



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**APROVECHAMIENTO INTEGRAL DE LA PULPA Y CÁSCARA DEL FRUTO
DEL CACAOTERO: OBTENCIÓN DE PECTINA**

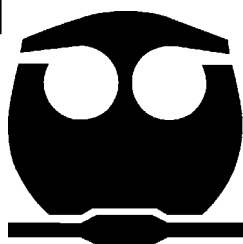
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

QUÍMICO DE ALIMENTOS

PRESENTA :

MAURICIO FRANCO CASTILLO



MÉXICO, D.F. 2010



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.

Jurado asignado

Presidente	Dra. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa
Vocal	M. en C. Marcos Francisco Báez Fernández
Secretario	QFB María de Lourdes Osnaya Suárez
Primer suplente	Dra. Patricia Severiano Pérez
Segundo Suplente	M. en C. Rolando Salvador García Gómez

Lugar donde se realizó la investigación

- (I) Laboratorios E-301, 302 y 303 de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, Conjunto E, Facultad de Química, UNAM

Asesor del Tema

Dra. María del Carmen Durán Domínguez _____

Supervisión Técnica

M. en C. Rolando Salvador García Gómez _____

Sustentante

Mauricio Franco Castillo _____

Agradecimientos

Quiero dedicar y agradecer, no sólo este trabajo, sino toda la experiencia que viví como universitario, a las siguientes personas que me guiaron, que me orientaron, que compartieron su amistad conmigo, que me permitieron entrar en sus vidas, a esas personas que me compartieron sus conocimientos; a todas esas personas que amo, quiero y estimo mucho:

A mis padres Gustavo y Rosa María por formarme como individuo, darme su incondicional amor y hacer de su hijo la persona que es ahora.

A mis hermanos Gustavo y Adrián por ser mis compañeros y amigos durante toda mi vida y siempre poder contar con ellos.

A la persona que fue la más importante durante toda mi carrera y que ha sido de las más importantes en mi vida, Brendita te quiero mucho.

A personas maravillosas que conocí durante la carrera: Juan, (El Hachita) mi primer compañero de laboratorio; Óscar (El Chip), amigazo que me apoyó en momentos muy difíciles; Magaly, mi compañera y amiga de toda la carrera y espero que de toda la vida, no parábamos de reír cuando estábamos juntos; Noé, nunca se comete algún pecado cuando estás junto a él; Alesita, Anita, Desireé, Teresita, Paulina, Juliana, todas ellas grandes amigas.

A amigos que conocí en la Facultad de Química y no estrictamente por medios académicos: Roger, Javo, Paco, Iván, Hazael, Lalo, Diego (Rockstar), Enrique (Huevas), Mitzi; todos ellos... carnalazos del alma. A Ernesto (Neto), en quien encontré un nuevo hermano, eres la pura milpa real hermano.

A amigas como Tatiana, Ruth y Diana (Dianiz), amigas muy especiales, las quiero chicas. A Alex y al amigo Dennis, muy buena vibra cuando se está con ellos.

A Benjamín (Benjamocho), por hacerme pasar mi estancia en el Laboratorio 301 más alegre y más amena. Un gustazo conocerte Benja!

A la señora Irene, que también trabaja en el Laboratorio 301, que siempre me prestaba cosas y me tardaba en devolvérselas, además de organizar siempre para los tamales, rosca de reyes, etc., etc.,...

A Itzel (la amiguita), porque se que puedo contar con ella cuando la necesito, a mi amiguita Erika (Eriscute), por ser la más casicuate de todos; cómo me hacen reír, las quiero mucho.

A mi amigo Gerardo (El mismísimo Jerrysjuan), de los mejores amigos y el amigo que todos deben tener.

A la Dra. Carmen Durán Domínguez de Bazúa, mi asesora de tesis, un especial agradecimiento por su gran apoyo durante el desarrollo del tema de investigación, por su enseñanza e impulsar mi crecimiento académico y me realización como profesional.

Al M. en C. Rolando García Gómez, asesor de mi tesis, por todo el apoyo brindado durante la realización de mi tesis y LABDEA, por sus conocimientos dados y por su dedicación de tiempo. Gracias Rol!

A todos los profesores que durante toda mi carrera me brindaron de sus conocimientos y que en conjunto mantuvieron y expandieron mi interés por la química de alimentos y sus temas relacionados.

A la Facultad de Química, por brindarme una carrera maravillosa, llena de retos y gratificaciones. Por permitirme conocer a gente maravillosa, de gran experiencia y conocimiento, por permitirme envolver en un universo de diferentes opiniones e ideologías y ayudarme a formarme como persona y profesional.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser mi *Alma mater*, por fomentar mi gusto por las artes, la cultura y las ciencias y por demostrarme día a día ser de las mejores universidades del mundo. Me siento orgullosamente de la UNAM.

A todos y cada uno... muchas gracias!

El financiamiento parcial para la compra de reactivos se hizo con el Proyecto PAPIME "Apoyo a la enseñanza experimental de las asignaturas terminales de las carreras que se imparten en la Facultad de Química de la UNAM", Clave PE101709.

"Por mi raza hablará el espíritu"
Mauricio Franco Castillo

ÍNDICE

	Pág
Resumen	1
Capítulo 1 Introducción	2
1.1 Problemática	2
1.2 Objetivos	3
1.3 Hipótesis	4
Capítulo 2 Antecedentes	5
2.1 El cacao	5
2.1.1 Estructura y composición del grano de cacao	5
2.1.2 Historia	6
2.1.3 Árbol de cacao	7
2.1.4 Producción de cacao	8
2.2 Pectina	11
2.2.1 Estructura, función y usos	12
2.2.2 Características de la pectina	14
2.2.2.1 Grado de esterificación	14
2.2.2.2 Viscosidad y masa molecular	14
2.2.2.3 Gelificación	15
Capítulo 3 Metodología	18
3.1 Extracción de pectina	18
3.1.1 Preparación de la muestra	18
3.1.2 Extracción de la pectina	19
3.2 Aceptabilidad de una mermelada de fresa con pectina de cáscara de cacao	20
3.3 Caracterización de la pectina	22
3.3.1 Porcentaje de metoxilos	22
3.3.2 Masa equivalente	22
3.3.3 Contenido de ácido anhidro galacturónico	24
3.3.4 Viscosidad relativa	24
3.3.5 Espectrometría infrarroja	24
Capítulo 4 Resultados y discusión	25
4.1 Extracción de pectina	25
4.2 Aceptabilidad de una mermelada de fresa con pectina de cáscara de cacao	26
4.3 Caracterización de la pectina	29
4.3.1 Viscosidad relativa	30
4.3.2 Espectro de IR	31
4.4 Discusión final	33

Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones	37
5.1 Conclusiones	37
5.2 Recomendaciones	38
Bibliografía	39
Anexo 1. Datos experimentales y análisis estadístico	44
Anexo 2. Disposición controlada de residuos	48

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS

Figura	Descripción	Pág
Figura 1.	Producción de cacao en los estados de Guerrero y Oaxaca (SISPRO CACAO, 2008)	9
Figura 2.	Producción de cacao en los estados de Tabasco y Chiapas (SISPRO CACAO, 2008)	9
Figura 3.	Producción de cacao a nivel nacional (SISPRO CACAO, 2008)	10
Figura 4.	Estructura química de la pectina, un polímero del ácido - galacturónico con un número variable de metil ésteres (Anónimo, 2009)	12
Figura 5.	Pectinas de alto metoxilo (COO-Me) (DNSAV, 2009)	14
Figura 6.	Pectinas de bajo metoxilo (COO-Me) (DNSAV, 2009)	14
Figura 7.	Condiciones de gelificación de las pectinas de alto metoxilo (DNSAV, 2009)	17
Figura 8.	Diagrama de flujo para la obtención de la harina de cacao	19
Figura 9.	Diagrama de bloques del método experimental a seguir para obtener la pectina de los subproductos del cacao (Barazarte y col., 2008)	21
Figura 10.	Espectro infrarrojo de la pectina comercial	31
Figura 11.	Espectro infrarrojo de la pectina de cacao	32

Gráfica	Descripción	Pág
Gráfica 1.	Atributos evaluados en la prueba sensorial	26
Gráfica 2.	Aceptación (%) de mermeladas elaboradas con pectinas de cacao y cítrica comercial	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Descripción	Pág
Tabla 1.	Contenido en sustancias pécticas en vegetales y tejidos vegetales (Navarro y Navarro, 1985)	13
Tabla 2.	Formulación para las mermeladas hechas con pectina cítrica y pectina extraída del cacao	22
Tabla 3.	Cuestionario para los jueces	23
Tabla 4.	Condiciones de hidrólisis para la extracción de pectina de cáscara y pulpa de cacao	25
Tabla 5.	Rendimientos de extracción obtenidos en cada lote	25
Tabla 6	Análisis de varianza del atributo SABOR	27
Tabla 7.	Análisis de varianza del atributo COLOR	27
Tabla 8.	Análisis de varianza del atributo OLOR	28
Tabla 9.	Análisis de varianza del atributo CONSISTENCIA	28
Tabla 10.	Análisis de varianza del atributo APARIENCIA GENERAL	29
Tabla 11.	Porcentaje de contenido de metoxilos, AAG, y masa equivalente de pectina extraída	30
Tabla 12.	Viscosidad relativa de la pectina de cacao y pectina comercial, determinadas a diferentes temperaturas	30
Tabla 13.	Espectro infrarrojo de la pectina de cacao y la pectina comercial	32

RESUMEN

En la explotación cacaotera sólo se aprovecha económicamente la semilla, que representa aproximadamente un 10% de la masa del fruto fresco. Los desechos generados, la cáscara y la pulpa, se consideran un foco para la propagación de un hongo del género *Phytophthora spp*, el cual es el causante principal de pérdidas económicas de la actividad cacaotera. México es productor de cacao y, por tanto, genera una gran cantidad de cáscara del cacao ya que la pulpa es esencialmente agua (la cual cubre a la semilla y a la pulpa). Se han hecho diversos estudios para poder obtener algún beneficio de ésta, ya que sólo se le da la utilidad en el área de cultivo como mejorador de suelos, aunque no es muy aceptado por los agricultores. En la literatura, las cáscaras de cacao se han propuesto como fuente de pectinas a nivel comercial, por su relativo bajo costo. Las pectinas son empleadas en la industria alimentaria como gelificantes y su aplicación más común es para la elaboración de mermeladas y jaleas. Las pectinas comerciales se obtienen principalmente de la cáscara de cítricos. Por ello, de la obtención de pectinas de la cáscara y de la pulpa del cacao, se observará la eficiencia de la pectina extraída para la producción de mermelada, en comparación con una pectina comercial proveniente de la cáscara de cítricos, realizando evaluaciones organolépticas de color, sabor, aroma, capacidad de gelatinización y aceptabilidad general. En esta investigación se realizaron pruebas de separación de las pectinas de la cáscara de cacaos provenientes de Chiapas usando dos niveles de valor de pH (3 y 4) y dos niveles de temperatura de extracción (80 y 90°C), considerados a partir de lo encontrado en la literatura. Los porcentajes de extracción fueron los siguientes: 2.65% (pH=3, T=80°C), 2.09% (pH=3, T=90°C), 1.16% (pH=4, T=80°C), 3.64% (pH=4, T=90°C). La pectina obtenida de todos los experimentos realizados fue probada en la elaboración de mermelada de fresa usando como control pectina de limón comercial empleando ambas en la misma cantidad (1.55g) con respecto a la fruta (85g) y el azúcar (104g). Se realizó, adicionalmente, una prueba organoléptica, con un panel de 50 jueces no entrenados, empleando un sistema de tipo escalar hedónico con calificación de 2 (disgusta mucho) a 10 (gusta mucho) en los cinco atributos considerados: color, sabor, aroma, consistencia o capacidad de gelatinización y aceptabilidad general. Los resultados de estas pruebas indican que no hubo diferencia significativa en ninguno de los atributos evaluados comparando las dos mermeladas, haciendo un análisis de varianza con un 5% de significancia. En la caracterización de esta pectina, el contenido de metoxilos fue de 6.96%, el contenido de ácido anhidro galacturónico fue de 73.46%, la masa equivalente fue 446.04 g/equivalente de OH⁻, una viscosidad relativa de 1.58 Poise a 25° C y 1.42 Poise a 30° C. Finalmente, los estudios de IR presentaron bandas similares a las encontradas en la pectina comercial de limón, sobre todo en las regiones de 3391.84cm⁻¹, 2942.12 y 1749.59, correspondientes al grupo hidroxilo (OH), al C - H alifático y al grupo carbonilo (C=O), respectivamente. Puede concluirse que la pectina obtenida de la cáscara de cacao es aceptable para ser empleada en la industria alimentaria dando un valor agregado a este subproducto.

Palabras clave: Cacao, pectina, gelificación, mermelada, extracción de pectina

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMÁTICA

Hoy en día, más de 20 millones de personas de todo el planeta dependen directamente del cultivo del cacao (*Theobroma cacao*) para subsistir. Prácticamente, el 90% de la producción de cacao procede de minifundios de superficie inferior a 5 hectáreas. El empleo de fertilizantes es bastante limitado; sin embargo, el de insecticidas y fungicidas resulta indispensable debido a la profusión de plagas y enfermedades. Se calcula que alrededor del 30% de la producción de cacao del mundo se pierde a causa de los ataques de unas u otras. Sin embargo, no siempre puede aplicarse un tratamiento químico, ya sea debido a la naturaleza de las plagas o porque los productos son demasiado caros para la mayoría de los agricultores (Montalvo-Sánchez y col., 1996).

