



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE
BIOTECNOLOGÍA**

**"MICROENCAPSULACIÓN Y ESTABILIZACIÓN
ENZIMÁTICA DEL JUGO DE CHIRIMOYA
(*Annona cherimola* Mill)"**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN BIOPROCESOS**

P R E S E N T A :

CARIDAD RIVAS REYES

Ingeniero en Alimentos

DIRECTORES

DR. RAMÓN VILLANUEVA ARCE

DR. JORGE YAÑEZ FERNÁNDEZ

2010





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

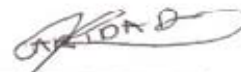
En la Ciudad de México el día 14 del mes Junio del año 2010, la que suscribe Caridad Rivas Reyes alumna del Programa de Maestría en Ciencias en Bioprocesos con número de registro B081952, adscrito a la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, manifiesta que es autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Ramón Villanueva Arce y del Dr. Jorge Yáñez Fernández y cede los derechos del trabajo intitulado Microencapsulación y estabilización enzimática del jugo de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.), al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección crivas0800@ipn.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

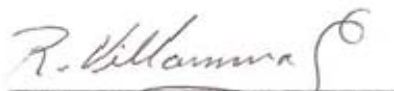
Caridad Rivas Reyes

Declaración de originalidad

"Yo, Caridad Rivas Reyes, declaro que esta tesis, así como los resultados en ella reportados, son producto de mi trabajo y que hasta donde yo sé, no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona, ni tampoco contiene material que haya sido utilizado para obtener algún grado o diploma en alguna otra institución educativa excepto donde se reconoce como tal. Declaro igualmente que hago justo reconocimiento en la tesis a las personas que contribuyeron con su trabajo y, finalmente, declaro que esta tesis es producto de mi propio trabajo con el apoyo permitido de terceros en cuanto a la concepción del proyecto, al estilo de la presentación o a la expresión escrita."



Caridad Rivas Reyes



Dr. Ramón Villanueva Arce



Dr. Joge Yáñez Fernández.

Vo. Bo. Directores de tesis



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 12:00 horas del día 14 del mes de junio del 2010 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de UPIBI para examinar la tesis titulada:

Microencapsulación y estabilización enzimática del jugo de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.)

Presentada por la alumna:

RIVAS
Apellido paterno

REYES
Apellido materno

CARIDAD
Nombre(s)

Con registro:

B	0	8	1	9	5	2
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN BIOPROCESOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

DR. RAMÓN VILLANUEVA ARCE

DR. JORGE YÁÑEZ FERNÁNDEZ

DR. FABIAN ROBLES MARTÍNEZ

DRA. MARÍA DEL CARMEN OLIVER SALVADOR

DR. GUSTAVO VALENCIA DEL TORO

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
DR. BOGAR SALGADO MANJARREZ
UNIDAD PROFESIONAL
INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico otorgado y sin el cual no habría podido cumplir con esta meta.

A la fundación Salvador Sánchez Colín por la aportación del material vegetal requerido para este proyecto de investigación.

A los doctores Ramón Villanueva Arce y Jorge Yáñez Fernández por todo el apoyo brindado y paciencia en el desarrollo de este proyecto. La oportunidad de trabajar con personas que comparten el conocimiento y la experiencia es un aliciente en la continuación de esta carrera.

A la Dra. María del Carmen Oliver Salvador, al Dr. Fabián Robles Martínez, al Dr. Gustavo Valencia del Toro y al Dr. Enrique Durán Páramo, por el tiempo que dedicaron a revisar este trabajo y las observaciones derivadas de lo anterior, que fortalecieron este trabajo.

A el laboratorio central de instrumentación de microscopía, especialmente a la M. en C María Esther Sánchez Espíndola por su colaboración a el proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios por permitirme vivir, en el amplio significado de la palabra y lograr conseguir esta meta.

A mis padres quienes han sido mi luz, guía y apoyo incondicional.

A Mario, Ivonne Denise y Ángel Adrian quienes son mi familia y cuyo amor es el alimento diario de mi vida

A mis compañeros de Maestría de la UPIBI que me brindaron apoyo en muchos aspectos, principalmente a Diana, Jonás y Benjamín.

Muchas, muchas gracias....

*Yo Nezahualcóyotl lo pregunto:
¿Acaso de veras se vive con raíz en la tierra?
Nada es para siempre en la tierra:
Sólo un poco aquí.
Aunque sea de jade se quiebra,
Aunque sea de oro se rompe,
Aunque sea plumaje de quetzal se desgarrar.
No para siempre en la tierra:
Sólo un poco aquí.*

Nezahualcóyotl., Yo lo Pregunto

CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Generalidades del fruto de chirimoya (<i>Annona cherimola</i> Mill)	1
1.1.1. Origen	1
1.1.2. Clima	3
1.1.3. Zonas de producción	3
1.1.4. Problemática del fruto	4
1.1.5. Valor nutricional y funcional	11
1.1.6. Usos	13
1.2. Las enzimas en la industria de procesamiento de jugos	14
1.2.1. Las enzimas y su función	14
1.2.2. Extracción de jugos	16
1.3. Microencapsulación mediante secado por aspersion	21
1.3.1. Origen y generalidades del proceso	21
1.3.2. Materiales pared utilizados	22
1.3.3. Morfología de las microcápsulas	23
1.3.4. Secado por aspersion	25
1.3.5. Problemática de la microencapsulación de jugos	26
1.3.6. Factores que determinan la calidad de productos microencapsulados	28
1.4. Evaluación sensorial	29
II. JUSTIFICACIÓN	31
III. OBJETIVOS	31
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	32
4.1. Material vegetal (frutos)	32
4.2. Caracterización del fruto	32

4.3. Caracterización de la pulpa	32
4.4. Estabilización de color y viscosidad de la pulpa	32
4.5. Microencapsulación y secado por aspersion	34
4.6. Análisis estadístico	35
4.7. Análisis sensorial	35
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
5.1. Caracterización del fruto y de la pulpa	36
5.2. Estabilización enzimática de la pulpa	41
5.2.1. Evaluación del color	44
5.2.2. Evaluación de la viscosidad	45
5.3. Microencapsulación por secado por aspersion	48
5.4. Evaluación sensorial	52
VI. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	54
VII. LITERATURA CITADA	56
ANEXO	64

LISTA DE CUADROS

		Página
1.1	Producción nacional de chirimoya	4
1.2	Comparativo de la composición fisicoquímica de la pulpa de chirimoya	12
1.3	Tipo de coberturas utilizadas en microencapsulación	22
1.4	Clasificación de las pruebas sensoriales	30
4.4.1	Diseño estadístico de la estabilización enzimática del jugo	34
4.7.1	Cartilla de evaluación sensorial	36
5.1.1	Análisis fisicoquímico de la pulpa de chirimoya	40
5.2.1	Efecto de la temperatura, antioxidante y complejo enzimático en las propiedades fisicoquímicas del jugo de chirimoya estabilizado enzimáticamente	42
5.2.2	Comparación de medias de las variables evaluadas en el jugo de chirimoya estabilizado enzimáticamente	42
5.2.1.1	Color de la pulpa de chirimoya estabilizada enzimáticamente	45
5.2.2.1	Índices de la Ley de la Potencia para jugo de chirimoya estabilizado enzimáticamente	47
5.3.1	Comparación de medias de las variables evaluadas en el jugo microencapsulado.	49
5.3.2	Análisis fisicoquímico del jugo microencapsulado rehidratado	51
5.3.3	Color del jugo de chirimoya en polvo microencapsulado y del jugo rehidratado	52

LISTA DE FIGURAS

	Página
1.1 Cerámicas de las culturas Cupinisque y Mochica (2000 y 3000 años de antigüedad)	1
1.2 Fruto de chirimoya.	2
1.3 Reacción de Maillard	8
1.4 Degradación de ácido ascórbico	10
1.5 Productos elaborados con chirimoya	13
1.6 Estructura química de la pectina	15
1.7 Estructura química de la celulosa	15
1.8 Comportamiento de los fluidos independientes y dependientes del tiempo	19
1.9 Estructura general de una microcápsula.	22
1.10 Morfología de los diferentes tipos de microcápsula	24
1.11 Sistema típico de secado por aspersion	26
4.5.1 Mini Spray Dryer B-290	35
5.1.1 Frutos de chirimoya analizados física y fisicoquímicamente	37
5.1.2 Variación del color en la cáscara del fruto de chirimoya	37
5.1.3 Diagrama de color L*, a*, b* (°Hue)	39
5.1.4 Evaluación de color en la pulpa del fruto	39
5.2.2.1 Reograma del puré de chirimoya y del efecto de tres diferentes temperaturas (ambiente, 50°C y 70°C) sobre la viscosidad aparente	46
5.3.1 Micrografías de las microcápsulas de jugo de chirimoya microencapsulado y secado por aspersion	50
5.3.2 Jugo de chirimoya en polvo microencapsulado y rehidratado	52
5.4.1 Evaluación sensorial de la apariencia y aceptabilidad del puré vs. el jugo de chirimoya estabilizado enzimáticamente	53
5.4.2 Evaluación sensorial de la apariencia y aceptabilidad del puré y jugo de chirimoya en polvo rehidratado	54

RESUMEN

La chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) es un fruto climatérico de difícil manejo y muy sensible a daños mecánicos y físicos causados por plagas y enfermedades, como la mosca de la fruta y la antracnosis. Una alternativa es procesar la fruta sin alterar su calidad. El objetivo principal de este trabajo fue obtener jugo de chirimoya microencapsulado mediante secado por aspersion. Los frutos se cosecharon en madurez fisiológica, seleccionaron por sanidad, lavaron y se les midió el color externo (verde-amarillento, °hue=105-133°). Se obtuvo el rendimiento en peso de cáscara (33.2%), semillas (6.10%) y pulpa (58.60%). La pulpa se caracterizó en cuanto a pH (4.5), humedad (71.2%), sólidos solubles totales (sst) (24°Bx), contenido de pectina (1.57 g/100g), azúcares reductores (4.73 g/100g) y totales (19.38 g/100g); acidez titulable (0.27%, como ácido cítrico), cenizas (1.12 g/100g), vit. C (66.96 mg/100g), color ($L^*= 94.77-99.98$). Se estabilizó el color y viscosidad de la pulpa, para esto, se realizó un experimento factorial y los factores fueron: temperatura (ambiente, 50 y 70°C), antioxidante (sin ácido ascórbico y con 300 mg/100 g de ácido ascórbico), y complejo enzimático para la maceración de la pulpa [sin complejo, **Macerex®** (pectinasa y celulasa) y **Celluzyme®** (celulasa, hemicelulasa y β -glucanasa)] por 2 h. Las variables acidez titulable, azúcares reductores y totales, pH, contenido de pectina, sst, vit. C y rendimiento, resultaron afectadas ($p < 0.01$) por los tres factores. Los jugos obtenidos se caracterizaron como fluidos pseudoplásticos. Se ajustaron al modelo de la ley de la potencia y se obtuvieron la viscosidad aparente, índice de consistencia e índice de flujo. Con Macerex® la viscosidad del puré disminuyó de 0.58 a 0.01 Pa*s. A este jugo, se le adicionó maltodextrina (hasta 50% b.s) como material pared y se microencapsuló por secado por aspersion probando diferentes temperaturas de entrada del aire (120, 140 y 160°C) y una velocidad de alimentación de 10 mL/min. Se evaluó el color de los polvos y del jugo rehidratado. El jugo rehidratado se caracterizó y comparó en apariencia y aceptabilidad con el jugo fresco. La mejor condición fue a 160°C porque el producto presentó las mejores características y buen rendimiento. Se obtuvieron microcápsulas de diferente tamaño (5-20 μm) y morfología. La apariencia del jugo rehidratado fue mejor con respecto al jugo fresco, mientras que la aceptabilidad fue calificada por encima del mínimo debido a un ligero sabor amargo.

