como lo son los que se refieren a las propiedades dilatométricas de esta grasa y a evaluaciones fisicoquímicas y sensoriales de productos alimenticios, en los que la grasa de cacao se haya sustituido con la de la almendra de semilla de mango. En resumen, se requieren todavía mayores conocimientos que deriven de otros muchos ensayos y estudios experimentales para evaluar las bondades de dicha sustitución en términos funcionales, nutricios, técnicos y económicos.

La melaza cítrica es otro residuo importante del procesamiento de frutas durante la conversión de éstas en jugo, natural o concentrado. La industria que realiza este tipo de procesamientos es de suma importancia en los niveles internacionales mostrando en los últimos años notable dinamismo.

Sin duda el aprovechamiento de los llamados residuos o subproductos de la agroindustria juega un papel destacado en la superación de los niveles de productividad y, por ende, en los costos con que tales industrias actualmente operan. En el caso de las agroindustrias que procesan frutas para la elaboración de jugos y concentrados, el tener y encontrar nuevas alternativas para el aprovechamiento de los variados residuos representa una posibilidad real de trabajar a niveles de productividad que mejoren la competencia de sus productos en los diferentes ámbitos del interior del país o del exterior.

El caso de la melaza cítrica, ejemplificado en este trabajo, es ilustrativo de un residuo que podría, ante una vía posible de aprovechamiento, coadyuvar en la economía de las empresas que las producen.

Los usos actuales de la melaza cítrica son bien restringidos; se sabe que su empleo más frecuente es como ingrediente en el acondicionamiento de la cáscara de cítricos para su posterior deshidratación y "peletización". El producto resultante se comercializa para la alimentación de ganado. Una alternativa en investigación es la de servir como sustrato en fermentaciones microbianas.

La melaza cítrica como lo muestran algunos de los resultados citados es comparable a los sustratos convencionales para el crecimiento de levaduras. En melaza cítrica, la levadura *S. cerevisiae*, bajo las condiciones experimentales anteriormente reseñadas, tiene una  $\mu_{max}$  de  $0.577 \text{ h}^{-1}$  con una  $K_s$  de  $2.2852 \text{ gART/L}$  y un rendimiento de  $0.4513 \text{ g de levadura/g ART}$ . La simulación en computadora del crecimiento de la levadura en melaza cítrica, con base en esos parámetros cinéticos estimados, comparada con simulaciones de esta levadura en glucosa, usando a parámetros cinéticos de la literatura y de otros microorganismos como *A. nidulans*, *G. candidum* y *A. aerogenes* también en sustratos más sencillos, si bien mostró un crecimiento más lento que la *S. cerevisiae* en glucosa, fue más rápido su desarrollo que el simulado para los otros microorganismos. Los estudios cinéticos del crecimiento de *S. cerevisiae* en este sustrato han evidenciado la perspectiva de estudiar, a nivel de laboratorio, el cultivo en este mismo medio, de otros microorganismos industrialmente importantes. Los datos son prometedores considerando que ésta es una fuente no convencional de azúcares reductores y que, adicionalmente, en la actualidad la melaza cítrica es un residuo con contenido proteínico bajo que podría emplearse para producir levadura, que por su alto valor biológico es un nutrimento de alta calidad en la alimentación de animales.

Con los datos que se tienen es posible llevar a cabo una corroboración, en equipo continuo de biorreacción, para obtener los parámetros cinéticos reales y proponer las variables de escalamiento del equipo a nivel prototipo e industrial, para el caso de la producción de levadura forrajera en melaza cítrica.

En lo que se refiere al salvado de arroz, es un material de suma importancia por derivar de una agroindustria que procesa un bien básico en la dieta de la población mexicana y por sus altas características nutricias intrínsecas. El desarrollo de su potencial como recurso alimentario está, en México, todavía por realizarse.

Un punto trascendente en el debido aprovechamiento del salvado de arroz es el de encontrar e instalar procesos tecnológicos que hagan posible su estabilización bioquímica que evite las naturales y rápidas reacciones deteriorativas de sus lípidos que llevan al enranciamiento y a la disminución de su calidad nutricia. Las experiencias en otros países productores y procesadores

de arroz, así como en reportes hallados en la literatura de las alternativas de procesamiento para evitar su alteración todavía en los niveles experimentales, pueden ser la base para adaptar a las condiciones regionales de México, procedimientos tecnológicos viables. Igualmente, la búsqueda de nuevas alternativas que desde su planteamiento consideren las circunstancias propias y actuales del salvado de arroz en México, dirigen al desarrollo de investigaciones que, por su naturaleza, habrían de lograr mayores conocimientos sobre el manejo y uso apropiado del salvado de arroz como materia prima en la elaboración de múltiples productos alimenticios, principalmente para consumo humano.

Los métodos de estabilización de salvado de arroz están todavía, en lo general, en etapas de investigación y desarrollo; sobre todo si se atienden a condiciones específicas de las regiones productoras. De este modo se han estudiado procedimientos de tratamiento térmico húmedo y seco; tratamientos químicos con diversos compuestos y almacenamientos en condiciones especiales.

La búsqueda de nuevos métodos más eficaces para la estabilización bioquímica del salvado de arroz, que no provoquen cambios deteriorativos en su calidad nutricia y que sean más económicos, delimitan una gama de posibilidades que atiendan a la característica termolabilidad y condiciones específicas de actividad de las enzimas responsables de la principal vía de enranciamiento y a la necesidad de conservar sus propiedades nutricias dada la también labilidad térmica y reactiva de sus vitaminas, proteínas y aminoácidos. De este modo el tratamiento térmico mediante extrusión, por ejemplo, se ha investigado en diversas configuraciones y condiciones de operación de estos equipos, mostrando mayores eficacias que algunos de los métodos de inactivación, de lipasas y peroxidasas, más tradicionales. La extrusión también ha mostrado resultados favorables en cuanto a las pérdidas de tiamina, lisina, formación de complejos, etc, durante la estabilización de este residuo.

El tratamiento químico combinado con calentamiento dieléctrico, muestra también perspectivas favorables si se atiende a algunos de los resultados aquí consignados y a las posibilidades que viene presentando esta novedosa forma de tratamiento térmico en hornos de microondas. El desarrollo de ácidos grasos libres durante el almacenamiento, que es un modo indirecto de estimar la actividad de las enzimas lipolíticas del salvado de arroz, mostró que el tratamiento químico combinado con calentamiento dieléctrico es más efectivo que los tratamientos con vapor, químico y dieléctrico, solos. El porcentaje de ácidos grasos libres a los 50 días de almacenamiento de muestras de salvado de arroz tratadas mediante tales procedimientos y de muestras sin tratar, fue de 7.46, 17.78, 13.32, 18.57 y 47.28% respectivamente.



## 6. Conclusiones y recomendaciones

1) Los residuos del procesamiento industrial de los alimentos, algunos de ellos con alta capacidad contaminante, son una reserva potencial de materiales que pueden convertirse en bienes económicos y útiles, algunas veces alimenticios.

2) Los residuos de la industrialización del café requieren se atienda y estudie su conveniente explotación y aprovechamiento. Se sabe que estos residuos pueden emplearse en diversas aplicaciones de la industria alimentaria y farmacéutica. La pulpa de café ha sido usada, en mayor amplitud, como material mejorador de suelos y como ingrediente en raciones alimenticias para animales. Tales usos pueden optimizarse mediante la adopción y empleo de técnicas apropiadas de composteo, en el primer caso; y en el segundo, mediante tratamientos fisicoquímicos, algunos sencillos como la lixiviación, que eliminan de ella los compuestos antinutricios y tóxicos que contiene. Este tratamiento permite, usando únicamente agua, que más del 60% de la cafeína y del 75% de los taninos y polifenoles que contiene la pulpa de café cereza pueden eliminarse con la lixiviación de la pulpa en una operación en una sola etapa. El mucilago del café, como comúnmente se le conoce a las aguas residuales de lavado durante el procesamiento húmedo, es altamente contaminante de los cuerpos de agua receptores, es por ello que la profundización en su estudio y tratamiento se hacen inaplazables. Una de las alternativas de aprovechamiento más prometedoras la constituye la recuperación de pectinas y proteínas que estas aguas contienen, siendo también atractivo y posible la obtención de enzimas pécticas, abono orgánico y biogás mediante diversos procedimientos.

3) La semilla del mango puede representar hasta casi un tercio del fruto entero. La almendra que ésta contiene posee características fisicoquímicas que le otorgan posibilidades de ser utilizada en la industria alimentaria. Una de las alternativas más viables es la utilización de la grasa de la almendra en aplicaciones semejantes a la que se le da a la manteca de cacao, grasa de la cual, la de semilla de mango, mantiene cercanía en cuanto a sus propiedades físicas y químicas. Otras posibilidades para este material residual derivan de: la capacidad antioxidante de algunos de sus componentes lipídicos y fenólicos, la calidad de sus proteínas y su almidón.

4) La melaza "cítrica" es un residuo importante y poco estudiado de la industria procesadora de jugos de fruta. Su alto contenido en carbohidratos y su composición en diversas especies químicas orgánicas le dan amplias posibilidades como material reaprovechable. Una alternativa estudiada ha sido su uso como sustrato en el cultivo de microorganismos. A este respecto la levadura *S. cerevisiae* cultivada en melaza "cítrica" podría proporcionar a este material el contenido

Los ácidos grasos libres desarrollados durante el almacenamiento de las muestras sujetas al tratamiento químico-dieléctrico fueron dependientes del pH y humedad del salvado tratado, así como de la temperatura de calentamiento. Tal dependencia se ajusta a la siguiente ecuación:

$$Y = - 9.771 - 3.451 (X_1) + 69.374 (X_2) - 2.309 (X_3) + 0.0184 (X_1)^2 - 2.45 (X_2)^2 + 0.0854 (X_3)^2 - 0.215 (X_1 X_2) + 0.0474 (X_1 X_3) - 0.640 (X_2 X_3)$$

en la que Y es la variable respuesta medida como el porcentaje de ácidos grasos libres, X<sub>1</sub> la temperatura de calentamiento en °C, X<sub>2</sub> el pH del salvado de arroz antes del calentamiento y X<sub>3</sub> la humedad inicial del salvado en porcentaje.

Los mapas de contorno y las gráficas de superficie de respuesta construidas con tal modelo ajustado a los datos experimentales permiten determinar regiones en las que el valor esperado del porcentaje de ácidos grasos libres, en función de las variables citadas, se minimiza dentro del intervalo de las variables estudiadas (temperatura: 75.7-124.3°C; pH: 4.27-9.13 y humedad del salvado: 10.42-22.57%).

Una vez estabilizado, el uso más inmediato del salvado de arroz puede ser, en México, como materia prima para la extracción de aceite vegetal comestible. El déficit histórico del mercado de este tipo de aceites para cubrir la creciente demanda por ellos substituyendo importaciones, se convierte en un criterio de prefactibilidad de proyectos comerciales de este tipo.

El desarrollo de alimentos a partir de salvado de arroz, ya estabilizado, en productos que ahora se logran con cereales de uso corriente y de otros nuevos, habrá de requerir el resolver un cúmulo de interrogantes respecto al comportamiento de este material, en dichos alimentos elaborados, desde el punto de vista nutricional, sensorial y económico.

Los cinco ejemplos aquí ilustrados son tan solo una muestra de la potencialidad de los muchos materiales biológicos de México, todavía desaprovechados; incluso éstos que son con frecuencia considerados en los diversos ámbitos locales y regionales como materiales residuales. El esfuerzo de investigación, desarrollado por una gran cantidad de investigadores de diferentes lugares, reflejados en los reportes aquí citados, así como el llevado a cabo en este trabajo, constituyen sin duda, una muestra de la importante y creciente consideración de estos materiales en la solución de muchos y trascendentes problemas de los pueblos como son todos aquellos relacionados con la alimentación.

## 7. Bibliografía

- Aguilera, A. y Benítez T. (1988) "Relationship between growth, fermentation and respiration rates in *Saccharomyces cerevisiae*". *Biotechnol. Bioeng.*, 32:240-244.
- Aguirre, B.F. (1966) "La utilización industrial del grano de café y de sus productos". Investigaciones Tecnológicas del ICAITI, Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. Num. 1, 43p. Guatemala, Guatemala.
- Aibara, S., Ismail, A., Yamashita, H., Ohta, H., Sekiyama, F. y Morita Y. (1986) "Changes in rice bran lipids and free aminoacids during storage" *Agr. Biol. Chem.*, 50(3):665-673.
- Aizono, Y., Funatsu, M., Hayashi, K., Inamasu, M. y Yamaguchi, M. (1971) "Biochemical studies on rice bran lipase. Part II. Chemical properties". *Agr. Biol. Chem.*, 35(12):1973-1979
- Aizono, Y. y Funatsu, M. (1976) "Purification and characterization of rice bran lipase II." *Agr. Biol. Chem.*, 40(2):317-324.
- Aizono, Y., Sugano, M., Hayashi, K. y Fujiki, Y. (1973) "Enzymatic properties of rice bran lipase" *Agr. Biol. Chem.*, 37(9):2031-2036.
- Alí, M. A., Gafur, M.A. Rahman, M.S. y Ahmed, G.M. (1985) "Variations in fat content and lipid class composition in ten different mango varieties". *JAOCS*, 62(3):520-523.
- AOAC (1980) *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 13a edición. Washington, D.C. EEUUA.
- Aranda-Delgado, E. (1989) "La utilización de lombrices en la transformación de la pulpa de café en abono orgánico". *Bibliocafé*, 12(2):17-21.
- Arias, U.R. y Nigiani, R. (1987) "Tratamiento anaeróbico y reutilización de las aguas residuales de lavado de café en reactores UASB a temperaturas entre 20-25°C", en memorias del III Simposio Internacional sobre Utilización Integral de los Subproductos del Café. Porres, Rodas y Calzada, editores. ICAITI/ANACAFE. Pp. 11-121. Guatemala, Guatemala.
- ASERCA (1995) "Panorama mundial del café". *Claridades agropecuarias*, 20:14-19.
- Atkinson, B. y Mavituna F. (1983) "Biochemical engineering and biotechnology handbook. The Nature Press. Washington, D.C. EEUUA.
- Ayappa, K.G., Davis, H.T. Davis, E.A. y Gordon, J. (1991) "Analysis of microwave heating of materials with temperature-dependent properties". *ChE Journal*, 37(3):313-323.
- Barber, S. (1977) "Process for the stabilization of rice bran. I-Basic research studies in rice bran by products preservations. Barber y Tortosa Eds. Barcelona, España.
- Barber, S. y Benedito de Barber, C. (1977) "Toxic constituents of rice bran. I-Tripsin inhibitor activity" *J. Agric. Chem. Food Technol.*, 18(1):80-88.
- Barber, S. y Benedito de Barber, C. (1980) "Rice bran. Chemistry and Technology", en *Rice Production and Utilization*. Cap. 24, Luh, B.S. editor. AVI. Conn. EEUUA.
- Barber, S. y Benedito de Barber, C. (1981) "Proteínas del salvado de arroz. II-Valor potencial de las fracciones del salvado de arroz como ingredientes de alimentos proteicos". *Rev. ATA*, 21(1):247-258.
- Barber, S. y Navarro, L. (1976) "Histochemistry of the rice embryo. II-Lipids, proteins, aminoacids and minerals". *J. Agric. Chem. and Food Technol.* 16(4): 516-530.

proteínico para su empleo, más favorable, en la alimentación de animales. Otras alternativas para este residuo derivan de la posibilidad de recuperar de él compuestos orgánicos importantes.

5) El salvado de arroz es un material con propiedades nutricias destacables que le dan amplias posibilidades como materia prima para la elaboración de alimentos de consumo humano. Sin embargo, para escalas comerciales, su estabilización bioquímica es una condición *sine qua non*, para ello. Los tratamientos térmicos y químicos han probados ser efectivos para esta preservación. El calentamiento dieléctrico combinado con tratamientos químicos ácidos permiten conservar el salvado de arroz, sin alteración significativa en los niveles de ácidos grasos libres por periodos prolongados bajo condiciones de temperatura y humedad, ambientales.

La recomendación que surge de todo lo planteado en el presente trabajo, es la de aumentar los esfuerzos que ahora se realizan para el desarrollo y transformación de la conciencia, actitudes y prácticas de las sociedades actuales en torno a la problemática y potencialidad que presentan los variados y cuantiosos residuos de la agroindustria, aprovechando las herramientas que brinda, entre otras diciplinas científicas, la ingeniería de los alimentos.

- Beerh, O.P., Raghuramaiah, B., Krishnamurthy, G.V. y Girhida, N. (1976)** "Utilization of mango waste: Recovery of juice from waste pulp and peel". *J. Food Sci. Technol.*, 13:138-141.
- Braham, J.E. (1978)** "Pulpa de café en otras especies". en *Pulpa de Café. Composición, tecnología y utilización*. Braham, J.E. y Bressani, R., editores. Pp. 89-96. Guatemala, Guatemala.
- Bressani, R., Estrada, E. y Jarquín, R. (1972)**. "Pulpa y pergamino de café. I.-Composición química y contenido de aminoácidos de la pulpa". *Turrialba*, 22: 299-304.
- Bressani, R. (1973)** "Manual práctico de beneficios de café" ANACAFE, Boletín 13. Pp. 96.
- Bressani, R. (1978a)** "Subproductos del fruto de café" en *Pulpa de café. Composición, tecnología y utilización*. Braham, J.E. y Bressani, R., editores. Guatemala, Guatemala. Pp. 9-17.
- Bressani, R. (1978b)** "Posibles usos de los subproductos del grano de café", en *Pulpa de café. Composición, tecnología y utilización*. Braham, J.E. y Bressani, R., editores. Guatemala, Guatemala. Pp. 31-44.
- Bressani, R. (1978c)** "Factores antifisiológicos en la pulpa de café", en *Pulpa de café. Composición, tecnología y utilización*. Braham, J.E. y Bressani, R. editores. Guatemala, Guatemala. Pp. 143-152.
- Cabel, M.C. y Waldroup, P.W. (1989)** "Research note: Ethoxiquin and ethylenediaminetetraacetic acid for the prevention of rancidity in rice bran stored at elevated temperature and humidity for various lengths of time". *Poultry Sci.*, 68(3):438-442.
- Cabezas, M.T., Flores A. y Egaña, J.E. (1978)** "Uso de la pulpa de café en la alimentación de rumiantes", en *Pulpa de café. Composición, tecnología y utilización*. Braham, J.E. y Bressani, R. editores. Pp. 45-67. Guatemala, Guatemala.
- Calzada, J.F. y Rolz, C. (1987)** "Recuperación y prensado de pulpa de café", en *Memorias del III Simposio Internacional Sobre la Utilización Integral de los Subproductos de Café*. Porres, Rodas y Calzada, editores. ICAITI/ANACAFE. Pp. 13-15. Guatemala, Guatemala.
- Carbonell, R.V. y Vilanova, T. (1952)** "Beneficiado rápido y eficiente del café mediante el uso de soda cáustica". Boletín técnico no. 13. Centro Nacional de Agronomía. Ministerio de Agricultura y Ganadería. El Salvador, C.A. Pp. 66.
- Castellanos-Hernández, M.T., Solís-Fuentes, J.A. y Durán-de-Bazúa, C. (1993)** "Obtención de pectinas del beneficiado del café en Veracruz". *Industria Alimentaria*, 15(6): 25-31.
- Cervantes, A. (1996)** "Extracción y evaluación del ácido clorogénico del café como un antioxidante natural". Tesis profesional. UNAM. Facultad de Química. México, D.F. México.
- Champagne, E.T. y Hron, R.J. (1992)** "Stability of ethanol-extracted brown rice to hydrolytic and oxidative deterioration". *J. Food Sci.* 57(2): 433-436.
- Cleves, R. (1975)**. "Justificación de un proyecto para investigar la obtención de pectinas a partir del mucilago de café". Oficina del café. San José, Costa Rica.
- Coleman, R.J., Lenney, J.F., Coscia, A.T., Dicarlo, F.J. (1955)**. *Arch. Biochem. Biophys.* 59:157
- Cordero, V., Barber, S. y Primo, E. (1985)** "Inactivación enzimática de salvado de arroz. Relaciones entre los parámetros de proceso y la actividad de peroxidasa". *Rev. ATA*, 25(1):76-82.
- Cordero, V., B. de Barber, C. y Clemente, G. (1986a)** "Inactivación enzimática de salvado de arroz. Relación entre los parámetros de proceso y la actividad de lipasa". *Rev. ATA*, 26(2):276-282.
- Cordero, V., B. de Barber, C. y Primo E. (1986b)** "Estabilización de salvado de arroz. Efecto del tratamiento térmico sobre las proteínas" *Rev. ATA*, 26(3):398-404.
- Crumplén, R., D' Amore, T.D., Panchel, C. y Stewart, G. (1987)**. "Industrial use of yeast, present and future". *Memorias del 7th. Intl. Symp. Yeast*.