En cuanto a la producción de cacao en México, la mayor parte se consume en el país y está distribuida en productos tales como chocolate, manteca de cacao, cacao en grano, pasta de cacao sin grasa y cacao en polvo o cocoa (Enciclopedia de México, 1978). Esta producción, de hecho, cuando es descrita en la literatura, nunca incluye algún uso o destino del fruto integral sino solamente de la semilla.

Actualmente, en las plantaciones de cacao, la cáscara o cubierta externa del fruto, ha sido considerada como un desecho agrícola sin valor alguno, que generalmente es depositado donde se abre la mazorca para extraer el grano o almendra creando así un foco de infección a causa de la pudrición de la cáscara, trayendo como consecuencia, una disminución de la producción de este fruto. La deficiencia en el aprovechamiento del fruto del cacao de manera integral, específicamente de la cáscara y de la pulpa, ha provocado que la industria chocolatera no haya explotado en todo su potencial el fruto del cacao, pues estos subproductos son generalmente considerados como desechos en esta industria y, por lo tanto, son desaprovechados. En ocasiones, sólo son utilizados para alimentar al ganado o simplemente no tienen ningún uso práctico, ni como fertilizantes en las plantaciones ni como alimentos, aprovechando sus propiedades

nutrimentales y/o funcionales, que no son explotadas y aprovechadas por sus productores, provocando problemas de contaminación, atrayendo plagas, etc. Consecuentemente, los productores no gozan de ningún tipo de beneficio ni económico, ni funcional por ellos. Analizando lo anterior, se pensó en el aprovechamiento de la cáscara y la pulpa del cacao, ya que representa un posible valor agregado para los agricultores y esto llegaría a ser un incentivo para aumentar el valor de su cosecha (CLIA, 2000).

Existe información en la literatura que señala la posibilidad de obtener pectinas de este subproducto (Barazarte y col., 2008), por lo que esta investigación se enfocará hacia esta opción.

1.2 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Producir pectina a partir de frutos recolectados del árbol de cacao en el estado de Chiapas a escala de laboratorio comparando su calidad gelificante con una pectina comercial como control.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Obtener pectina a partir de pulpa y cáscara de frutos cacaoteros comerciales del estado de Chiapas, México, de la zona de Tapachula.
- Preparar mermelada de fresa adicionando pectina de cacao y usando como control pectina comercial de limón.
- Realizar pruebas sensoriales usando una prueba sensorial de escala hedónica evaluando los siguientes atributos de las dos mermeladas: Color, sabor, aroma, capacidad de gelatinización y aceptabilidad general.
- Caracterizar la pectina obtenida, determinando el porcentaje de metoxilos, la viscosidad del gel, el porcentaje de ácido galacturónico, la masa equivalente y, finalmente, la realización de un espectro de IR.

1.3 HIPÓTESIS

Es posible obtener de la cáscara y de la pulpa del cacao las sustancias llamadas pectinas con la misma calidad gelificante que las que habitualmente se utilizan en las mermeladas, como las pectinas obtenidas de los cítricos.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

2.1 El cacao

El cacao es un producto de origen mexicano, cuyo nombre científico es: “*Theobroma cacao*” el cual significa: ALIMENTO DE LOS DIOS.

El cacao es uno de los productos agroalimentarios de origen neotropical con mayor importancia comercial. De las 22 especies de *Theobroma* reconocidas, sólo la *Theobroma cacao* representa una actividad comercial importante (Hunter, 1990).

2.1.1 Estructura y composición del grano de cacao

El cacao contiene cerca de 300 compuestos volátiles incluyendo ésteres, hidrocarburo-lactonas, monocarbonilos, piroles y otros más. Los componentes importantes que dan el sabor son ésteres alifáticos, polifenoles, carbonilos aromáticos insaturados, pirazinas y teobromina. El cacao también contiene cerca de 18% de proteínas (8% digeribles); grasas, aminas y alcaloides incluyendo teobromina (0.5 a 2.7%), cafeína (0.25 a 1.43%), tiramina, dopamina, salsolinol, trigonelina, ácido nicotínico o nicótico y aminoácidos libres, taninos, fosfolípidos, etc. En adición a los alcaloides (principalmente teobromina), taninos y otros constituyentes, la cáscara de cacao posee un pigmento que es un poliflavonoglucósido. Este pigmento es muy requerido por ser resistente al calor y a la luz, muy estable a valores de pH de 3 a 11 y muy usado como colorante de alimentos (Kalvatchev y col., 1998; Leung, 1980; Padrón-Gamboa y col., 2004).

Las semillas de cacao están rodeadas por una pulpa aromática la cual procede de sus tegumentos (Fotografía 1). La pulpa mucilaginososa está compuesta por células esponjosas parenquimatosas, que contienen células de savia ricas en azúcares (10-13%), pentosas (2-3%), ácido cítrico (1-2%), y sales (8-10%) (Kalvatchev y col., 1998).



Fotografía 1. Fruto del cacaotero partido a la mitad mostrando las semillas y la pulpa (BotGart, 2009)

2.1.2 Historia

El cacao no fue descubierto por nuestros antepasados españoles sino hasta principios del siglo XVI, cuando Cristóbal Colón y su tripulación, anclados en la isla de Guanaja frente a las costas de lo que hoy es Honduras, recibieron como presente de los habitantes de esta isla unas pequeñas nueces de forma ovalada y color marrón. Con ellas se elaboraba el "*xocolatl*" (agua amarga en náhuatl), una bebida de fuerte sabor que producía una gran energía y vitalidad. La palabra maya con que se designaba al grano "*cacau*" derivaba de la voz antigua "*chacahuaa*". Actualmente, los descendientes mayas lo nombran "chucua". En el imperio azteca, Moctezuma recibía parte de sus tributos en almendras de cacao, porque estimaba mucho sus bayas como monedas. Como bebida, Moctezuma recibía anualmente 400,000 "*countles*", equivalentes a 160 millones de bayas de cacao, útiles para preparar diariamente 50 tazas de chocolate, para su consumo personal. En México, el cultivo del cacao estaba esparcido en toda la zona templada y caliente del país, desde la provincia de Tabasco, hasta Michoacán, Colima, Chiapas y

Campeche. Se producía de manera espontánea, pero también se cultivaban tres variedades principales de la planta: *Quauhcahuatl*, *Xochicahuatl* y *Tlacacahuatl*. Los cacaos más estimados eran los de las provincias de Tabasco y Soconusco o *Xoconocho*, por sus semillas grandes, oleaginosas y de buen sabor (Aguirre, 2005).

El cacao, base del chocolate, es un árbol nativo del trópico americano, especialmente de Mesoamérica. Es muy probable que fueran los olmecas los responsables de su domesticación, hace tres mil años, pero se atribuye a los mayas la difusión de su uso, pues constituyó una parte importante de sus actividades culturales, como alimento, medicina e incluso como parte de su sistema económico como moneda. Los aztecas o mexicas integraron sus usos en su cultura. Por otro lado, hay evidencia que sugiere que antes de la llegada de los españoles también se cultivaba en Sudamérica, principalmente en Perú y Venezuela (Barazarte y col., 2008).

2.1.3 Árbol de cacao

El árbol de cacao es una planta de tipo tropical que crece en climas cálidos y húmedos, por lo general es un árbol pequeño, entre 4 y 8 metros de alto, aunque si recibe sombra de árboles grandes, puede alcanzar hasta los 10 metros de alto. La madera es de color claro, casi blanco, y la corteza es delgada, de color café. El cacao está clasificado en el género *Theobroma*, en la familia Malvaceae (antes en la Sterculiaceae) (Ogata, 2008).

Como ya se mencionó, se conocen 22 especies distintas, que se distinguen por el mayor o menor crecimiento de la planta, la forma de sus hojas, el volumen y coloración del fruto. Las semillas también varían en forma, tamaño y cualidades nutritivas. Las flores del cacao son pequeñas y abundantes, de color amarillo rojizo que al marchitarse dejan un embrión con el fruto que luego crece y se convierte en una especie de baya carnosa en todo su espesor. El grano del cacao es una semilla encerrada en su fruto, similar al pepino. El cacaotero tiene una longevidad de 40 años. Un único árbol puede llegar a dar 100,000 flores a lo largo de un año. Estas flores tienen una vida muy corta, de apenas 48 horas. Una

mazorca de cacao siempre contiene un número par de semillas o habas. El fruto puede alcanzar una longitud de 15 a 25 centímetros. Al abrir el fruto, aparecen acomodadas en la parte carnosas, entre 30 y 40 semillas del cacao, que al lavarse y secarse, son empleadas para preparar la bebida ahora llamada "Chocolate", una castellanización del vocablo náhuatl (Aguirre, 2005).

2.1.4 Producción de cacao

La excesiva importación de cacao y derivados, la falta de apoyo a la producción, comercialización e industrialización y las plagas han afectado severamente al sector cacaotero nacional, que se encuentra en crisis, de acuerdo con organizaciones de productores (Villalba-Sánchez, 2008).

Solamente en Chiapas, en una década se han perdido más de 10 mil hectáreas destinadas al cultivo de este grano y, aunque el gobierno estatal diseñó un programa de rescate, los productores consideran que es insuficiente. En la entidad se cultivan 19 mil 892 hectáreas de cacao, que producen cada año 16 mil 746 toneladas, de acuerdo con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa, 2009). De las 30 mil hectáreas que se dedicaban al cacao en 1993, unas 10 mil se utilizan hoy día para caña, maíz, mango y ganadería, lo que redujo el volumen de las cosechas en más de 16 mil toneladas anuales. De acuerdo con la Sagarpa (2009), para la gran mayoría de los productores el cacao se ha convertido en un cultivo alternativo o complementario, pues sus ingresos no proceden únicamente de ese grano, sino también de la caña o la ganadería, y algunos son simplemente trabajadores agrícolas (Enciclopedia de México, 1978). Las Figuras 1 a 3 presentan, tanto los datos de producción en Guerrero, Oaxaca, Tabasco y Chiapas como a nivel nacional.

Tabasco es el principal productor de cacao en el país aportando un 65% de la producción nacional, aunque hay otros estados productores pero con un nivel más bajo de producción, como Chiapas, Guerrero y Oaxaca (SISPRO CACAO, 2008). En México se cultivan 72,000.00 hectáreas de cacao entre Chiapas y Tabasco, generando una producción de 40,000.00 toneladas al año, aproximadamente (Padrón y col., 2003).

Como la crisis alimentaria cada vez aumenta más, se debe trabajar para alcanzar la utilización óptima de los recursos alimentarios, principalmente de aquellos que son para la alimentación humana directa.

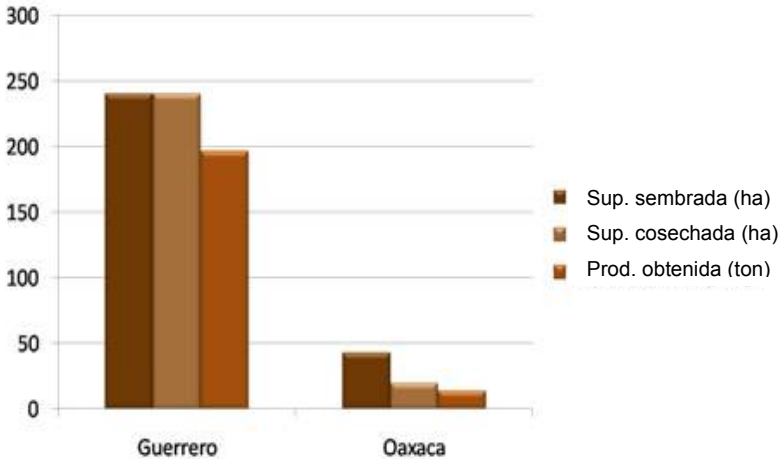


Figura 1. Producción de cacao en los estados de Guerrero y Oaxaca (SISPRO CACAO, 2008)

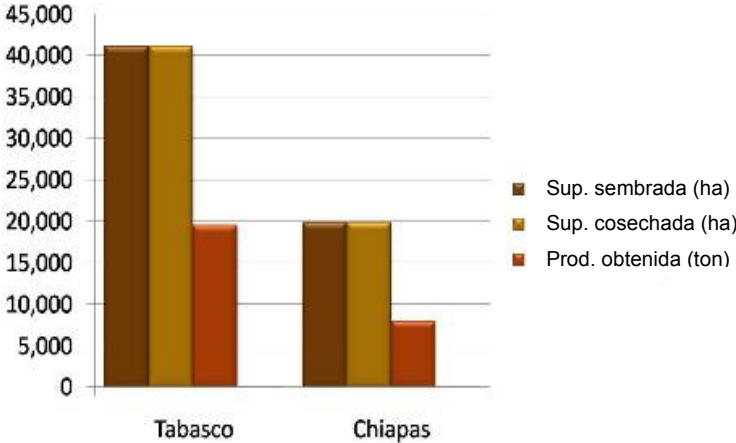


Figura 2. Producción de cacao en los estados de Tabasco y Chiapas (SISPRO CACAO, 2008)

Los efectos de la contaminación ambiental, provocados por las industrias procesadoras de alimentos, pueden reflejarse no solamente en una reducción de la disponibilidad de sus productos por la disminución de la producción de este fruto, sino también en un aumento de los riesgos para la salud, debido a las enfermedades transmitidas por organismos o vectores que proliferan en estos desechos, las llamadas enfermedades de transmisión alimentaria, ETA. También los problemas más comunes que enfrentan los agricultores de la planta del cacao son la mancha negra y el mal del machete, probablemente debidos a las ETA. En nuestro país, la industria trata de obtener productos de utilidad a partir de lo que se considera desperdicio, lo cual resolvería también los problemas de contaminación (Barazarte y col., 2008).