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades del fruto de chirimoya (*Annona cherimola* Mill)

1.1.1. Origen

La chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) es una fruta andina, perteneciente a la familia de las Anonáceas que poco a poco va ganando importantes mercados en el mundo. Existe evidencia arqueológica de la existencia en las culturas pre-incas de *A. muricata* y de *A. cherimola*, como son las representaciones en cerámica de sus frutos (Figura 1.1). La chirimoya es una planta nativa de las regiones alto andinas de Ecuador y Perú (Morales-Astudillo *et al.*, 2006).



Figura 1.1. Cerámicas de las culturas Cupinisque y Mochica (2000 y 3000 años de antigüedad. peruorganico.com, 2007)

Se conocen numerosas formas de chirimoya, la mayoría seleccionados en regiones templadas la forma de los carpelos en su exterior constituye un carácter constante que permite reconocer los cultivares, conociéndose cinco formas principales:

Lisa, frutos que tienen la cascara prácticamente lisa, ya que los bordes de los carpelos quedan fundidos y son poco aparentes.

Impresa, el fruto presenta depresiones suaves en la piel, semejando a la impresión que podría dejar los dedos de una mano. Poseen formas redonda, acorazonada y a veces algo arriñonada.

Mamilata, presentan la piel lisa en su parte media y distal, mientras que la sección basal presenta en la piel marcas y tetillas

Tuberculata, son frutos que poseen una cubierta fuertemente reticulada, y cuando pequeños, protuberancias marcadas, las que se atenúan al madurar, adquiriendo una forma más o menos redondeada o globosa.

Umbonata, estos frutos presentan piel reticulada con numerosos carpelos y protuberancias aguzadas. Con una forma semejante a una piña (Morales-Astudillo *et al.*, 2006).

El fruto de la chirimoya (Figura 1.2) es un conjunto carnososo (sincarpo) de forma primitiva con los carpelos dispuestos en espiral que se unen después de la fructificación. Cada segmento de carne, es decir cada uno de los frutos, contiene una única semilla dura de color negro en forma de frijol. El fruto es cónico o en forma de corazón, alcanza entre 10 y 25 cm de longitud y hasta un máximo de 15 cm de anchura, pesa por término medio de 250 a 800 g. Cuando alcanza la madurez se torna de un color verde pálido o cremoso; se considera que está demasiado maduro cuando la piel adquiere un tono marrón oscuro o negro. La piel, delgada o gruesa, puede ser suave, con marcas que se asemejan a huellas dactilares, o estar cubierta de protuberancias de forma cónica o redondeada que quedan de las flores (Van Damme y Scheldeman., 2010).



Figura 1.2. Fruto de chirimoya (peruorganico.com, 2007)

1.1.2. Clima

La chirimoya es la única especie del género *Annona* que se desarrolla en zonas subtropicales (Morales-Astudillo *et al.*, 2006).

Es un fruto semicaducifolio, cuyo crecimiento y fructificación natural son óptimos cuando la temperatura media anual está comprendida entre los 14°C y 24°C. El requerimiento en clima es que sea fresco, relativamente seco y con pocas fluctuaciones de temperatura. La propagación se hace por injertos. La planta tiene un crecimiento lento los primeros 4 años para posteriormente crecer rápidamente (Ferrucci, 2008).

El factor que limita de forma tajante el cultivo de esta fruta son las bajas temperaturas, resultando prácticamente imposible conseguir plantaciones de calidad en regiones donde se produzcan heladas. De igual modo, los vientos secos y las altas temperaturas durante su etapa de floración pueden dañar las flores y destruir la formación del fruto (Fundación Integra, 2010).

Los suelos ideales para su cultivo son aquellos que presentan un sustrato ligero, con materia orgánica y drenaje suficiente para que no se produzcan encharcamientos, aireándose de esta forma sus raíces. Es conveniente evitar los pisos duros, compactos e impermeables (arcillosos) (Fundación Integra, 2010).

1.1.3. Zonas de producción.

En la actualidad se cultiva en América Central, Bolivia, Chile, España, Estados Unidos (especialmente en el estado de California), Israel, México, Nueva Zelanda, Perú y Sudáfrica. Países como Chile, Perú, Costa Rica, Guatemala, Estados Unidos, México y España han desarrollado el cultivo en la línea de producción comercial, en tanto que otros países como Israel o Sudáfrica se encuentran en etapa de desarrollo (Ferrucci, 2008).

En México la chirimoya se distribuye en los estados de Morelos, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Chiapas, Puebla, México, Hidalgo, San Luis Potosí, Veracruz y Campeche, cuya producción nacional se puede observar en el Cuadro 1.1. La importancia de este cultivo radica en su alto valor comercial, ya que existe un gran potencial para ser exportado a Estados Unidos, Japón y Europa. Por sus excelentes características organolépticas, se considera la mejor fruta dentro de las anonáceas (García-Aguierre *et al.*, 2008).

Cuadro 1.1. Producción nacional de chirimoya

Cultivo	Superficie Sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Chirimoya	80.5	69.5	351.5	5.06

Fuente: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación-SIAP, 2007

1.1.4. Problemática del fruto.

Las frutas son valiosos alimentos que contribuyen a una alimentación sana y variada de la población. Generalmente presentan la inconveniencia de disponer de ellas durante periodos cortos de tiempo. Su uso principal es la fabricación de jugos, pulpas, conservas, compotas, néctares y concentrados (Viteri y Cornejo, 2010).

Los frutos del género *Annona* son climatéricos y producen altos niveles de etileno (hasta 100-300 $\mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{h}$, dependiendo del cultivar) durante la maduración a 20°C (Kader y Arpaia, 2007).

La recolección de chirimoyas se realiza de forma manual y cuando cada fruto, alcanza un punto en su desarrollo fisiológico caracterizado por un incremento en el contenido hídrico que hace que aumente de tamaño y que produce cambios típicos por estiramiento de las zonas intercarpelares, así como por variar su coloración hacia tonalidades verde pálido. Una característica del proceso de maduración de la chirimoya, común a la mayoría de los frutos, es la reducción en la firmeza del fruto asociada al

incremento de la actividad de enzimas pectinolíticas que degradan las paredes celulares. Estudios hechos en varios frutos demostraron que, durante el proceso de ablandamiento, las paredes celulares pierden su estructura en un grado variable, lo que también ocurre en la chirimoya (Sevillano-Tripero, 2007).

Como en la mayoría de los frutos climatéricos, en la chirimoya el carbono está almacenado en forma de almidón dentro de los amiloplastos. El contenido de almidón de la chirimoya oscila entre 10 y 12% del peso total. Cuando se alcanza el grado de madurez óptimo, el almidón ya se ha hidrolizado en glucosa y fructosa. La acumulación de mono y disacáridos, como consecuencia de la hidrólisis de almidón, produce un aumento del contenido de sólidos solubles totales (sst). Existe una correlación entre el contenido de sst y el sabor de la fruta, aunque existen diferencias entre variedades, la chirimoya madura alcanza un valor de 18 a 24°Brix (Sevillano-Tripero, 2007).

Los frutos enfrentan la siguiente problemática:

a) Fisiopatías y desórdenes físicos

Daño por frío: La exposición de los frutos del género *Annona* a temperaturas inferiores a 8-12°C (46-54°F), dependiendo de la variedad y estado de madurez, resulta en daño por frío. Los síntomas incluyen un oscurecimiento y endurecimiento de la cáscara, depresiones, incapacidad de desarrollar buen sabor y pulpa "harinosa".

Partiduras: En algunos cultivares la partidura de frutos ocurre en estados avanzados de madurez y con tasas altas de producción de etileno. Se ha sugerido que cambios en la turgencia relacionados a la producción de azúcares neutros durante la maduración provoca movimientos de agua desde la cáscara y posiblemente del receptáculo hacia la pulpa. El incremento en el diámetro del receptáculo aumenta el stress en la pulpa y cáscara, lo que produce la partidura del fruto (Kader y Arpaia., 2007).

b) Principales desórdenes patológicos causados por hongos.

Antracnosis: Es causada por *Colletotrichum gloeosporioides* y aparece como lesiones oscuras, pudiendo producir masas rosadas de esporas bajo condiciones de alta humedad.

Cáncer negro: Es causado por *Phomopsis anonacearum* y aparece como manchas púrpuras en el fruto, las cuales se endurecen y agrietan, seguido del desarrollo de pequeños cuerpos negros que contienen esporas.

Botryodiplodia: Es causado por *Botryodiplodia theobromae* y aparece primero de color púrpura, y más tarde granuloso con picnidios negros. La pulpa se vuelve café y corchosa (Kader y Arpaia., 2007).

c) Cambios postcosecha

El estado de madurez depende de los propósitos de comercialización de cada especie. Los cambios asociados a la madurez se relacionan con el cumplimiento de los gustos exigidos por el consumidor. Entre los más representativos se encuentran:

Color se podría decir que es el cambio más notorio en muchas frutas. Consiste en la degradación de la clorofila para dar paso a pigmentos que oscilan entre el amarillo y el rojo. Un ejemplo son las antocianinas, hidrocarburos no saturados de cuarenta carbonos cuyo color es muy fuerte y puede opacar a la clorofila y otros carotenoides.