- D' Amore T., Celotto G., Russell Y., Stewart G.G. (1988)** "Selection and optimization of yeast suitable for ethanol production". *Enzym. Microb. Technology*, 11: 411-427
- Daquí, L.E. (1974)**. "Características químicas y nutricionales de la pulpa de café ensilada con pasto napier y planta de maíz". Tesis de maestría. Universidad de San Carlos. Facultad de Medicina Veterinaria. INCAP/CESNA. Guatemala, Guatemala.
- De Cabrera, S., Calzada, J.F., Gil, L.A. y De Arriola, M.C. (1987)** "Etanol de cerezas y mucilago de café" en *Memorias del III Simposio Internacional sobre la Utilización Integral de los Subproductos del Café*. Porres, Rodas y Calzada, editores. ICAITI/ANACAFE. Pp. 129-137. Guatemala, Guatemala.
- De León, R., Porres, C., Rolz, C. y Campos, M. (1987)** "Crecimiento de hongos sobre pulpa de café", en *Memorias del III Simposio Internacional sobre la Utilización Integral de los Subproductos del Café*. Porres, Rodas y Calzada, editores. ICAITI/ANACAFE. Pp. 76-84. Guatemala, Guatemala.
- Delgado, L.L., Azpiroz, R.S. y Sevilla, P.E. (1984)** "Contenido de aceite y ácidos grasos en el salvado de arroz de 14 variedades comerciales en México. *Agric. Téc. Méx.*, 10(1):59-72.
- De Rege, F. (1964)** "Quantitative method of determining adulteration of rice by-products". *Riso*, 13(4):310-322.
- De Roza, M.P., Vélez, R.J. y García, A.A. (1985)**. "Efecto de los polifenoles de la pulpa de café en la absorción de hierro". *Arch. Latinoam. Nutr.*, 35(2):287-296.
- Dhingra, S. y Kapoor, A. (1985)** "Nutritive value of mango seed kernel". *J. Sci. Food Agric.*, 36:752-756.
- Eliás, L.G. (1978)** "Composición química de la pulpa de café y otros subproductos", en *Pulpa de Café. Composición, tecnología y utilización*. Braham, J.E. y Bressani, R., editores. Pp. 19-30. Guatemala, Guatemala.
- El-Zanati, E.M. y Zaher, F.A. (1990)** "Utilization of rice bran oil to produce an antifoamer" *JAOCS*. 67(1):61-63.
- FAO (1992)** "Estadísticas anuales". Roma. Italia.
- Funatsu, M. y Aizono, Y. (1971)** "Biochemical studies on rice bran lipase". *Agric. Biol. Chem.*, 35(5):734-772.
- Gallopin, G.C. (1976)** "Recursos naturales renovables, ecología e ideología". *Comercio Exterior* 26(1):45-49.
- García A.A., Vélez, R.J. y De Roza, M.P. (1985)** "Extracción y cuantificación de los polifenoles de la pulpa de café". *Arch. Latinoam. Nutr.*, 35(3):491-495.
- García, R., Arriola, D., De Arriola, M.C., De Porres, E. y Rolz, C. (1987)** "Caracterización de la pectina de café", en *Memorias del III Simposio Internacional sobre la Utilización Integral de los Subproductos del Café*. Porres, Rodas y Calzada, editores. ICAITI/ANACAFE. Pp. 138-152. Guatemala, Guatemala.
- Gardner, H.W. (1975)** "Decomposition of linoleic acid hydroperoxides. Enzymatic reactions compared with nonenzymic". *J. Agr. Food Chem.*, 23:129-136.
- Gerhartz, W. (1987)** "Fats and oils", en *Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Vol. 10. Pp. 173-243. VCH. R.F.A.
- Gómez-Brenes, R.A. (1978)** "Procesamiento de pulpa de café: tratamientos químicos", en *Pulpa de café. Composición tecnología y utilización*. Braham, J.E. y Bressani, R., editores. Pp. 125-142. Guatemala, Guatemala.
- Gómez-Brenes, R.A., Bendaña, G., González, J.M., Braham, J.E y Bressani, R. (1985)**. "Relación entre los niveles de inclusión de pulpa de café y contenido proteínico en raciones para animales monogástricos". *Arch. Latinoam. Nutr.*, 35(3):423-437.
- González, J., Alvira, P. y González, G. (1986)** "La cascarilla de arroz en la alimentación animal. I-Revisión bibliográfica". *Rev. ATA*, 26(4):513-528.
- Gourgue, C. M-P., Champ, M. M-J., Lozano, Y. y Laval, J.D. (1992)** "Dietary fiber from mango by-products: Characterization and hypoglycemic effects determined by *in vitro* methods". *J. Agric.Food Chem.*, 40(10):1864-1868.

- González P. y Cerro J.A. (1988)** ICIDCA-GEPLACEA-PNUD Manual de los derivados de la caña. Serie Diversificación. La Habana Cuba.
- Guzmán, G. y Martínez-Carrera, D. (1987)** "El cultivo de los hongos comestibles sobre la pulpa de café en México", en III Simposio Internacional sobre la Utilización Integral de los Subproductos del Café. Porres, Rodas y Calzada, editores. ICAIT/ANACAFE. Pp. 68-75 Guatemala. Guatemala.
- Hemavathy, J. y Prabhakar, J.V. (1987)** "Lipid composition of rice (*Oryza sativa* L) bran". JAOCS, 64(7):1016-1019
- Houston, D.F. y Allis, M.E. (1969)** "Amino acid composition of rice and rice by-products". Cereal Chem., 46(5):527-537.
- Hui, H. (1992)** Encyclopedia of food science and technology. Vol. 4. John Wiley and Sons. Toronto Canadá.
- Ida, S., Kitamura I. y Morita, Y. (1970)** "Studies on respiratory enzymes in rice kernel. Part III". Agric. Biol. Chem., 34(5):715-723.
- Ida, S., Kitamura I. y Nikaido, H. (1972)** "Studies on respiratory enzymes in rice kernel. Part IX". Agr. Biol. Chem., 36(4):611-620.
- IFT (1987)** "Scientific status summary. Evaluation of caffeine safety". Food Technol., 6:105-112.
- IFT (1989)** "Scientific status summary. Microwave food processing". Food Technol. 1:117-125
- Jaffe, W. y Ortiz, D.S. (1952)**. "Notas sobre el valor alimenticio de la pulpa de café". AGRO(Venezuela), 23:31-37.
- INEGI (1993)** El sector alimentario en México. Instituto Nacional de Geografía e Informática. México, D.F. México.
- Jarquín, R. (1978)** "Pulpa de café en la alimentación de cerdos", en Pulpa de café. Composición, tecnología y utilización. Braham, J. E. y Bressani, R., editores. Pp. 69-88. Guatemala, Guatemala
- Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S., Leeds, A.R., Gassul, M.A., Haismar, P., Dilawari, J., Goof, D.V., Metz, G.L. y Alberti, K.G.M. (1978)** "Dietary fibres, fibre analogues and glucose intolerance: Importance of viscosity". Br. Med. J. 1:1392-1394.
- Jiménez-Bermúdez, M., Silva Hernández, E. R., Solís Fuentes, J.A. y Durán de Bazúa, M.C. (1995)** "La grasa de semilla de mango como posible sustituto de la manteca de cacao". Presentado en el I Congreso Iberoamericano de Ingeniería de los Alimentos. Nov 4-7 de 1995. Campinas, S.P. Brasil.
- Kim, C.J., Byun, S.M., Cheigh, H.S. y Kwon, T.W. (1987a)**. "Optimization of extrusion of rice bran stabilization process". J.Food Sci., 52(5):1355-1357.
- Kim, C.J., Byun, S.M., Cheigh, H.S. y Kwon, T.W. (1987b)** "Comparison of solvent extraction characteristics of rice bran pretreated by hot air drying, steam cooking, and extrusion." JAOCS, 64(4):514-516.
- Lakshminarayana, G., Chandrasekhara-Rao, T. y Ramalingaswamy, P.A. (1983)** "Varietal variations in content characteristics and composition of mango seed and fat". JAOCS, 60(1):88-89.
- Lakshminarayana, S. (1980)** "Mango", en Tropical and subtropical fruits. Nagy, S. y Shaw-Philip. E.P., editores. AVI. Westport. Conn. EEUUA.
- Lasztity, R., El-Shafei, M.A., Abdel-Samei, M.B., Hatour, F.S. y Labib, M. (1988)** "Biochemical studies of some non-conventional sources of protein. Part 4. The proteins of mango waste stone kernels". Nahrung, 32: 867-873.
- Leff, E. (1976)** "El sistema de ciencia y tecnología en el proceso de desarrollo socioeconómico". Comercio Exterior, 26(11):1334-1341.
- Liener, L.E. (1972)** "Nutritional value of food protein products", en Soybeans: Chemistry and Technology, Vol. 1: Proteins. A.K. Smith y S.J. Circle (Editores) AVI Pub. Co. Westport, Conn. EEUUA.

- Maurya, K.R. y Chawdhary, D.N. (1977). "Utilization of mango wastes" Ind. Food Packer., 31:83-84.
- Menchú, J.F., De Arriola, M.C., Fuentes, A. y Rolz, C. (1974) "Primera reunión internacional sobre la utilización de subproductos de café en la alimentación animal y otras aplicaciones agrícolas e industriales". Junio 11-14, 1974. Turrialba, Costa Rica.
- Menchú, J.F. (1987). "El beneficio húmedo tradicional de café y la disposición de sus desechos", en Memorias del III Simposio Internacional sobre la Utilización Integral de los Subproductos de Café. Porres, Rodas y Calzada, editores. ICAITI/ANACAFE. Pp. 1-12. Guatemala, Guatemala.
- Méndez-Dauzón, J., Solís-Fuentes, J.A. y Durán-de-Bazúa, M.C. (1994) "Producción de levadura forrajera usando como sustrato melazas cítricas de piña. Estudios cinéticos". Bebidas Mexicanas, 2(6):8-13.
- Mertz, E.T. (1972) "Recent improvements in corn protein", en Seed protein, Inglett, G.H. (ed). AVI Pub. Co. Pp. 136-143. Wesport, Conn. EEUUA.
- Mitcham, E. J. y McDonald, R.E. (1992) "Cell wall modification during ripening of Keitt and Tommy Atkins mango fruit". J. Am. Soc. Hortic. Sci. 117(6):919-924.
- Mitsuda, H., Kawai, F., Suzuki, A. y Honjo, J. (1977). "Studies on the production of a protein-rich bran by means of fractional sedimentation in n-hexane", en Rice Report 1976. S. Barber, H. Mitsuda, H.S.R. Desikachar y E. Tortosa (Editores). Intl. Union of Food Sci. and Technol. Working Part on Rice Utilization. Inst. Agric. Chem. and Food Technol., Valencia, España.
- Molina, M., De la Fuente, G., Batten, M. A. y Bressani, R. (1974) "Decaffeination, a process to detoxify coffee pulp" Agric. Food Chem., 22:1055-1059.
- Molina, R.M. (1978). "Secado de pulpa de café", en Pulpa de café. Composición, tecnología y utilización. Braham, J.E. y Bressani, R., editores. Incap. Pp. 111-124. Guatemala, Guatemala.
- Moo-Young, M. (1985). Comprehensive biotechnology. Tomo 1. Pergamon Press. Toronto, Canadá.
- Morita, Y. e Ida, S. (1968). "Studies on respiratory enzymes in rice kernel. Part-I." Agr. Biol. Chem., 32(4):441-447.
- Morrison, F.B. (1977) Compendio de Alimentación de Ganado.UTEHA. México, D.F. México.
- Murillo, B.E., Estrada, M.T., Cabezas, E., Vargas, L., Daqui, L.E. y Bressani, R. (1977). "Composición de carbohidratos estructurales en diferentes muestras de pulpa y pergamino de café". Mimeo. Documento inédito. Guatemala, Guatemala.
- Nadal, N.G.M. (1959) "Coffee mucilage, its chemical composition". Coffee and Tea Ind., 82(8):17-18.
- Narasimha-Char, B.L., Reddy B.R. y Thirumala-Rao, S.D. (1977). "Processing mango stones for fat". JAACS, 54:494-495.
- Naryana, R. y Kartha, A.R.S. (1962) "The glyceride structure of *Mangifera indica* seed fat". J. Sci. Industl. Res., 21B:400-401.
- Nawar, J. (1985) "Lipids", en Food Chemistry. Fennema, O.R. (editor), Ed. Marcel Dekker, Inc. Nueva York, N.Y., EEUUA.
- Ochse, J.I., Soule, M.J. y Dijkman, M.J. (1982) "Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales". Vol.1. Limusa, México, D.F. México.
- Okuda, H. y Fujii, S. (1968). J. Biochem. 64:377-379.
- Orozco, R. (1974) "Obtención de pectinas a partir del mucilago del café, subproductos e industrias conexas", en Utilización de subproductos del café en la alimentación animal y otras aplicaciones agrícolas e industriales. IICA. Turrialba, Costa Rica.
- Ortiz-Ramírez, F.V. (1985) "Extracción y caracterización de la grasa de semilla de mango var. manila". Tesis profesional. Facultad de Química. UNAM. México, D.F.



- Parmar, S.S. y Sharma, R.S. (1986)** "Use of mango seed kernel in enhancing the oxidative stability of ghee". *Asian J. Dairy Res.*, 5(2):91-99.
- Parmar, S.S. y Sharma, R.S. (1990)** "Effect of mango (*Mangifera indica* L.) seed kernels pre-extract on the oxidative stability of ghee". *Food Chem.*, 35:99-107.
- Pelczar, R.C. (1982)**. Microbiología. McGraw Hill. Eds. México, D.F. México.
- Picado (1934)**. *Arq.Inst. Biol. Veg.*, 2:67.
- Pirt, S.J. (1975)**. Principles of microbe and cell cultivation. Blackwell Scientific Publication, Londres, Inglaterra.
- Porres, C., Rodas, C. y Calzada, J.F. (1987)** "Aprovechamiento de subproductos y tratamiento de efluentes del beneficiado de café", en *Memorias del III Simposio Internacional sobre la utilización integral de los subproductos del café*. ICAITI/ANACAFE. Guatemala, Guatemala.
- Potter, N.N. (1973)** *Food Science*, AVI Publishing Co., Westport, Conn. EEUUA.
- Prabhakar, J.V. y Venkatesh, K.V.L. (1986)** "A simple chemical method for stabilization of rice bran". *JAOCS*, 63(5):644-646.
- Quintero, R. (1981)**. Ingeniería bioquímica. Ed. Alhambra Mexicana. Madrid, España.
- Ram, K. (1973)** "Mango waste too can be utilized". *Indian Farmers Dig.*, 6:39-52.
- Randall, J.M., Sayre, R.N., Schultz, W.G., Fong, R.Y., Mossman, A.P., Tribelhorn, R.E. y Saunders, R.M. (1985)** "Rice bran stabilization by extrusion cooking for extraction of edible oil". *J. Food Sci.*, 50(2):361-368.
- Rao, S.K. y Artz, W.E. (1989)** "Effect of extrusion on lipid oxidation". *J. Food Sci.*, 54(6):1568-1583
- Rebeck, H.M. y Cook (1977)** . "Manufacture of citrus pulp and molasses", en *Citrus Science and Technology*. Nagy S. y Shaw, P.E., eds. Vol.2, Cap.8:368-381.
- Restrepo-Fernández, L (1976)** "El ecodesarrollo y algunos problemas del sector agropecuario". *Comercio Exterior*, 26(1):9-16.
- Richardson T. e Hyslop D. (1985)** "Enzymes" en *Food Chemistry*. Fennema, O.R., Ed. Marcel Dekker, Inc. Nueva York, N.Y., EEUUA.
- Ringpfeil, M., Nagel, B., Kreuter, Th., Moo-Young, M. y Rolz, C. (1987)** "Recommended methods for characterization of agricultural residues and feed products derived through bioconversion". *Pure and Appl. Chem.*, 59(5):723-730
- Rivera, R. (1987)** "Experiencias sobre el aprovechamiento de la pulpa de café" en *Memorias del III Simposio Internacional sobre la utilización Integral de los Subproductos del Café*. Porres, Rodas y Calzada, editores. ICAITI/ANACAFE. Pp. 23-28. Guatemala, Guatemala.
- Rodas, C.A. (1987)** " Estudio de caso: Soluciones provisionales para la disposición de aguas de lavado de café en Guatemala" en *Memorias del III Simposio Internacional sobre Utilización Integral de los Subproductos del Café*. Porres, Rodas y Calzada, editores. ICAITI/ANACAFE. Pp. 94-98. Guatemala, Guatemala.
- Rojano-Hernández, F.I (1993)** "Detoxificación de la pulpa de café como alternativa para la alimentación animal" Tesis profesional. Facultad de Química Farmacéutica Biológica. Universidad Veracruzana. 76 p. Xalapa. Ver. México.
- Rojano-Hernández, F.I. Solís-Fuentes, J.A. y Durán-de-Bazúa, M.C. (1995)**. "Remoción de cafeína, polifenoles y taninos de pulpa de café usando procesos de lixiviación con agua" *Industria Alimentaria*, 17(6):15-19.
- Rolz, C., Menchú, J.F., Espinoza, R. y García-Prendes, A. (1971)** en *Proceedings 5th International Colloquium on the Chemistry of Coffee*. ASIO, junio 14-19. Lisboa, Portugal
- Roussos, S., Aquihuatl, A., Cassaigne, J., Favela, E., Gutiérrez, M., Hannibal, L., Huerta, S., Nava, G., Raimbult, M., Rodríguez, W., Salas, J.A., Sánchez, R., Trejo, M. y Viniestra-González, G. (1989)** "Detoxificación de la pulpa de café por fermentación sólida", en *Memorias del I Seminario Internacional sobre*

- Biotecnología en la Agroindustria Cafetalera. Roussos, Licona-Franco y Gutiérrez-Rojas, editores. INMECAFE/ORSTOM/UAM. Pp. 121-143. México, D.F. México.
- Sachs, I. (1974) "Ambiente y estilos de desarrollo". Comercio Exterior, 24(4):360-368.
- Sachs, I. (1976) "Bioconversión de la energía solar y aprovechamiento de los recursos renovables: hacia una nueva civilización industrial en los trópicos". Comercio Exterior, 26(2):35-37.
- Salunke, D.K., Chavan, J.K. y Kadam, S.S. (1985) "Postharvest biotechnology of cereals". Cap. 5. CRC Press, Boca Raton, Florida, EEUUA.
- Sánchez-López, L. (1997) "Estabilización de salvado de arroz mediante calentamiento dieléctrico y su comparación con otros métodos de estabilización". Tesis profesional. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver., México.
- Sayre, R.N. y Saunders, R.M. (1982) "Review of rice bran stabilization systems with emphasis on extrusion-cooking". Cereal Foods World, 27:317.
- Saucedo-Veloz, C. y Lakshminarayana, S. (1977). "Efectos de diferentes temperaturas de almacenamiento en la maduración de mangos (*Mangifera indica* L.), var. manila". Chapingo, Nueva Época, 3:27-36.
- SARH (1982) "Diagnóstico Agroindustrial. Veracruz 17" Coordinación General de Desarrollo Agroindustrial. SARH. México, D.F. México.
- SARH-Bancomext. (1993). "La industria de la naranja en México". Comercio Exterior, 43(3): 222-247.
- School, W.P. y Melius, P. (1969) Biochem. Biophys. Acta, 187:186.
- Shibuya, N., Nakane, R., Yasui, A. Tanaka, K. e Iwasaki, T. (1984) "Comparative studies on cell wall preparations from rice bran germ and endosperm". Cereal Chem., 62(4):252-258.
- Shibuya, N. e Iwasaki, T. (1985) "Structural features of rice bran hemicellulose". Phytochemistry, 24(2):285-289.
- Simpson, B.K., Egyankor, K.B. y Martin, A.M. (1984) "Pectin in tropical fruits" J. Food Processing Preservation, 2:63-72.
- Simulation Science. (1983) ISIM. Salford University Research Ltd. Worsley, Manchester, Inglaterra.
- Singh, L.B. (1960) "The Mango". Leonard Hill, Londres, Inglaterra.
- Smith, O.B. y Ben-Gera, Y. (1980) "The application of high temperature short-time extrusion-cooking in the food industry", en "Food process Engineering". Vol.1 Linko-Malkki, Ed. Appl. Sci. Londres, Gran Bretaña.
- SNIM (1996) "Balance disponibilidad/utilización de arroz a nivel mundial, ciclo 1995/96". Boletín del SNIM. Febrero. México, D.F. México.
- Solis-Fuentes J.A. (1995) "El enfoque de aprovechamiento en el manejo de residuos sólidos y líquidos de la agroindustria. El caso del procesamiento húmedo del café", en Curso Internacional: Tratamiento de desechos en las agroindustrias. Duran de Bazúa, M.C.Ed. UNAM, México, D.F. México.
- Solis-Fuentes, J.A. y Durán-de-Bazúa, M.C. (1990) "Estudio del efecto de la extrusión sobre la calidad y estabilidad de esquilmos y subproductos agroindustriales. Caso tipo extrusión de salvado de arroz", en Memoria de Trabajos Técnicos, XXX Convención Nacional del IMIQ. Nov. 7-9 de 1990. Pp. 86-94. Guadalajara, Jal. México.
- Solis-Fuentes J.A., Durán-de-Bazúa, M.C., Castellanos-Hernández, M.T. y Rojano- Hernández, F.I. (1995) "Estudios para el aprovechamiento de residuos del procesamiento húmedo del café". Reporte del proyecto de investigación. Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana. Mimeo. Documento interno. Xalapa, Ver., México.
- Solis-Fuentes, J.A., Méndez-Dauzón, J. y Durán-de-Bazúa, M.C. (1996a) "Crecimiento de levaduras en melaza cítrica" Reporte del proyecto de investigación. Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana. Mimeo. Documento interno. Xalapa, Ver., México.