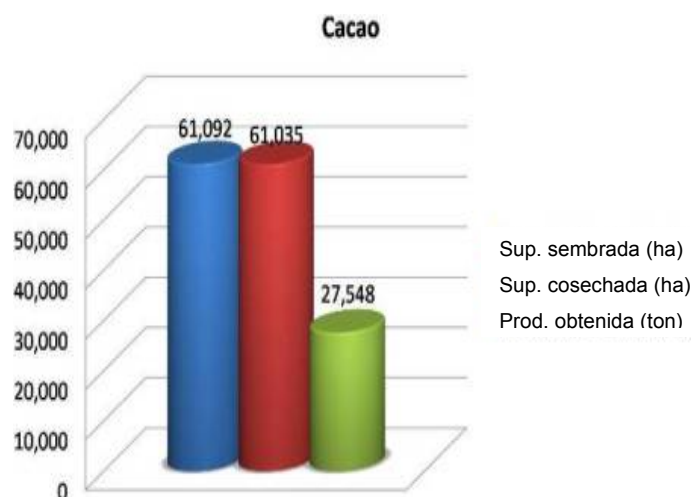


Figura 3. Producción de cacao a nivel nacional (SISPRO CACAO, 2008)

Como ya se mencionó, en la explotación cacaotera sólo se aprovecha económicamente la semilla, que representa aproximadamente un 10% del peso del fruto fresco. Lo anterior ha derivado en serios problemas ambientales debido a que las pulpas y cáscaras se disponen en los terrenos aledaños a los cacaoteros, lo que da lugar a la aparición de olores fétidos y al deterioro del paisaje, así como también a problemas de contaminación de suelos y cuerpos de agua aledaños en la época de lluvias por las escorrentías del agua de lluvia. Los desechos generados, como se dijo arriba, están principalmente constituidos por la cáscara,

que además se considera un foco para la propagación de *Phytophthora*¹ (*Phytophthora*) spp, que es la causa principal de pérdidas económicas de la actividad cacaotera (Barazarte y col., 2008) y por la pulpa que, aunque está principalmente constituida por agua, tiene azúcares que permiten la proliferación de bacterias y otros organismos indeseables. Se ha propuesto en la literatura a las cáscaras de cacao como fuente de pectinas a nivel comercial por su relativo bajo costo (Barazarte y col., 2008). También se ha propuesto su uso para la obtención de espumas de poliuretano para uso hortícola (Padrón-Gamboa y col., 2004).

Dado el contexto anterior, en este estudio se planteó el aprovechamiento integral del fruto del cacao, autóctono de México, para su consumo humano directo, considerando especialmente que la cáscara y la pulpa son actualmente desaprovechados en grandes cantidades ya que al ser arrojados al ambiente circundante, provocan daños en los alrededores de la zona donde se extrae la semilla para la fabricación de productos industrialmente valiosos (tales como la manteca de cacao, la cocoa y el chocolate).

Por lo tanto, esta investigación busca utilizar todo el fruto del cacao; extrayendo de la cáscara y de la pulpa a la pectina, la cual sería otra fuente alternativa a la de cítricos o manzana reaprovechando de esta forma a este valioso componente y dando un valor agregado a este subproducto en beneficio de los agricultores.

2.2 Pectina

La pectina fue descubierta en 1790 cuando Vauquelin encontró una sustancia soluble de los zumos de fruta. El francés Braconnot continuó el trabajo de Vauquelin y encontró una sustancia ampliamente disponible en plantas vivas y que presentaba propiedades gelificantes cuando se le añadía ácido orgánico a su solución.

La llamó pectina ácida del griego “*pectos*” que significa sólido coagulado. La pectina fue definida por Kertesz, en 1951, como los ácidos pectínicos solubles en agua de grado de metilación variado que son capaces de formar geles con azúcar y ácido bajo condiciones determinadas (Pagan, 1996).

¹ Del griego *phytón*, “planta” y *phthorá*, “destrucción”; “el destructor de plantas”

2.2.1 Estructura, función y usos

Las sustancias pécticas son mezclas complejas de polisacáridos que constituyen una tercera parte de la pared celular de las plantas dicotiledóneas y de algunas monocotiledóneas (Hoff y Castro, 1969; Jarvis y col., 1988). El principal constituyente de los polisacáridos pécticos es el ácido o-galacturónico unido en cadenas por medio de enlaces glucosídicos α -(1-4) como se aprecia en la Figura 4.

El uso de las pectinas en la industria de alimentos es muy grande ya que es un ingrediente indispensable para la elaboración y conservación de varios productos alimenticios, como mermeladas, jaleas y helados, entre otros (Anónimo, 2009).

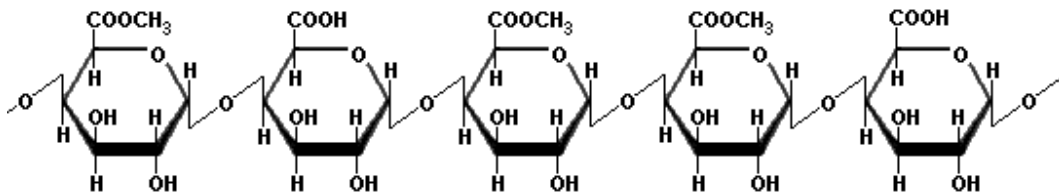


Figura 4. Estructura química de la pectina, un polímero del ácido α -galacturónico con un número variable de metil ésteres (Anónimo, 2009)

Las pectinas comerciales se obtienen principalmente de la cáscara de cítricos y del bagazo de manzana (Baduí, 1999). Sin embargo, se ha intentado la búsqueda de otras fuentes comerciales de pectina con el objetivo de cubrir parcialmente la creciente demanda en el mercado. Fontes (1972) extrajo pectinas del endocarpio de cacao con un rendimiento de 8.0% en base seca, mientras que Adomako (1972) obtuvo un rendimiento de extracción del 8.0 al 11.0% (base seca) a partir de cáscaras de cacao. López y col. (1984) sugirieron el uso de las pectinas de cáscara de cacao en conjunto con las gomas para la elaboración de compuestos adhesivos en la industria farmacéutica. Estos escasos estudios indican el poco conocimiento que se tiene todavía sobre las características y propiedades de la pectina de las cáscaras de cacao. De lograr extraer pectinas de dicha fuente se aumentaría el valor agregado del cacao y podría representar una solución parcial al problema ambiental generado por las cáscaras. La pectina juega un papel

fundamental en el procesamiento de los alimentos como aditivo y como fuente de fibra dietética. Los geles de pectina son importantes para crear o modificar la textura de compotas, jaleas, confites y productos lácteos bajos en grasa. Es también utilizada como ingrediente en preparaciones farmacéuticas como antidiarreicos y desintoxicantes entre otros.

Las pectinas se usan en la industria alimentaria como agentes gelificantes, espesantes, texturizantes, emulsificantes y estabilizantes y como sustitutos de grasa en alimentos de bajo aporte calórico. Su aplicación más común es en la elaboración de mermeladas y jaleas. Esta multifuncionalidad de la pectina es atribuida a la presencia de regiones polares y apolares dentro de su molécula, lo que permite incorporarla a diferentes sistemas alimenticios. También son empleadas en combinación con lípidos en la elaboración de películas comestibles de doble capa y emulsionadas (Morillon y col., 2002; Pastor y col., 2005). En la industria farmacéutica, se aprovecha el uso terapéutico de la pectina como constituyente de la fibra dietaria (Endress, 1991; Thakur y col., 1997). El contenido en pectinas de los tejidos vegetales varía según el origen botánico y anatómico de la planta, tal como se muestra en la Tabla 1 (Navarro y Navarro, 1985).

Tabla 1. Contenido en sustancias pécticas en vegetales y tejidos vegetales (Navarro y Navarro, 1985)

Origen	Contenido en pectina (%)
Papa	2.5
Zanahoria	10.0
Tomate	3.0
Manzana	5.5
Girasol	25.0
Albedo de agrios	32.5
Fibra de algodón	0.7
Pepitas de limón	6.0
Corteza de limón	32.0
Pulpa de limón	25.0
Melocotón	7.5

2.2.2 Características de la pectina

2.2.2.1 Grado de esterificación. Un factor importante que caracteriza las cadenas de pectina es el grado de esterificación (DE) de los grupos carboxilos de los residuos de ácido urónico con alcohol metílico. Las pectinas probablemente se forman inicialmente de manera altamente esterificada, pero experimentan algo de desesterificación después de insertarse en la pared celular (Van Buren, 1991). El grado de esterificación tiene un papel importante en la firmeza y cohesión de los tejidos vegetales. La reducción del grado de esterificación tiene como consecuencia un aumento de la cohesión. Las pectinas están clasificadas como de alto metoxilo y de bajo metoxilo, dependiendo del grado de esterificación como se aprecia en las Figuras 5 y 6 (Van Buren, 1991).

2.2.2.2 Viscosidad y masa molecular. La viscosidad de las soluciones de pectina depende de diferentes variables: grado de esterificación, longitud de la molécula, concentración de electrolitos, valor de pH y, finalmente, de la temperatura.

Pectinas de alto grado de metoxilo (COO-Me), por lo que el grado de este grado de esterificación (GE) es superior al 50%. Por ejemplo el dibujo que se aprecia en seguida contiene el 60% de GE

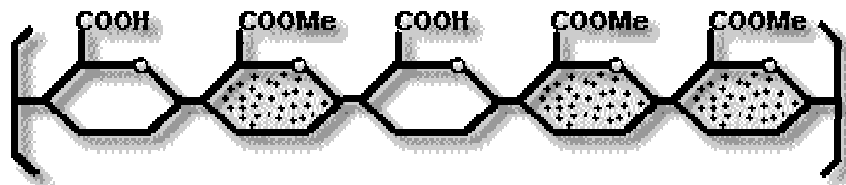


Figura 5. Pectinas de alto metoxilo (COO-Me) (DNSAV, 2009)

Pectinas de bajo grado de metoxilo debido a que su grado de esterificación (GE) es inferior al 50%. Por ejemplo el dibujo que se aprecia en seguida contiene el 40% de GE

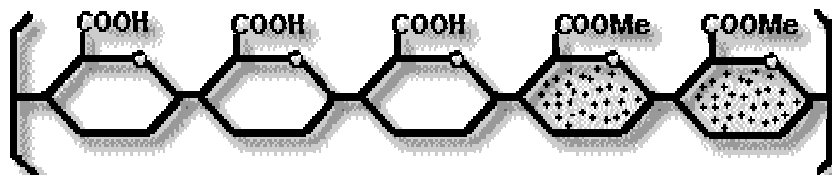


Figura 6. Pectinas de bajo metoxilo (COO-Me) (DNSAV, 2009)

Concentraciones diferentes de un azúcar y diferentes azúcares afectan a la viscosidad de manera diferente. La viscosidad se incrementa marcadamente a medida que la temperatura se acerca a la temperatura de ebullición. La masa molecular de la pectina, relacionada con la longitud de la cadena, es una de las características importantes de la que dependen la viscosidad de sus disoluciones y el comportamiento en la gelificación de las jaleas. La determinación cuidadosa de la masa molecular es difícil, parcialmente debido a la extrema heterogeneidad de las muestras y también debido a la tendencia de las pectinas a agregarse; aún bajo condiciones no favorables a la gelificación (Pagan, 1996).

2.2.2.3 Gelificación. Desde el punto de vista de la tecnología alimentaria, la propiedad más importante de las pectinas es su aptitud para formar geles. Los geles consisten en moléculas poliméricas con enlaces entrecruzados para formar una red interconectada y tupida inmersa en un líquido (Flory, 1953).

Las propiedades del gel son el resultado neto de interacciones complejas entre el soluto y el disolvente. La influencia del agua como disolvente y la naturaleza y magnitud de las fuerzas intermoleculares que mantienen la integridad del gel permiten tener una gran capacidad de retención de agua. Las cualidades de la pectina que influyen en los caracteres del gel son: la longitud de la molécula péctica, el grado de esterificación y la proporción entre los grupos hidrofóbicos e hidrofílicos.

- ❖ La longitud de la molécula condiciona la rigidez o la firmeza del gel. A valores de longitud muy bajos una pectina no da geles, cualquiera que sea la dosis empleada y las restantes condiciones del medio.
- ❖ El grado de esterificación contribuye por un lado a regular la velocidad de gelificación y también es responsable de algunas propiedades organolépticas de los geles pectina-azúcar ácido que forman las pectinas de alto metoxilo.
- ❖ La proporción entre los grupos hidrofóbicos e hidrofílicos en la molécula de pectina determina la solubilidad de ésta. El grupo éster es menos hidrofílico que el grupo ácido, en consecuencia, una pectina de alto metoxilo con un

alto grado de esterificación gelifica a temperaturas más altas que otra con menor grado de esterificación. Esta diferencia se refleja en la clasificación de las pectinas en pectinas de gelificación rápida, normal o lenta. Los factores del medio más importantes que influyen en la formación del gel son: la temperatura, el pH, los iones calcio, la concentración de azúcar y otros solutos.