Carbohidratos es el cambio más representativo de las frutas climatéricas. Lo que ocurre es que el almidón es convertido casi en su totalidad en azúcares, lo cual hace que el fruto sea más aceptado por el consumidor al ser más dulce y con una textura más blanda.

Ablandamiento de la fruta se debe más que nada a la acción de sustancias pecticas, como la protopectina, que se va degradando a medida que la fruta va madurando, induciendo con esto el ablandamiento de la misma.

Ácidos orgánicos durante la maduración se convierten en azúcares o desaparecen en el proceso de respiración (Dáger y Cornejo, 2003).

Los estándares de calidad obligatorios en frutas frescas están orientados a asegurar la aceptación del consumidor. Dependiendo de la fruta se dan los indicadores (Dáger y Cornejo, 2003).

Estos factores hacen que después de su madurez climatérica, la chirimoya sea de difícil manejo, ya que también es sensible a daños mecánicos y físicos. La fruta también es sensible a daños externos causados por la mosca de la fruta, ocasionando problemas con la apariencia externa. Una alternativa valiosa es procesar la fruta sin alterar su calidad para el mercado, por lo tanto es interesante la pulpa de chirimoya como materia prima para la elaboración de jugo, igualmente se puede utilizar mezclándola con otros productos para desarrollar sabor o por sus cualidades saludables (Brito *et al.*, 2008).

d) Modificación de las propiedades del fruto debido al procesamiento.

Cuando las frutas son procesadas, diversos factores físicos y químicos se modifican; entre ellos el color, el cual es un atributo de calidad muy importante para la determinación del tiempo de vida útil de un producto y muy apreciado por los consumidores. Existen básicamente dos tipos de reacciones no enzimáticas asociadas con la pérdida de color en los alimentos, una debida a las reacciones de azúcares reductores y aminoácidos (reacciones de Maillard), y la otra a reacciones de oxidación, tal como la conversión de polifenoles en policarbonilos o la degradación oxidativa del ácido ascórbico (Cortés *et al.*, 2008). La reacción de Maillard se lleva a cabo entre un grupo aldehído o cetona, procedente de los azúcares reductores, y grupos aminos de aminoácidos o proteínas, va acompañado por una reducción de la solubilidad de las proteínas, una disminución del valor nutritivo y la producción de sabores extraños. En la Figura 1.3 se muestra un diagrama de la reacción de *Maillard* (Avilés-Vale., 2006).

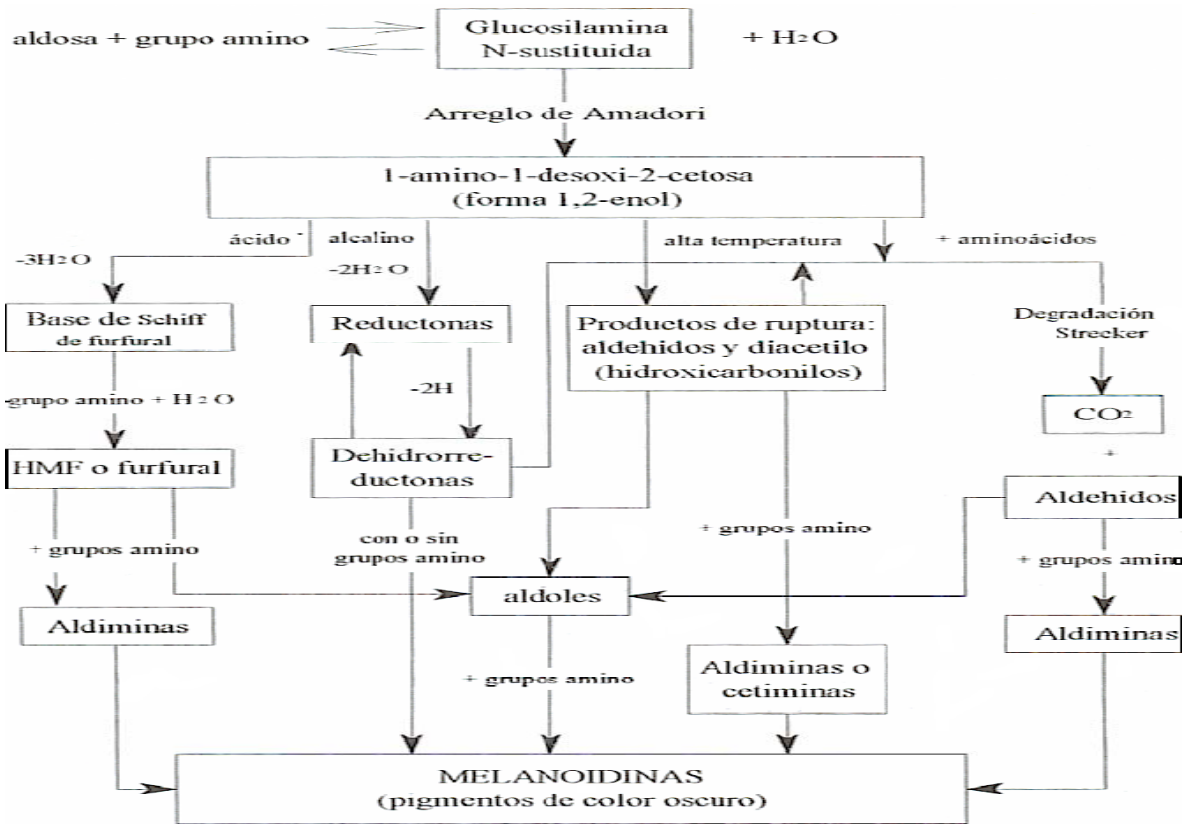


Figura 1.3. Reacción de Maillard (tomado de Casp y Abril, 1999).

Ésta incluye una serie de reacciones en las que el desarrollo del color tiene lugar en el último paso del proceso. Se puede resumir en tres pasos, en el paso inicial no hay producción de color; ocurre una condensación azúcar-amino para formar una glucosilamina-N-sustituida. Esta reacción es reversible, luego se lleva a cabo el re-arreglo de Amadori, la glucosilamina se transforma en una cetosimina o aldosaamina. En el paso intermedio se forman colores amarillos muy ligeros y producción de olores desagradables. Las reacciones que se llevan a cabo dependen de las condiciones de pH y de la actividad de agua del sistema. Puede ocurrir una deshidratación de azúcares, donde se forman derivados del furfural, reductonas o dehidrorreductonas. También puede ocurrir una fragmentación de azúcares, donde se forman compuestos α -hidroxicarbonilos, glucoaldehído, piruvaldehído, acetol, acetoína, diacétilo, etc. En adición, puede llevarse a cabo la degradación de *Strecker*, donde aminoácidos más las dehidrorreductonas (formadas de la deshidratación de azúcares) forman aldehídos con un átomo de carbono menos que el aminoácido inicial, más CO_2 . En el paso final hay

una formación de pigmentos responsables del color llamadas melanoidinas. Ocurre una condensación aldólica de compuestos intermedios para formar pigmentos insaturados con propiedades fluorescentes. Por último se lleva a cabo una polimerización de aldehídos con aminas (Casp y Abril, 1999).

Por otro lado, en la Figura 1.4 se muestra la degradación de ácido ascórbico. El comienzo de la reacción ocurre en presencia de oxígeno y es catalizada por un metal. En un mecanismo general, el ácido ascórbico se convierte en ácido dehidroascórbico por la oxidación de dos electrones y la disociación de hidrógeno. Esta reacción es reversible. El ácido dehidroascórbico es altamente inestable por la susceptibilidad a hidrólisis del puente de lactona y forma ácido 2, 3 diketogulónico. Si la ruta es anaeróbica ocurre una deshidratación seguida de una decarboxilación formándose una 3-deoxipentosa. Luego ocurre una reducción y se forma 2-furaldehído y 2-ácido furónico. Si la ruta es aeróbica ocurre una decarboxilación y el ácido 2,3 diketogulónico se convierte en xilosa. Los productos finales 3-deoxipentosa, 2-furaldehído y xilosa en presencia o ausencia de aminoácidos forman los pigmentos marrones, cambios en sabor y aroma y decoloración (Avilés-Vale, 2006).

Los factores que aceleran esta reacción de oxidación son: el oxígeno del aire, la presencia de luz, los álcalis, la presencia de metales como el cobre y la temperatura (Castillo-Soto y Miranda-Sánchez, 1995).

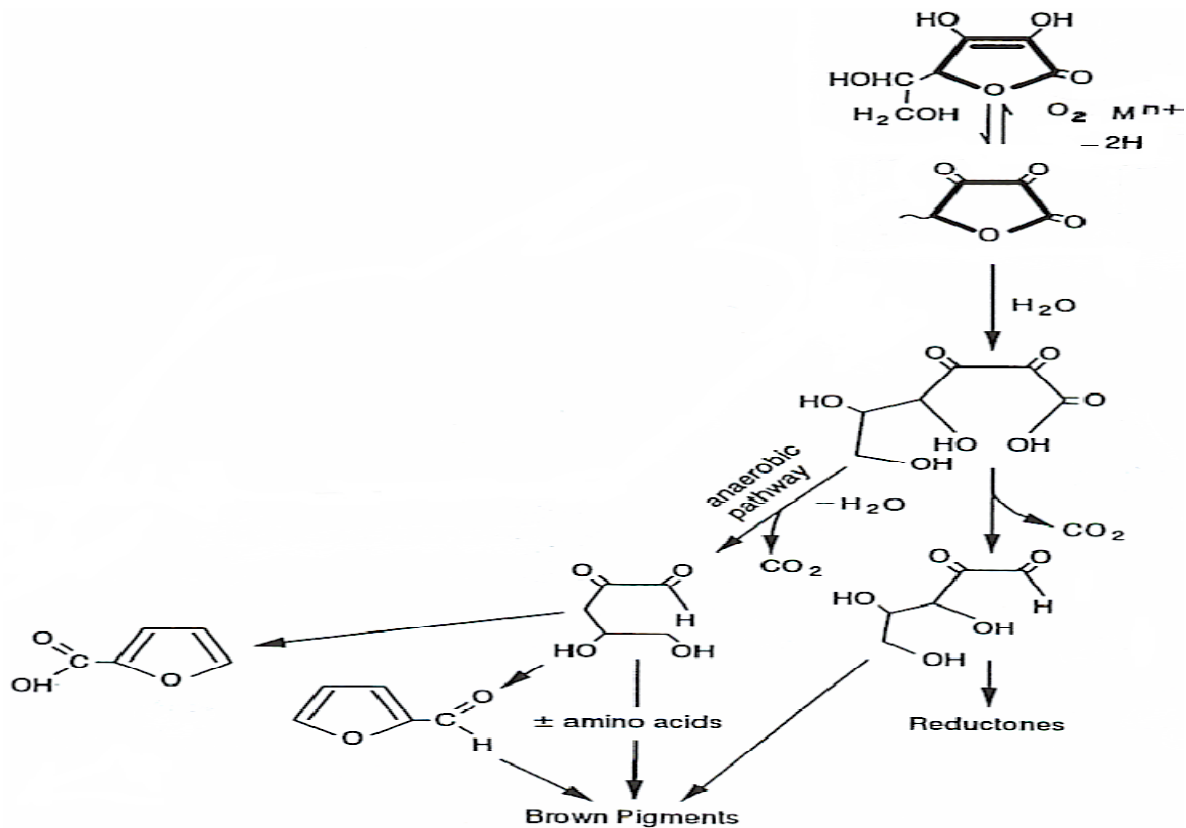


Figura 1.4. Degradación de ácido ascórbico, modificado de Fennema (1996)