## 8. Anexos

Se incluyen en este apartado los artículos publicados en revistas especializadas y ponencias presentadas en eventos académicos, de algunas investigaciones coordinadas por el autor, incluidas en el presente trabajo. Tales son:

Castellanos-Hernández, M.T., Solís-Fuentes, J.A. y Durán-de-Bazúa, C. (1993) "Obtención de pectinas del beneficiado del café en Veracruz". *Industria Alimentaria*, 15(6): 25-31.

Méndez-Dauzón, J., Solís-Fuentes, J.A. y Durán-de-Bazúa, M.C. (1994) "Producción de levadura forrajera usando como substrato melazas cítricas de piña. Estudios cinéticos". *Bebidas Mexicanas*, 2(6):8-13.

Rojano-Hernández, F.I. Solís-Fuentes, J.A. y Durán-de-Bazúa, M.C. (1995). "Remoción de cafeína, polifenoles y taninos de pulpa de café usando procesos de lixiviación con agua" *Industria Alimentaria*, 17(6):15-19.

Jiménez-Bermúdez, M., Silva Hernández, E. R., Solís Fuentes, J.A. y Durán de Bazúa, M.C. (1995) "La grasa de semilla de mango como posible sustituto de la manteca de cacao". Presentado en el I Congreso Iberoamericano de Ingeniería de los Alimentos. Nov 4-7 de 1995. Campinas, S.P. Brasil.

- Solís-Fuentes J.A., Durán-de-Bazúa, M.C. y Jiménez-Bermúdez, M. (1996b) "Aprovechamiento de semilla de mango". Reporte del proyecto de investigación. Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana. Mimco. Documento interno. Xalapa, Ver., México.
- Solís-Fuentes, J.A., Durán-de-Bazúa, M.C., Gasca-León, M., López-Sánchez, O., Durán-Goyre, F. y Sánchez-López, L. (1996c) "Aprovechamiento de salvado de arroz". Proyecto de investigación, Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. México.
- Spencer, R. y Meade, C. (1967). Manual de la caña de azúcar. Editorial Montaner y Simón. Barcelona, España.
- Sreenarayanan, V.V. y Chattopadhyay, P.K. (1986) "Rice bran stabilization by dielectric heating" *J. Food Processing and Preservation*, 10:89-98.
- Sridhar, R., Lakshminarayana, G. y Kaimal, T.N.B. (1991) "Modification of selected Indian vegetable fats into cocoa butter substitutes by lipase-catalyzed ester interchange". *J. Am. Oil Chem. Soc.* 68(10):726-730.
- Stasse-Wolthuis, M., Albers, H.F.F., Van Jeveren, J.G.C., Wil de Jong, J., Hautvast, J.G.A.J., Hermus, R.J.J. Katan, M.B., Brydon, W.G. y Eastwood, M.A. (1980) "Influence of dietary fiber from vegetables and fruit, bran or citrus pectin on serum, lipids, fecal lipids, and colonic function. *Am. J. Clin. Nutr.*, 33:1745-1756.
- Sudhakara-Rao (1975) "Pectins as potential by-products of coffee waste". *J. Coffee Res.*, 5(12): 29-35.
- Thomas, P. y Oke, M.S. (1980) "Technical note: Vitamin C content and distribution in mangoes during ripening". *J.Fd.Technol.*, 15:669-672.
- Tortosa, E. y B. de Barber, C. (1982) "El salvado de arroz y su valor potencial en la alimentación animal". *Rev. ATA*, 18(4):407-421.
- Tressler, D.K. y Joslyn, M.A. (1971) "Fruit and vegetable juice processing technology. Avi Publishing Co., Westport, Conn. EEUUA.
- Van-Pee, W., Boni, L., Foma, M., Hoylaerts, M. y Hendrix, A. (1980) "Positional distribution of the fatty acids in the triglycerides of mango (*Mangifera indica* L.) kernel fat". *JAOCS*, 57:243-245.
- Vargas, E., Cabezas, M.T., Murillo, B., Braham, J.E. y Bressani, R. (1982) "Efecto de altos niveles de pulpa de café deshidratada sobre el crecimiento y adaptación de novillos jóvenes". *Arch. Latinoam. Nutr.*, 32(4):973-989.
- Viniegra, G. G. (1986) "Biotecnología para el aprovechamiento de los residuos orgánicos", en Curso de Biotecnología para el aprovechamiento de residuos agroindustriales. Universidad Veracruzana. Marzo, Xalapa, Ver., México.
- Whitaker, A. y Stanbury, P. (1984). Principles of fermentation technology. Ed. Pergamon Press. Nueva York, NY, EEUUA.
- Williams, M. y Baer, S. (1965) "The expansion and extraction of rice bran". *JAOCS*, 42:151-155.
- Williams, P. (1989) Carta personal a Carmen Durán de Bazúa. Marzo de 1989.
- Yocochi, K. (1977) "Rice bran processing for the production of rice bran oil and characteristics and uses of the oil and deoil bran", en Proceedings Rice By-products Utilization, Int. Conf., 1974. Valencia, España. Vol. III, Rice Bran Utilization. S. Barber y E. Tortosa (Editores). Inst. Agric. Chem. and Food Technol., Valencia, España.
- Zuluaga, V.J. y Cookman, G. (1987) "Un sistema de filtro "anaeróbico" de flujo ascendente (UAF) para la biodigestión de aguas residuales del beneficio de café". Tercer Simposio Internacional sobre la Utilización Integral de los Subproductos de Café. Guatemala, Guatemala.
- Zuluaga, V.J. (1981) "Contribution a l'étude de la composition chimique de la pulpe de café (*Coffea arabica* L.). Thèse de Doctorat es Sciences. Faculté des Sciences, Université de Neuchatel-Suisse.
- Zuluaga, V.J. (1989) "Utilización integral de los subproductos del café", en I Seminario Internacional sobre Biotecnología en la Agroindustria Cafetalera. Roussos, Licono-Franco y Gutiérrez-Rojas, editores. INMECAFE/ORSTOM/UAM. México, D.F. 1989. Pp. 63-76.

# OBTENCION DE PECTINAS A PARTIR DEL MUCILAGO DEL BENEFICIADO DEL CAFE EN VERACRUZ

Castellanos-Hernández, M.T.,  
Solís-Fuentes, J.A.\* y Durán-de  
Bazúa, C.\*\*

## RESUMEN

El fruto del café es tratado para separar la semilla, que es ampliamente usada una vez tostada para preparar una infusión, el café. A su procesamiento se le conoce como beneficiado. Dado que la semilla representa el 20% del fruto, el restante 80% es desaprovechado. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos a nivel de laboratorio sobre el reaprovechamiento del mucilago, una capa que envuelve a la semilla y que se encuentra entre ésta y la pulpa del fruto. El mucilago contiene cantidades adecuadas de sustancias pécticas que pueden ser usadas en las industrias alimentaria y farmacéutica. Se realizó la caracterización de mucilaginos obtenidos en beneficios comerciales y se simuló en el laboratorio el beneficiado para obtener mucilago. Para recuperar las sustancias pécticas se emplearon tres agentes precipitantes a diferentes proporciones, CaO (1:0.02, 1:0.01 y 1:0.005 mililitros de muestra por gramo de CaO), etanol (a proporciones volumétricas de 2:1, 1:1 y 1:2) y alcohol isopropílico (a razones volumétricas de 2:1, 1:1 y 1:2). Los resultados obtenidos mostraron que el contenido de sustancias pécticas fluctuó entre 26 y 29.3% (b. s.), con las muestras de

origen industrial dando los valores más bajos. Se encontró que la mayor parte de la pectina se encuentra en forma soluble (5.1 g de pectina soluble por litro de mucilago versus 0.13 g de pectina no soluble por litro de mucilago). El mayor porcentaje de recuperación de sustancias pécticas (34% del contenido original en el mucilago) se logró mediante el tratamiento con etanol a una relación volumétrica muestra/agente precipitante de 0.5. Después del etanol, el alcohol isopropílico mostró mejores propiedades precipitantes. El procedimiento de purificación ensayado, usando etanol-HCl y acetona, permitió obtener sustancias pécticas con un 68% de pureza y con un índice de metoxilos de 50.7, que indica la presencia de pectinas de índice intermedio.

## PECTINS FROM MUCILAGE OBTAINED FROM COFFEE BERRY WET PROCESSING IN VERACRUZ

### ABSTRACT

Coffee berries are wet processed to obtain the bean, that after roasting, is widely used to prepare an infusion, coffee. The process used to separate the seed from the pulp of the fruit is known in Mexico as beneficiado, a word in Spanish meaning "improving". Since the seed represents about 20% of the total weight of the fruit, the remaining 80% is discarded as a waste. This work deals with the experimental process carried out at laboratory scale to recover the pectic substances present in the mucilage, a layer covering the seed, that is found between the seed and the pulp of the fruit. These pectic substances may be used either in the food or in the pharmaceutical industry. The experiments included the characterization of mucilaginos obtained in industrial

beneficios (coffee berry processing sites), that were compared with a laboratory preparation of the coffee berries to obtain mucilage, following the same unit operations used in the industrial beneficios. In order to recover the pectic substances, three precipitating agents were studied: CaO (1:0.02, 1:0.01 y 1:0.005 ml of sample per gram of CaO), ethanol (at volumetric proportions of 2:1, 1:1 y 1:2), and isopropyl alcohol (at volumetric ratios of (2:1, 1:1 y 1:2). The results obtained showed that pectic substances content in mucilage samples was around 26 and 29.3% (d. b.), with the lowest values for the industry-origin samples. The highest proportion of pectic substances is found in the soluble phase (5.1 g of soluble pectin per liter of mucilage versus 0.13 g non-soluble pectin per liter of mucilage). The best recovery percentage was obtained using ethanol (34% of pectic substances from the original mucilage content) using a volumetric ratio of 0.5 ml sample/ml ethanol. After ethanol, isopropanol was better than CaO to precipitate the pectic substances. A purification procedure using ethanol-HCl and acetone was employed to isolate the pectic substances from the solids obtained (with a 68% purity). The methoxils index of the purified pectic substances was 50.7, indicating that an intermediate value pectin can be obtained from coffee mucilage.

### INTRODUCCION

El café es una bebida obtenida de la extracción mediante agua hirviendo de compuestos solubles y aromáticos provenientes de la semilla de una planta rubiácea (*Coffea*). Existen aproximadamente 50 especies de las cuales solamente dos (*C. arábica* y *C. canephora*) se comercializan. Su fruto es una baya carnosa, roja, casi esférica, de aproximadamente 1-1.5 cm de diámetro, con dos semillas plana-

\*Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana  
Av. Dos Vistas s/n, carretera Xalapa-Las Trancas  
Apartado Postal 177, 91000 Xalapa, Veracruz, México

\*\* Departamento de Alimentos y Biotecnología  
Facultad de Química, UNAM, 04510 México, D.F. México

convexas que presentan casi siempre un surco en su cara plana o interna. Las semillas miden aproximadamente 10 mm de largo, 5 mm de ancho y 3.5 mm de espesor.

El fruto, conocido como café cereza, puede subdividirse en partes (Fig. 1), que son el epicarpio, el mesocarpio, el endocarpio, el espermodermo y el endospermo.

El llamado epicarpio (cascarilla y pulpa) representa casi el 43% del total del fruto, el mesocarpio (mucilago) es una capa que está entre el epicarpio y el endocarpio (que cubre las semillas) y está forrado principalmente por sustancias pécticas y proteínas y representa aproximadamente el 23% del fruto. El endocarpio (pergamino o cascabillo), que conforma aproximadamente el 13% del fruto, es una capa de tipo celulósico que envuelve a las semillas y es sumamente resistente al desgarramiento, especialmente cuando está seca. El espermodermo es una película plateada (1% del fruto) que se encuentra exactamente sobre la semilla, formando una cutícula. Finalmente, el endospermo (a lo que generalmente se conoce como grano de café), que forma parte del fruto en un 20% aproximadamente, tiene un color verde olivo y es el que, una vez tostado y molido, se extrae con agua para obtener la infusión.

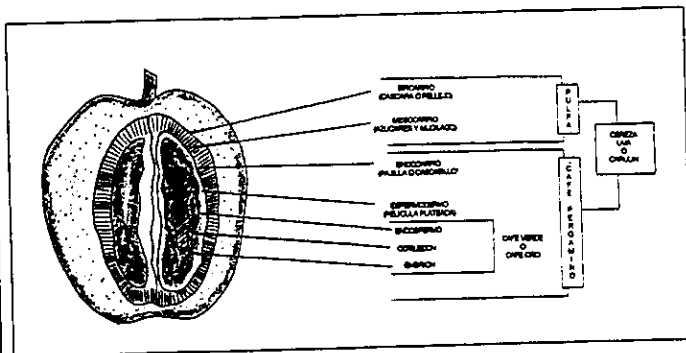
El café se cultiva en aproximadamente 50 países, especialmente en las regiones tropicales (es originario de Etiopía) y se consume prácticamente en todas las naciones del globo terráqueo. Dado que su consumo en los países productores, con excepción de Brasil, es muy bajo, su cultivo es básicamente para exportación a los países industrializados. Su cultivo y beneficiado (como se conoce en México a su procesamiento) requiere de mano de obra intensiva, por lo que aproximadamente 20 millones de personas en el mundo dependen del café como fuente de empleo remunerado, dando ingresos aproximados de 8 mil millones de dólares americanos (Inmecafé, 1990).

Para México en particular, como producto de exportación captador de divisas, solamente es superado por el petróleo y el turismo. Genera empleo

para aproximadamente 3 millones de mexicanos, que producen casi 900 mil toneladas anuales de café cereza (500 millones de dólares en exportaciones), situándose en cuarto sitio como exportador después de Brasil, Colombia e Indonesia, a nivel mundial (Ortiz, 1990).

Chiapas, Oaxaca, Puebla, Guerrero, San Luis Potosí e Hidalgo.

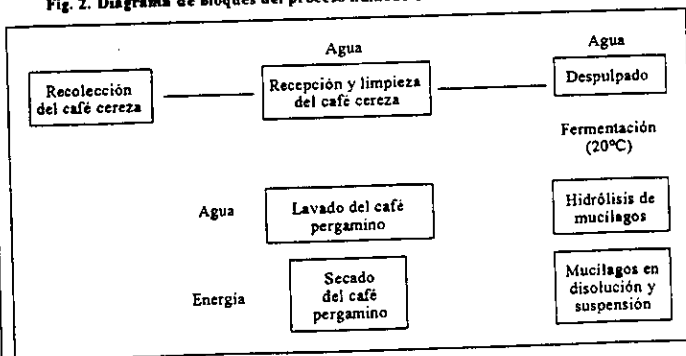
Viendo los datos del porcentaje que representa la semilla con respecto del fruto o café cereza (20%), es claro que el aprovechamiento de los subproductos de su beneficiado es



Su consumo en México es uno de los más bajos en el mundo (1.6 millones de sacos de 60 Kg. anuales, para una población de 80 millones de ha-

muy importante ya que por un lado, minimiza la generación de residuos y, por otro lado permite reutilizar estos subproductos como materias pri-

Fig. 2. Diagrama de bloques del proceso húmedo del beneficiado del café cereza.



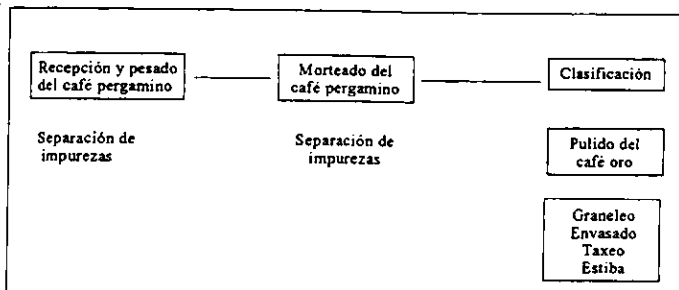
bitantes). Esto hace que casi un 70% de la producción nacional se oriente a la exportación (Inmecafé, 1988-1991, 1990). De este 70%, casi un 70% se exporta a los EEUU y el resto se exporta a Alemania (8%) y Japón (5%) y otros países (17%) (Nolasco, 1985).

Veracruz es una de las áreas de mayor producción de café, ya que genera aproximadamente 350 mil toneladas de café cereza (Inmecafé, 1988-1991) y el resto se producen en

mas para otros procesos. Las figuras 2 y 3 presentan un diagrama de bloques de los procesos húmedo y seco del beneficio del café cereza.

Existe en la Universidad Veracruzana, con la cooperación de la UNAM, un proyecto global de recuperación de subproductos del beneficiado del café. En este trabajo se busca un posible uso para una parte del fruto, el mucilago, que conforma aproximadamente el 13% del fruto fresco, considerando que puede ser una materia prima para la extracción

Fig. 3. Diagrama de bloques del proceso seco del beneficiado del café pergamino.



de compuestos pécticos con un uso específico en la industria alimentaria y farmacéutica. Estos compuestos pécticos representan un 30% en base seca del mucilago del café cereza. Estimando una producción anual en el estado de Veracruz de 350 mil toneladas, se tendría una producción de más de 2000 toneladas de pectinas (en base seca).

Las pectinas, como se conoce genéricamente a una serie de compuestos químicos interrelacionados, son polímeros naturales presentes en casi todas las plantas. Su contenido depende de la edad, época de maduración de los frutos, etc. Las fuentes típicas de las pectinas son las cáscaras de manzana y de cítricos, el tejacote, el membrillo y otras frutas (Cuadro 1).

Su uso en la industria alimentaria es muy amplio, desde gelificante para jaleas, mermeladas, ates, etc, hasta estabilizador de productos como aderezos de ensaladas, helados, etc. En la industria farmacéutica se emplea en los preparados de insulina, de antibióticos, en apósitos y vendajes para facilitar la cicatrización de heridas por su defecto hemostático (aumenta la rapidez de coagulación de la sangre), como sustituto del plasma sanguíneo, etc. En la industria en general puede usarse en pastas dentífricas y como absorbente en jabonería.

Una característica importante de las pectinas es el llamado "grado de metoxilo", ya que éstas son polímeros del ácido galacturónico unidos con grupos carboxilos y éstos, dependiendo del nivel de esterificación que presenten, afectarán el comportamiento de las pectinas en cuanto a su

gelificación (Johnson y Peterson, 1974). Generalmente, una pectina con un 70% o más de esterificación gelificará más rápidamente a una temperatura mayor con respecto a una pectina que contenga entre 50 y 70% de esterificación. Las que contienen menos de 50% de esterificación no se usan para hacer geles de alto contenido de sólidos, aún cuando pueden gelificar más rápidamente (Glicksman, 1969).

En México, casi todas las pectinas que se consumen son producidas por dos compañías, Grindsted de México y Química Hércules. Su costo promedio es de 25 mil pesos por kilogramo (Durán y García, 1990).

Los objetivos de este trabajo fueron los de verificar la viabilidad de producir pectinas a partir del mucilago de café a nivel de laboratorio. Una vez corroborada ésta, se realizarían pruebas a nivel de banco y planta piloto para estudiar las economías de escala y su viabilidad técnico-econó-

mica, obteniendo la llamada ingeniería conceptual. Finalmente, se harían las pruebas a nivel prototipo para obtener toda la información necesaria para la ingeniería de detalle y el desarrollo del proyecto para entregarlo llave en mano. Se tienen estudios previos realizados en Centroamérica sobre este tema, por lo que los resultados obtenidos serán comparados con ellos (Brahan y Bressani, 1991; Cleves, 1974; Orozco, 1974).