- ❖ Temperatura. Cuando se enfría una solución caliente que contiene pectina las energías térmicas de las moléculas decrecen y su tendencia a gelificar aumenta. Cualquier sistema que contenga pectina tiene un límite superior de temperatura por encima de la cual la gelificación nunca ocurrirá. Por debajo de esta temperatura crítica, las pectinas de bajo metoxilo gelifican casi instantáneamente mientras que la gelificación de las de alto metoxilo dependen del tiempo. En contraste con las pectinas de bajo metoxilo, las de alto no son termorreversibles.
- ❖ pH. La pectina es un ácido con un pK de aproximadamente 3.5. Un porcentaje alto de grupos ácido disociados respecto a no disociados hace la pectina más hidrofílica. Por lo tanto, la tendencia a gelificar aumenta considerablemente al bajar el pH. Esto se hace especialmente evidente en pectinas de alto metoxilo las cuales requieren normalmente un pH por debajo de 3.5 para gelificar.
- ❖ Iones calcio. Al contrario que las pectinas de alto metoxilo, las pectinas de bajo metoxilo desesterificadas requieren bastante calcio y un rango estrecho de dicho catión para una óptima gelificación. Las pectinas de bajo metoxilo amidadas muestran más flexibilidad al respecto. Para ambos tipos de pectina, un incremento en la concentración de calcio implica un aumento de la fuerza del gel y también un aumento de la temperatura de gelificación (Pagan, 1996).
- ❖ Azúcar y otros solutos similares. Estos hidratos de carbono tienden generalmente a deshidratar las moléculas de pectina en solución. Cuantos más sólidos en solución existan, menos agua estará disponible para actuar como disolvente de la pectina; por lo tanto, la tendencia a gelificar se ve

favorecida (Figura 7). En valores de sólidos solubles superiores al 85% el efecto deshidratante es tan fuerte que la gelificación de la pectina es muy difícil de controlar. Las pectinas de alto metoxilo gelifican a valores de sólidos solubles por encima del 55%. Para cada valor de sólidos solubles superiores al 55% hay un valor de pH en el cual la gelificación es óptima y un rango de pH en el que, en la práctica, se puede gelificar. Las pectinas de bajo metoxilo pueden gelificar a cualquier valor de sólidos solubles, la temperatura de gelificación disminuye al disminuir el contenido de sólidos solubles (Pagan, 1996).

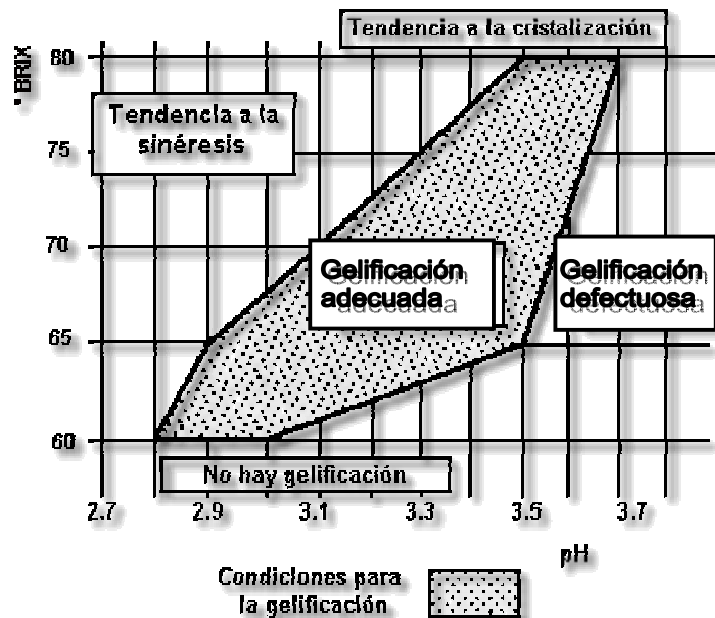


Figura 7. Condiciones de gelificación de las pectinas de alto metoxilo (DNSAV, 2009)

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

La realización de la parte experimental de esta investigación se llevó a cabo en 3 etapas:

1. Extracción de la pectina
2. Aplicación de la pectina en un producto comercial (mermelada de fresa)
3. Caracterización de la pectina

3.1 Extracción de la pectina

3.1.1 Preparación de la muestra

Las mazorcas de cacao (Fotografía 2) fueron cortadas transversalmente en dos mitades y se separaron manualmente las semillas de la cáscara. Las cáscaras se cortaron en trozos de 5cm, se deshidrataron junto con la pulpa en estufa a 55°C durante 36 – 48 h y se molieron. El producto final se colocó en envases de vidrio cerrados herméticamente y se almacenaron a temperatura ambiente para su posterior utilización. En la Figura 8 se muestra el diagrama de bloques para la obtención de la harina de cáscara y pulpa de cacao.



Fotografía 2. Granos de cacao. Fotografía tomada en el Laboratorio 301 del Conjunto E, al llegar el fruto del cacaotero el 30-Dic-2009

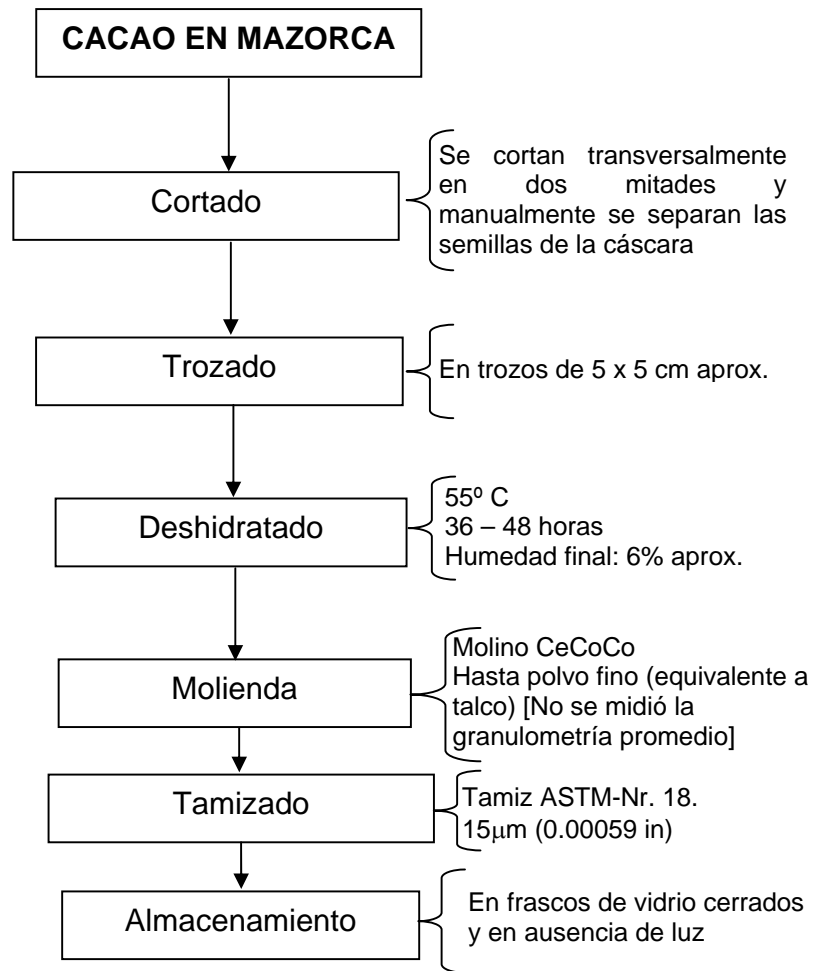


Figura 8. Diagrama de flujo para la obtención de la harina de cacao

3.1.2 Extracción de la pectina

Para esta etapa se extrajo la pectina de la cáscara de cacao a dos valores de pH (3 y 4) y a dos temperaturas de extracción (80 y 90°C). Se utilizó el método de McCready (1970) modificado para el proceso: Una porción de 60 g de cáscara de cacao deshidratada (en horno a 55°C) y molida (en un molino CeCoCo para cereales) fue colocada en un vaso de precipitados de 1000 mL y mezclada con 800 mL de EDTA al 0.5%. Luego se ajustó el pH con HCl 1.0 N o con NaOH 1.0 N, según el caso. Posteriormente, se calentó 60 min en baño María a la temperatura de trabajo seleccionada. Se enfrió rápidamente la dispersión (baño de hielo) hasta temperatura ambiente y se filtró dos veces más en tela de “liencillo” (tela de

algodón de malla cerrada). Los sólidos de la dispersión fueron colocados en un vaso de precipitado de 1000 mL y se dispersaron con 600 mL de agua destilada para ajustar el pH y repetir el proceso de extracción una vez más. Todos los extractos se unificaron y se centrifugaron a 2700 rpm, durante 15 min, para separar los sólidos en suspensión. El extracto obtenido se mezcló con 1.5 volúmenes de etanol al 95% conteniendo HCl al 1.0%. Se dejó reposar durante 12–15 h. Se separó el precipitado por centrifugación a 5000 rpm durante 10 min y el residuo se lavó con 500 mL de etanol al 70% separando por centrifugación a 5000 rpm por 10 min el mismo precipitado. El lavado se repite una vez con 300 mL de etanol al 95% y con 20 mL de acetona. El precipitado obtenido se secó en una estufa convencional a 40°C hasta tener una masa constante.

En la Figura 9, se muestra el diagrama de bloques de la metodología experimental seguida en la obtención de pectina a partir de los subproductos del cacao (Barazarte y col., 2008).

3.2 Aceptabilidad de una mermelada de fresa con pectina de cáscara de cacao

Con la pectina obtenida de la cáscara de cacao se preparó mermelada de fresa, la cual fue comparada con otra mermelada hecha a partir de pectina de limón. Para elaborar las mermeladas, se utilizaron 45% de fruta fresca (fresa), 55% de azúcar y 0.1% de pectina (Tabla 2). A las 24 horas de su elaboración, se realizaron pruebas afectivas a un panel de 50 personas (jueces no entrenados), usando la prueba de escala hedónica para evaluar los siguientes atributos de las dos mermeladas: Color, sabor, aroma, consistencia o capacidad de gelatinización y aceptabilidad general. La escala comprende de 2 a 10 puntos. A cada una de las preguntas 1-5 del cuestionario aplicado se les dio un valor numérico: Gusta mucho = 10. Gusta moderadamente = 8. Me es indiferente = 6. Disgusta moderadamente = 4. Disgusta mucho = 2, siguiendo la metodología propuesta por Pedrero y Pangborn (1996). Para esta evaluación se les pidió a un grupo de jueces (50 consumidores habituales) que contestaran las preguntas del cuestionario que se presenta en la Tabla 3.

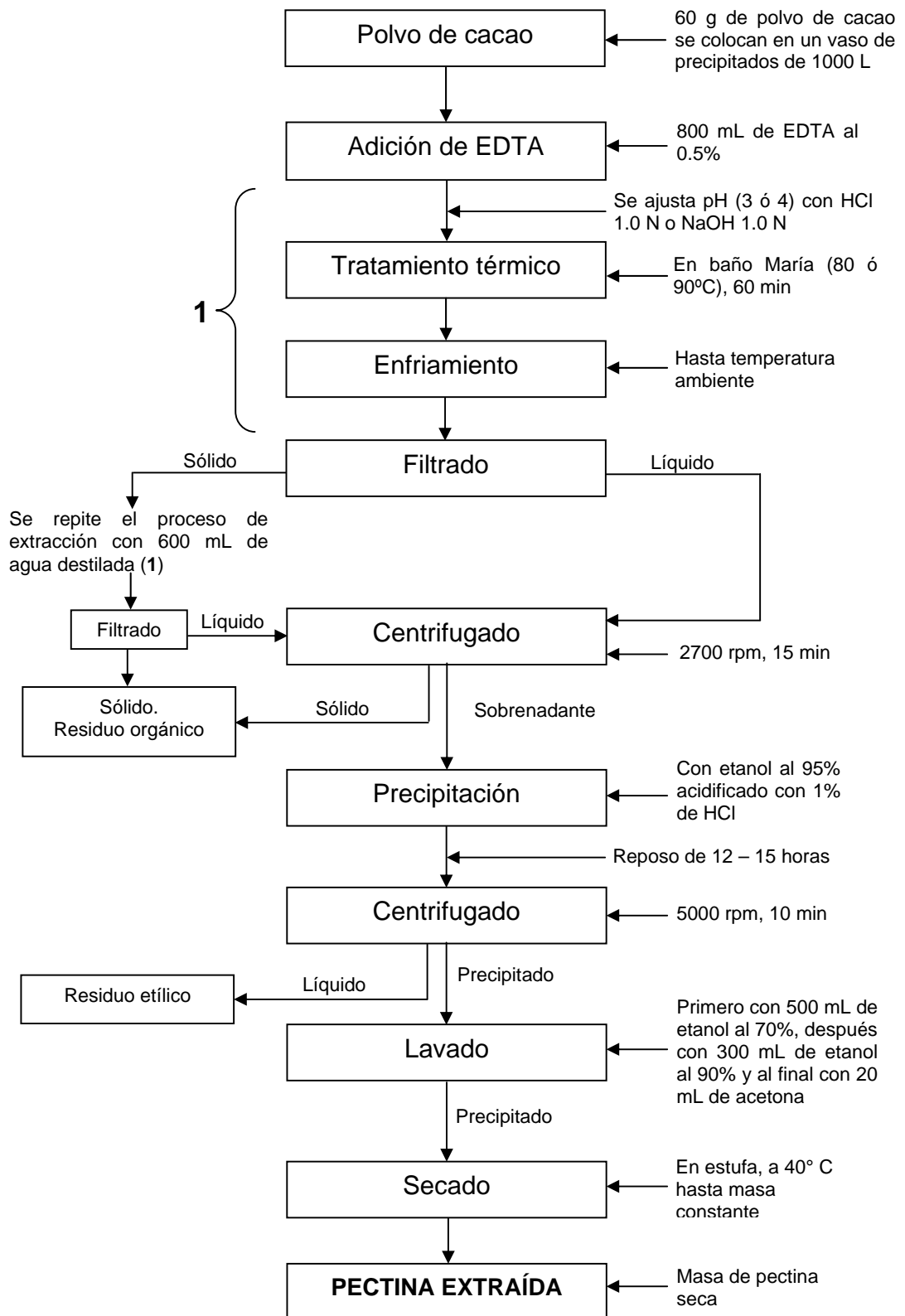


Figura 9. Diagrama de bloques del método experimental a seguir para obtener la pectina de los subproductos del cacao (Barazarte y col., 2008)

Tabla 2. Formulación para las mermeladas hechas con pectina cítrica y pectina extraída del cacao

Ingrediente	Porcentaje, %	Cantidad (g)
Fresa	45	85
Azúcar	55	103.9
Pectinas (comercial y de cacao para cada mermelada)	0.1	1.549

Los datos obtenidos del análisis sensorial fueron evaluados estadísticamente mediante un análisis de varianza a un nivel de significancia del 95% (Pedrero y Pangborn, 1996).