Las pérdidas de vitaminas, disminuyen la calidad nutricional de los alimentos, no así su calidad organoléptica. La vitamina más sensible o lábil es el ácido ascórbico o vitamina C, que se pierde fácilmente por parámetros tales como, oxidación, interacción con otros metales, temperatura, etc. (Castillo-Soto y Miranda-Sánchez, 1995).

Se ha discutido ampliamente sobre las vías no enzimáticas que causan problemas de cambios de color no deseados en las frutas, aunque durante su procesamiento se presenta la disrupción de la integridad celular, liberando enzimas endógenas que pueden perjudicar al producto; tal es el caso de las polifenol oxidasas que promueven el oscurecimiento enzimático de jugos, néctares, jaleas y otros de sus derivados (Fennema, 1996).

El oscurecimiento es causado por la acción de una enzima ó múltiples enzimas que oxidan al catecol a ortoquinonas. Estas polimerizaciones originan compuestos coloreados oscuros conocidos como melanoidinas. Este mecanismo se ha observado

en papas y manzanas peladas y cortadas, champiñones, etc. La principal enzima responsable de las reacciones de oscurecimiento es la polifenoloxidasas (Vargas y Vargas *et al.*, 2008).

Las reacciones de oscurecimiento en la mayoría de los casos generan un efecto negativo en el producto. Para inhibir dicho oscurecimiento pueden emplearse sustancias químicas, tratamientos térmicos y alta presión hidrostática, entre otros. El uso de bisulfito de sodio fue restringido por la Food & Drugs Administration (FDA) debido a que causaba reacciones alérgicas muy peligrosas en personas con problemas de asma. Una alternativa viable para inhibir el oscurecimiento es el uso de sustancias naturales, como por ejemplo el ácido ascórbico (Meza *et al.*, 2010).

Otra alternativa es el procesamiento térmico de jugos a altas temperaturas, con lo cual se elimina la posibilidad de daño microbiológico y se reduce la actividad enzimática, pero se afecta la calidad del producto, produciendo pérdida de componentes termolábiles y termosensibles responsables de las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos. La calidad de los alimentos esterilizados difieren mucho de los frescos, particularmente el aroma, las vitaminas y componentes volátiles de estos productos son influenciados dramáticamente por los tratamientos térmicos (Acevedo *et al.*, 2002).

1.1.5. Valor nutricional y funcional.

Las condiciones climáticas y de crecimiento, así como el ecotipo, determinan la composición de la chirimoya. El contenido de agua de las futas depende de la que haya tenido disponible el tejido al efectuarse la cosecha (Willis *et al.*, 1998).

En el Cuadro 1.2 se observa una recopilación de la composición nutrimental del fruto, en donde destaca el elevado contenido de agua, la cantidad de carbohidratos, entre los que predominan la glucosa y fructosa. Tiene un bajo contenido de grasas y proteínas, pero dado su alto contenido de azúcares, su valor calórico es entre moderado y alto. Respecto a otros nutrientes, destaca su contenido de potasio y vitamina C. El potasio,

es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula. La vitamina C interviene en la formación de colágeno, huesos y dientes, glóbulos rojos y favorece la absorción del hierro de los alimentos y la resistencia a las infecciones. Además, la vitamina C cumple una función antioxidante (Eroski, 2008).

Cuadro 1.2. Comparativo de la composición fisicoquímica de la pulpa de chirimoya

Componente	(Eroski, 2008)	Besana portal agrario, 2008	Muñoz de Chávez et al., 1996
Humedad		75.7 g	
Carbohidratos	20 g	22 g	
Fibra	1.9 g	1.8 g	
Proteínas		1.0 g	
Cenizas		1.0 g	
Grasas		0.1 g	0.4 g
Fósforo		47 mg	40 mg
Calcio		24 mg	23 mg
Hierro		0.4 mg	0.50 mg
Vitamina A		0.01 UI	1 mcg
Tiamina		0.06 mg	0.1 mg
Riboflavina		0.14 mg	0.11 mg
Niacina		0.75 mg	1.3 mg
Ácido ascórbico	18 mg	4.30 mg	9.0 mg
Potasio	264 mg		
Magnesio	18 mg		
Ácido fólico	14 mcg		
Calorías	81	81	

Una de las ventajas comparativas de la chirimoya es que no tiene colesterol. Por su contenido en carbohidratos tiene un efecto saciante evitando el hambre y, además, es regulador del nivel de glucosa en la sangre al retardar la asimilación de los azúcares. Su riqueza en hierro hace a la chirimoya recomendable para las personas que sufren anemia, descalcificación o debilidad orgánica. Produce un efecto inmediato de calcificación en la dentadura y muy apropiada en casos de osteoporosis como remineralizante. Es muy recomendado el consumo de la chirimoya para uso pediátrico, sobre todo en aquellos niños que se encuentran en pleno proceso de crecimiento, o en caso de enfermedades crónicas. Su contenido de fósforo es muy adecuado para estudiantes y niños, pues refuerza la memoria y todos los procesos de la inteligencia. Por la misma razón es adecuada en ancianos (Expreso, 2007).

La parte comestible de la chirimoya variedad Concha lisa representa cerca del 72.6% de la fruta entera y tiene un alto valor por sus usos industriales. La cáscara, las semillas y la fibra central representan solo 20.4, 6.5 y 0.6% del peso total de la fruta. Puede ser considerada como una buena fuente de fibra, especialmente de pectina soluble y celulosa. El contenido de lignina también es importante, ya que representa al menos 15.9% de las células de la pared (Brito et al., 2008).

1.1.6. Usos.

El cultivo de chirimoya se considera promisorio, con gran potencial y puede ser rentable a largo plazo. Pero la idea es no quedarse tan solo en el cultivo sino ir más allá. La agroindustria es una buena opción para productos elaborados como pulpa de chirimoya entre otros, tal como se ha hecho en Chile. A lo mejor son pocos los que conocen que de la chirimoya se puede obtener: un cremoso y suave licor, deliciosos helados, manjares, jugos, pulpas y más productos elaborados (Figura 1.5). Perú, Bolivia, Chile son algunos de los países que están incursionando en este mercado (Sylva-Fusseau., 2009).



Figura 1.5. Productos elaborados con chirimoya.

La chirimoya también ha sido empleada desde tiempos prehispánicos con fines terapéuticos. Dentro de sus usos se pueden mencionar el empleo de la semilla molida como antiparasitario, las infusiones de hoja y corteza para tratar enfermedades de la piel y el cáncer, además de su capacidad plaguicida. La familia *Annonaceae* ha

despertado gran interés en las últimas décadas debido a la presencia de las acetogeninas, metabolitos con un amplio espectro de actividades biológicas, dentro de las cuales podemos mencionar la citotóxica, antitumoral, antifúngica, antimicrobiana y plaguicida (García-Aguierre *et al.*, 2008).

A la chirimoya se le considera actualmente un producto de élite y se estima que todavía algunos años más será así debido al poco conocimiento que se tiene de este fruto en el mercado internacional. Para hacer factible las exportaciones en mayor escala, se requiere de una adecuada e intensa campaña publicitaria, sobretodo estimando que en varios países su producción aumenta, y por tanto, captar mercados aun reducidos, será muy difícil (Ferrucci, 2008).

El olor, sabor y su pulpa blanca son las principales características que confieren a la chirimoya un alto potencial comercial, especialmente para los mercados de exportación (Brito *et al.*, 2008). Sin embargo existen restricciones que dificultan el procesamiento industrial de la chirimoya: el oscurecimiento enzimático de la pulpa, seguido de una coloración rosa dada por la oxidación. La segunda restricción es la alta viscosidad del puré, ya sea obtenido mecánica o manualmente. Esto limita su uso en la industria de las frutas (Brito *et al.*, 2008).

1.2. Las enzimas en la industria de procesamiento de jugos.

1.2.1. Las enzimas y su función.

Las enzimas son catalizadores biológicos, es decir, proteínas que tienen la capacidad de acelerar ciertas reacciones químicas. En los últimos años su uso en gran cantidad de industrias ha adquirido gran relevancia. Los procesos catalizados por enzimas en la industria son cada día más numerosos, ya que presentan ventajas frente a los catalizadores no biológicos. Existen enzimas empleadas en el procesamiento de alimentos vegetales denominadas genéricamente pectinasas, que digieren la **pectina**, substancias presentes en las paredes de las células vegetales. En los extractos

comerciales de pectinasas usados para la fabricación de jugos de frutas coexisten tres enzimas: la pectinliasa, la poligalacturonasa y la pectinesterasa. Estas enzimas en combinación hidrolizan a la pectina, que es un polisacárido constituido principalmente de ácido galacturónico que se encuentra parcialmente metoxilado (Figura 1.6). De tal manera que las pectinliasas actúan sobre la pectina; las pectinesterasas eliminan los grupos metoxilo y la poligalacturonasa actúa sobre la pectina una vez que ésta ha sido desmetilada (Montes-Horcasitas y Magaña-Plaza 2002).