A continuación se presenta la metodología y los resultados de esta primera fase del proyecto, así como las

Cuadro 1. Contenido de pectinas en ciertos frutos (Simpson y col., 1984; \*Monroy y col., 1990)

Fruto	g pectina (base seca)/100 g fruta fresca
Cacao ( <i>Theobroma cacao</i> )	3.16 ± 0.45
Plátano ( <i>Musa paradisiaca sapientum</i> )	0.41 ± 0.008
Plátano*	0.7 - 1.2
Holledo de uva ( <i>Citrus paradisi</i> )	4.10 ± 0.21
Guayaba ( <i>Psidium guajava</i> )	2.74 ± 0.36
Limón ( <i>Citrus limon</i> )	3.34 ± 0.77
Limón*	3.0 - 4.0
Mango ( <i>Mangifera indica</i> )	2.14 ± 0.15
Naranja ( <i>Citrus sinensis</i> )	3.64 ± 0.10
Toronja*	3.3 - 4.5
Papaya ( <i>Asimina triloba</i> )	0.37 ± 0.09
Piña ( <i>Ananas comosus</i> )	0.15 ± 0.07
Manzana*	0.5 - 1.6
Tomate*	0.1 - 0.5

posibles operaciones unitarias a ser realizadas para obtener el proceso más viable de obtención de sustancias pécticas a partir del mucilago del café. La parte experimental se realizó en los laboratorios del Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Veracruzana en Xalapa.

## MATERIALES Y METODOS

Se recolectaron muestras de mucilago del beneficiado de Inmecafé y del de la compañía Bola de Oro. Las condiciones del proceso de fermentación en el beneficiado fueron las siguientes:

Una vez despulpado el café cereza fresco, éste fue mantenido en la pila de fermentación por un tiempo de 36 horas, al cabo de las cuales se obtuvo, por prueba manual empírica del grano al frote entre los dedos, el llamado "punto de lavado" o "corte de baba". La temperatura, medida al inicio de la fermentación, estuvo entre 21 y 23°C. Al término, la masa fermentada

alcanzó entre 27 y 28°C. El valor del pH final del proceso fermentativo se ubicó entre 4.3 y 4.5. El lavado posterior a la fermentación se realizó en las mismas pilas con agitación manual con la ayuda de un rastrillo de madera. Se tomaron muestras, tanto de este primer líquido de lavado como de las aguas del segundo lavado.

También se adquirió café cereza y se llevó a cabo una simulación del beneficiado del fruto para obtener el mucilago en el laboratorio. Se desulpularon manualmente 10 Kg de café cereza y se colocaron en una tina, previo remojo del grano en agua hasta que el curso del proceso fermentativo provocó el desprendimiento con facilidad de la capa mucilaginoso. Este proceso, al igual que el del beneficio comercial, tomó aproximadamente 36 horas. Posteriormente, se lavaron los granos fermentados con agua, en proporciones de 2.5 l. de agua por cada kilogramo de café cereza empleado. En este caso, a diferencia del beneficio comercial, se usaron solamente las aguas de un primer lavado. El valor del pH final para las muestras de laboratorio fue de 4.3.

A los mucilagos se les determinó humedad (Hart y Fisher, 1971; AOAC, 1980; Less, 1969), cenizas (Hart y Fisher, 1971; AOAC, 1980), sólidos solubles por el método refractométrico (Hart y Fisher, 1971; Less, 1969), sólidos totales (AOAC, 1980), pectinas por el método gravimétrico de Carré y Hayner (en Braverman, 1952), grasa (AOAC, 1980; Less, 1969), fibra cruda (Hart y Fisher, 1971; AOAC, 1980; Less, 1969), proteínas (AOAC, 1980; Less, 1969) y azúcares reductores directos y totales por el método volumétrico de Lane-Eynon (Hart y Fisher, 1971; AOAC, 1980; Less, 1969). Todas las muestras fueron analizadas por triplicado.

Las muestras traídas de los beneficios fueron tratadas térmicamente (menos de 80°C) para inactivar las enzimas que pudieran descomponer el producto. Asimismo, se les dio un tratamiento con SO<sub>2</sub> para eliminar posibles oscurecimientos de los productos pécticos obtenidos (Castellanos-Hernández, 1992).

La precipitación de los compuestos pécticos se hizo con tres diferentes agentes: óxido de calcio, etanol y alcohol isopropílico a tres diferentes concentraciones. Para el CaO se usaron relaciones de mililitros de muestra por gramos de CaO de 1:0.02, 1:0.01 y 1:0.005. Para el etanol se emplearon las proporciones volumétricas 2:1, 1:1 y 1:2. Para el alcohol isopropílico se usaron también las relaciones volumétricas 2:1, 1:1 y 1:2.

Las muestras originales, sujetas a la precipitación, se concentraron en rotavapor Büchi, modelo 121A a 90°C a tres diferentes proporciones de mucilago (1:1, 1:0.5, 1:0.25).

Con estas soluciones concentradas se probaron los diferentes agentes precipitantes. Los sólidos obtenidos fueron separados por centrifugación a baja temperatura y secados en un liofilizador Labconco.

Finalmente, se purificaron las sustancias pécticas empleando etanol-HCl y acetona y a la solución obtenida se le determinó el contenido de metoxilos por medio del % de esterificación. La descripción precisa de estas dos metodologías se describe a continuación (Castellanos-Hernández, 1992):

En el primer caso, para la purificación, se siguió una modificación del método de Joslyn (1970), descrita por Simpson y col. (1984). Una solución concentrada de pectina cruda se vació en etanol en una relación volumétrica de 1:3 en presencia de HCl 0.5M hasta que la mezcla tuvo un pH entre 0.7 y 1.0. La mezcla se agitó por 30 minutos y se dejó reposar por una hora. Al término de ello, se filtró y los sólidos colectados fueron lavados sucesivamente con la solución etanol-HCl y acetona. El residuo se secó en la estufa a 60°C hasta peso constante.

Para la estimación del índice de metoxilo se utilizó la metodología dada por Garrat (1964), mediante el cálculo del porcentaje de esterificación. En ella, a 5g de pectina purificada se le añaden 5 ml de HCl concentrado y 100 ml de etanol al 60%. Después, la mezcla se agita y filtra, se lava el precipitado con mezclas etanol-HCl y se secan los sólidos recuperados. De ellos, 0.5g son humec-

tados con 2 ml de etanol al 95% y disueltos en 100 ml de agua destilada. La solución resultante se titula con NaOH 0.5N en presencia de fenolftaleína.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos de las dos muestras de los beneficios comerciales y de la obtenida en el laboratorio se muestran en la Tabla 2. No se encontraron diferencias significativas entre las tres muestras estudiadas ( $P \leq 0.05$ ).

Estos resultados corroboran el hecho de que prácticamente el mesocarpio contiene casi todas las sustancias pécticas.

También se evaluó el contenido de sustancias pécticas (%) en el agua de lavado que contiene el mucilago, tanto el primero como el segundo lavados, comprobando que el agua del primer lavado contiene también una proporción de casi el triple que la del agua del segundo lavado.

agua del primer lavado: 28.00  
agua del segundo lavado: 10.15

El establecimiento de criterios para los ensayos de recuperación de pectinas y algunos otros posibles usos del mucilago, requirió la realización de otros análisis a las muestras recolectadas. Estos análisis se enfocaron hacia la parte soluble e insoluble del mucilago, estableciendo el porcentaje en cuanto a contenido pectínico y contenido de proteína principalmente, para otros usos potenciales de este subproducto agroindustrial.

Los resultados de los análisis fueron los siguientes ver cuadro en pág. 29:

Estos resultados indican que la pectina se encuentra en su mayor proporción en la fase soluble, mientras que la proteína está distribuida relativamente en partes iguales en ambas fases.

Con respecto de los experimentos realizados para precipitar las sustancias pécticas usando óxido de calcio, etanol y alcohol isopropílico, los resultados obtenidos se presentan en las Figs. 4, 5 y 6 en las que se muestra



mucilago 250 ml	
38.19 g sólidos suspendidos 96% de humedad	213.3 ml sobrenadante 1.25% sólidos secos
1.5276 g sólidos secos	3.125 g sólidos secos
2.1% pectina/30.98% proteína	34.5% pectina/19.2% proteína
0.032 g pectina/0.4732 g prot.	1.07812 g pectina /0.6 g prot.
1.11012 g pectina y 1.0732 g proteína/250 ml mucilago	

el porcentaje de pectinas recuperadas versus la razón de concentración a diferentes relaciones de muestra-agente precipitante, para el caso del tratamiento del mucilago con óxido de calcio, etanol e isopropanol. Puede verse en la Fig. 4 que la recuperación con CaO es bajísima ya que no alcanza ni 1.5%. En cambio, con el etanol se alcanza una recuperación cercana al 35%, con la relación muestra-etanol de 1:1 a la mayor relación de volúmenes (Fig. 5). Con isopropanol se tiene una recuperación menor que con etanol ya que la máxima recuperación no llega a 25% (Fig. 6).

Un resumen comparativo, para los procesos con mayor rendimiento en la recuperación de sustancias pécticas se observa en la Fig. 7, donde resulta claro que la recuperación con etanol es la más eficaz.

El índice de esterificación promedio encontrado fue de 50.6%. De acuerdo a lo establecido comercialmente puede decirse que es una pectina de índice de metoxilo intermedio.

Puede concluirse que, de acuerdo con los resultados de estos experi-

Tabla 2. Características de los mucilagos estudiados.

Característica*	Inmecafé	Bola de Oro	Laboratorio
Color	Café claro	Café oscuro	Café claro
Densidad, g/ml	1.125	1.175	1.179
pH	4.300	4.300	4.300
Sólidos totales, %	2.000	2.300	2.300
Humedad, %	98.000	97.700	97.700
Sólidos solubles, %	1.250	1.300	1.300
Cenizas, base seca	8.900	8.870	8.080
Proteína, base seca	19.140	18.070	19.250
Grasa, base seca	1.000	1.000	≤1.000
Azúcares reductores directos, base seca	38.500	36.290	35.340
totales, base seca	40.400	43.470	38.350
Fibra cruda, base seca	1.000	1.000	≤1.000
Substancias pécticas, % en base seca	28.000	25.910	29.300
*Valores promedio de tres determinaciones			
Se evaluó el contenido de sustancias pécticas (%) en el endocarpio y mesocarpio del fruto:			
	endocarpio	6.98	
	mesocarpio	52.98	

mentos, existen fuertes posibilidades de utilizar el mucilago del café cereza para obtener pectinas con rendimientos satisfactorios. El etanol podría obtenerse de procesos fermentativos de los propios residuos del café, reduciendo los costos del proceso.

El paso siguiente es evaluar mucilagos de diferentes beneficios, dependiendo del tipo de proceso que lleven a cabo para corroborar si existen diferencias entre ellos, en especial, sobre el contenido de sustancias pécticas.

Se evaluará la pureza de las pectinas obtenidas midiendo el % de ácido galacturónico para verificar que, en su producto final, no haya muchas impurezas.

Otra prueba que se hará será la de la fuerza de los geles que junto con la pureza y el grado de metoxilación, definen la calidad de las pectinas a nivel comercial.

Para optimizar la operación unitaria de extracción puede modificarse el pH hasta valores ácidos para verificar si se obtiene un mayor rendimiento al solubilizar el material péctico que se encuentra combinado con la celulosa haciendo un diseño experimental factorial. Para la operación de precipitación es recomendable emplear como variables la temperatura, el pH, ver la producción de etanol y su costo, estudiar otros agentes precipitantes que sean menos costosos que el etanol, etc. Con los resultados que se obtengan de la segunda fase experimental del reaprovechamiento del mucilago del beneficiado del café, puede plantearse la construcción de una planta a escala de banco y/o piloto para estudiar las economías de escala y su viabilidad técnico-económica, obteniendo la ingeniería conceptual del proyecto.

Finalmente, una vez obtenidas cantidades mayores de estas sustancias pécticas aisladas, es importante caracterizar sus propiedades funcionales (peso molecular promedio, fuerza del gel, tiempo - rapidez - de gelificación, etc.) para encontrar sus usos idóneos en la industria alimentaria y/o farmacéutica. Es importante estudiar la interacción entre variables de proceso, tales como pH, temperatura

### RECUPERACION DE PECTINA EN MUCILAGO PRECIPITACION CON OXIDO DE CALCIO

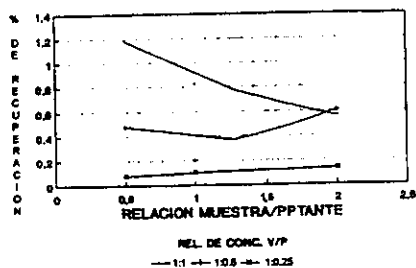


FIG. 4

### RECUPERACION DE PECTINA EN MUCILAGO PRECIPITACION CON ETANOL

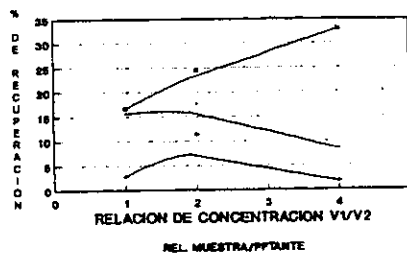


FIG. 5

### RECUPERACION DE PECTINA EN MUCILAGO PRECIPITACION CON ISOPROPANOL

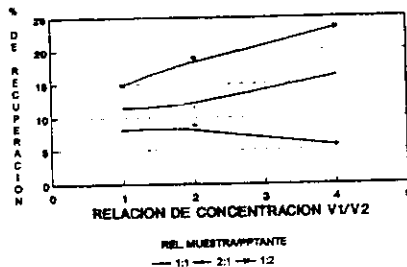


FIG. 6

### RECUPERACION DE PECTINA EN MUCILAGO COMBUSTION CON PRECIPITANTES

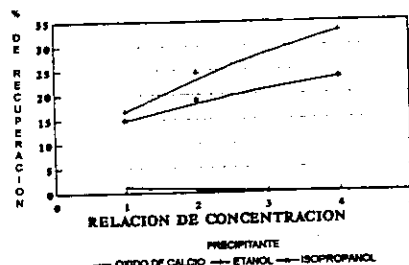


FIG. 7

y tiempo de extracción e incluir un sistema de recuperación del alcohol ya que se han encontrado que es el que genera mejores resultados en cuanto a la eficiencia de separación de las pectinas.

### RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la M. en C. Ruth Pedroza Islas sus valiosos comentarios sobre este trabajo.

### BIBLIOGRAFIA

AOAC. 1980. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. W. Horowitz, Ed. 13a. Edición Washington, DC Estados Unidos de América.

Brahan, J.E. y Bressani, R. 1991. *Coffee pulp: composition, technology, and utilization*. Int. Dev. Res. Cent. Ottawa, Canadá.

Braverman, J.B.S. 1952. *Los agrinos y sus derivados*. Aguilar Eds. Pp. 35-35, 94-96, 100, 173-175. Madrid España.

Castellanos-Hernández, M.T. 1992. *Estudios preliminares para la obtención de pectinas a partir del mucílago del café*. Tesis profesional. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.

Cleves, R. 1974. *Justificación de un proyecto para investigar la obtención de pectina a partir de mucílago de café*. Depto. de

*Estudios Técnicos y Diversificación. Proy. 1 Subproy. 5. Oficina del Café. San José, Costa Rica.*

Durán, P.E. y García, Ch. L. 1990. *Proyecto de una planta de pectina. Mercados de la Industria Química, Vol. 3. Pág. 9. México D.F. México.*

Garrat, D.C. 1964. *The quantitative analysis of drugs*. 3a. edición. Chapman and Hall Ltd. Toppan Co. Ltd. Tokio, Japón.

Glicksman, G.M. 1969. *Pectins. Technology in the Food Industry*. A.P. Pp.159-190. Nueva York, Estados Unidos de América

Hart, F.L. y Fisher, H.J. 1971. *Modern Food Analysis*. Springer-Verlag. Nueva York, Estados Unidos de América.

Immecafé. 1990. *El cultivo del café en México*. Pub. Instituto Mexicano del Café. México, D.F.

Immecafé. 1988-1991. *Estadísticas cafetaleras por municipios en el estado de Veracruz*. Pub. Instituto Mexicano del Café. México D.F.

Johnson, A. y Peterson, A. 1974. *Pectin. Encyclopaedia of Food Technology*. Pp. 684-688. Nueva York, Estados Unidos de América.

Joslyn, M.A. 1970. *Methods in food analysis*. 2a. edición. Academic Press. Nueva York, EEUUA.

Less, R. 1969. *Manual de análisis de alimentos*. Ed. Acribia. Zaragoza, España.

Monroy, J., Moreno, R., Pedroza, R., Pietrini, F., Aguilar, E. y Castrezana, M. 1990. *Obtención de pectinas. I C Y T (Conacyt, Méx.)*, 12:37-39.

Nolasco, M. 1985. *Café y sociedad en México*. Centro de Ecodesarrollo. México D.F.

Orozco, R. 1974. *Obtención de pectina a partir del mucilago de café, subproductos del café en la alimentación animal y otras aplicaciones agrícolas e industriales*. IICA. San José,

Costarica. Ortiz, H. 1990. *Banco de datos*. Ed. El inversionista mexicano. México D.F.

Simpson, B.K., Egyankor, K.B. y Martin, A.M. 1984. *Pectin in tropical fruits*. *J. Food Processing Preservation*, 2:63-72. ♦

## REFRIGERANTES

TLALNEPANTLA,  
S.A. DE C.V.



EQUIPOS Y  
REFACCIONES PARA  
REFRIGERACION  
INDUSTRIAL,  
COMERCIAL Y AIRE  
ACONDICIONADO

VENTA - INGENIERIA - SERVICIO

- \* UNIDADES DE CONDENSACION
- \* GASES REFRIGERANTES
- \* CAMARAS Y PUERTAS FRIGORIFICAS DESMONTABLES
- \* DIFUSORES \* COMPRESORES
- \* CONDENSADORES \* SERPENTINES
- \* ENFRIADORES DE LIQUIDO
- \* VITRINAS \* CONGELADORES
- \* FABRICAS DE HIELO \* SERVIDORES
- \* AUTOSERVICIOS \* REBANADORAS Y MAS

Galeana 14, La Loma, Tlalnepantla  
Edo. de Méx.: 398-61-11, 361-40-11,  
398-26-45, 361-44-65, 361-07-46,  
Fax: 361-43-40

Gustavo Baz No. 114 Col. Bellavista Tlal.  
398-21-05, 362-12-76, 362-13-76

# ¿SU NEGOCIO ES EL DULCE?

MANTENGASE INFORMADO DE LO QUE ACONTECE EN EL SECTOR,  
SUSCRIBIENDOSE A LA REVISTA "DULCELANDIA" QUE SE EDITA MENSUALMENTE  
DESDE 1940.

NOMBRE \_\_\_\_\_  
EMPRESA \_\_\_\_\_  
CALLE \_\_\_\_\_ COLONIA \_\_\_\_\_ DEL-MUN. \_\_\_\_\_  
CIUDAD \_\_\_\_\_ C.P. \_\_\_\_\_ PAIS \_\_\_\_\_ TEL. \_\_\_\_\_  
RFC \_\_\_\_\_ COSTO DE SUSCRIPCION: N\$ 50.00

PRODUCCIONES MANILA, S.A. DE C.V. - AV. BAJA CALIFORNIA No. 32-A, COL. ROMA  
06760 MEXICO, D.F. - TELS. 564-03-29, 264-70-29 y FAXES 564-70-40, 574-56-96.