3.3 Caracterización de la pectina

Para esta parte, se determinó el porcentaje de metoxilos, el contenido de ácido anhidro galacturónico (AAG), la masa equivalente, la viscosidad relativa y la realización de espectroscopía infrarroja de la muestra de pectina obtenida para su caracterización.

3.3.1 Porcentaje de metoxilos

Se utilizó una solución de 0.5 g de pectina de cacao en 100 mL de agua destilada; esta solución se tituló con NaOH 0.1N (**meq A**). Luego se añadieron 25 mL de NaOH 0.25N, dejándose reposar la solución por 30 min. Después de este tiempo, se agregaron 25 mL de HCl 0.25 N y se tituló con una solución de NaOH 0.25 N (**meq B**). (Gierselmer, 1997). El porcentaje de metoxilos se calculó con la **ecuación 1**:

$$\% \text{ metoxilos} = \frac{\text{gasto (mL)} \times \text{Normalidad} \times 3.1}{\text{masa muestra (g)}} \dots (1)$$

3.3.2 Masa equivalente

La masa equivalente se obtiene relacionando la masa de la muestra de pectina en mg entre los meq de NaOH en la primera titulación (meq A).

Tabla 3. Cuestionario para los jueces
INSTRUCCIONES: Frente a usted tiene dos muestras de mermelada;
identifique la clave, pruebe e indique con una x la respuesta que más se
acerque a su opinión

(819)	(223)
¿Cuánto le gusta el sabor de la mermelada? -----Gusta mucho -----Gusta moderadamente -----Me es indiferente -----Disgusta moderadamente -----Disgusta mucho	¿Cuánto le gusta el sabor de la mermelada? -----Gusta mucho -----Gusta moderadamente -----Me es indiferente -----Disgusta moderadamente -----Disgusta mucho
¿Cuánto le gusta el color de la mermelada? -----Gusta mucho -----Gusta moderadamente -----Me es indiferente -----Disgusta moderadamente -----Disgusta mucho	¿Cuánto le gusta el color de la mermelada? -----Gusta mucho -----Gusta moderadamente -----Me es indiferente -----Disgusta moderadamente -----Disgusta mucho
¿Cuánto le gusta el olor de la mermelada? -----Gusta mucho -----Gusta moderadamente -----Me es indiferente -----Disgusta moderadamente -----Disgusta mucho	¿Cuánto le gusta el olor de la mermelada? -----Gusta mucho -----Gusta moderadamente -----Me es indiferente -----Disgusta moderadamente -----Disgusta mucho
¿Cuánto le gusta la consistencia? -----Gusta mucho -----Gusta moderadamente -----Me es indiferente -----Disgusta moderadamente -----Disgusta mucho	¿Cuánto le gusta la consistencia? -----Gusta mucho -----Gusta moderadamente -----Me es indiferente -----Disgusta moderadamente -----Disgusta mucho
Aceptación general. -----Gusta mucho -----Gusta moderadamente -----Me es indiferente -----Disgusta moderadamente -----Disgusta mucho	Aceptación general. -----Gusta mucho -----Gusta moderadamente -----Me es indiferente -----Disgusta moderadamente -----Disgusta mucho
¿Cuál de las 2 mermeladas prefiere?	Clave _____
¿Consume frecuentemente mermelada?	Sí No

3.3.3 Contenido de ácido anhidro galacturónico

Esta determinación es esencial para determinar la pureza de la pectina. Se realizó empleando el mismo procedimiento utilizado para el porcentaje de metoxilos, pero aplicando la **ecuación 2** (Gierselmer, 1997):

$$\% \text{ AAG} = \frac{176 \times 100 \times (\text{meqA} + \text{meqB})}{\text{mg de pectina}} \quad \dots (2)$$

3.3.4 Viscosidad relativa

Para esta determinación se preparan 100 mL de una solución que contiene 0.1g de pectina, 0.8g de NaCl y 0.2g de hexametáfosfato de sodio. Para ello se utiliza un viscosímetro de Cannon-Fenske número 50 empleado a dos temperaturas (25 y 30°C). Se determina el tiempo de escurrimiento (el cual es el tiempo que tarda en pasar la solución por el capilar del viscosímetro) y se repite el procedimiento utilizando agua a la misma temperatura (como referencia). Con los datos de la densidad y del tiempo, se determinaron la viscosidad relativa de la solución que contiene pectina. Esta determinación se realizó tanto para la pectina comercial, como para la pectina de cacao (Gierselmer, 1997).

3.3.5 Espectrometría infrarroja

Para corroborar la similitud entre los grupos funcionales contenidos en la pectina obtenida del cacao, contra la pectina evaluada comercialmente, se efectuó un análisis de espectrometría infrarroja (IR) entre ambas pectinas.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Extracción de pectina

En la Tabla 4 se muestran las condiciones a las que se llevó a cabo la extracción de la pectina y en la Tabla 5 se ven los rendimientos obtenidos para cada lote.

Tabla 4

Condiciones de hidrólisis para la extracción de pectina de cáscara y pulpa de cacao

Extracción por cada lote	Valor de pH	Temperatura (°C)
1	3	80
2	3	90
3	4	80
4	4	90

Tabla 5

Rendimientos de extracción obtenidos en cada lote

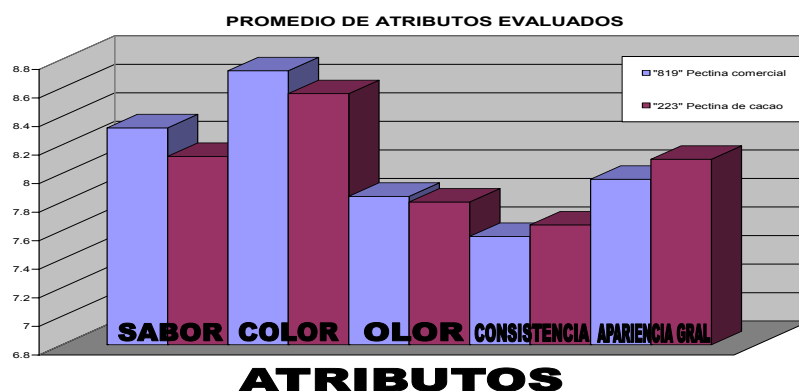
Extracción por cada lote	Rendimiento obtenido en cada extracción por cada 60 g de harina de la mezcla de cáscara y pulpa (%)
1 (pH=3, T=80°C)	2.655
2 (pH=3, T=90°C)	2.097
3 (pH=4, T=80°C)	1.165
4 (pH=4, T=90°C)	3.635

La pectina extraída de la cáscara de cacao presentó un color pardo, el cual era un color diferente al de la pectina comercial. Al elaborar la mermelada, se pensó que el color sería diferente al de la mermelada con pectina de cítrico, pero se observó que el color de ambas mermeladas era similar (solamente un 0.1% de adición parece no haber alterado el color rojo de la fresa). Por lo tanto, al evaluar ese

atributo se observó que el color de la pectina no afectó la calidad del producto final.

4.2 Aceptabilidad de una mermelada de fresa con pectina de cáscara de cacao

Como ya se mencionó en la metodología, en la formulación de la Tabla 2 se empleó la misma cantidad de pectina para ambas mermeladas, variando solamente el tipo de pectina. Para comparar y determinar si había diferencia significativa entre las dos mermeladas se realizaron pruebas de nivel de agrado evaluando los siguientes atributos: sabor, color, olor, consistencia, y apariencia en general. La consistencia de las mermeladas no se midió de manera objetiva sino solamente de manera afectiva con una prueba sensorial de escala hedónica empleando la capacidad de gelatinización de ambas, la pectina de cáscara y pulpa de cacao y la pectina de limón comercial. Al evaluar 5 diferentes atributos en la mermelada (color, olor, sabor, consistencia y apariencia general) se obtuvo un promedio de ambas mermeladas (Gráfica 1) y se promediaron los resultados para observar claramente la existencia o no de una diferencia entre ambas mermeladas, la elaborada con pectina cítrica y la elaborada con pectina de cáscara y pulpa de cacao. Como ya se mencionó, los resultados obtenidos en la prueba sensorial se analizaron estadísticamente con un análisis de varianza y un nivel de significancia del 95%, con la finalidad de conocer la existencia de diferencias significativas entre las mermeladas, evaluando los 5 atributos ya mencionados.



Gráfica 1. Atributos evaluados en la prueba sensorial

Tabla 6. Análisis de varianza del atributo SABOR

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	f	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	141.16	49	2.880816327	0.973517241	0.537230813	1.607289464
Columnas	1	1	1	0.337931034	0.563690585	4.038392482
Error	145	49	2.959183673			
Total	287.16	99				

La Tabla 6 presenta los resultados obtenidos para SABOR. Observándola, puede decirse que no hubo diferencia significativa entre ambas mermeladas con un nivel de significancia del 95%, ya que la f calculada es menor que la de tablas, F . Tampoco hubo diferencia significativa entre los jueces ($f < F$: No existe diferencia significativa en cuanto al **sabor** entre ambas mermeladas). Al analizar los datos sobre color (Tabla 7), puede verse que tampoco existe una diferencia significativa entre las dos mermeladas (nivel de significancia de 95%), ni entre los jueces, ya que la f calculada es menor que la de tablas, F ($f < F$: No existe diferencia significativa en **color** entre ambas mermeladas). Para el caso de OLOR, cuyos datos se presentan en la Tabla 8, se aprecia que no existe una diferencia significativa entre las dos mermeladas (nivel de significancia de 95%), ni entre los jueces, ya que la f calculada fue menor que la F de tablas ($f < F$: No existe diferencia significativa en **olor** entre ambas mermeladas).

Tabla 7. Análisis de varianza del atributo COLOR

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	f	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	103.04	49	2.102857143	0.809045	0.769497384	1.607289464
Columnas	0.64	1	0.64	0.246231	0.621960107	4.038392482
Error	127.36	49	2.599183673			
Total	231.04	99				

Tabla 8. Análisis de varianza del atributo OLOR

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	f	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	166.76	49	3.403265306	1.20875616	0.25472191	1.607289464
Columnas	0.04	1	0.04	0.01420702	0.90560964	4.038392482
Error	137.96	49	2.815510204			
Total	304.76	99				

Como ya se dijo, la CONSISTENCIA de las mermeladas no se midió de manera objetiva sino solamente de manera afectiva con la prueba escalar hedónica empleando la CAPACIDAD DE GELATINIZACIÓN y tampoco se encontró alguna diferencia significativa entre las dos mermeladas (nivel de significancia de 95%) ya que la f calculada es menor que la de tablas, F (Tabla 9) ($f < F$: No existe diferencia significativa en **consistencia** o **capacidad de gelatinización** entre ambas mermeladas). En cambio, si existe diferencia significativa entre los jueces, ya que la f calculada es mayor que la F de tablas. Ésta es una indicación de que este atributo es difícil de definir sensorialmente por parte de los jueces ($f > F$: Sí existe diferencia significativa en **consistencia** o **capacidad de gelatinización** entre jueces).

Tabla 9. Análisis de varianza del atributo CONSISTENCIA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	f	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	288	49	5.87755102	1.7159199	0.030809514	1.607289464
Columnas	0.16	1	0.16	0.0467112	0.82978549	4.038392482
Error	167.84	49	3.425306122			
Total	456	99				

En la Tabla 10 se presenta la información sobre APARIENCIA GENERAL. En ella se aprecia que no existe una diferencia significativa entre la APARIENCIA GENERAL de las dos mermeladas (nivel de significancia de 95%) ya que la f calculada es menor a la F de tablas. Tampoco hubo una diferencia significativa entre jueces ($f < F$: No existe diferencia significativa en **apariencia general** entre ambas mermeladas).