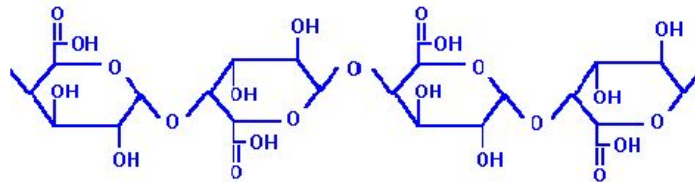


Figura 1.6. Estructura química de la pectina

El principal componente estructural de los vegetales es la celulosa, la cual funciona en la mayoría de la materia prima vegetal como un secuestrador o barrera estructural que limita la liberación de componentes de sabor o de interés para la industria alimentaria. La **celulosa** es un polisacárido formado por unidades de anhidro glucosa, las cuales se mantienen unidas mediante enlaces β -1,4 glucosídicos (Figura 1.7). Pero además, la configuración β le permite a la celulosa formar cadenas largas y lineales, las cuales no se presentan aisladas sino unidas entre sí mediante enlaces de hidrógeno intramolecular formando una estructura supramolecular cristalina y organizada, resistente a la hidrólisis y extracción de compuestos de interés (Ovando-Chacón *et al.*, 2005).

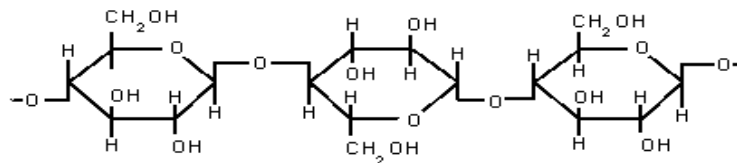


Figura 1.7. Estructura química de la celulosa

1.2.2. Extracción de jugos.

En la extracción del jugo, los preparados enzimáticos tienen un enorme potencial de aplicación por dos razones: por un lado se incrementa el porcentaje de extracción de los jugos; y por otro lado, el jugo presenta un mejor sabor. Por ejemplo, la maceración enzimática de la zanahoria; así como de otras frutas y vegetales, es una etapa importante previa, en cualquier proceso industrial en donde se utiliza el tratamiento térmico, por dos razones: primero, para evitar o disminuir la pérdida de los componentes nutricionales presentes en el tejido vegetal y segundo, para evitar el deterioro de las propiedades sensoriales del producto como son la textura y el sabor (Ovando-Chacón *et al.*, 2005).

Las primeras enzimas empleadas en las industrias de jugos de frutas fueron las enzimas pécticas para la clarificación del jugo de manzana. Actualmente las enzimas pécticas se usan en el procesamiento de muchas otras frutas, junto con amilasas y celulasas. Durante la extracción de los jugos cuando se desintegran los tejidos vegetales, una parte de la pectina, pasa a la solución, otra se satura con el jugo y una más permanece en las paredes celulares. Las enzimas pécticas se usan para facilitar el prensado, la extracción del jugo y la clarificación ayudando a la separación del precipitado floculante (Eliécer-Carrera, 2003).

El interés sobre el estudio de la aplicación de enzimas en la industria de la extracción de productos vegetales se ha incrementado de manera importante en las últimas dos décadas, debido a que ha mostrado ser una herramienta factible facilitando la liberación de los componentes de las células del tejido además de liberar el compuesto extra que se encuentra encerrado dentro de las células mejorando la producción (Ovando-Chacón *et al.*, 2005).

En el procesamiento de jugos de frutas el producto obtenido generalmente es viscoso, debido a la pectina disuelta, y turbio por los fragmentos de paredes celulares en suspensión. Cuando se agregan pectinasas, la viscosidad disminuye y las partículas pueden eliminarse fácilmente, centrifugando el líquido o filtrándolo. Este mecanismo produce un líquido con una presentación más atractiva para el consumidor (Montes-

Horcasitas y Magaña-Plaza, 2002). Lo cual nos conduce a el estudio de la reología de las pulpas y jugos, que tiene una gran importancia en la industria del procesamiento de frutas, incluyendo aplicaciones tecnológicas, sensoriales y de ingeniería, como, por ejemplo, proyectos de bombas, tuberías, intercambiadores de calor y tanques de mezclado (Torralles *et al.*, 2006). Estos estudios han sido considerados como una herramienta analítica para proveer información fundamental de la estructura de los alimentos y juega un papel importante en la transferencia de calor a los flujos. Las propiedades reológicas de los alimentos están fuertemente influenciadas por la temperatura, concentración y estado físico de dispersión (Andrade *et al.*, 2009).

La reología de los alimentos ha sido definida como "el estudio de la deformación y flujo de las materias primas sin procesar, los productos intermedios o semielaborados, y los productos finales de la industria alimentaria" (Camacho *et al.*, 2007). Se puede hacer una primera distinción entre alimentos con comportamiento newtoniano y no newtoniano, según obedezcan a la ley de Newton de la viscosidad o no. Para los fluidos newtonianos la función viscosidad es constante, siendo precisamente su valor el de la viscosidad newtoniana. En los fluidos no newtonianos ya no se puede hablar de la viscosidad ya que la relación entre el esfuerzo y la velocidad de deformación no es constante, en este caso, se define la viscosidad aparente la cual es función de la velocidad de deformación (Pagani, 2001).

Una segunda clasificación distingue los fluidos dependientes e independientes del tiempo. Los fluidos cuyo comportamiento solo depende del esfuerzo cortante se denominan independientes del tiempo y su viscosidad a una determinada temperatura sólo depende de la velocidad de deformación. Los fluidos dependientes del tiempo son aquellos cuya viscosidad depende además del gradiente velocidad del tiempo que actúa dicho gradiente, estos comportamientos se observan en la Figura 1.8. Además, hay un tipo de alimentos que tienen un comportamiento intermedio entre fluido viscoso y sólido elástico, son los denominados fluidos viscoelásticos. Se puede realizar una clasificación de los fluidos alimentarios según el siguiente esquema (Pagani, 2001):

A) - Comportamiento independiente del tiempo

- 1.- Fluidos newtonianos
- 2.- Fluidos no newtonianos
 - a) Plásticos
 - b) Pseudoplásticos
 - c) Dilatantes

B) - Comportamiento dependiente del tiempo

- 1.- Fluidos tixotrópicos
- 2.- Fluidos antitixotrópicos o reopéticos

C) - Comportamiento viscoelástico

Existe gran cantidad de información acerca de cada uno de estos tipos de fluidos, los modelos que los caracterizan y a los cuales se ajustan, siendo de importancia para este trabajo los fluidos pseudoplásticos. Los fluidos pseudoplásticos se caracterizan porque su viscosidad aparente decrece cuando aumenta el gradiente de velocidad de deformación. Este comportamiento indica una ruptura o reorganización continua de la estructura, dando como resultado una menor resistencia al flujo, y es debido a la presencia de sustancias de alto peso molecular (Camacho *et al.*, 2007).

Este tipo de comportamiento es muy usual en los fluidos alimentarios, siendo quizás el comportamiento no newtoniano más común. Ejemplos de fluidos pseudoplásticos son: jugos de frutas concentrados clarificados, purés de frutas y vegetales, concentrados de proteínas, yema de huevo con sal, etc. (Pagani, 2001).

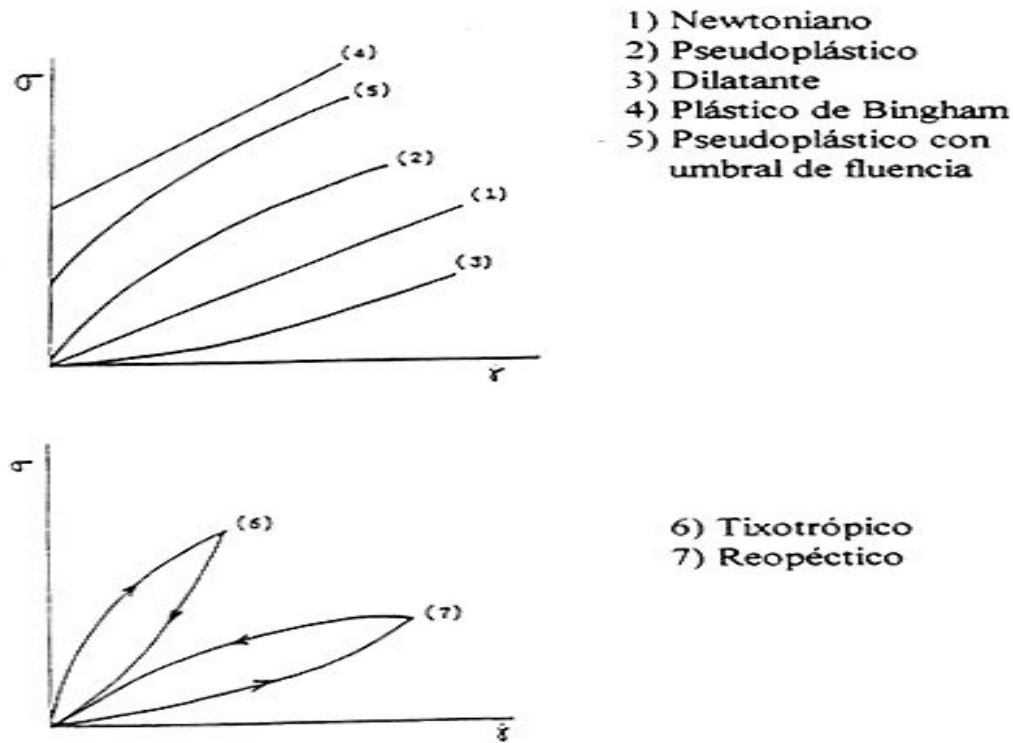


Figura 1.8. Comportamiento de los fluidos independientes y dependientes del tiempo (Pagani, 2001).

El modelo matemático más utilizado para la caracterización reológica es el de la ley de potencia (Ec. 1) debido a su gran aplicabilidad, donde se relaciona la fuerza de cizallamiento con la variación del gradiente de cizalla (Torralles *et al.*, 2006). Este modelo ha sido utilizado para describir el comportamiento reológico de la pulpa de mango centrifugado (*Mangifera indica* L.) en un intervalo de temperatura de 10°C a 60°C (Vidal *et al.*, 2004), pulpa de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) de 25°C a 60°C (Nindo *et al.*, 2007) y miel de abeja de 10°C a 50°C (Pereira *et al.*, 2003).

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde K es el índice de consistencia de flujo y n es el índice de comportamiento al flujo. K da una idea de la consistencia del producto y n de la desviación del comportamiento al flujo respecto al newtoniano (Camacho *et al.*, 2007).