# PRODUCCION DE LEVADURA FORRAJERA USANDO COMO SUBSTRATO MELAZAS "CITRICAS" DE PIÑA. ESTUDIOS CINETICOS

Jesús Méndez Dauzón, Julio Alberto Solís Fuentes\*\* y Carmen Durán de Bazúa\*

## RESUMEN

La gran mayoría de los subproductos de las agroindustrias en México están actualmente subutilizados o desaprovechados e incluso son conocidos como residuos y depositados como tales en sitios donde crean problemas de contaminación ambiental. Tal es el caso de las llamadas melazas cítricas que, aunque originalmente provinieron de la industrialización de los cítricos ahora agrupan a los residuos líquidos que se generan en el procesamiento de otros productos agroindustriales, particularmente frutas. Dado que estos subproductos contienen todavía azúcares reductores que pueden ser metabolizados por microorganismos, este trabajo presenta la posibilidad de emplearlos como fuente de carbono para levaduras que puedan ser usadas como fuente proteínica en dietas forrajeras. Se llevaron a cabo experimentos en biorreactores de 500 ml con 250 ml con 250 ml de volumen de trabajo para obtener las constantes cinéticas de reacción establecidas por Monod (el rendimiento celular  $Y$ , la rapidez de reproducción o "crecimiento" celular,  $u$  y  $u_{max}$  y la constante de saturación de la reacción,  $K_s$ ). Se emplearon melazas "cítricas" de una empresa concentradora de jugo de piña que

fueron diluidas con agua corriente para obtener concentraciones iniciales de substrato de 5, 10, 17 y 25°Brix (medida indirecta de azúcares reductores totales) e inoculadas con *Saccharomyces cerevisiae* para dar una concentración inicial de 10 g/l. El tiempo de reacción para cada experimento fue de 24 horas y la temperatura de 30°C. Estas constantes fueron introducidas en un simulador matemático de crecimiento celular (ISIM, Universidad de Salford, Inglaterra), para observar el comportamiento del incremento en masa celular de *S. cerevisiae* y se comparó con el incremento (crecimiento) para otros microorganismos como hongos (*A. nidulans*) y bacterias (*A. aerogenes*) y la propia levadura con otros substratos (glucosa). Los valores de  $u_{max}$  y  $K_s$  encontrados fueron de 0.577 h<sup>-1</sup> y 2.2852 g azúcares reductores totales (ART)/L, respectivamente. Empleando los resultados obtenidos en los experimentos intermitentes en el paquete de simulación del sistema en un reactor continuo se obtiene un tiempo de conversión del substrato en producto de casi 16 h. Para los datos encontrados en la literatura para la misma levadura en glucosa se tiene un tiempo de conversión de casi 18 h. Para la bacteria cultivada en lactosa se tiene un tiempo de casi 11 h y para el hongo cultivado en glucosa, las 24 del experimento no son suficientes para obtener la máxima conversión posible. De estos resultados puede decirse que las melazas "cítricas" de piña son comparables a la glucosa para producir biomasa de levadura ya que requieren casi el mismo tiempo de residencia en el reactor para obtener un rendimiento similar. Estos son datos muy prometedores, especialmente considerando que ésta es una fuente no convencional de azúcares reductores y que, actualmente, es un residuo con un contenido proteínico relativamente bajo (tabla 1) y em-

pleándola para producir levadura representa un substrato valioso como nutrimento de alta calidad por su contenido de proteína para animales.

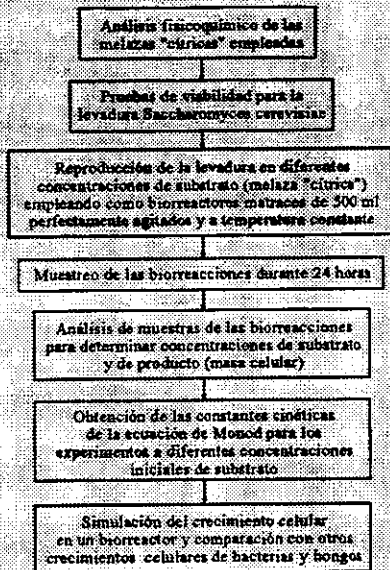
## ABSTRACT

Most of the agricultural and agroindustrial byproducts in Mexico are presently subutilized or simply unused, and they are even considered as wastes and disposed of in such a way that they represent a pollution source. The case of the byproducts of the tropical fruits processing is quite illustrative. They are known as "citric molasses" because originally they were produced by the processing of citric fruits processing. However, the term has been extended to all kinds of fruit processing liquid byproducts. As these molasses still contain reducing sugars susceptible of being metabolized by microbial organisms, it is discussed in this paper its possible use to grow fodder yeast improving the protein quality value of this non conventional feed source. Experiments were conducted in batch bioreactors to obtain the kinetic constants of the Monod equation ( $Y$ , cell productivity,  $u$  and  $u_{max}$ , the cell mass growth rates, and  $K_s$ , the saturation constant). Pineapple "citric" molasses were conveniently diluted to obtain initial substrate concentrations of 5, 10, 17, and 25°Brix (as an indirect measurement of the total reducing sugars, TRS present). Reaction time and temperature for each experiment of 24 hours and 30°C using *Saccharomyces cerevisiae* as the growing microorganism in an initial concentration of 10 g/L. The kinetic constants found were introduced in a mathematical simulation program developed by the University of Salford in England, called ISIM. The continuous growth of *S. cerevisiae*, determined with this model, was then compared with that for other microorganisms such as fungi (*A. ni-*

\* Departamento de Alimentos y Biotecnología Y Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental. Facultad de Química, UNAM, 04510 México, D.F. México

\*\* Instituto de ciencias Básicas, Universidad Veracruzana Av. Dos Vistas s/n, carretera Xalapa-Las Trancas Veracruz, México

Diagrama 1. Metodología de trabajo empleada



$$\frac{dX}{dt} = Y \frac{dS}{dt} \text{ o sea}$$

$$Y = \frac{X_f - X_i}{S_f - S_i} \quad (2)$$

donde  $X_f$  y  $X_i$  son las concentraciones final e inicial de células y  $S_f$  y  $S_i$  las concentraciones final e inicial del sustrato y  $t$  es el intervalo de tiempo tomado para determinar el rendimiento.

En un cultivo continuo, las tasas de dilución  $D$  se definen como el cociente del flujo volumétrico de sustrato  $F$  dividido entre el volumen de trabajo  $V$ :

$$D = \frac{F}{V} \quad (3)$$

El aumento de biomasa está dado por el balance de masa en el biorreactor en un tiempo infinitesimal  $dt$ :

$$V dX = V X dt - F X dt \quad (4)$$

Cambio neto de biomasa = Incremento - Salida

Al substituir (3) en (4) y dividir entre  $V$ , se tiene la ecuación para definir las tasas de dilución:

$$\frac{dX}{dt} = (u - D) X$$

y para el caso de tener un régimen permanente (independiente del tiempo  $(dX/dt = 0)$  se tiene que  $D=u$ .

Haciendo un balance de biomasa y sustrato se tiene:

$$\frac{dS}{dt} = D S_i - D S - \frac{1}{Y_{s/S}} \quad (6)$$

Cambio = Entrada - Salida - Consumo

La ecuación resultante para correlacionar la tasa de dilución con la concentración de sustrato es:

$$S = \frac{K_s D}{u_{max}} - D \quad (7)$$

que, con la ecuación (5) da:

$$X = \frac{Y (S_i - K_s D)}{u_{max} - D} \quad (8)$$

Los datos necesarios para determinar las constantes  $u_{max}$ ,  $K_s$  y  $Y$  se obtuvieron de los experimentos en los matraces perfectamente agitados (Pirt, 1975, Whitaker y Stanburg, 1984).

Dado que la productividad de los sistemas continuos es mayor que la de los procesos intermitentes para un mismo volumen de trabajo, se establecieron algunas suposiciones en este trabajo:

- \* La rapidez de incremento o "crecimiento" en el sistema por lotes o intermitente es constante y tiene un valor máximo hasta que el sustrato se agote,
- \* La rapidez de aumento máximo de células,  $u_{max}$ , es igual para ambos sistemas, continuo e intermitente,
- \* La rapidez de producción celular  $u$  está dada por la inversa de la concentración de células en el tiempo  $t$  y el tiempo de duplicación  $t_d$  está dado por el cociente del  $\ln 2/u$ , esto es

$$\frac{dX}{dt} = u X \text{ de donde } \frac{X}{X_i} = e^{ut}$$

$$\ln \frac{X}{X_i} = ut \text{ y } t_d = \frac{\ln 2}{u} \quad (9)$$

- \* El uso del modelo de Lineweaver y Burk puede emplearse para determinar las constantes cinéticas en una linealización de la ecuación de Monod:

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{S} \frac{K_s}{u_{max}} + \frac{1}{u_{max}} \quad (10)$$

Para la realización de las simulaciones de los experimentos continuos se empleó un paquete de programación realizado en 1983 por investigadores de la Universidad de Salford, Inglaterra, conocido como ISIM (Simulation Science, 1983). Está estructurado en Lenguajes Fortran y Basic. Consta de tres regiones. La primera introduce los valores constantes al programa, la segunda contiene los modelos matemáticos de las ecuacio-

dulcans) and bacteria (*A. aerogenes*), as well as for the same yeast but grown on glucose. Obtained values for the batch experiments for  $\mu_{max}$  and  $K_s$  were  $0.577 \text{ h}^{-1}$  y  $2.2852 \text{ g TRS/L}$ , respectively. Using these results in the ISIM model a conversion time of almost 16 h was obtained. For the literature data for the same yeast but grown in glucose, the total conversion time was near 18h. For the bacterium growing in lactose, the reaction time was of almost 11 h, and for the mold grown in glucose, the 24 hours given as reference for the yeast was not enough for consuming the substrate. These results indicate that, although pineapple "citric" molasses are now a waste, they can be a suitable carbon source for microorganisms, and through them, a useful microbial biomass may be obtained to be added to feeds, making from a waste a useful product.

Palabras clave/Key words: Producción de levaduras, degradación de melazas cítricas/Yeast production, "citric" molasses conversion.

## INTRODUCCION

La gran mayoría de los subproductos de las agroindustrias en México están actualmente subutilizados o desaprovechados e incluso son conocidos como residuos y depositados como tales en sitios donde crean problemas de contaminación ambiental. En México, dado su clima y condiciones geográficas existe un desarrollo agroindustrial importante, aún cuando no se encuentra integrado desde el punto de vista ambiental. Un ejemplo típico lo brinda el estado de Veracruz, en el que las agroindustrias cafetalera/cafetícola, procesadora de frutas, emparadoras de productos cárnicos, azucarera, etc, generan productos, incluso para exportación, pero no integran a sus procesos el reaprovechamiento de sus subproductos ni les dan un valor agregado.

Tal es el caso de las llamadas melazas cítricas que, aunque originalmente provinieron de la industrialización de los cítricos ahora agrupan a los residuos líquidos que se generan en el procesamiento de otros productos agroindustriales, particularmente frutas. Dado que estos subproductos contienen todavía azúcares reducto-

res que pueden ser metabolizados por microorganismos, este trabajo presenta la posibilidad de emplearlos como fuente de carbono para levaduras que puedan ser usadas como fuente proteínica en dietas forrajeras. La base de este proceso biotecnológico es convertir un insumo de bajo valor agregado (fuente de carbono de baja calidad) a uno de alto valor agregado (fuente proteínica) empleando a microorganismos que actúan como reactivos, reactores y productos de forma simultánea. Esto no es nuevo pero, sin embargo, no se lleva a cabo de manera industrial en las zonas donde estos insumos que contienen fuentes de carbono son arrojados como residuos al entorno.

En este estudio a nivel de laboratorio se plantea la determinación de las constantes cinéticas de reproducción (o crecimiento) celular para la levadura *Saccharomyces cerevisiae* usando como sustrato melazas "cítricas" obtenidas del procesamiento de piña con objeto de tener las bases para escalar el sistema y presentar una opción tecnológica y económicamente viable a los procesadores de productos agroindustriales (Crumplén y col., 1987).

También se simulará la biorreacción llevada a cabo por la levadura utilizando un programa computacional y se comparará su rapidez de reproducción con la de otros organismos cuyos datos han sido publicados en la literatura.

A continuación se presentan los materiales y métodos empleados, así como los resultados obtenidos y las conclusiones y recomendaciones derivadas de ellos.

## MATERIALES Y METODOS

El diagrama 1 representa la metodología seguida para llevar a cabo estos experimentos. La melaza "cítrica" de piña provino de una fábrica concentradora de jugos (Diversa), ubicada en La Orduña, Coatepec, Veracruz. Se determinó contenido total de nitrógeno por el método de Kjeldahl (AOAC, 1985), azúcares reductores totales, ART, por el método de Spencer y Meade (1969), densidad usando picnómetros (AOAC, 1980), concentración usando un refractóme-

tro manual AO 10431 y valor de pH usando un potenciómetro marca Conductronic pH 20. Las levaduras empleadas (*Saccharomyces cerevisiae*) se obtuvieron del cepario de la Universidad Veracruzana. Se verificó su viabilidad usando la técnica de cuenta en placa en cajas de Petri con agar y ácido tartárico al 10% para tener un pH de 3.3 incubando 48 horas a  $30^\circ\text{C}$  (Pelazar, 1982). Se emplearon matraces de 500 ml para llevar a cabo las biorreacciones colocados sobre un agitador electromagnético en baño María. El medio de cultivo se preparó diluyendo las melazas "cítricas" con agua destilada para obtener las concentraciones en estudio. Las diferentes soluciones fueron esterilizadas y centrifugadas posteriormente para separar los sólidos formados. La concentración final de las diferentes soluciones fue de 5, 10, 17 y  $25^\circ\text{Brix}$ . El volumen de trabajo fue de 250 ml y cada matraz fue inoculado con 2.5 g de levadura (b.s.), dando una concentración inicial de 0.01 g/ml. La temperatura se mantuvo a  $30^\circ\text{C}$  y la biorreacción se llevó a cabo con agitación continua. Se tomaron muestras en el tiempo cero, cada 30 min durante las dos primeras horas y cada 2 horas durante las siguientes 22 horas (Aguilera y Benitez, 1988).

El modelo de Monod fue empleado para determinar las constantes cinéticas de reproducción o incremento de la masa celular:

$$\mu = \frac{\mu_{max} S}{K_s + S} \quad (1)$$

donde S es la concentración de sustrato, en masa de sustrato por unidad de volumen,  $\mu$  es la rapidez en el aumento de organismos en la biorreacción, en unidades de la inversa del tiempo,  $\mu_{max}$  es el valor máximo que puede ser obtenido cuando existe un exceso de sustrato y no hay inhibidores, también en unidades de la inversa del tiempo y  $K_s$  es la constante de saturación, en unidades de concentración como S (Pirt, 1975).

El rendimiento celular Y se define como el aumento de células en unidades de concentración dividido entre el consumo de sustrato, también en unidades de concentración:

nes y la tercera obtiene los valores de las ecuaciones.

Se emplearon datos de la literatura para corroborar lo obtenido para este sistema con el simulador ISIM. Estos fueron los de levadura del mismo tipo pero cultivada en glucosa (Atkinson y Mavituna, 1983; Quintero, 1981), hongos como *A. nidulans* en glucosa y bacterias como *A. aerogenes* en glucosa y otro microorganismo como *Geotrichum candidum* en glucosa (Moo-Young, 1985)

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos del análisis de las melazas "citrícas" de piña empleadas en estos experimentos se presentan en la tabla 1.

Grados Brix*	44
Azúcares reductores totales, ART	31.96%
Nitrógeno total	1.409%
Densidad*	1.14 g/ml
pH	5.80
* Relación entre la concentración en °Brix y la densidad de la solución	
Melaza a 3°Brix	Densidad de 1.02777 g/ml
10°Brix	1.04912
17°Brix	1.08148
23°Brix	1.12475
30°Brix	1.17988
44°Brix	1.18349

La Fig. 1 presenta las curvas de degradación de sustrato por *Saccharomyces cerevisiae* a las diferentes concentraciones iniciales de sustrato. La Fig. 2 muestra la producción de biomasa a las mismas concentraciones de sustrato.

Manejando estos datos con la ecuación (9) (Fig. 3), se obtuvieron los valores de  $u$  para cada concentración inicial de sustrato y con sus inversos (Ecuación 10) se obtuvo la línea recta de la ecuación de Lineweaver y Burk (Fig. 4 y tabla 2).

De la Fig. 4 se obtienen los valores de la pendiente y la ordenada al origen ( $u_{max} = 0.577 \text{ h}^{-1}$  y  $K_s = 5.2178^\circ\text{Brix} = 2.2852 \text{ g ART/l}$ ).

La productividad del sistema dió un valor promedio de  $0.4513 \text{ g de levadura/g ART}$ .

Llevando a cabo la simulación en el programa ISIM con estos datos se

obtuvieron los datos de la Fig. 5. En ellos puede observarse que a las 16 horas se tiene ya todo el sustrato consumido. Para el mismo tipo de levadura, en la literatura se encontraron datos de su cultivo en glucosa (Atkinson y Mavituna, 1983; Quintero, 1981). Estos datos indican que su rendimiento o productividad fue de  $0.5 \text{ g biomasa/g sustrato consumido}$ , su  $u_{max}$  fue de  $0.5 \text{ h}^{-1}$  y su  $K_s$  fue de  $0.025 \text{ g/l}$ . En este caso (Fig. 6), antes de 18 horas ya se tenía todo el sustrato consumido.

Comparando estos datos con los que aparecen en la literatura (Atkinson y Mavituna, 1983), para *A. aerogenes* en glucosa, se tiene una productividad de  $0.45 \text{ g biomasa/g sustrato consumido}$ , su  $u_{max}$  fue de  $0.67$

Puede concluirse que las melazas "citrícas" de piña son comparables a la glucosa para producir biomasa de levadura ya que requieren de casi el mismo tiempo de residencia en el reactor para obtener un rendimiento similar.

Estos son datos muy prometedores, especialmente considerando que ésta es una fuente no convencional de azúcares reductores y que, actualmente, es un residuo con un contenido protéico relativamente bajo (Tabla 1) y empleándola para producir levadura representa un sustrato valioso como nutrimento de alta calidad por su contenido de proteína para animales.

Con los datos obtenidos es posible, posteriormente, llevar a cabo una colaboración en un equipo continuo de biorreacción para obtener las constantes cinéticas reales y proponer las variables de escalamiento del equipo a nivel prototipo e industrial.

## BIBLIOGRAFIA

Aguilera, A. y Benítez T. 1988. Relationship between growth, fermentation, and respiration rates in *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnol. Bioeng.* 32:240-244.

Experimento Conc. sustrato	$1/S_u$	Constantes cinéticas $u, \text{h}^{-1}$		$t_d, \text{h}$
5°Brix	0.2	0.2847	3.5124	2.43
10°Brix	0.1	0.3640	2.7472	1.90
17°Brix	0.058	0.4676	2.1385	1.48
23°Brix	0.040	0.4696	2.1294	1.47

$\text{h}^{-1}$  y su  $K_s$  fue de  $0.001 \text{ g/l}$ . En este caso (Fig. 7), antes de 11 horas ya se tenía todo el sustrato consumido. Para *A. nidulans* en glucosa (Moo-Young, 1985), se tiene una  $Y$  de  $0.43 \text{ g de biomasa/g sustrato consumido}$ , su  $u_{max}$  fue de  $0.20 \text{ h}^{-1}$  y su  $K_s$  fue de  $0.072 \text{ g/l}$ . En este caso (Fig. 8), a pesar de haber transcurrido las 24 horas todavía no se había consumido todo el sustrato. Para *Geotrichum candidum* en glucosa (Moo-Young, 1985), se obtuvo un rendimiento de  $0.49$ , una  $u_{max}$  de  $0.353 \text{ h}^{-1}$  y una  $K_s$  de  $0.024 \text{ g/l}$ .

AOAC. 1980. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 13a. edición. Washington, D.C. EEUUA

Atkinson, B. y Mavituna, F. 1983. *Biochemical engineering and biotechnology handbook*. The Nature Press. Washington, D.C. EEUUA.  
Crumplén, R., D'Amore, T.D., Panchel, C. y Stewart, G. 1987. *Industrial use of yeast, present*

FIG. 6 SIMULACION DE UN CRECIMIENTO CELULAR CON LA LEVADURA SACCHAROMYCES C.