Tabla 10. Análisis de varianza del atributo APARIENCIA GENERAL

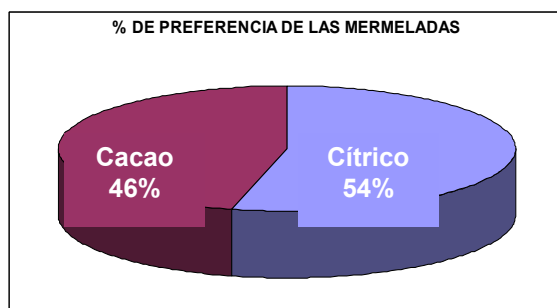
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	f	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	142.41	49	2.906326531	1.3960396	0.123201234	1.607289464
Columnas	0.49	1	0.49	0.23536908	0.629733059	4.038392482
Error	102.01	49	2.081836735			
Total	244.91	99				

De los resultados anteriores puede observarse que no se encontraron diferencias significativas entre los atributos de sabor, color, olor, consistencia y apariencia general. Sin embargo, sí hubo una diferencia significativa entre los jueces en el atributo de consistencia, lo cual es de esperarse pues cada juez tiene una percepción diferente en cuanto a la consistencia o capacidad de gelatinización. Es importante mencionar que los jueces eran consumidores habituales pero no estaban entrenados para diferenciar puntualmente consistencia o capacidad de gelatinización. En el cuestionario se les preguntó cuál era la mermelada de su preferencia. Cabe aclarar que no se permitieron empates. En la Gráfica 2 se observan los niveles de preferencia para ambas mermeladas.

4.3 Caracterización de la pectina: porcentaje de metoxilos y ácido anhidro galacturónico

La experimentación que se hizo para obtener el porcentaje de metoxilos, se hizo por duplicado y con los resultados arrojados se hicieron los cálculos pertinentes

para determinar el contenido de ácido anhidro galacturónico (AAG) y la masa equivalente. En la Tabla 11 se presentan los resultados de la determinación y el promedio de cada uno. En la sección 4.4 se discuten estos resultados.



Gráfica 2. Aceptación (%) de mermeladas elaboradas con pectinas de cacao y cítrica comercial

Tabla 11. Porcentaje de contenido de metoxilos, AAG, y masa equivalente de pectina extraída

	% de metoxilo (g/100g)	% AAG (g/100g)	Masa equivalente (g/equivalente de OH ⁻)
1	6.69	70.31	462.75
2	7.23	76.60	429.32
x	6.96 ± 0.381	73.46 ± 4.448	446.04 ± 23.638

AAG, ácido anhidro galacturónico; x, promedio de los resultados 1 y 2

4.3.1 Viscosidad relativa

La viscosidad relativa se realizó con el objetivo de realizar una comparación con la pectina comercial y se determinaron a dos temperaturas, (25 y 30°C) (Tabla 12). No se observan diferencias entre ambos valores ($p < 0.05$).

Tabla 12. Viscosidad relativa de la pectina de cacao y pectina comercial, determinadas a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	η relativa (Poise) Pectina de cacao	η relativa (Poise) Pectina comercial
25	1.44 ± 0.014	1.47 ± 0
30	1.36 ± 0.28	1.40 ± 0.014

4.3.2 Espectro de IR

Para la pectina comercial (Figura 10), las bandas características mostradas en el espectro de IR fueron las de 3391.84 cm^{-1} correspondiente al grupo funcional OH^- , la de 2942.12 cm^{-1} correspondiente al C-H alifático, la de 1749.59 cm^{-1} correspondiente al grupo carbonilo C=O del $-\text{COOMe}$, la de 1630.17 cm^{-1} perteneciente al grupo carbonilo C=O del $-\text{COOH}$, la de 1105.01 cm^{-1} correspondiente a la vibración del enlace $-\text{C}-\text{O}$ y, finalmente, la del COOH de 1015.14 cm^{-1} .

Para la pectina de cacao (Figura 11), se presentaron las siguientes bandas características de 3353.97 cm^{-1} del grupo funcional OH, la de 2962.65 cm^{-1} del C-H alifático, la de 1681.87 cm^{-1} del grupo carbonilo C=O de $-\text{COOMe}$, la de 1616.48 cm^{-1} perteneciente al grupo carbonilo C=O del $-\text{COOH}$, la de 1094.20 cm^{-1} correspondiente al enlace $-\text{C}-\text{O}$ y, finalmente, la del grupo COOH correspondiente a la banda 789.66 cm^{-1} .

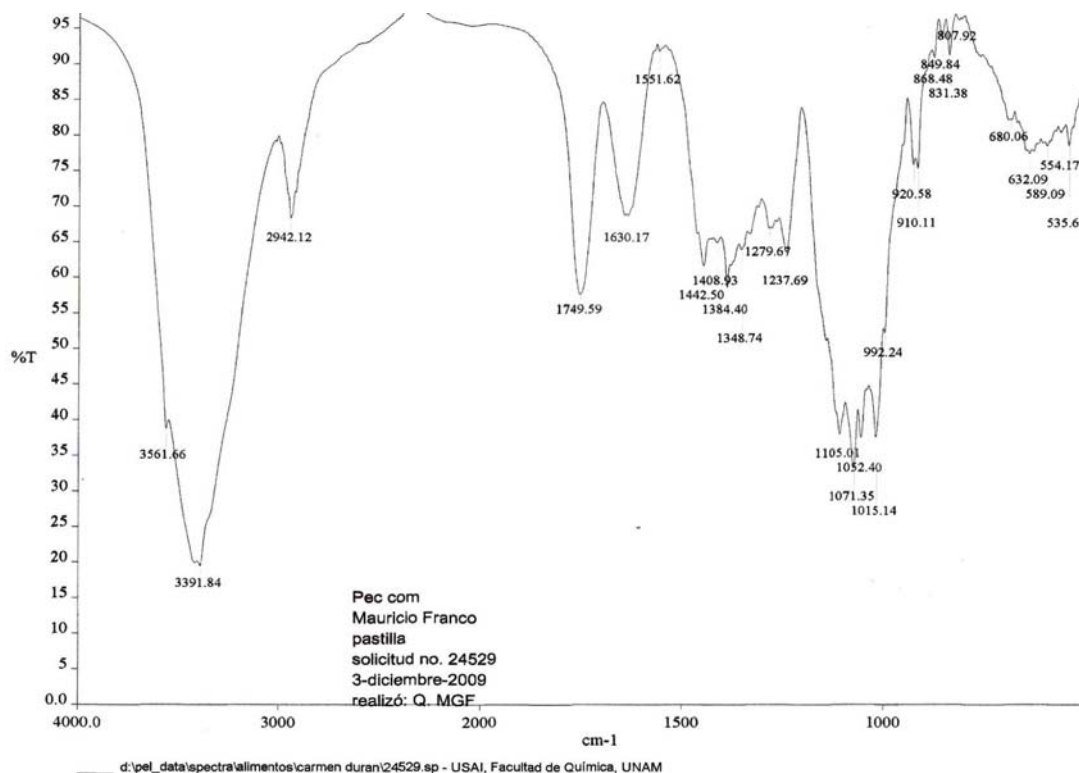


Figura 10. Espectro infrarrojo de la pectina comercial

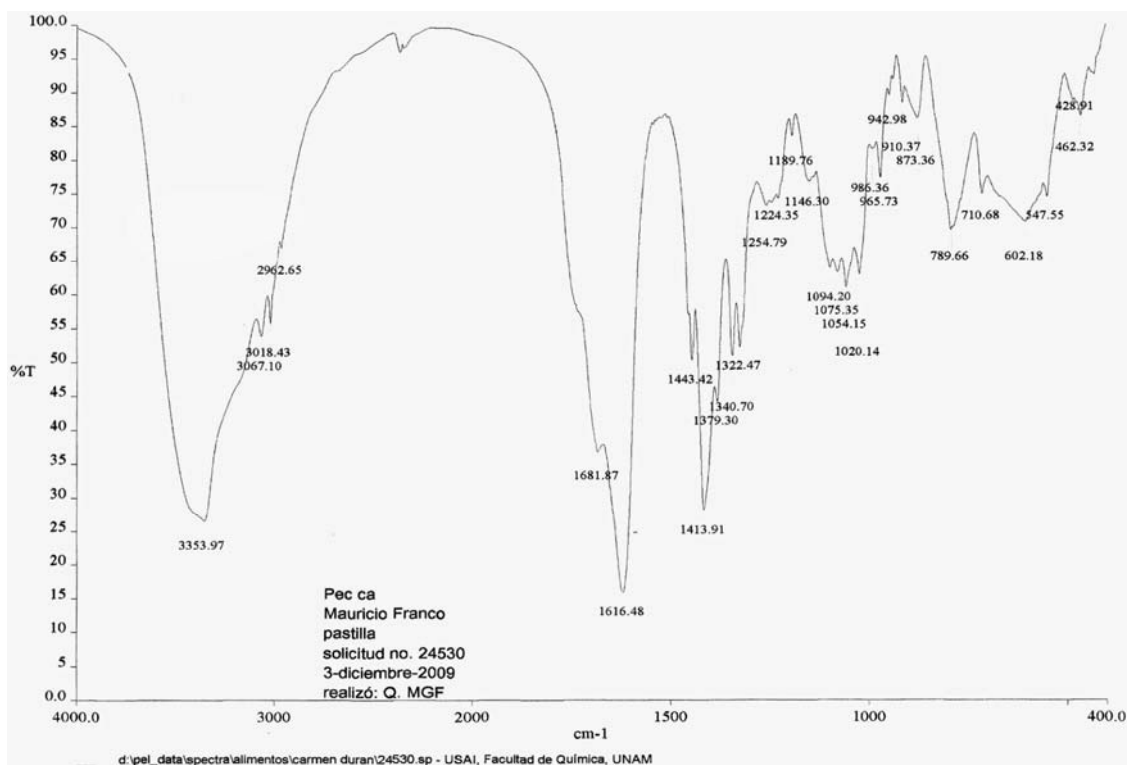


Figura 11. Espectro infrarrojo de la pectina de cacao

En la Tabla 13 se resumen las vibraciones que se obtuvieron de los grupos funcionales en los espectros de IR entre ambas pectinas.

Tabla 13. Espectro infrarrojo de la pectina de cacao y la pectina comercial

Pectina de cacao	
Señales (cm⁻¹)	Asignaciones y observaciones
3353.97	Banda correspondiente al grupo funcional OH ⁻
2962.65	Banda correspondiente al enlace C-H alifático
1681.87	Banda correspondiente al grupo carbonilo C=O de -COOMe
1616.48	Banda correspondiente al grupo carbonilo C=O del -COOH
1094.20	Banda correspondiente a la vibración del enlace -C-O
789.66	Banda δ del grupo -COOH
Pectina comercial	
Señales (cm⁻¹)	Asignaciones y observaciones
3391.84	Banda correspondiente al grupo funcional OH ⁻
2942.12	Banda correspondiente al enlace C-H alifático
1749.59	Banda correspondiente al grupo carbonilo C=O de -COOMe
1630.17	Banda correspondiente al grupo carbonilo C=O del -COOH
1105.01	Banda correspondiente a la vibración del enlace -C-O
1015.14	Banda δ del grupo -COOH

4.4 Discusión final

- Extracción de pectinas

Para la extracción de pectinas se trabajó con 4 diferentes condiciones, variando en dos niveles el valor de pH (3 y 4) y de temperatura (80 y 90°C). Para todos los casos se obtuvieron rendimientos bajos, desde 1.16% a 3.63%, considerando que la literatura indica rendimientos cercanos al 8% de pectina extraída de la cáscara y pulpa de cacao (Barazarte y col., 2008). Al observar que en las dos primeras extracciones el rendimiento era bajo, se cambió el material de algodón con el cual se filtraba la suspensión para eliminar sólidos no solubles y, aunque hubo un incremento en el rendimiento, éste fue mínimo. Esto significa que esta operación unitaria de filtración parece ser crucial para la eficiencia de recuperación. En la bibliografía se menciona el medio filtrante como tela de liencillo (que se supuso que era equivalente a manta de cielo o gasa, en México). Dado que esta variable es de suma importancia para mejorar el rendimiento, se deberán probar a futuro otros materiales. Otro aspecto que se deberá considerar en la fase experimental futura es la precipitación de la pectina, que requiere de alcohol, para que se precipite una mayor proporción de la pectina y evitar su pérdida con el filtrado en estado líquido. La temperatura y el pH que tuvieron los mejores resultados en el rendimiento de extracción fueron: a pH de 4 y temperatura de 90°C, con un porcentaje de 3.63%. A pH de 3 se obtuvo 2% de extracción. El tratamiento más pobre fue a pH de 4 y a una temperatura de 80°C. Con base en estos resultados puede decirse que un pH de 4 y a una temperatura de 90°C, son las mejores condiciones obtenidas en esta investigación para extraer pectina del cacao estudiado. El rendimiento de pectina extraída a esta temperatura (90°C) se puede atribuir al mayor rompimiento entre los enlaces presentes en la protopectina generado por el aumento de temperatura. La protopectina representa un grupo de sustancias insolubles en agua presentes en las paredes celulares vegetales, a partir de las cuales, bajo hidrólisis, se obtienen las pectinas (Blakemore, 1966).

- Preparación de mermelada

La formulación para ambas mermeladas fue la misma y lo único que se varió fue la pectina utilizada, ya que se quería estimar la existencia de alguna diferencia en la consistencia de la mermelada al agregar la pectina extraída de la cáscara y pulpa del cacao con respecto del control de la pectina comercial. Dado que los rendimientos de pectina de cáscara y de la pulpa de cacao fueron bajos, la cantidad de mermelada producida fue la requerida únicamente para la realización de pruebas sensoriales (50 jueces).