A continuación se hace referencia a algunos trabajos previos de la utilización de enzimas en la estabilización en jugos de diferentes tipos de frutos, incluyendo la chirimoya.

Carneiro *et al.* (2002) refieren que para el jugo de piña después de la microfiltración se adicionó un complejo enzimático formado por Pectinex SPL (complejo enzimático con actividad pectolítica y hemicelulítica) y Celuclast 1.5L (con actividad celulolítica) (Novo Nordisk) con una concentración de 0.03% v/v, a 30°C durante 60 min. Obteniendo un producto de menor viscosidad con variaciones no significativas en las características fisicoquímicas del jugo.

Por su parte Cassano *et al.* (2003) mencionan que en el caso del jugo de kiwi, después del despulpe se agregó Na₂SO₃, para evitar reacciones de oscurecimiento. El tratamiento enzimático se realizó utilizando Pectinex Ultra SPL (Novo Nordisk), con actividad estándar de 26000 PG/ml. Se agregaron 10 g de enzima por cada kg de pulpa y se incubó 4 h a temperatura ambiente, seguido de una filtración con malla de tela. Realizaron este tratamiento con la finalidad de lograr un mayor rendimiento de la pulpa (75-80 w/w%).

Lacroix *et al.*, (2004) realizaron la extracción del jugo de naranja en un cuarto frío (4°C), posteriormente lo filtraron a través de una malla de tela y le adicionaron 4 g/L de meta bisulfito de potasio para prevenir el crecimiento microbiano y las reacciones de oscurecimiento enzimático.

Lee *et al.* (2005) utilizaron Pectinex Ultra SPL para la clarificación del jugo de plátano (Novo Nordisk Ferment) y encontraron que las condiciones óptimas de trabajo fueron: concentración de enzima de 0.084%, temperatura de 43.2°C y un tiempo de incubación de 80 min. Con un tratamiento previo adicionando 0.02% de AMG 300L (glucoamilasa) a 60°C por una hora para hidrolizar el almidón.

Brito (2008) en su estudio sobre la chirimoya probó dos preparaciones enzimáticas Rapidase Carrot Juice® (pectinasa) y Rapidase Pomaliq 2F® (DSM, Seclin Francia). Este autor demostró que preparaciones solo con actividad pectinasa no funcionaron por

la liberación de azúcares neutros y uronidos en cantidades significantes. Únicamente las preparaciones enzimáticas con actividad pectinolítica y celulolítica dieron buenos resultados. Ambas enzimas trabajaron similarmente pero la Rapidase Pomaliq 2F® presentó una diferencia significativa en el sabor, esto debido al contenido de xilosa que predomina en la pared celular de la chirimoya. También cita que la temperatura óptima de operación fue de 45°C, agregando 1 mL de enzima diluida en 100 g de puré de fruta, con agitación magnética y con una posterior pasteurización del jugo a 80°C por 5 min.

1.3. Microencapsulación mediante secado por aspersión.

1.3.1. Origen y generalidades del proceso

Los procesos de microencapsulación fueron desarrollados entre los años 1930 y 1940 por la National Cash Register para la aplicación comercial de un tinte a partir de gelatina como agente encapsulante mediante un proceso de coacervación. La utilización de microcápsulas abarca una amplia gama de campos: la liberación controlada de sabores, colores, aromas, perfumes, drogas, fertilizantes y precursores en impresiones. (Yáñez-Fernández *et al.*, 2005).

La microencapsulación es un proceso mediante el cual ciertas sustancias bioactivas (sabores, vitaminas o aceites esenciales) son introducidas en una matriz o sistema pared con el objetivo de evitar su pérdida, para protegerlos de la reacción con otros compuestos presentes en el alimento o para impedir que sufran reacciones de oxidación debido a la luz o al oxígeno. Una ventaja adicional es que un compuesto encapsulado se liberará gradualmente del compuesto que lo ha englobado o atrapado y se obtienen productos alimenticios con mejores características sensoriales y nutricionales. Se utiliza también el término microencapsulación en la industria alimentaria o farmacéutica cuando se encapsulan sustancias de bajo peso molecular o en pequeñas cantidades (Yáñez-Fernández *et al.*, 2005).

La microencapsulación hoy en día se aplica para preservar y/o proteger numerosos ingredientes comerciales. El material que es cubierto se refiere como fase interna y el material que recubre es llamado pared y generalmente no reacciona con el material a encapsular (Figura 1.9) (Pedroza-Islas, 2002).

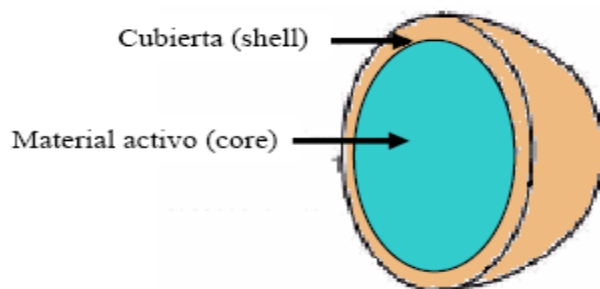


Figura 1.9. Estructura general de una microcápsula (Lozano-Berna, 2009)

1.3.2. Materiales pared utilizados.

Desarrollos recientes se han hecho con nuevos acarreadores (Cuadro 1.3), incluyendo coloides y gomas naturales, para la obtención de mezclas que permitan incrementar la retención de compuestos volátiles y la vida de anaquel de las microcápsulas. Se ha conseguido la retención de aceites esenciales de naranja y disminuido su oxidación al usar goma arábiga (Yáñez-Fernández *et al.*, 2005).

Cuadro 1.3. Tipos de Coberturas Utilizadas en Microencapsulación

Tipo de Cobertura	Cobertura específica
Gomas	Gomas arábiga, agar, alginato de sodio, carragenina
Carbohidratos	Almidón, dextranos, sacarosa, jarabes de maíz
Celulosas	Carboximetil-celulosa, metilcelulosa, etil celulosa, acetilcelulosa
Lípidos	Ceras, parafinas, tristearina, ácido esteárico, monoglicéridos, diglicéridos, aceites, grasas
Materiales inorgánicos	Sulfato de calcio, silicatos

Fuente: Yáñez-Fernández *et al.*, 2005

1.3.3. Morfología de las microcápsulas.

Las microcápsulas presentan una amplia variedad de estructuras, algunas son de geometría esférica con una fase interna continua rodeada por una pared también continua (estructura de partícula simple), mientras que otras presentan una geometría irregular y pueden tener la fase interna distribuida en una matriz de material de pared (estructuras agregadas) con un tamaño en el intervalo de 0.2 a 5000 μm (Pedroza-Islas, 2002). Generalmente se pueden clasificar como: microcápsulas de sistema reservorio o capsular y microcápsulas en sistema matricial:

- a) Sistema reservorio o capsular: el material activo se encuentra en una especie de reservorio, que puede ser de naturaleza líquida o sólida, el cual se haya envuelto por una fina película del material de recubrimiento. En la Figura 1.10 se observa el caso de una partícula con el interior lleno (Figura 1.10a), o bien con el interior parcialmente vacío creando una microcápsula hueca (Figura 1.10b).
- b) Sistema matricial: el material activo se encuentra altamente disperso en la matriz polimérica. Se puede tener una estructura en forma de espuma en donde el material activo se localiza repartido en toda la microcápsula y la cubierta o bien permanece intacta (Figura 1.10c) o bien en una estructura abierta en forma de red (Figura 1.10e). También podemos observar microcápsulas en las que el material activo está disperso en la matriz que sirve como cubierta, tanto como esfera llena (Figura 1.10d) como en la periferia (Figura 1.10f). Un ejemplo de microcápsulas tipo 1.10d sería el uso de nanopartículas como material activo. La forma de las microcápsulas podrá ser esférica o bien presentar una forma irregular (Figura 1.10g) (Lozano-Berna, 2009).

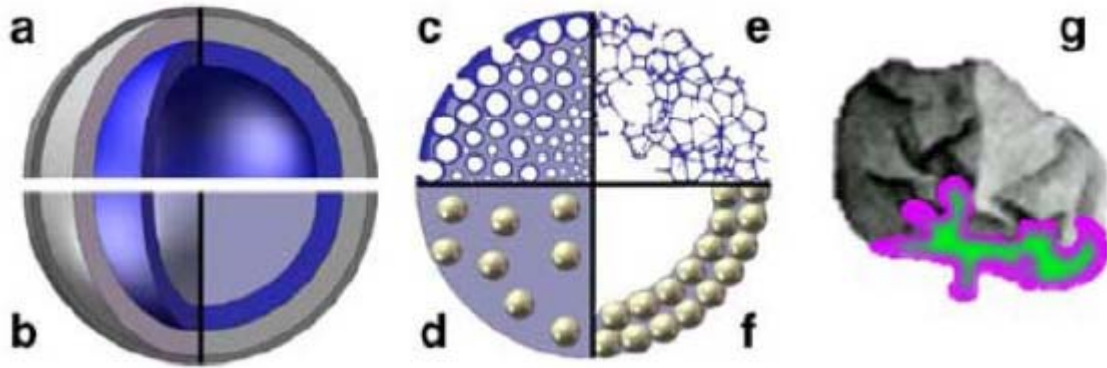


Figura 1.10. Morfología de los diferentes tipos de microcápsulas (Vehring, 2008).

Diversas técnicas han sido desarrolladas o aplicadas para la fabricación de microcápsulas, pudiendo ser clasificadas como métodos físicos, químicos, o fisicoquímicos. El tipo de proceso utilizado depende de las propiedades del agente encapsulante, así como de las limitaciones del material activo, del mecanismo de liberación deseado y el costo (Montes *et al.*, 2007).

En general, estos métodos pueden ser divididos en tres grupos:

Procesos físicos: secado por aspersión, extrusión y recubrimiento por aspersión;

Procesos fisicoquímicos: coacervación simple o compleja y atrapamiento en liposomas y

Procesos químicos: polimerización interfacial e inclusión molecular (Yáñez-Fernández *et al.*, 2005).

La selección del proceso de microencapsulación para una aplicación considera el tamaño medio de la partícula requerida, las propiedades fisicoquímicas del agente encapsulante además de la sustancia a encapsular, las aplicaciones para el material microencapsulado, el mecanismo de liberación deseado y el costo (Yáñez-Fernández *et al.*, 2005).