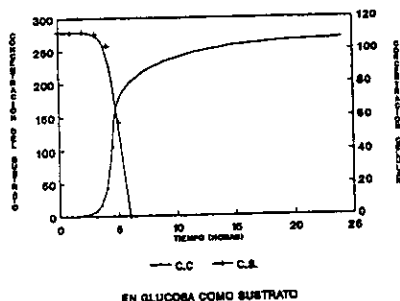


FIG. 7 SIMULACION DEL CRECIMIENTO CELULAR PARA LA BACTERIA AEROBACTER AEROGENES

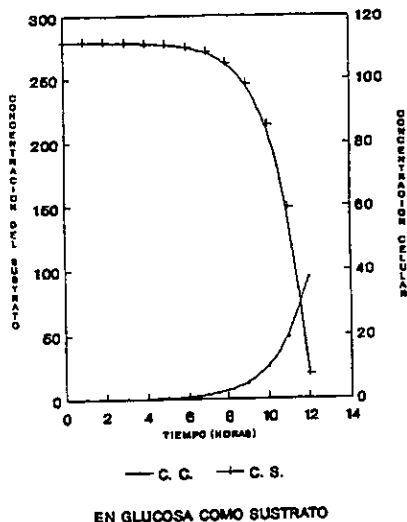
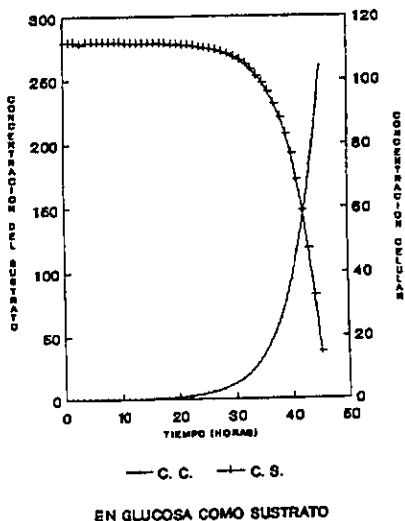


FIG. 8 SIMULACION DEL CRECIMIENTO CELULAR DEL HONGO ASPERGILLUS NIDULANS



**E**scitricos, S. de R.L.

ACEITES ESENCIALES Y  
ESPECIALIDADES DE CITRICOS  
PARA LA INDUSTRIA DE  
ALIMENTOS Y BEBIDAS

REPRESENTANTE EXCLUSIVO  
EN MEXICO DE

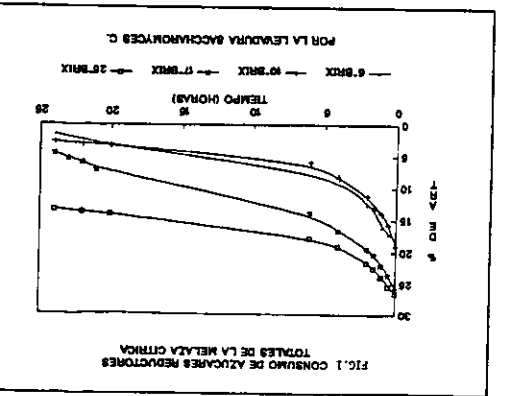
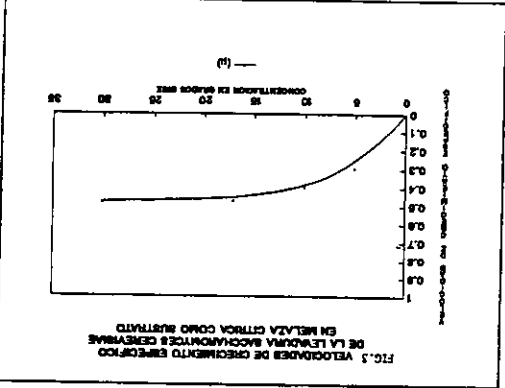
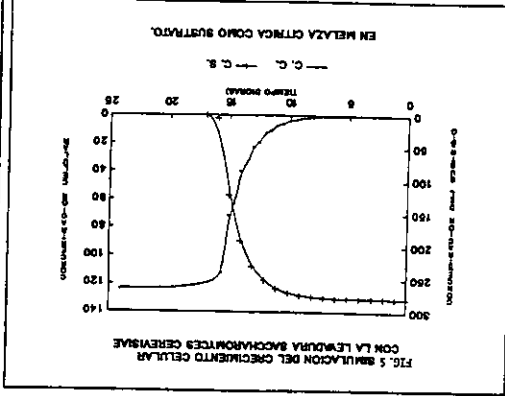
 **Plantextrakt**

**DULLBERG  
KONZENTRA**

CDA. DE FRANCISCO ZARCO NO. 48  
COL. LEANDRO VALLE  
TLALNEPANTLA C.P. 54040  
TEL. 397-11-49 FAX 398-63-72

Circle (40) en la tarjeta

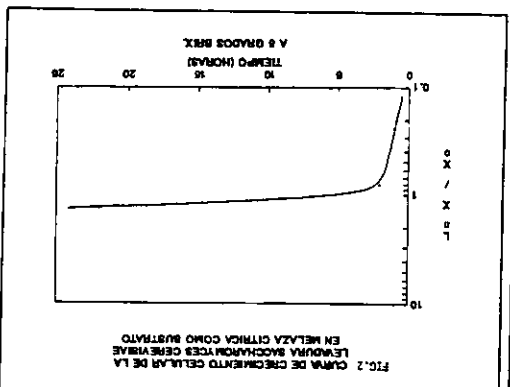
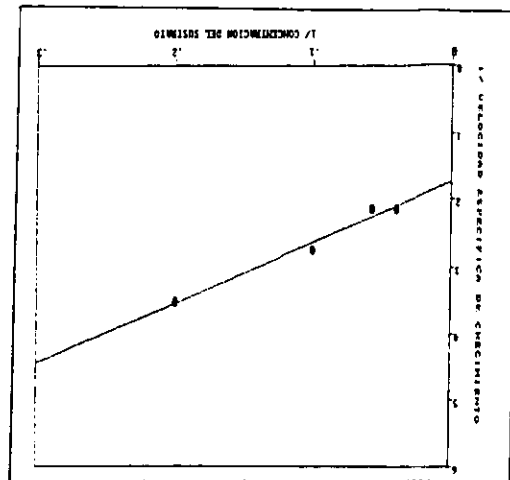




Ed. Pergamon Press. Nueva York, NY, E.U.U.A. ♦

simulation Science, 1983. ISIM. Ltd. Worley, Manchester, Inglaterra. Spencer, R. y Meade, C. 1967.

Manual de la caña de azucar. Editorial Montaner y Simon. Barcelona, España. Whitaker, A. Principles of fermentation technology.



and future. 7th. Intl. Symp. Yeast. Moo-Young, M. 1985. Comprehensive biotechnology. Tomo I. Pergamon Press. Toronto, Canada. Pelazar, R.C. 1982. Microbiologia. McGraw Hill Eds. Mexico, D.F. Mexico. Pitt, S.J. 1975. Principles of microbe and cell cultivation. Blackwell Scientific Publication, Londres, Inglaterra. Quintero, R. 1981. Ingenieria bioquimica. Ed. Alhambra Mexicana. Madrid, España.

# REMOCION DE CAFEINA, POLIFENOLES Y TANINOS DE PULPA DE CAFE USANDO PROCESOS DE LIXIVIACION CON AGUA

Rojano-Herrández, F.I., Solís-Fuentes, J.A. y Durán-de-Bazúa, C.\*

## RESUMEN

El fruto del café es tratado para separar la semilla, que es ampliamente usada una vez tostada para preparar una infusión, el café. A su procesamiento se le conoce como beneficiado. Dado que la semilla representa el 20% del fruto fresco, el restante 80% es desaprovechado. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos a nivel de laboratorio sobre el reaprovechamiento de la pulpa, una porción que representa el 40-50% del fruto fresco. La pulpa contiene hasta 4.5% de taninos y hasta 1.5% de cafeína, lo que representa un problema para su uso como nutrimento en dietas animales. Por ello, se planteó la remoción de estas sustancias empleando el proceso de lixiviación (remojo) usando agua y disoluciones acuosas ácidas y alcalinas, modificando dos variables de proceso (tiempo y temperatura). Se realizó la caracterización de pulpa obtenidas en beneficios comerciales y se simuló el beneficiado en el laboratorio para obtener pulpa. Se usó agua a 25, 35 y 45°C, en tres proporciones pulpa seca: agua (1:1, 1:2, 1:4), una solución de sosa, una de hidróxido de calcio al 1.0, 0.1 y 0.01M, así como una solución acuosa acidulada con HCl al 1.0, 0.1 y 0.01M. La pulpa estudiada contenía 1.4% de cafeína en base seca y 3.88% de taninos en base seca y después de las lixivaciones a 1, 3, 5 y 24 h, los resultados obtenidos indicaron que más del 60% de la cafeína y del 75% de los taninos y polifenoles que contiene la pulpa de café cereza pueden eliminarse con la lixiviación de la pulpa en una operación en etapa simple usando agua a temperaturas no mayores de 45°C y en proporciones mínimas de 1:4. Se plantea una segunda fase experimental

\*Grupo de Tecnologías más Limpias y Reaprovechamiento de Equilios Agroindustriales y Programas de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental (PIQAYQA) Facultad de Química, UNAM, 04510 México D.F. México Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana Av. Dos Vistas s/n, carretera Xalapa-Las Trancas Apartado Postal 177, 91000 Xalapa, Veracruz, México

usando un sistema de multietapas para verificar la eficiencia a nivel de banco o de planta piloto de la descafeinización y despolifenolización de la pulpa del beneficiado del café, para estudiar las economías de escala y su viabilidad técnico-económica, obteniendo la ingeniería conceptual del proyecto. Asimismo, con esa pulpa tratada se harán pruebas *in vivo* con animales de laboratorio para corroborar el efecto de la cafeína, taninos y polifenoles residuales en la ganancia en peso y la digestibilidad de la proteína de la pulpa.

## CAFFEIN AND TANNINS AND POLYPHENOLS REMOVAL FROM COFFEE BERRIES PULP USING WATER LEACHING PROCESSES

Coffee berries are wet processed to obtain the bean, that after roasting, is widely used to prepare an infusion, coffee. The process used to separate the seed from the pulp of the fruit is known in México as beneficiado, a word in spanish meaning "improving". Since the seed represents about 20% of the total weight of the fresh fruit, the remaining 80% is discarded as a waste. This work deals with the experimental process carried out at laboratory scale to remove caffeine and tannins and polyphenols from the fruit pulp that represents approximately 40-50% of its overall weight, and contains up to 4.5% tannins and 1.5% caffeine, making this byproduct useless as a feedstuff. The experiments were based on the leaching of these toxic substances using water and acid and alkaline water solutions, modifying process variables, time and temperature. Commercial and laboratory pulps were characterized, dehydrated in stove and in solar driers. Dry pulp was ground and stored at 4°C. Water at 25, 35 and 45°C, used in proportions pulp: water of 1:1, 1:2, and 1:4, as well as caustic soda and lime solutions (1.0M, 0.1M, and 0.01M), and acidulated water (with HCl at 1.0M, 0.1M, and 0.01M) were used to leach these toxics from the pulp. Pulp studied contained 1.4% caffeine (dry basis) and 3.88% tannins and polyphenols (dry basis). After the leaching processes (1, 3, 5, 24 hours), results obtained indicate that about 60% of the caffeine and 75% of the tannins and polyphenols can be removed in a one-sta-

ge operation using water at temperatures no higher than 45°C and pulp: water proportions higher than 1:4. A second experimental phase is suggested, using this time bench or pilot plant multistage systems to evaluate toxics removal efficiency from pulp, and determine scaling up parameters as well as economic viability of the process. Also, The detoxified pulp will be used in *in vivo* tests with lab animals to corroborate the effect of residual caffeine and tannins and polyphenols on weight gain and pulp protein digestibility.

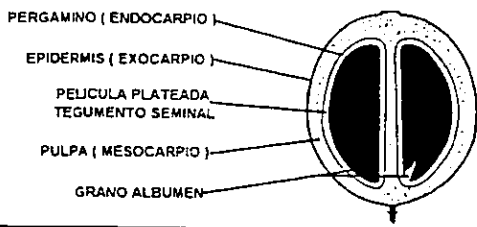
## INTRODUCCION

El café es una bebida obtenida de la extracción mediante agua hirviendo de compuestos solubles y aromáticos provenientes de la semilla de una planta rubiácea (*Coffea*). Existen aproximadamente 50 especies de las cuales solamente dos (*C. arabica* y *C. canephora*) se comercializan. Su fruto es una baya carnosa, roja, casi esférica, de aproximadamente 1-1.5 cm. de diámetro, con dos semillas planas-convexas que presentan casi siempre un surco en su cara plana o interna. Las semillas miden aproximadamente 10 mm. de largo, 5 mm. de ancho y 3.5 mm. de espesor.

El fruto fresco, conocido como café cereza, puede subdividirse en partes (fig. 1), que son el epicarpio, el mesocarpio, el endocarpio, el espermodermo y el endospermo.

El llamado epicarpio (cascarilla y pulpa) representa casi el 43% del total del fruto, el mesocarpio (mucilago) es una capa que está entre el epicarpio y el endocarpio (que cubre las semillas) y está formado principalmente por sustancias pécticas y proteínas y representa aproximadamente el 23% del fruto. El endocarpio (pergamino o cascabillo), que conforma aproximadamente el 13% del fruto, es una capa de tipo celulósico que envuelve a las semillas y es sumamente resistente al desgarramiento, especialmente cuando está seca. El espermodermo es una película plateada (1% del fruto) que se encuentra exactamente sobre la semilla, formando una cutícula. Finalmente, el endospermo (a lo que generalmente se le conoce como grano de café), que forma parte del fruto

FIG. 1 FRUTO DEL CAFETO



en un 20% aproximadamente (Morales Holguín, 1987), tiene un color verde olivo y es el que, una vez tostado y molido, se extrae con agua para obtener la infusión.

El café se cultiva en aproximadamente 50 países, especialmente en las regiones tropicales (es originario de Etiopía) y se consume prácticamente en todas las naciones del globo terráqueo. Dado que su consumo en los países productores, con excepción de Brasil, es muy bajo, su cultivo es básicamente para exportación a los países industrializados. Su cultivo y beneficiado (como se conoce en México a su procesamiento) requiere de mano de obra intensiva, por lo que aproximadamente 20 millones de personas en el mundo depen-

den del café como fuente de empleo remunerado, dando ingresos aproximados de 8 mil millones de dólares americanos (Inmecafé, 1990).

Para México en particular, como producto de exportación captador de divisas, solamente es superado por el petróleo y el turismo. Genera empleo

para aproximadamente 3 millones de mexicanos, que producen casi 900 mil toneladas anuales de café cereza (500 millones de dólares en exportaciones), situándose en cuarto sitio como exportador después de Brasil, Colombia e Indonesia, a nivel mundial (Ortiz, 1990).

Su consumo en México es uno de los más bajos en el mundo (1.6 millones de sacos de 60 kg anuales, para una población de 80 millones de habitantes). Esto hace que casi un 70% de la producción nacional se oriente a la exportación (Inmecafé, 1988-1991, 1990). De este 70%, casi un 70% se exporta a los EEUU y el resto se exporta a Alemania (8%) y Japón

(5%) y otros países (17%) (Nolasco, 1985).

Veracruz es una de las áreas de mayor producción de café, ya que genera aproximadamente 350 mil toneladas de café cereza (Inmecafé, 1988-1991) y el resto se producen en Chiapas, Oaxaca, Puebla, Guerrero, San Luis Potosí e Hidalgo.

Viendo los datos del porcentaje que representa la semilla con respecto del fruto o café cereza (20%), es claro que el aprovechamiento de los subproductos de su beneficiado es muy importante ya que, por un lado, minimiza la generación de residuos y, por otro lado permite reutilizar estos subproductos como materias primas para otros procesos. Las figuras 2 y 3 presentan un diagrama de bloques de los procesos húmedo y seco del beneficiado del café cereza.

Existe en la Universidad Veracruzana, con la cooperación de la UNAM, un proyecto global de recuperación de subproductos del beneficiado del café. En este trabajo se busca un posible uso para una parte del fruto, la pulpa, que conforma aproximadamente el 43% del fruto fresco, considerando que puede ser una materia prima para dietas de animales mono y poligástricos. Estimando una producción anual en el estado de Veracruz de 350 mil

AgroCultura es leída por los principales protagonistas del sector agropecuario, formadores de opinión que por la importancia de sus actividades, representan un mercado de altos niveles de consumo.



### Secciones

- Columnistas
- Entrevistas
- Agrícola
- Reportajes
- Ganadero
- Charrería
- Equinos
- Cartón Cómico
- Forestal
- AgroNoticias

Oficinas para ventas (suscripciones y publicidad):  
Priv. Paris No. 1365 Col. Aros Sur, S. J.  
C.P. 44520 Guadalajara, Jal. Tel./Fax 615-49-39

Editada por  
GRUPO EDITORIAL  
**EIXÓN**  
S.A. DE C.V.

**AgroCultura**  
 LA REVISTA CON MAS CAMPO

toneladas de café, se tendría una producción de más de 50 mil toneladas de pulpa deshidratada (con un contenido aproximado de 70% de agua cuando está fresca).

Aún cuando no es un alimento muy rico, contiene aproximadamente 10% de proteínas y 20% de fibra, ambos tomando como base la pulpa seca (Tabla 1).

Características	% de pulpa deshidratada
Humedad	12.6
Proteína cruda (factor 6.25)	11.2
Cenizas	2.3
Fibra cruda	21.0
Extracto etéreo	2.8
Extracto libre de nitrógeno	44.4
Taninos*	1.4-1.55
Cafeína*	0.53
Ácido clorogénico*	2.6
Ácido cafeico total*	1.6

\* % en base seca.

Sin embargo, la presencia de taninos y cafeína, principalmente, reduce su palatabilidad y, además su ingestión genera problemas de poca ganancia en peso en los animales por la formación de complejos tanino-proteína y reducción de la retención de nitrógeno por el efecto diurético de la cafeína (Fish y Thompson, 1991; García y col., 1985; Gómez-Brenes y col., 1985; 1988; IFT, 1987; Vélez y col., 1985).

Por ello, en este trabajo se plantea la remoción de estos compuestos de una manera simple, a través de la lixiviación usando agua a diferentes proporciones con respecto de la cantidad de pulpa y a diferentes temperaturas y tiempos de lixiviación. También se evaluó el posible efecto de un cambio de pH usando HCl para acidular el agua y de cal y sosa para alcalinizarla.

A continuación se presenta la metodología y los resultados de esta primera fase del proyecto, así como las posibles operaciones unitarias a ser realizadas para obtener el proceso más viable de obtención de pulpa descafeinada y con bajo contenido de taninos. La parte experimental se realizó en los laboratorios del Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Veracruzana en Xalapa.

## MATERIALES Y METODOS

Se recolectaron muestras de pulpa del beneficiado experimental de Imbecafé y del de la compra Bola de Oro. También se adquirió café cereza y se llevó a cabo una simulación del beneficiado del fruto para obtener la pulpa en el laboratorio. Se despulparon manualmente 10 kg de café ce-

reza. Las condiciones del proceso fueron las siguientes:

Una vez despulpado el café cereza fresco, se recolectó la pulpa y se secó, tanto en la estufa

(40-50°C, 5 horas) como al sol en pisos de concreto (siendo volteada y mezclada a mano cada 2 horas, 72 horas) hasta alcanzar un contenido de humedad del 12 al 15% (Rojano-Hernández, 1993).

Se determinaron, tanto en la pulpa fresca, como en la seca, humedad, cenizas, grasa (extracto etéreo), fibra cruda y proteína siguiendo la metodología de la AOAC (1980). También se determinó en la pulpa seca su contenido de cafeína, siguiendo el método de Bailey y Andrews y su contenido de taninos y polifenoles, siguiendo el método de Folin y Denis (AOAC, 1980; Garrat, 1964; Hart y Fischer, 1971; Wells, 1979).

La pulpa seca presentó una consistencia frágil y quebradiza, lo que facilitó su trituración y molienda para almacenarla en bolsas plásticas negras en refrigeración (4°C) hasta su uso en los ensayos experimentales.

En la literatura se presenta el diagrama del proceso experimental seguido en este trabajo y las condiciones de operación empleadas para cada lixiviación (temperaturas de 25, 35, 45°C y proporciones pulpa seca: agua de 1:1, 1:2, 1:4) (Rojano-Hernández, 1993). Las soluciones de agua acidulada con HCl tenían concentraciones de ácido de 1.0M, 0.1M y 0.01M.

Fig. 2. Diagrama de bloques del proceso húmedo del beneficiado del café cereza.

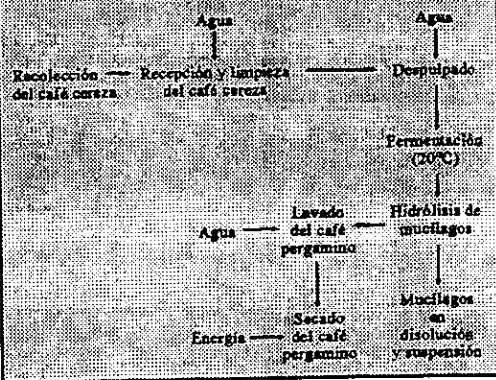
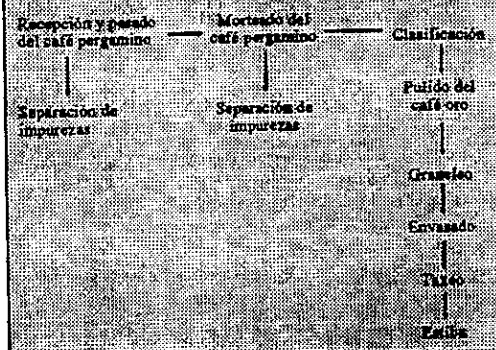


Fig. 3. Diagrama de bloques del proceso seco del beneficiado del café pergamino.



Las soluciones alcalizadas se obtuvieron usando sosa (1.0M, 0.1M, 0.01M) y cal (1.0M, 0.1M, 0.01M).

Los resultados obtenidos se presentan en el siguiente apartado.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos de las dos muestras de los beneficios comerciales y de la obtenida en el laboratorio se muestran en la Tabla 2. No se encontraron diferencias significativas entre las tres muestras estudiadas ( $P < 0.05$ ).