- Análisis sensorial

El número de jueces no entrenados fue de 50, los cuales eran consumidores reales de mermelada (última pregunta del cuestionario), para tener más confiabilidad en los resultados. De estos resultados destaca el hecho de que no hubo diferencia significativa en los diferentes atributos entre las dos mermeladas. Esto indica que los jueces no pudieron distinguir una diferencia entre ambas mermeladas en los cinco atributos. Este resultado era de esperarse para color, sabor, olor y apariencia en general, mientras que para consistencia, se esperaba que sí existiera una diferencia significativa, pues en estudios anteriores se reportó que la pectina extraída del cacao presentó un bajo índice de metoxilo (Barazarte y col., 2008). Sin embargo, en este caso, la mermelada que tenía pectina de cáscara y pulpa de cacao tuvo, de acuerdo con los jueces, una consistencia similar a la mermelada elaborada con pectina comercial (cítrico). La muestra de la mermelada de pectina de cítrico presentó una mayor aceptación en general que la mermelada hecha con pectina de cacao (54 vs 46%), pero la diferencia fue mínima y no significativa.

- Caracterización de la pectina

El porcentaje de metoxilos fue, en promedio, de 6.96%. A estas pectinas se le debe considerar de bajo metoxilo ya que existe un predominio de pectinas que se caracterizan por tener un grado de metilación menor al 7% (Baduí, 1999; Corona y col., 1996; Pilgrim y col., 1991). Sin embargo, a pesar de que se trata de una pectina de bajo metoxilo, al momento de elaborar las mermeladas de fresa, los

panelistas no detectaron alguna diferencia en la consistencia entre la mermelada elaborada con pectina extraída del cacao y la mermelada elaborada con pectina comercial. El contenido de AAG fue en promedio de 73.46%. El contenido de AAG indica la pureza de la pectina extraída, la pureza de la pectina de cacao es aceptable, ya que debe tener un mínimo de 78% de contenido de AAG (Multon, 1988). La pureza fue mayor a la determinada en pectinas procedentes de otras fuentes no convencionales: 66% en pulpa de remolacha azucarera (Michel y col., 1985), 71.4% en cabezas de girasol (Chang y col., 1994), 67.13% en cáscaras de soya (Monsoor y Proctor, 2001) y 71.65% en cáscaras de *parchita*¹ (Corona y col., 1996).

La masa equivalente fue de 446.04 g/equivalente de OH⁻. Lo anterior concuerda mucho con los resultados demostrados por Fontes (458.2 y 470.2 g/equivalente de H⁺) (Fontes, 1972) y por Barazarte y col. (2008) de (413.95 a 464.61 g/equivalente de H⁺). Una mayor masa equivalente, junto con el contenido de metoxilos, ayuda a la formación de geles (Barazarte y col., 2008).

La viscosidad relativa determinada entre las dos pectinas fue diferente, aunque no hubo diferencia significativa entre sus valores ($p < 0.05$). Esto se debe a que la pectina comercial es de alto metoxilo o, por lo menos, tiene mayor contenido de metoxilos que la pectina extraída del cacao, reflejándose en que la solución de pectina comercial presenta más resistencia al flujo, dando valores de viscosidad en poises ligeramente mayores que los de la pectina de cacao (1.40 vs 1.36 y 1.47 vs 1.44, respectivamente). La diferencia de temperaturas en cada tratamiento hace que el flujo de la solución por el capilar aumente, esto se observó en los dos tipos de pectina.

¹ *Parchita* es la fruta conocida en México como *maracuyá* (fruto de la pasionaria, planta originaria del Brasil, de la familia de las Pasifloráceas, con tallos ramosos, trepadores y de 15 a 20 m de largo)

En el espectro infrarrojo se reflejan las bandas características de la pectina. La Tabla 13 indica los grupos funcionales característicos que se encuentran en la molécula de pectina.

El espectro infrarrojo de la pectina de cacao difirió en el tamaño de las bandas y, en menor medida, en la señal donde aparecen los grupos funcionales característicos para la pectina. Lo anterior puede deberse a otros compuestos presentes en la pectina extraída del cacao (posibles impurezas), la concentración encontrada y, además, el tipo de pectina varía en porcentajes de metoxilos entre un fruto de cacao y otro fruto de donde se obtuvo la pectina comercial. Sin embargo, fue posible encontrar bandas correspondientes a los grupos funcionales que forman una molécula de pectina.

- Rendimiento aproximado

De las diferentes muestras de 60 g de harina de cáscara y pulpa cada una, se obtuvo un rendimiento de 1-2 g de pectina empleando 800 mL de EDTA al 0.5%, 2.3 L de etanol y 20 mL de acetona. Para un estudio posterior, será necesario evaluar los costos por materias primas, con objeto de realizar un estudio de prefactibilidad económica.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se cumplió la hipótesis planteada de obtener de la cáscara y de la pulpa del cacao las sustancias llamadas pectinas con la misma calidad gelificante que las que habitualmente se utilizan en las mermeladas. De acuerdo con el objetivo de esta investigación, de producir pectina a partir de frutos recolectados en el estado de Chiapas a escala de laboratorio probando su calidad en una mermelada y haciendo pruebas comparativas con una pectina comercial como control, puede concluirse lo siguiente:

- Se extrajo pectina de las harinas de cáscaras y pulpa obtenidas del lote de cacao en estudio
- Las pruebas sensoriales indicaron que, con la pectina extraída de cáscara y pulpa de cacao, fue posible fabricar mermelada que podría competir en el mercado nacional
- Las observaciones realizadas sobre el color de la mermelada de fresa preparada con la pectina de cáscara de cacao fueron en general calificadas como de “buen color”, lo que confirma que las pectinas obtenidas de la cáscara de cacao se pueden usar en aquellos productos con tonalidades oscuras, para así enmascarar su coloración parda sin que se afecte la calidad del producto final
- La pectina extraída de la cáscara de cacao no confiere sabor desagradable a la mermelada utilizada como modelo de aplicación
- Se observó que no existió diferencia significativa entre ambas mermeladas elaboradas con pectina de cáscara de cacao y de cítrico a un nivel de significancia de 95%
- La pectina extraída del cacao, a pesar de tener un contenido bajo en metoxilos, fue capaz de formar geles como la mermelada con una buena consistencia

- La pectina de cacao, considerada de bajo metoxilo, puede utilizarse en la elaboración de productos dietéticos, elaboración de yogures y espesantes de salsas, entre otros, aunque también podría ser utilizada para la preparación de mermeladas y otros productos similares.

5.2 Recomendaciones

Con objeto de continuar esta investigación puede recomendarse lo siguiente:

- Es necesario optimizar los parámetros de extracción para mejorar los porcentajes de rendimiento y hacer el proceso económicamente rentable
- Realizar un análisis bromatológico de las harinas para verificar el posible uso de las harinas extraídas en la elaboración de otros productos
- Dado que se emplea una cantidad considerable de etanol en la fase de extracción de la pectina (2.3 L por cada 60g de harina para obtener de 1 a 2 g de pectina), se recuperó el etanol, utilizando un evaporador rotatorio al vacío (coloquialmente conocido como rotavapor). El etanol recuperado se volvía a emplear para posteriores extracciones. Muy probablemente esto contribuyó al color oscuro de la pectina obtenida y a las ligeras diferencias en viscosidad aparente entre esta pectina de cacao y la pectina comercial. Esta etapa debe estudiarse más a fondo para obtener mejores productos y usar menos materias primas en la extracción.

BIBLIOGRAFÍA

Adomako, D. 1972. Cocoa pod husk pectin. *Phytochemistry*. 11:1145-1148.

Aguirre, M. 2005. México mágico. El cacao orgullosamente mexicano (en línea, disponible en: <http://www.mexicomaxico.org/dadivas/cacao.htm>; internet; accedido el 20 de agosto de 2008).

Anónimo. 2009. (en línea, disponible en: <http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidratos2.html>; internet; accedido el 20 de agosto de 2009).

Baduí, S. 1999. Química de los alimentos (México D.F.: Ed. Pearson Educación. Longman de México Editores, S.A. de C.V.), 106-108.

Barazarte, H., Sangronis, E., Unai, E. 2008. La cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.): Una posible fuente comercial de pectinas, *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 58(1) Dirección electrónica (redes internacionales): http://www.alanrevista.org/ediciones/2008-1/cascara_cacao_posible_comercial_pectinas.asp. Reproducido en México por *Industria Alimentaria*, 31(3):27-34 (2009).

Blakemore, W.R., Dewar, E.T., Hodge, R.A. 1966. Polysaccharides of the cocoa pod husk. *J Sci Food Agric*. 17:558-560.

BotGart Uni-Karlsruhe. 2008. Jardín Botánico de la Universidad de Karlsruhe (en línea, disponible en: http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~db26/100_Fotos_1999/Theobroma_cacao_2.jpg; internet; accedido el 25 de noviembre de 2008).

Chang, K.C., Dhurandhar, N., You, X., Miyamoto, A. 1994. Sunflower head residue pectin extraction as affected by physical conditions. *J Food Sci.* 59(6):1207-1210.

CLIA. 2000. Consejo Latinoamericano de Información Alimentaria (en línea, disponible en: <http://www.clia.org.mx/Cliadocs/cacao.htm>; internet; accedido el 20 de agosto de 2008).

Corona, M., Díaz, A., Páez, G., Ferrer, J.R., Mármol, Z., Ramones, E. 1996. Extracción y caracterización de pectina de la corteza de parchita. *Rev Fac Agron (LUZ)*. 13:785-791.

DNSAV. 2009. Dirección Nacional de Servicios Académicos Virtuales. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá (en línea, disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/teoria/obmerm/p3.htm>; internet; accedido el 10 de enero de 2009).

Enciclopedia de México. 1978. (México, D.F.: Ed. Enciclopedia de México, S.A.), Tomo II, 398-405.

Endress, H-U. 1991. Nonfood uses of pectin. En: *The chemistry and technology of pectin*, ed. R.H. Walter (California: Academic Press, Inc.) 251-268.

Flory, P.J. 1953. *Principles of Polymer Chemistry*. (Ithaca, New York: Cornell University Press).

Fontes, P.R. 1972. Estudo da pectina do mel e da casca do fruto de cacao. *Rev. Theobroma*. 2(2):49-51.

Gierselmer, K. 1997. Pectin and pectin enzymes in fruit. *Vegetables Technology*. 118:171 -185.

Hoff, J. E., Castro, M.D. 1969. Chemical composition of potato cell wall. *Agr. Food Chem.* 17:1328-1331.

Hunter, J. R. 1990. The status of cacao (*Theobroma cacao* Sterculiaceae) in the Western hemisphere. *Economic Botany.* 44(4):425-439.

Jarvis, M. C.; Forsyth, W., Duncan, H.C. 1988. A survey of the pectin content of nonlignified of monocot cell walls. *Plant Physiol.* 88:309-314.

Kalvatchev, Z., Garzaro, D., Guerra-Cedezo, F. 1998. *Theobroma cacao* L.: Un nuevo enfoque para nutrición y salud. *Agroalimentaria.* 6(Junio):23-25.

Leung, A.Y. 1980. *Encyclopedia of common natural ingredients used in food, drugs, and cosmetics.* (Nueva York: John Wiley & Sons).

López, A.S., Ferreira, H., Llamosas, A., Romeu, A. 1984. Present status of cacao by-products utilization in Brazil. *Rev Theobroma.* 14(4):271-291.

McCready, R.M. 1970. Pectin. En: Joslyn, M. *Methods in Food Analysis.* Second edition. (New York: Academic Press) 565-599.

Michel, F., Thibault, J.-F., Mercier, C., Heitz, F., Pouillaude, F. 1985. Extraction and characterization of pectins from sugar beet pulp. *J Food Sci.* 50:1499-1502.

Monsoor, M.A., Proctor, A. 2001. Preparation and functional properties of soy hull pectin. *J Am Oil Chem Soc.* 78(7):709-713.

Montalvo-Sánchez, E. R., Hernández-Medel, M. del R., Solís-Fuentes, J. A., Durán-de-Bazúa, C. 1996. Estudio de rendimientos en la extracción de piretrinas de residuos del cultivo de la flor de crisantemo. Un análisis de superficie de respuesta. *Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ).* 11(1-2):20-26.

Morillon, V., Debeaufort, F., Blond, G., Capelle, M., Voilley, A. 2002. Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 42(1):67-89.

Multon, J. L. 1988. *Aditivos y Auxiliares de Fabricación en las Industrias Agroalimentarias.* (Zaragoza, España: Editorial Acribia).

Navarro, G., Navarro, S. 1985. "Sustancias pécticas: química y aplicaciones". Secretariado de publicaciones e intercambio científico. (Murcia, España. Universidad de Murcia, ed.).

Ogata, N. 2008. Boletín bimestral de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (en línea, disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/otros/biodiversitas/doctos/pdf/biodiv72.pdf>; internet; accedido el 20 de agosto de 2008).

Padrón-Gamboa, G., Arias-Marín, E. M., Romero-García, J., Benavides-Mendoza, A., Zamora-Rodríguez, J., García-Rodríguez, S. P. 2004. Efecto de la cáscara de cacao en la obtención de espumas de poliuretano para uso hortícola. Propiedades físicas y de biodegradabilidad. *Revista de la Sociedad Química de México.* 48(2):156-164.

Padrón, G., Romero, G., Benavides, A., Ramírez, H., Maiti, R. 2003. Hydrophilic biodegradable polyurethane starch foams to promote growth and stress tolerance in horticultural plant. *Crop Research.* 26(2):291-302.