Para preparar las microcápsulas hay numerosas técnicas, y se ha sugerido que podrían identificarse más de 200 métodos en la literatura de patente (Pedroza-Islas, 2002).

1.3.4. Secado por aspersión

El secado por aspersión es ampliamente usado en la industria de los alimentos debido a que es un método económico y efectivo en la protección de materiales, como en la deshidratación de leche. Los almidones modificados, las maltodextrinas y las gomas son empleados como acarreadores o materiales pared. El material a encapsular es homogenizado con el acarreador; la mezcla es alimentada al secador por aspersión y se atomiza por medio de una boquilla o disco; las microcápsulas se colectan posteriormente, como se esquematiza en la Figura 1.11 (Yáñez-Fernández *et al.*, 2005).

Por definición, el secado por aspersión es la transformación de un líquido en un material sólido, atomizándolo en forma de gotas minúsculas en un medio de secado en caliente. La distribución del tamaño de las partículas obtenidas por este método es en general menor a 100 μm , aunque debemos destacar que ello depende de las condiciones del proceso. La adecuada selección del atomizador y el agente encapsulante, son factores críticos. Una de las grandes ventajas de este proceso, además de su simplicidad, es que es apropiado para materiales sensibles al calor, ya que el tiempo de exposición a temperaturas elevadas es muy corto (5 a 30 s). El tipo de material encapsulante tendrá influencia en la estabilidad de la emulsión antes de secar, el tamaño de partícula, las propiedades de flujo, las mecánicas y en la vida útil del material deshidratado (Pedroza-Islas, 2002).

La microencapsulación es una técnica relativamente nueva que sirve para proteger a los materiales encapsulados de factores que puedan causar deterioro, tales como el oxígeno, la luz o la humedad (Tonon *et al.*, 2009). La microencapsulación por secado por aspersión es un método económico para preservar componentes naturales, mediante el atrapamiento de la sustancia de interés en un material de recubrimiento (Ersus y Yurdagel, 2007).

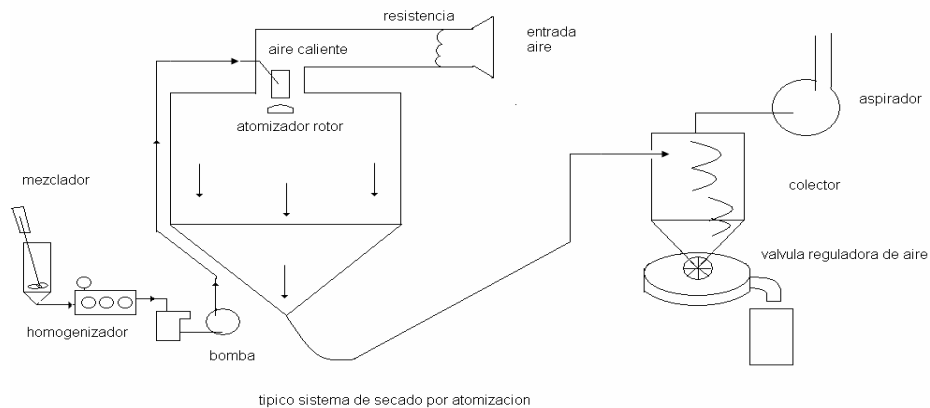


Figura 1.11. Sistema típico de secado por aspersion (Lozano-Berna., 2009).

1.3.5. Problemática de la microencapsulación de jugos.

El someter el jugo de las frutas a un proceso de secado favorece una vida de almacenamiento larga a temperaturas ordinarias ya que al secar el jugo se obtiene un producto estable, de fácil manejo y reconstitución con características semejantes al jugo original. Sin embargo, el secado de los jugos de frutas y otros productos con alto contenido de azúcares presenta dificultades técnicas debido a su higroscopicidad y termoplasticidad a altas temperaturas y humedades. Por esta razón, se recurre a la microencapsulación para la producción de jugos en polvo (Gabas *et al.*, 2007).

El término pegajosidad o “stickiness” hace referencia a los fenómenos de cohesión partícula-partícula y de adhesión partícula-pared que presentan los polvos obtenidos, lo que dificulta su presentación y mancha las paredes de los cilindros de secado, al quedar en la pared del compartimiento como un jarabe; da lugar a bajas producciones del producto y a problemas operacionales. La cohesión es una propiedad interna del polvo y una medida de las fuerzas que mantienen unidas las partículas, mientras que la adhesión es una propiedad interfacial y una medida de las fuerzas que mantienen las partículas unidas a otro material. La mayor causa de la pegajosidad en polvos amorfos de jugos es la acción plastificante del agua en la superficie, que da lugar a la adhesión y cohesión (Lozano-Berna, 2009).

En la industria alimenticia se utilizan diferentes materiales como agentes encapsulantes, tales como: carbohidratos, ésteres, gomas, lípidos, proteínas y materiales inorgánicos, dentro de los carbohidratos las maltodextrinas son importantes para la preparación de jugos que van a ser secados por aspersion, ya que son incoloras, inodoras y de baja viscosidad a altas concentraciones, además permiten la formación de polvos de libre flujo sin enmascarar el sabor original (Gacía-Gutierrez *et al.*, 2004)

Las maltodextrinas son materiales solubles en agua y protegen el ingrediente encapsulado de la oxidación, tienen baja viscosidad y están disponibles en diferentes pesos moleculares lo que proporciona diferentes densidades de pared alrededor de los materiales sensibles (Ersus y Yurdagel, 2007). Estos polisacáridos consisten de unidades de β -D-glucosa unidas principalmente por enlaces glucosídicos (1-4) y se clasifican por lo general de acuerdo con su equivalente de dextrosa (DE). El DE de una maltodextrina determina su capacidad de reducir y es inversamente proporcional a su peso molecular. Se utilizan principalmente en los materiales que son difíciles de secar como los jugos de frutas, aromas y edulcorantes con la finalidad de reducir la viscosidad y los problemas de aglomeración durante el almacenamiento, con lo que la mejora de la estabilidad del producto (Gabas *et al.*, 2007).

Se clasifican según su grado de hidrólisis, expresado como equivalentes de dextrosa (DE). Las maltodextrinas tienen un DE de menos de 20, según la agencia alimentaria de los Estados Unidos (sustancias directas del alimento afirmadas como GRAS; Párrafo 184.14444 de 21 CFR), mientras que los polímeros de glúcidos con DE mayores de 20 se consideran como jarabes de glucosa (endulzantes y jarabes de glucosa; Párrafo 168.121 de 21 CFR) (Lozano-Berna, 2009).

Para el secado por atomización de jugos se han utilizado maltodextrinas y jarabes de glucosa. Cabe señalar como ejemplos el secado por atomización de jugo de sandía con maltodextrinas 9 DE (Quek *et al.*, 2007), jugo de piña con maltodextrina 10 DE (Abadio

et al., 2004), de jugo de mango con maltodextrina 20 DE (Cano-Chauca *et al.*, 2005), o de jugo de acerola con jarabe de glucosa 25 DE (Righetto y Netto, 2005).

Las características finales de un producto en polvo obtenido por secado por aspersion dependen de algunas variables de proceso, tales como las características del líquido (sólidos y viscosidad), el tipo y mecanismo de funcionamiento del atomizador, y las características del aire de secado (Tonon *et al.*, 2009).

1.3.6. Factores que determinan la calidad de productos microencapsulados.

El secado por aspersion de los jugos de fruta es una operación de un solo paso que transforma los jugos en un producto en polvo. La formulación en polvo facilita el transporte al reducir el peso, y también preserva el producto de la degradación bacteriana al disminuir drásticamente la actividad de agua (Lozano-Berna., 2009).

En productos en polvo el contenido de humedad es importante ya que a menor humedad es mayor el tiempo de vida de anaquel, lo cual reduce costos y facilita la transportación. A éste respecto, es importante que un alimento en polvo tenga un contenido de humedad menor al 10%. Actualmente los productos alimenticios en polvo elaborados a partir de frutas y verduras con buenas propiedades nutritivas y de hidratación son de interés en la industria alimentaria (García-Gutiérrez *et al.*, 2004).

Las propiedades fisicoquímicas de los polvos obtenidos por secado por aspersion dependen de algunas variables de proceso como: las características del líquido alimentado (viscosidad, tamaño de partícula, velocidad de flujo) y del aire de secado (temperatura y presión), así como el tipo de atomizador. Por lo tanto, es importante optimizar el proceso de secado, con el fin de obtener productos con mejores características sensoriales y nutricionales (Tonon *et al.*, 2008).

Obtener jugos en polvo es muy atractivo desde el punto de vista industrial, ya que es un sector con gran proyección, encontrándose muchas aplicaciones tanto en el sector de la

alimentación como en el de productos nutraceuticos y de cosmética (Lozano-Berna., 2009).

1.4. Evaluación Sensorial

Finalmente la aceptabilidad de un producto procesado o desarrollado será aprobada por un juez final: el consumidor. ¿De qué manera se pueden evaluar los nuevos productos en su desarrollo? La respuesta a esta interrogante se ha resuelto desde hace mucho tiempo con la evaluación sensorial. La evaluación sensorial es una disciplina científica que permite definir, medir, analizar e interpretar las características de un producto, utilizando para este propósito los órganos de los sentidos bajo la consideración de que no existe ningún instrumento que pueda reproducir o reemplazar la respuesta humana (Villaroel *et al.*, 2003). Surge como disciplina para medir la calidad de los alimentos, conocer la opinión y mejorar la aceptación de los productos por parte del consumidor. Además, la evaluación sensorial no solamente se tiene en cuenta para el mejoramiento y optimización de los productos alimenticios existentes, sino también para realizar investigaciones en la elaboración e innovación de nuevos productos, en el aseguramiento de la calidad y para su promoción y venta (Hernández-Alarcón, 2005).

Este último punto es primordial, ya que no se piensa al comenzar en el impacto que puede producir el producto en el consumidor final; es importante tener en cuenta la opinión del consumidor desde el momento de la etapa del diseño del producto, para así poder determinar las especificaciones de acuerdo a las expectativas y necesidades del mercado (Hernández-Alarcón, 2005).

Las características físicas y químicas de los alimentos causan estímulos sobre los órganos de los sentidos haciendo posible la percepción de impresiones visuales, gustativas, olfativas, táctiles y auditivas que hacen que el individuo acepte o rechace un alimento. Esta aceptación o rechazo es susceptible de ser medida con la ayuda de diferentes pruebas sensoriales (Villaroel *et al.*, 2003).