La tabla 3 presenta los resultados obtenidos de la lixiviación de la pulpa seca usando agua a las tres temperaturas en estudio y con las tres proporciones pulpa: agua de lixiviación en la remoción de taninos y polifenoles. Puede verse que solamente tiene influencia la proporción pulpa: agua, ya que la temperatura no mejora

significativamente la eliminación de taninos y polifenoles en la pulpa.

Estos resultados de laboratorio indican que más del 60% de la cafeína y de 75% de los taninos y polifenoles que contiene la pulpa de café cereza pueden eliminarse con la lixiviación de la pulpa en una operación en etapa simple usando agua a temperaturas no mayores de 45°C.

este estudio. Puede verse en las figs. 6 y 7 que el efecto del pH en el porcentaje de remoción alcanza su valor máximo cerca de la neutralidad, por lo que se plantea una segunda fase experimental usando un sistema multietapas para verificar la eficiencia a nivel de banco o planta piloto de la descafeinización y la despolifenolización de la pulpa del beneficiado del café, para estudiar las economías de escala y su viabilidad técnico económica, obteniendo la ingeniería conceptual del proyecto.

Finalmente, una vez obtenidas cantidades mayores de pulpa parcialmente descafeinada y despolifenolizada se harán pruebas *in vivo* con animales de laboratorio para corroborar su efecto en ganancias en peso y digestibilidad de la proteína.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la M. En C. Ruth Pedrosa Islas de la Universidad Iberoamericana sus valiosos comentarios sobre este trabajo.

**Tabla 2. Características de las pulpas estudiadas**

Característica*	Pulpa fresca	Pulpa seca
Humedad, %	84.96 ± 1.05	14.73 ± 0.02
Cenizas, %	2.23 ± 0.12	5.03 ± 0.21
Proteína, %	11.89 ± 2.97	10.92 ± 0.52
Grasa, %	3.33 ± 0.33	3.81 ± 0.29
Fibra cruda, %	27.26 ± 0.60	27.91 ± 0.22
Cafeína, %	1.41 ± 0	1.96 ± 0.12
Taninos y polifenoles, %	3.88 ± 0	3.29 ± 0

\* Valores promedio de tres determinaciones para cada una de las muestras de pulpa de Inmecafé, Bola de Oro y Laboratorio

Es interesante observar que en las primeras tres horas se tiene la mayor eliminación obtenida con este tratamiento con agua e, incluso, en la primera hora se alcanzó la mayor parte de ésta, sobre todo cuando se tiene una proporción elevada pulpa: agua. Esto podría indicar el uso de procesos de extracción en etapas múltiples con tiempos de contacto breves y temperatura ambiente (20-25°C).

En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos de la lixiviación de la pulpa seca usando una disolución de agua con hidróxido de sodio o sosa y de hidróxido de calcio (1.0M, 0.1M, 0.01M), así como los obtenidos con la solución acidulada con HCl, todas a temperatura ambiente (25°C) y con la proporción pulpa:agua alcalinizada/acidulada de lixiviación de 1:4 en la remoción de taninos y polifenoles.

Puede verse que con ninguno de los tratamientos se obtuvo una remoción similar a la obtenida con agua sola en proporción 1:4 (Fig. 5), que fue de aproximadamente 76%. Esto indica que el tratamiento más simple (agua a temperatura ambiente) sigue siendo el más efectivo.

Las tablas 5 y 6 presentan los resultados obtenidos de la lixiviación de la pulpa seca usando agua y las mismas disoluciones de agua con hidróxido de sodio o sosa y hidróxido de calcio (1.0M, 0.1M, 0.01M), así como los obtenidos con la solución acidulada con HCl, todas a temperatura ambiente (25°C) y con la proporción pulpa:agua alcalinizada/acidulada de lixiviación de 1:4 en la remoción de cafeína.

Nuevamente, como para los taninos y polifenoles, aunque la eficiencia de remoción no es muy buena, la mejor opción es la del agua sola con la mayor proporción de pulpa:agua (1:4) pero, en este caso, la temperatura mayor daría un ligero aumento en la eficiencia de remoción de 54 a 64%, así como un mayor tiempo de contacto entre el agua y la cafeína (fig. 5).

Molina y col., (1974), evaluaron el proceso de descafeinización con agua usando procesos de extracción a 25°C y percolación a 90°C. Mediante este último, en el que emplearon altas proporciones de sólidos: solvente (1:20), obtuvieron rendimientos altos en la remoción de cafeína (alrededor del 80%) y medianos en la separación de taninos (menores al 40%). Los elevados volúmenes de agua y las altas temperaturas empleadas incrementarían procesos industriales más costosos, que los que podrían derivar de las condiciones empleadas y los resultados obtenidos en

**Tabla 3. Efecto de la lixiviación a 25, 35 y 45°C y a proporciones de 1:1, 1:2 y 1:4 de pulpa:agua en el porcentaje de eliminación de taninos y polifenoles**

Tiempo de lixiviación h	Relación pulpa:agua								
	1:1			1:2			1:4		
	25°C	35°C	45°C	25°C	35°C	45°C	25°C	35°C	45°C
1	32.63	33.63	32.63	32.63	40.79	40.79	65.29	65.29	65.29
3	40.79	40.79	40.79	48.95	48.95	48.95	73.44	73.44	75.07
5	48.95	48.95	48.95	48.95	48.95	48.95	73.44	73.44	75.89
24	48.95	48.95	48.95	48.95	48.95	57.12	74.26	74.26	75.89

**Tabla 4. Efecto de la lixiviación con disoluciones agua:sosa, agua:cal y agua:HCl a 1.0M, 0.1M y 0.01M a 25°C y a una proporción de 1:4 de pulpa:agua alcalinizada en la eliminación de taninos y polifenoles**

Tiempo de lixiviación h	Pulpa:Agua-sosa			Pulpa:Agua-Cal			Pulpa:Agua-HCl		
	1.0M	0.1M	0.01M	1.0M	0.1M	0.01M	1.0M	0.1M	0.01M
1	40.79	24.47	16.31	40.79	32.63	24.47	0	8.17	16.31
3	40.79	32.63	40.79	48.95	40.79	48.95	0	16.30	32.63
5	65.29	40.79	48.95	65.29	48.95	48.95	16.31	16.30	32.63
24	65.29	48.95	57.12	65.29	57.12	57.12	32.63	32.63	48.95

**Tabla 5. Efecto de la lixiviación a 25, 35 y 45°C y a proporciones de 1:1, 1:2, y 1:4 de pulpa:agua en la eliminación de cafeína**

Tiempo de lixiviación h	Relación pulpa:agua								
	1:1			1:2			1:4		
	25°C	35°C	45°C	25°C	35°C	45°C	25°C	35°C	45°C
1	0	0	0	27.27	27.27	27.27	9.10	18.20	27.27
3	0	0	0	27.27	27.27	27.27	27.27	36.36	36.36
5	9.10	9.10	9.10	45.45	45.45	45.45	45.45	45.45	54.54
24	18.70	18.20	27.27	45.45	45.45	54.54	54.54	54.54	63.63

**Tabla 4. Efecto de la lixiviación con disoluciones alcalinas: agua y  $\text{HCl}$  a 1.0M, 0.1M y 0.01M a 25°C y a una proporción de 1:1 de pulpa: agua calculada de su lixiviación de café.**

Tiempo de lixiviación, h	Pulpa:Agua:agua		Pulpa:Agua:Ca		Pulpa:Agua:HCl	
	1.0M	0.1M 0.01M	1.0M	0.1M 0.01M	1.0M	0.1M 0.01M
1	9.10	0 0	0 9.10	9.10	0 0	9.10
3	9.10	0 9.10	9.10	18.20	0 0	27.27
5	18.20	9.10 9.10	18.20	27.27	36.36	0 9.10 27.27
24	18.20	9.10 18.20	27.27	27.27	36.36	9.10 27.27 36.36

#### BIBLIOGRAFIA

AOAC. 1980. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. W. Horowitz, Ed. 13a. Edición. Washington, D.C. Estados Unidos de América.

Braham, J.E. y Bressani, R. 1991. Coffee pulp: composition, technology, and utilization. *Int. Dev. Res. Center*. Ottawa, Canada.

Fish, B.C. y Thompson, L.U. 1991. Lectin-Tannin interactions and their influence on pancreatic amylase activity and starch digestibility. *J. Agric. Food Chem.*, 39:727-731.

García, A.L., Vélez, R.J. y de Roza M.P. 1985. Extracción y cuantificación de los polifenoles de la pulpa de café. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 35(3) 491-495.

Garrat, D.C. 1964. *The quantitative analysis of drugs*. 3a. edición. Chapman and Hall Ltd. Toppan Co. Ltd. Tokio, Japón.

Gómez-Brenes, R.A., Bendaña, G., González, J.M., Braham, J.E. y Bressani, R. 1985. Relación entre los niveles de inclusión de pulpa de café y contenido proteínico en raciones para animales monogástricos. *Arch Latinoam. Nutr.*, 35 (3):422-495.

Gómez-Brenes, R.A., Bendaña, G., González, J.M. y Jarquín, R. 1988. Effects of treatment with calcium hydroxide, of fresh or ensilaged coffee pulp on its nutritional quality. *Arch. Latinoam Nutr.*, 38(1):173-181.

Hart, F.L. y Fisher, H.J. 1971. *Modern Food Analysis*. Springer-Verlag. Nueva York, Estados Unidos de América.

Inmecafé. 1990. *El cultivo del café en México*. Pub. Instituto Mexicano del Café México, D.F.

Inmecafé. 1988-1991. *Estadísticas cafetaleras por municipios en el estado de Veracruz*. Pub. Instituto Mexicano del Café. México, D.F.

I.F.T. 1987. *Scientific status summary, evaluation of caffeine safety*. *Food Technol.*, (6):105-111.

Molina, M., De la Fuente, G., Batten, M.A. y Bressani, R. 1974. Decaffeination, a process to detoxify coffee pulp. *Agric. Food Chem.*, 22:1055-1059.

Morales Holguín, J.J. (1987). Avance sobre el tratamiento de aguas residuales del beneficiado del café. *Memorias del III Simposio Internacional sobre la utilización integral de los subproductos del café*. Pag. 99-110. Guatemala, Guatemala.

Nolasco, M. 1985. *Café y Sociedad en México*. Centro de Ecodesarrollo. México, D.F.

Ortiz, H. 1990. *Banco de datos*. Ed. El inversionista mexicano. México, D.F.

Rojano-Hernández, F.I. 1993. *Detoxificación de la pulpa de café como alternativa para la alimentación animal*. Tesis profesional. Facultad de Química Farmacéutica Biológica, Universidad Veracruzana. 76 p. Xalapa, Ver. México.

Vélez, R.J., Gracia, A.A. y del Roza, M.P. 1985. *Interacción in vitro entre los polifenoles de la pulpa de café y algunas proteínas*. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 35(2):295-305.

Wells, R. 1979. *Manual de análisis de alimentos*. Ed. Acribia. Zaragoza, España. ♦



## CONTROL DE TEMPERATURA

### TRC POWERS PROCESS CONTROLS

CONTROL NEUMÁTICO

VALVULA TERMOSTÁTICA

VALVULA NEUMÁTICA

GRAFICADORES

CONTROL ELECTRONICO

Ingeniería de Aplicación  
Loops o Lazos de Control  
Sistemas llave en Mano  
• Accesorios

Distribuidor Autorizado:  
**DESARROLLO DE PROCESOS INDUSTRIALES, S.A. DE C.V.**

Tels.: (5) 390-6332 361-6242 361-6143 Fax: 361-5242

## LA GRASA DE SEMILLA DE MANGO COMO POSIBLE SUSTITUTO DE LA MANTECA DE CACAO

Jiménez-Bermúdez, M., Silva-Hernández, E. R.,  
Solís-Fuentes, J.A. y Durán-de-Bazúa, C.(1)

Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana.  
Av. Dos Vistas s/n carretera Xalapa-Las Trancas, C.P. 91000  
Xalapa, Ver., México.

(1) Departamento de Alimentos y Biotecnología. Facultad de Química, UNAM  
Edificio "E" planta baja, Cd. Universitaria, 04510 México, D.F.

### RESUMEN

En México el mango (*Mangifera indica* L) es una fruta importante cuya producción representa alrededor del 5% de la que se obtienen en el mundo. Aún cuando se consume principalmente en fresco, entre el 10 y 25 % de esta fruta se industrializa para obtener productos que en lo general aprovechan la porción tradicionalmente comestible: la pulpa; el resto de la fruta, cáscara, hueso y material fibroso son considerados residuos. Diversas investigaciones han mostrado que estos materiales residuales por sus características fisicoquímicas y nutricias son potencialmente útiles en la extracción o elaboración de diversos productos. La grasa de la semilla de mango cuyo contenido en las diversas variedades reportadas fluctua entre un 4 y 13%, ha sido encontrado mantiene semejanzas en algunas de sus características fisicoquímicas con la manteca de cacao. El presente trabajo se dirigió a estudiar el rendimiento y composición de la grasa de cinco variedades de mango, producidas y comercialmente importantes en México: Tabasco, Paraíso, Manila, Heidi y Oro. Los resultados mostraron que los rendimientos de grasa fluctuaron entre un 7.6 y 13.6%, b.s. entre las variedades estudiadas y una composición acilglicérida con predominio de los ácidos esteárico(31.0-46.4%), oleico (31.0-51.3%) y palmítico (8.7-11-7%). Las características fisicoquímicas de la grasa refinada de la variedad manila y de la manteca de cacao analizadas fueron respectivamente: punto de fusión 28-30°C y 30-31°C, índice de refracción 1.466 y 1.463, índice de saponificación 189 y 188.3, valor de yodo 41.8 y 43.2, valor de acidez 0.3 y 0.21, materia insaponificable 0.69 y 0.61, ácidos grasos libres 0.6 y 0.42, índice de tiocianógeno 519 y 312.2, índice de Crismer 82.3 y 76.1°C. El análisis de varianza mostró que entre la grasa de mango y la manteca de cacao no hubo diferencia significativa ( $p>0.1$ ) en 4 de las 9 variables consideradas. Los "iconos" de "amibas" elaborados en base a las variables standarizadas mostraron estrecha similitud entre ambas grasas y notables diferencias con los construídos con datos de las grasas de cerdo, maíz y coco. El análisis de clusters para los acilglicéridos reveló que existen semejanzas entre las grasas de la semilla de las variedades Tabasco, Manila, Heidi y Oro, mientras que la de la variedad Paraíso presentó mayor similitud con la manteca de cacao.

## INTRODUCCION

El mango (*Mangifera indica* L.) es el miembro más importante de la familia de las *Anacardiaceae*. El género comprende alrededor de 50 especies nativas de Asia de las que sólo 3 o 4 producen frutos comestibles (Ochese et al., 1982). En el mundo se producen más de 500 variedades, cuya nomenclatura en ocasiones obedece a ciertos regionalismos, complicando en mucho su distinción.

Este cultivo es considerado entre los 10 cultivos frutícolas más importantes del mundo, lográndose anualmente una producción de mango que oscila alrededor de los 14 millones de toneladas. De esta producción, México contribuye, en promedio, con un 5%. Esta fruta en el mundo y en México, en particular, se consume y comercia, en lo general, como fruta fresca, aún cuando las tendencias actuales de la agroindustrialización permiten prever mayores niveles de procesamiento, estimado ahora, entre un 10 y un 25% de la producción.

La fase industrial de procesamiento del mango incluye la elaboración de productos a base de la pulpa, que es la porción tradicionalmente comestible, generándose por consiguiente importantes cantidades de materiales considerados como residuales o de desecho.

Los tipos y cantidades de desperdicios que la industrialización del mango genera son variados y diversos debido principalmente a los diferentes grados de transformación, eficiencia de los procesos y variedades y calidades de las frutas procesadas. Una estimación promedio indica que entre el 25 y 40% del fruto fresco procesado resulta en desperdicios provenientes de la cáscara, hueso y materiales fibrosos del mango.

La progresiva adopción del enfoque de aprovechamiento en algunos residuos de la agroindustria y el propósito generalizado de aumentar las reservas de materias primas para la elaboración de productos, principalmente alimentos (Solís-Fuentes, 1995; Durán de Bazúa et al., 1995), han llevado a la consideración y estudio de los residuos del procesamiento del mango y al planteamiento de alternativas para su aprovechamiento.

Diversas investigaciones han mostrado que la cáscara, la semilla y la fibra residual en la elaboración de algunos productos de mango, tienen características fisicoquímicas y nutricias que pueden ser la base para su aprovechamiento. Ram (1973), Beerh et al. (1976), Narashima-Char et al. (1977), Saucedo-Veloz y Lakshminarayana (1977), Thomas y Oke (1980), Lakshminarayana et al. (1983), Ali et al. (1985), Dhinigra y Kapoor (1985), Ortiz-Ramírez (1985), Laszity et al. (1988), Parmar y Sharma (1986; 1990) y Gourgue et al. (1992), entre otros, han estudiado desde diferentes enfoques tales residuos y planteado algunos posibles alternativas de aprovechamiento. Resalta en éstos la potencialidad de la cáscara como fuente de pectinas y vitamina C, los residuos fibrosos, por su excelente relación de fibra soluble/insoluble y alta viscosidad con amplias perspectivas para la elaboración de alimentos altos en fibra dietética, la almendra de semilla de mango con importantes posibilidades alimenticias y como fuente de grasas, proteínas y almidón, además de las propiedades antioxidantes que presenta por la presencia de taninos y fosfolípidos.

Particular atención ha recibido la fracción lipídica de la almendra de la semilla de mango en la que diversas investigaciones han mostrado su potencialidad como fuente de grasas de uso



### **Purificación y análisis fisicoquímico de la grasa de semilla de la variedad manila y de la manteca de cacao**

Las muestras de grasa de la variedad manila así como de la manteca de cacao, fueron divididas en dos lotes y uno de ellos sujeto a purificación mediante el método Wesson (Mehlenbacher, 1970). A las muestras en su forma cruda y refinada se les realizaron pruebas fisicoquímicas, acordes con las técnicas oficiales de análisis, de : Punto de fusión en un aparato marca Cisa modelo TL684; humedad y materia volátil por el método gravimétrico de la estufa de aire; índice de refracción en un refractómetro CX-2 de American Optical; índice de saponificación; índice de yodo; índice de acidez; materia insaponificable; impurezas insolubles; ácidos grasos libres; índice de tiocianógeno y temperatura crítica de disolución (índice de Crismer). También se les realizaron pruebas de estabilidad mediante el ensayo de Shaal, realizando valoraciones organolépticas y del índice de peróxidos a diferentes tiempos de incubación de las grasas, en la estufa (Less, 1969, Mehlenbacher, 1970, Horwitz, 1980).

#### **Análisis estadísticos**

Con los resultados de laboratorio se generó una base de datos en el paquete estadístico SYSTAT para efectuar un análisis de varianza (ANOVA) y comparar los promedios de cada una de las propiedades de las grasas estudiadas en su forma refinada. Los valores de probabilidad obtenidos se calificaron de acuerdo a la siguiente tabla de valores (Silva-Hernández, 1994):

Intervalo de p	Calificación de los promedios comparados
0.00 < p < 0.01	Extremadamente diferentes
0.01 < p < 0.05	Muy diferentes
0.05 < p < 0.10	Diferentes
0.10 < p	Sin evidencias para ser diferentes

Asimismo, la base de datos se complementó con algunos valores de la literatura referentes a algunas características de el aceite de maíz, aceite de coco y manteca de cerdo, con el objeto de realizar una comparación gráfica multivariada de las grasas de mango y de las mantecas de cacao (refinadas) estudiadas con las de las grasas antes citadas caracterizadas en la literatura. Se utilizó la técnica de "iconos de amibas" de Fourier (Saber, 1985) en las que las variables de un caso multivariado se convierten a coordenadas polares y graficadas de manera cíclica dando lugar a una "amiba" en la que el tamaño y forma de sus pseudópodos representan las variables de cada caso.

Para estudiar las asociaciones entre los ácidos grasos de las grasas de las diferentes variedades de mango y la de cacao, se implementó la técnica jerárquica de agrupamiento o análisis de "clusters" (Jambu, 1991).

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los rendimientos encontrados de cáscara, pulpa, hueso, cubierta del hueso y almendra de los mangos de las variedades Tabasco, Paraíso, Manila, Heidi y Oro, procesados manualmente,

industrial principalmente en la industria alimentaria y farmacéutica (Naryana y Kartha, 1962; Van-Pee et al., 1980; Jiménez-Bermúdez, 1994).

El presente trabajo estuvo dirigido a estudiar los rendimientos en grasa de la semilla de cinco variedades de mango comercialmente importantes en México, las características fisicoquímicas de la grasa de la semilla de la variedad "manila" y a comparar tales características con las que presenta la manteca de cacao, como un primer acercamiento para el análisis de las posibilidades técnicas y económicas de la sustitución comercial de esta última con la grasa de semilla de mango.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se obtuvieron 5 lotes de mango de las variedades Manila, Oro, Tabasco, Heidi y Paraíso, en mercados de la localidad teniendo especial cuidado de contar con muestras con características semejantes de madurez fisiológica. Asimismo se adquirieron localmente muestras de manteca de cacao destinada a la fabricación de bienes alimenticios.