Pagan, G. J. 1996. Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón. Tesis doctoral. (España. Universitat de Lleida).

Pastor, C., Vargas, M., González-Martínez, C. 2005. Recubrimientos comestibles: aplicación a frutas y hortalizas. *Rev. Alim. Equip. Tecnol.* 197:130-135.

Pedrero, D. L., Pangborn, R. M. 1996. Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos analíticos (México D.F.: Alhambra Mexicana).

Pilgrim, G. W., Walter, R. H., Oakenfull, D. G. 1991. Jams, jellies, and preserves. En: *The chemistry and technology of pectin*. Walter, R.H. (ed.). (California: Academic Press, Inc.). 23-50.

SAGARPA. 2009. En SISPRO CACAO, 2008.

SISPRO CACAO, 2008. Sistema Producto Cacao. (en línea disponible en: http://www.oeidrustab.gob.mx/sispro/estadis_nacional.html; Internet; accedido el 06 de Julio de 2009)

Thakur, B. R., Singh, R. K., Handa, A. K. 1997. Chemistry and uses of pectin – A Review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 37(1):47-73.

Van Buren, J. P. 1991. Function of pectin in plant tissue structure and firmness. En: *The Chemistry and Technology of Pectin*. Reginald Walter (ed.). (New York: Academic Press). Chapter 1.

Villalba-Sánchez, V. 2008. La Jornada. Productores llaman a enfrentar crisis en la producción de cacao (en línea, disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2008/05/12/index.php?section=estados&article=033n1est>; internet; accedido el 20 de agosto de 2008).

Anexo 1. Datos experimentales y análisis estadístico

A1.1. Resultados de las encuestas para los atributos de las mermeladas

SABOR			COLOR			OLOR		
Juez	Clave: 819	Clave: 223	Juez	Clave: 819	Clave: 223	Juez	Clave: 819	Clave: 223
1	10	10	1	10	8	1	8	8
2	10	10	2	8	10	2	10	8
3	10	10	3	10	8	3	8	8
4	8	8	4	10	10	4	8	8
5	8	10	5	8	10	5	8	8
6	8	10	6	10	10	6	6	8
7	10	10	7	10	10	7	10	8
8	8	8	8	10	10	8	10	10
9	10	8	9	10	8	9	8	6
10	10	10	10	8	10	10	10	8
11	10	10	11	8	8	11	10	6
12	10	10	12	10	10	12	8	10
13	8	8	13	6	10	13	8	6
14	10	8	14	10	8	14	6	6
15	6	8	15	6	8	15	8	8
16	8	6	16	8	8	16	10	8
17	8	10	17	10	10	17	8	10
18	8	10	18	6	8	18	6	10
19	8	8	19	10	10	19	6	10
20	10	8	20	10	6	20	6	10
21	8	8	21	8	8	21	6	10
22	6	10	22	8	6	22	10	8
23	8	8	23	8	8	23	6	8
24	10	10	24	10	10	24	10	10
25	6	4	25	8	8	25	6	6
26	10	8	26	10	8	26	10	8
27	10	4	27	8	6	27	4	8
28	8	6	28	10	8	28	8	4
29	10	8	29	10	8	29	10	8
30	6	8	30	8	10	30	8	6
31	10	6	31	10	8	31	10	8
32	10	8	32	10	6	32	8	8
33	8	8	33	8	8	33	4	8
34	8	8	34	10	10	34	8	10
35	8	8	35	8	6	35	8	8
36	10	8	36	10	10	36	6	6
37	6	8	37	10	4	37	8	2
38	8	6	38	8	10	38	6	8
39	8	10	39	10	10	39	10	8
40	8	6	40	8	6	40	6	10
41	8	6	41	6	10	41	6	8
42	6	8	42	6	10	42	6	6
43	8	6	43	6	8	43	6	6
44	10	8	44	8	10	44	10	10
45	10	8	45	10	6	45	6	4
46	8	8	46	10	10	46	10	8
47	10	4	47	10	8	47	10	8
48	4	10	48	6	10	48	8	10
49	4	8	49	10	8	49	8	8
50	4	10	50	6	10	50	8	6
Promedio	8.32	8.12	Promedio	8.72	8.56	Promedio	7.84	7.8
Suma	416	406	Suma	436	619	Suma	392	390

CONSISTENCIA			APARIENCIA GENERAL		
Juez	Clave: 819	Clave: 223	Juez	Clave: 819	Clave: 223
1	10	6	1	8	8
2	10	10	2	10	8
3	8	10	3	10	10
4	10	8	4	8	10
5	8	10	5	8	10
6	4	10	6	8	10
7	8	10	7	10	10
8	8	10	8	8	10
9	6	8	9	8	8
10	8	8	10	10	8
11	10	8	11	10	8
12	10	10	12	10	10
13	8	6	13	8	8
14	8	10	14	10	8
15	8	8	15	6	8
16	8	8	16	8	8
17	8	8	17	10	10
18	6	10	18	8	10
19	10	8	19	8	10
20	10	8	20	10	8
21	10	6	21	8	8
22	8	4	22	8	8
23	8	8	23	6	8
24	10	8	24	10	8
25	8	8	25	6	8
26	10	8	26	10	6
27	4	4	27	8	6
28	6	4	28	8	6
29	10	8	29	8	8
30	6	8	30	6	6
31	10	10	31	10	8
32	8	6	32	10	8
33	8	8	33	8	8
34	8	8	34	8	9
35	8	8	35	8	8
36	8	6	36	6	8
37	2	2	37	6	4
38	6	6	38	8	8
39	8	10	39	8	10
40	6	6	40	6	8
41	4	4	41	6	8
42	8	4	42	6	8
43	6	8	43	8	6
44	8	8	44	8	8
45	8	2	45	8	4
46	6	10	46	8	10
47	10	10	47	8	4
48	2	8	48	4	8
49	4	8	49	4	8
50	4	10	50	6	10
Promedio	7.56	7.64	Promedio	7.96	8.1
Suma	378	607	Suma	398	405

A1.2 Rendimientos de extracción

Lote 1 (pH 3, temp. 80°C).

$$1.5927 \text{ g de pectina extraída} \left(\frac{100\%}{60 \text{ g de pectina}} \right) = 2.6546\%$$

Lote 2 (pH 3, temp. 90°C).

$$1.2583 \text{ g de pectina extraída} \left(\frac{100\%}{60 \text{ g de pectina}} \right) = 2.0972\%$$

Lote 3 (pH 4, temp. 80°C).

$$0.6989 \text{ g de pectina extraída} \left(\frac{100\%}{60 \text{ g de pectina}} \right) = 1.1649\%$$

Lote 4 (pH 4, temp. 90°C).

$$2.1810 \text{ g de pectina extraída} \left(\frac{100\%}{60 \text{ g de pectina}} \right) = 3.635\%$$

A1.3 Porcentaje de metoxilos

1

$$\% \text{ metoxilos} = \frac{10.9 \text{ mL de NaOH} \times 0.1 \text{ N} \times 3.1}{0.5044 \text{ g}} = 6.69 \text{ g de met./100 g}$$

2

$$\% \text{ metoxilos} = \frac{11.8 \text{ mL de NaOH} \times 0.1 \text{ N} \times 3.1}{0.506 \text{ g}} = 7.23 \text{ g de met./100 g}$$

A1.4 Porcentaje de ácido anhidro galacturónico

1

$$\% \text{ AAG} = \frac{176 \times 100 \times (1.09 \text{ meq NaOH} + 0.925 \text{ meq NaOH})}{504.4 \text{ mg de pectina}} = 70.31 \% \text{ de AAG}$$

2

$$\% \text{ AAG} = \frac{176 \times 100 \times (1.18 \text{ meq NaOH} + 1.025 \text{ meq NaOH})}{506.5 \text{ mg de pectina}} = 76.6 \% \text{ de AAG}$$

A1.5 Masa equivalente

1

$$\frac{504.4 \text{ mg de pectina}}{1.09 \text{ meq de NaOH}} = 462.75 \text{ g/equivalente de OH}^-$$

2

$$\frac{506.5 \text{ mg de pectina}}{1.18 \text{ meq de NaOH}} = 429.32 \text{ g/equivalente de OH}^-$$

A1. 6 Viscosidad relativa

1. Pectina de cacao, temperatura 25°C

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \left(\frac{0.9945 \text{ g/mL}}{1 \text{ g/mL}} \right) \left(\frac{3.62 \text{ s}}{2.50 \text{ s}} \right) = 1.44 \text{ poise}$$

2. Pectina de cacao, temperatura 30°C

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \left(\frac{0.9945 \text{ g/mL}}{1 \text{ g/mL}} \right) \left(\frac{3.32 \text{ s}}{2.43 \text{ s}} \right) = 1.36 \text{ poise}$$

3. Pectina comercial, temperatura 25°C

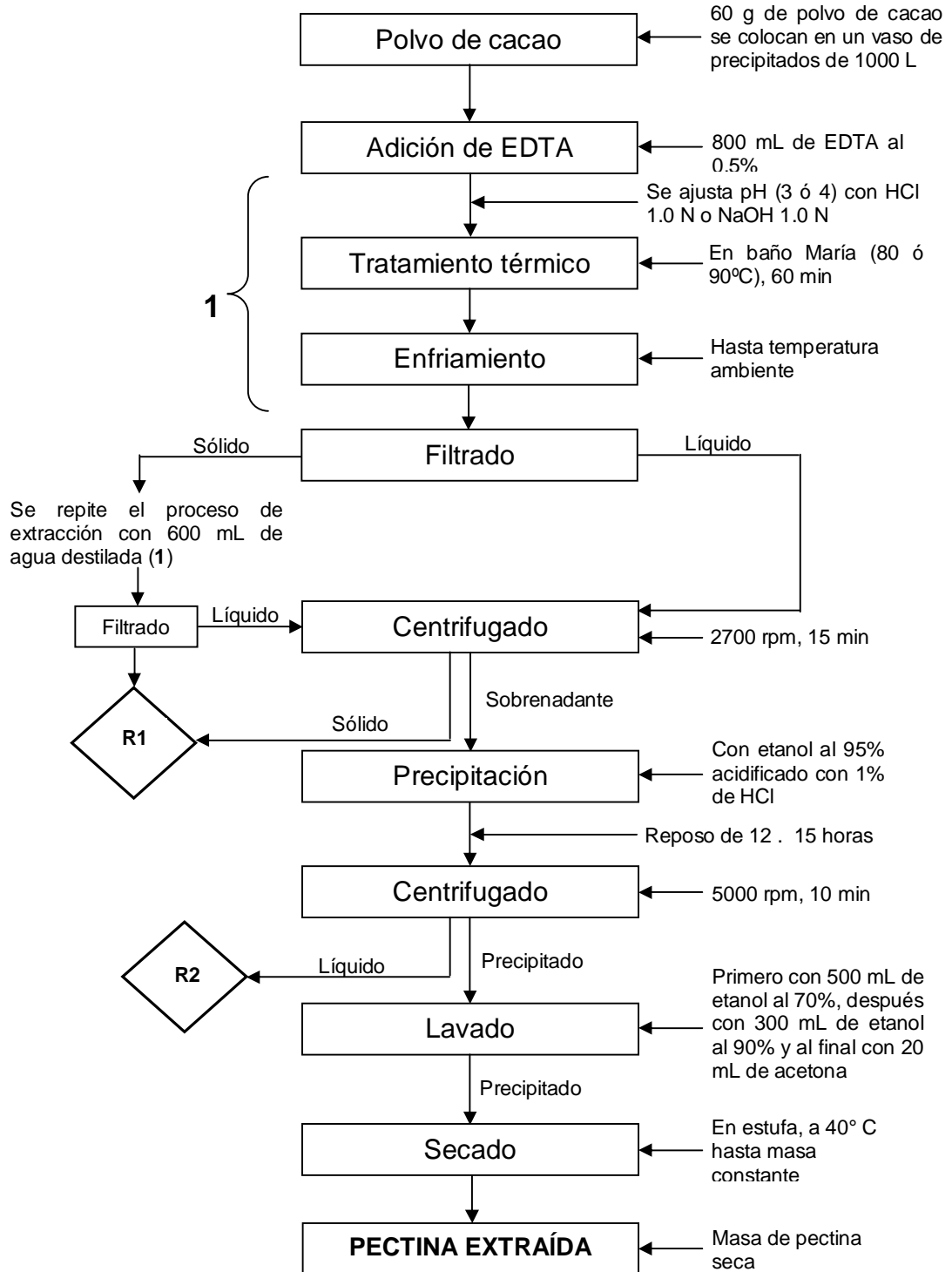
$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \left(\frac{0.9963 \text{ g/mL}}{1 \text{ g/mL}} \right) \left(\frac{3.75 \text{ s}}{2.54 \text{ s}} \right) = 1.47 \text{ poise}$$

4. Pectina comercial, temperatura 30°C

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \left(\frac{0.9963 \text{ g/mL}}{1 \text{ g/mL}} \right) \left(\frac{3.49 \text{ s}}{2.48 \text{ s}} \right) = 1.40 \text{ poise}$$

Anexo 2. Disposición controlada de residuos

Diagrama ecológico. Extracción de pectina



R₁: Residuo orgánico. Depositar en residuos orgánicos (UGA de la FQ-UNAM).

R₂: Mezcla de solventes. Se coloca en frascos, se etiquetan y se envían a la UGA de la FQ-UNAM.