### **Obtención y acondicionamiento de la semilla de mango**

A 8 unidades de cada variedad se les dió el siguiente tratamiento: 1) lavado, 2) pesado, 3) descascarado manual 4) despulpado manual y 5) limpieza del hueso y extracción de la almendra. Cada una de las porciones obtenidas de cada variedad se separaron, pesaron y se calculó el rendimiento de cada una tal como son.

Las almendras de la semilla libres de la cubierta del hueso de cada variedad, fueron deshidratadas en una estufa de charolas a temperaturas de 60 °C hasta un porcentaje de 10% de humedad, se trituraron, molieron y guardaron en bolsas de polietileno bajo refrigeración a 5 °C hasta su procesamiento y/o análisis.

### **Extracción de la grasa**

La harina obtenida de las semillas fue objeto de extracción en aparato soxhlet con hexano, en series repetidas de 6 horas, hasta agotamiento total de la grasa en la harina, para cada muestra por duplicado y para cada variedad. El solvente se removió bajo presión reducida y los extractos de cada muestra se juntaron. Se calculó el rendimiento en grasa de cada una de las variedades estudiadas.

### **Análisis de ácidos grasos de acilglicéridos**

Muestras de las grasas obtenidas de las variedades estudiadas, fueron objeto de determinaciones de ácidos grasos. Se realizaron en un cromatógrafo de gases Hewlett-Packard mod. 5890 con detectores de ionización de flama, columna capilar de carbowax de 20m y diámetro interno de 0.25 mm y grosor de fase estacionaria de 0.2 micras. La fase móvil fue H<sub>2</sub> con una velocidad de 54 cm/s. La temperatura del inyector, detector y columna fueron de 220, 220 y 210 °C respectivamente. Cada una de las muestras se tranesterificó con metóxido de sodio en frío, desactivada la reacción con agua e inyectada la cromatógrafo. La composición porcentual de ésteres metílicos de los ácidos grasos de las muestras se obtuvieron con la ayuda de un integrador.

### **Composición proteínica de la harina de extracción**

La harina extraída de cada variedad fue objeto de análisis del contenido proteínico, mediante la determinación de nitrógeno total con la técnica microkjeldhal (Horowitz, 1980).

se consignan en la tabla 1. En ella puede observarse que el mayor rendimiento en pulpa del fruto en fresco, corresponde al mango Heidi (73.30%), siendo la variedad "tabasco" la que menor porcentaje de pulpa mostró. En general, las porciones "no comestibles" de las variedades de mango estudiadas representaron entre el 26.7 y 39.20%, de éstas la almendra de la semilla representó entre 4.92 y 8.5% de la fruta entera. En lo que respecta a la variedad manila que es la que mayormente se produce e industrializa en México, los materiales residuales representan el 31.4% del fruto, 18.33% de cáscara, 13.06% de hueso completo y 5.1% de almendra.

**Tabla 1. Porcentaje promedio de pulpa y residuos**

Variedad	Cáscara	Pulpa	Cubierta	Almendra
Tabasco	26.00	60.80	4.70	8.50
Paraíso	27.30	61.30	4.50	6.90
Manila	18.33	68.61	7.76	5.30
Heidi	15.0	73.30	1.60	5.10
Oro	15.45	73.21	6.42	4.92

El rendimiento de extracción de la grasa a las almendras del hueso de las cinco variedades de mango se realizó en aparato soxhlet durante 6 horas y en serie de tres extracciones para agotar totalmente la harina. El resultado de estas extracciones se presenta en la tabla 2 en porcentajes en base seca de la harina de almendra deshidratada. En ella puede observarse que la variedad que mas rindió en grasa fue la "manila", hasta con un 13.6% en promedio, valor superior al encontrado en algunas referencias en la literatura para esta variedad.

**Tabla 2. Rendimiento de extracción de grasa de la semilla de mango**

Variedad	Por ciento b.s.
Manila	13.61
Paraíso	12.67
Heidi	12.00
Tabasco	7.58
Oro	7.56

La composición en ácidos grasos de los acilglicéridos que constituyen la grasa de la semilla de mango de las cinco variedades estudiadas y de la manteca de cacao se presentan en la

tabla 3. En ella puede observarse que los ácidos grasos que están presentes en mayor cantidad son el oleico (C18:1) y el esteárico (C18), al igual que en la manteca de cacao, sólo que en este caso son, en general, valores superiores a los que incluye el intervalo correspondiente encontrado en la literatura para la grasa de cacao. La mayor diferencia observable es en cuanto a la presencia del ácido palmítico, ya que en el caso de las grasas de las semillas estudiadas se encuentra en porcentajes inferiores (de 8.7 a 11.7 contra 23 a 30%). El resto de los ácidos presentes, linoleico, linolénico y araquídico están presentes en las grasas de mango en niveles semejantes a los hallados en la manteca de cacao. En resumen las grasas estudiadas tuvieron 54.92, 52.59, 60.88, 53.2 y 41.28% de ácidos grasos saturados, porcentaje inferior al promedio de 61% de la manteca de cacao. La relación de ácidos esteárico/oleico fluctuó desde 0.605 para la variedad paraíso, hasta 1.49 para la variedad manila.

**Tabla 3. Composición de las grasas de cinco variedades de mango y de la manteca de cacao**

Acido graso		Variedad de mango					Cacao *
		Tabasco	Heidi	Manila	Oro	Paraíso	
Láurico	C 12						0.1
Mirístico	C 14						0.2
Palmítico	C 16	9.035	9.194	11.687	9.468	8.720	23 -30
Palmítoleico	C 16:1		0.737	1.300			1
Esteárico	C 18	43.277	41.803	46.417	41.936	30.990	31-37
Oleico	C 18:1	39.848	42.505	31.023	39.842	51.215	31-38
Linoleico	C 18:2	5.122	4.165	4.167	5.331	5.927	1.5-4.2
Linolénico	C 18:3				1.139	0.389	0.0-0.3
Araquídico	C 20	2.625	1.596	2.778	1.810	1.568	0.0-1.5
No identificados				2.628	0.474	1.154	

\*Gerhartz (1987).

Los valores promedio de las características fisicoquímicas estudiadas a la grasa de semilla de mango de la variedad manila y de las muestras de manteca de cacao, en sus formas cruda y refinada se presentan en la tabla 4. Es destacable la poca diferencia en el valor del índice de refracción y en las temperaturas durante las cuales las grasas funden, característica importante en términos de algunas de las principales aplicaciones que se le han venido dando a la manteca de cacao. La refinación de las grasas ocasionó una leve variación en algunas características. El porcentaje de ácidos grasos libres mostró niveles pequeños aún para las grasas en sus formas crudas, todos los valores para esta característica están por debajo del 1.75% máximo establecido por la Comisión del Código Alimentario de la FAO. El índice de yodo útil en la determinación del grado de dureza, dado que altos valores de

yodo indican altos contenidos de ácidos grasos insaturados, componentes que proporcionan la suavidad en la manteca de cacao, mostraron poca diferencia sobre todo en la comparación de las grasas refinadas. Los valores individuales fueron de 55.75, 41.76, 48.47 y 43.15, para las grasas de semilla de mango y manteca de cacao en sus formas cruda y refinada, respectivamente. La similitud de las grasas estudiadas encontradas mediante el análisis cromatográfico de la composición de ácidos grasos encuentra corroboración con los valores del índice de saponificación que, a la vista, muestran escasa diferencia, lo que está indicando semejanzas en el peso molecular promedio entre cada una de ellas.

**Tabla 4. Características fisicoquímicas de la grasa de semilla de mango manila y de la manteca de cacao (1)**

	Semilla de mango		Manteca de cacao	
	Cruda	Refinada	Cruda	Refinada
Punto de fusión, °C	29-31	28-30	32-33	30-31
Índice de refracción (2)	1.465	1.466	1.464	1.463
Humedad y m. volátil, %	1.57		1.73	
Impurezas insolubles, %	0.42		0.49	
Ácidos grasos libres (3)	0.80	0.60	0.67	0.42
Valor de acidez (4)	4.53	0.30	2.88	0.21
Materia insaponificable, %	1.69	0.69	1.25	0.61
Índice de saponificación (5)	190.67	189.00	190.60	188.33
Índice de yodo	55.75	41.76	48.47	43.15
Índice de tiocianógeno	331.70	519.03	304.37	312.20
Índice de Crismer, °C	100.56	82.31	77.47	76.09

(1) Valores promedio de tres determinaciones

(2) Determinado a 40 C

(3) % como ácido oléico

(4) En mg de KOH/g de grasa

(5) En mg KOH/g de grasa

La tabla 5 muestra los resultados en términos del índice de peróxido, de la prueba de estabilidad practicada a las muestras de grasa refinada de mango variedad manila y cacao. Las observaciones de olor y color de las grasas expuestas a una temperatura de 70°C se realizaron a las 120, 168 y 216 horas de incubación. A las primeras 120 horas ambas muestras desarrollaron cambios de color hacia tonos más profundos del color amarillo pálido original, con un incipiente aparición del olor característico de la rancidez. Al cabo de las 216 horas con índice de peróxido de 280.6 y 286 Meq de peróxido/kg para las muestras de la grasa de mango y manteca de cacao, respectivamente, ambas tuvieron un color café y los olores propios de la rancidez.

**Tabla 5. Prueba de estabilidad de las grasas refinadas a 70°C (1)**

Tiempo de incubación (2)	Semilla de mango	Manteca de cacao
0.0	0.0	0.0
120.0	80.52	95.64
168.0	192.25	143.10
216.0	280.60	286.70

(1) Meq. de peróxido/kg de muestra

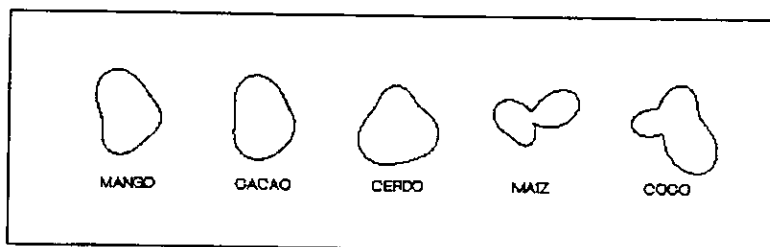
(2) Tiempo en horas

Los resultados de los análisis estadísticos se muestran en la tabla 6 y en las figuras 1 y 2. Los resultados del ANOVA indican, que no hay diferencia significativa en cuatro de las 9 características fisicoquímicas estudiadas a la grasa de semilla de mango y a la manteca de cacao. En la figura puede constatare la mayor semejanza entre estas dos grasas que entre ellas y las grasas de cerdo, maíz y coco. La comparación entre grupos mediante un análisis de "clusters" aplicado a la composición ácido-grasa de las muestras revela estrechas semejanzas entre las grasas de semilla de mango de las variedades Tabasco, Manila, Heidi y Oro, en tanto la correspondiente a la variedad Paraíso se acerca más a las características de la manteca de cacao.

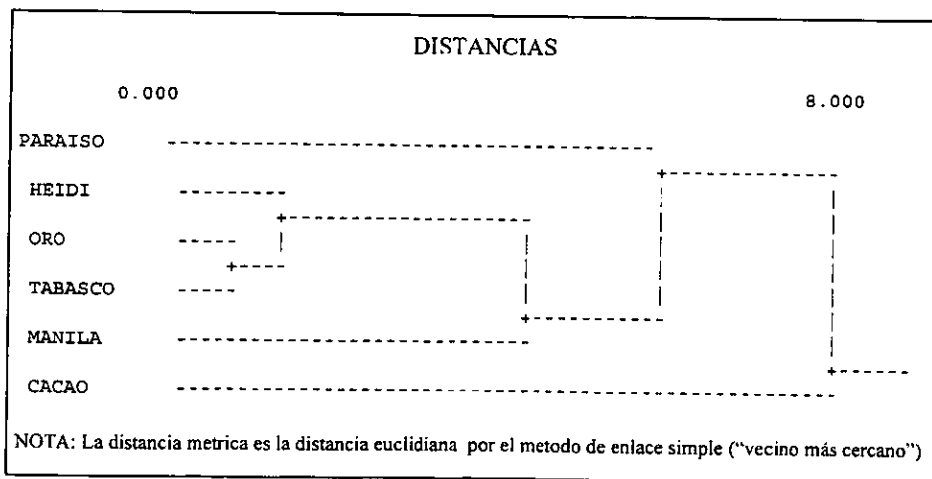
**Tabla 6. Resumen del análisis de varianza**

VARIABLE	BETWEEN SS	DF	WITHIN SS	DF	F-RATIO	PROB
FUSION	3.375	1	2.500	4	5.400	0.081
REFRACC	0.000	1	0.000	4	.	1.000
SAPONIFI	0.667	1	6.667	4	0.400	0.561
YODO	2.898	1	30.254	4	0.383	0.569
ACIDEZ	0.011	1	0.001	4	42.250	0.003
MATINSAP	0.010	1	0.005	4	8.224	0.046
AGL	0.045	1	0.003	4	54.080	0.002
TIOCIANO	64170.035	1	9506.644	4	27.000	0.007
CRISMER	58.095	1	64.975	4	3.576	0.132

**Figura 1. "Iconos de Amibas" de Fourier para las variables estudiadas.**



**Figura 2. Diagrama de árbol del análisis de "clusters" para los ácidos grasos.**



Las muestras de harina residual de extracción fueron objeto de análisis de nitrógeno total para una estimación del contenido proteínico de estos materiales. La tabla 7 muestra los resultados de estas determinaciones. En ella puede apreciarse un contenido alto de nitrógeno en las muestras proveniente de mango variedad Oro. Valores individuales fueron 3.24, 2.03, 1.72, 1.50 y 1.23% de nitrógeno en base seca para las variedades Oro, Paraíso, Heidi, Manila y Tabasco, respectivamente.

**Tabla 7. Nitrógeno total de la harina de semilla desengrasada de cinco variedades de mango.**

Variedad	N. total, % b.s.
Oro	3.24
Paraiso	2.03
Heidi	1.73
Manila	1.51
Tabasco	1.23

## CONCLUSIONES

La grasa de la semilla de mango es una de las posibles alternativas de aprovechamiento de los variados residuos que genera el procesamiento e industrialización de esta importante y conocida fruta como lo muestra esta y otras diversas investigaciones, algunas de ellas aquí referidas. Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que las variedades de mango aquí consideradas contienen en la almendra de la semilla niveles importantes de grasa cuyas características fisicoquímicas se asemejan en mayor o menor grado a la manteca de cacao.

Los resultados para estas variedades son consistentes con los que se han reportados para otras muchas variedades de mango logradas en el mundo. En México la mayor producción de mango se refiere a la variedad manila, apreciada como fruta para su consumo en fresco y adecuada, y ampliamente utilizada en la fabricación de diversos productos elaborados de cacao. Sumado a lo anterior, la semejanza de la grasa de semilla de esta variedad manila con la de la manteca de cacao reafirma la perspectiva de convertir en el futuro, en México este residuo en materia prima para la producción de grasas sustitutas de la manteca de cacao. Para lograrlo se requieren mayores conocimientos que deriven de otros muchos ensayos y estudios experimentales que permitan evaluar las bondades de dicha sustitución en términos funcionales, nutricios, técnicos y económicos.



## REFERENCIAS

- Ali, M. A., Gafur, M.A. Rahman, M.S. y Ahmed, G.M. (1985) "Variations in fat content and lipid class composition in ten different mango varieties". *JAOCS* 62(3): 520-523.
- Beerh, O.P., Raghuramaiah, B., Krishnamurthy, G.V. y Girhida, N. (1976) "Utilization of mango waste: Recovery of juice from waste pulp and peel". *J. Food Sci. Technol.*, 13:138-141.
- Dhinigra, S. y Kapoor, A. (1985) "Nutritive value of mango seed kernel" *J. Sci. Food Agric.*, 36: 752-756.
- Durán de Bazúa, C., Briones, R.S., Nieto, Z., Pedroza, R. y Solís, J.A. (1995) "Tratamiento y reaprovechamiento de aguas residuales y residuos sólidos de café, granos y flores" en *Tratamiento de los desechos de las agroindustrias. Caso tipo: Aguas residuales. Cap.10. pag. 139-164.* Durán de Bazúa, C. ed. México, D.F.
- Gerhartz, W. (1987) "Fats and oils" en *Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Vol 10. Pag. 173-243.* VCH. R.F.A.
- Gourgue, C. M-P., Champ, M. M-J., Lozano, Y. y Laval, J.D. (1992) "Dietary fiber from mango by-products: Characterization and hypoglycemic effects determined by in vitro methods". *J. Agric. Food Chem.* 40(10): 1864-1868.
- Horwitz, W. (1980) "Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists". AOAC. Washigton.
- Jambu, M. (1991) "Exploratory multivariate date analysis" Academic Press, New York.
- Jiménez-Bermúdez, M. (1994) "Estudios de caracterización de grasa de semilla de mango y de sus posibilidades como sustituto de la manteca de cacao". Tesis profesional. Facultad de Químico Farmacéutico Biólogo. Universidad Veracruzana.
- Lakshminarayana, G., Chandrasekhara-Rao, T. y Ramalingaswamy, P.A. (1983) "Varietal variations in content characteristics and composition of mango seed and fat" *JAOCS* 60(1): 88-89.
- Lakshminarayana, S. (1980) "Mango" en *Tropical and subtropical fruits.* Nagy, S. y Shaw-Philip, E.P. editores. AVI, Wesport, Conn.
- Lasztity, R., El-Shafei, M.A., Abdel-Samei, M.B., Hatour, F.S. y Labib, M. (1988) "Biochemical sources of some non-conventional sources of protein. Part 4. The proteins of mango waste stone kernels". *Nahrung*, 32: 867-873.
- Less, R. (1969) "Manual de análisis de alimentos". Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- Maurya, K.R., Chawdhary, D.N. (1977). "Utilization of mango wastes" *Ind. Food Packer.* 31, 83-84.
- Mehlenbacher, V.C. (1970) "Análisis de grasas y aceites" en *Enciclopedia de Química Industrial, Tomo 6.* Ediciones Urmo. España.
- Narashima-Char, B.L., Reddy B.R. y Thirumala-Rao, S.D. (1977). "Processing mango stones for fat". *JAOCS* 54, 494-495.
- Naryana, R. y Kartha, A.R.S. (1962) "The glyceride structure of *Mangifera indica* seed fat". *J. Sci. Industl. Res.* 21B: 400-401.
- Ochese, J.I., Soule, M.J. y Dijkman, M.J. (1982) "Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales". Vol.1. Limusa, México.
- Ortiz-Ramírez, F.V. (1985) "Extracción y caracterización de la grasa de semilla de mango var. manila". Tesis profesional. Facultad de Química .UNAM.

- Parmar, S.S. y Sharma, R.S. (1986) "Use of mango seed kernel in enhancing the oxidative stability of ghee". *Asian J.Dairy Res.* 5(2): 91-99
- Parmar, S.S. y Sharma, R.S.(1990) Effect of mango (*Mangifera indica* L.) seed kernels pre-extract on the oxidative stability of ghee. *Food Chemistry* 35: 99-107.
- Ram, K.(1973) "Mango waste too can be utilized". *Indian Farmers Dig.* 6: 39-52.
- Saber (1985) "Multivariate observations" John Wiley. New York.
- Saucedo-Veloz, C. y Lakshminarayana, S. (1977). "Efectos de diferentes temperaturas de almacenamiento en la maduración de mangos (*Mangifera indica* L.), var. manila". *Chapingo, Nueva Época.* 3: 27-36.
- Silva-Hernández, E.R. (1994)" Estadística multivariada aplicada a la ciencia y tecnología de alimentos". Trabajo recepcional . Especialidad en Métodos Estadísticos. Universidad Veracruzana. México.
- Solis-Fuentes.J.A. (1995)" El enfoque de aprovechamiento en el manejo de residuos sólidos y líquidos de la agroindustria. El caso del procesamiento húmedo del café" en Tratamiento de los desechos de la agroindustria. Caso tipo: Aguas residuales. Cap. 11, pag. 165-190. Durán de Bazúa, C. ed. México, D.F.
- Thomas, P. y Oke, M.S. (1980). "Technical note: Vitamin C content and distribution in mangoes during ripening". *J.Fd. Technol.* 15: 669-672.
- Van-Pee, W., Boni, L., Foma, M., Hoylaerts, M. y Hendrikx, A. (1980)" Positional distribution of the fatty acids in the triglycerides of mango (*Mangifera indica* L.) kernel fat" *JAOCS* 57: 243-245.