Existen tres tipos de pruebas sensoriales, las cuales se aplican de acuerdo al objetivo o aspecto que queremos evaluar en el alimento o preparación como se muestra en el Cuadro 1.4 (Lira-Domínguez, 2007).

Cuadro 1.4. Clasificación de las pruebas sensoriales.

Clasificación	Objetivo	Pregunta de interés	Tipo de prueba	Características de Panelistas
Discriminatoria	Determinar si dos productos son percibidos de manera diferente por el consumidor.	¿Existen diferencias Entre los productos	Analítica	Reclutados por agudeza sensorial, orientados al método usado, algunas veces entrenados.
Descriptiva	Determinar la naturaleza de las diferencias sensoriales.	¿En qué tipos de características específicas difieren los productos?	Analítica	Reclutados por agudeza sensorial y motivación, entrenados o altamente entrenados.
Afectiva	Determinar la aceptabilidad de consumo de un producto.	¿Qué productos gustan más y cuáles son los preferidos?	Hedónica	Reclutados por uso del producto, no entrenados.

Fuente: (Lira-Domínguez., 2007)

II. JUSTIFICACIÓN

La importancia del cultivo de la chirimoya radica en su alto valor comercial, ya que existe un gran potencial para ser exportado a Estados Unidos, Japón y Europa debido a sus excelentes características organolépticas. Sin embargo, se enfrenta a una problemática múltiple: se deteriora fácilmente debido a su proceso de maduración, teniendo reducción en la firmeza del fruto asociada al incremento de la actividad de enzimas pectinolíticas que degradan las paredes celulares. Estos factores hacen que después de su madurez climatérica, la chirimoya sea de difícil manejo, ya que también es sensible a daños mecánicos y físicos. Una solución posible para evitar el deterioro es ofrecer una alternativa a la industrialización del fruto, empleando un proceso de transformación que permita conservar el mayor número de propiedades nutricionales y organolépticas. Al respecto el proceso de secado por aspersion se presenta como una opción para industrialización del fruto, sin embargo dado que es deseable que se conserven la mayoría de sus propiedades organolépticas y nutricionales, se puede emplear este proceso asociándolo con un agente encapsulante o protector que permita la estabilidad del fruto procesado y finalmente el producto microencapsulado permita su conservación por periodos de tiempo extensos lo que facilitaría su almacenamiento y distribución; igualmente que mantenga sus propiedades naturales al ser rehidratado y consumido de manera directa o bien que sirva como materia prima en la fabricación de otros productos.

III. OBJETIVOS

General

Secar por aspersion jugo de chirimoya estabilizado enzimáticamente para la obtención de microcápsulas.

Específicos

- a) Caracterizar fisicoquímica y reo lógicamente la pulpa del fruto.
- b) Estabilizar el jugo enzimáticamente con la finalidad de evitar la degradación del color y reducir la viscosidad de la pulpa.
- c) Determinar la temperatura óptima de operación del secado por aspersion así como la concentración del material microencapsulante.
- d) Evaluar mediante parámetros sensoriales la aceptabilidad del producto obtenido.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Material vegetal (frutos)

Los frutos de chirimoya se obtuvieron de la fundación Salvador Sánchez Colín, ubicada en Coatepec Harinas, Estado de México. Los frutos se cosecharon en madurez fisiológica y se transportaron en cajas de cartón (20-25°C, 80-85% HR) al Laboratorio de Biotecnología Alimentaria de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) en la Ciudad de México.

4.2. Caracterización del fruto

Para la caracterización de los frutos, se seleccionaron 25 piezas; por madurez, daños físicos, sanidad, entre otros. Se pesaron y midieron (diámetro y altura transversal). Posteriormente, se lavaron con agua clorada (1%), se les determinó color (colorímetro Minolta CR-300 Hunter L*a*b*, García y Calixto, 2000), se pelaron manualmente, se obtuvo la pulpa, semillas, cáscara y posteriormente el rendimiento de cada uno.

4.3. Caracterización de la pulpa.

Los frutos se lavaron, desinfectaron (agua clorada al 1%), mondaron y eliminaron las semillas. Posteriormente, se elaboró un puré (procesador doméstico Moulinex Oster®), y se le determinaron las siguientes variables: color (colorímetro Minolta CR-300 Hunter L*a*b*, García y Calixto, 2000), pH (método 945.27, AOAC, 1990), humedad (secado en estufa NMX-F-83-1986), sólidos solubles totales (% como °Brix, refractómetro

ATAGO, AOAC, 1990), cantidad de pectina (Método de Carre y Haynes, Kira *et al.*, 2008), azúcares totales (Método del fenol-sulfúrico. Dubois, 1956), azúcares reductores (Método DNS. Miller, 1959), acidez titulable (método 962.12, AOAC, 1990), cenizas (método 942.05, AOAC, 1990) y vitamina C (método 967.21, AOAC, 1990).

4.4. Estabilización enzimática de la pulpa.

La pulpa se sometió a una maceración con los complejos enzimáticos Macerex® y Celluzyme® (ENMEX S.A. de C.V., México, 2010). Las cantidades y condiciones de operación utilizadas fueron las propuestas por el fabricante para cada complejo (Anexo 1). Se realizó un diseño completamente al azar en arreglo factorial (Cuadro 4.4.1) en donde el primer factor (A) a considerar fue la temperatura con tres niveles (ambiente, 50°C y 70°C), el segundo el antioxidante (B) (ácido ascórbico) con dos niveles (sin ácido y con ácido ascórbico 300ppm) y el tercer factor (C) fue el complejo enzimático con tres niveles (sin complejo enzimático, Macerex® y Celluzyme®). La unidad experimental fueron 500 g de pulpa. Las variables de respuesta fueron: acidez titulable (método 962.12, AOAC, 1990), azúcares reductores (método DNS, Miller, 1959), azúcares totales (método del fenol-sulfúrico, Dubois, 1956), pH (método 945.27, AOAC, 1990), pectinas (método de Carre y Haynes, Kira *et al.*, 2008), sólidos solubles totales (%), refractómetro ATAGO, AOAC, 1990), vitamina C (método 967.21, AOAC, 1990), rendimiento (% total m/m respecto a la cantidad de pulpa), viscosidad aparente, índice de consistencia, índice de flujo (viscosímetro de cilindros concéntricos Rheomat RM-180; Mettler. Sistemas 11 y 12) y color (colorímetro Minolta CR-300 Hunter L*a*b*, García y Calixto, 2000). Las determinaciones se realizaron con cuatro repeticiones. Al terminar la maceración, el jugo se filtró, envasó en frascos de vidrio y pasteurizó a 80°C por 5 minutos (Brito *et al.*, 2008).

Cuadro 4.4.1. Diseño estadístico de la estabilización enzimática del jugo.

Factor 1: Temperatura	Ambiente						50°C						70°C					
Factor 2: Antioxidante	N			AA			N			AA			N			AA		
Factor 3: Complejo Enzimático	S	MA	C	S	MA	C	SCE	MA	C	SCE	MA	C	SCE	MA	C	SCE	MA	C

Nota: N-Sin antioxidante, AA-Ácido Ascórbico, SCE- Sin complejo Enzimático, MA-MacereX®, C-Celluzyme®.

4.5. Microencapsulación por secado por aspersión.

Antes de comenzar la microencapsulación por secado por aspersión, se preparó una mezcla de jugo-maltodextrina DE10, como material pared (Globe maltodextrina 10, CPIngredients, México), hasta alcanzar una concentración de 50% b.s. Se utilizó un secador por aspersión tipo Mini Spray Dryer B-290 (BÜCHI, 2010) (Figura 4.5.1), con una velocidad de alimentación de 10 mL/min. Se evaluó el efecto de la temperatura del aire de entrada (120, 140 y 160°C) sobre el jugo estabilizado y encapsulado con maltodextrina a 50% b.s. La temperatura de salida varió de 60 a 80°C. Se empleó un diseño completamente al azar en donde la unidad experimental fueron 500 mL de jugo. Las variables de respuesta en el producto en polvo fueron: cenizas (método 942.05, AOAC, 1990), humedad (secado en estufa NMX-F-83-1986), higroscopicidad (Tonon *et al.*, 2009), solubilidad (Cano-Chauca *et al.*, 2005), actividad acuosa (Aqua Lab Model series 3TE), rendimiento del proceso (calculado por la relación entre el contenido total de sólidos en el polvo y en la mezcla de alimentación), morfología y tamaño de las microcápsulas (las observaciones se realizaron en un microscopio electrónico de barrido marca JEOL Scanning Microscope, modelo JSM-5800LV, las imágenes fueron captadas digitalmente) y color (colorímetro Minolta CR-300 Hunter L*a*b*, García y Calixto, 2000).

En el caso del jugo rehidratado las variables fueron: humedad (método de estufa NMX-F-83-1986), cenizas (método 942.05, AOAC, 1990), acidez titulable (método 962.12,

AOAC, 1990), azúcares reductores (Método DNS. Miller, 1959), azúcares totales (Método del fenol-sulfúrico. Dubois, 1956), pH (método 945.27, AOAC, 1990), sólidos solubles totales (°Brix, refractómetro ATAGO, AOAC, 1990), vitamina C (método 967.21, AOAC, 1990), color (colorímetro Minolta CR-300 Hunter L*a*b*, García y Calixto, 2000). Las determinaciones se realizaron con cuatro repeticiones.



Figura 4.5.1. Mini Spray Dryer B-290 (BÜCHI, 2010)

4.6. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y para la comparación de los tratamientos se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0.01$ y 0.05). Se utilizó el software estadístico The SAS System for Windows 9.0 para procesar los datos.

4.7. Análisis Sensorial

Se evaluaron los parámetros sensoriales: apariencia y aceptabilidad. La evaluación se realizó con un panel de jueces no entrenados de 15 personas, seleccionados de manera arbitraria de edades comprendidas en un intervalo de 18 a 24 años. Las

evaluaciones se realizaron en la pulpa y en el jugo rehidratado. La apariencia y aceptabilidad se midieron a través de una escala numérica tipo hedónica de nueve puntos. El método utilizado para medir preferencias fue el siguiente: se le pidió al panelista que luego de su primera impresión respondiera cuánto le agradaba o desagradaba el producto de acuerdo a una escala numérica estructurada de 1 a 9 puntos (Cuadro 4.7.1)

Cuadro 4.7.1. Cartilla de evaluación sensorial.

Muestra: a o b	No. Panelista:	Fecha:
<p>APARIENCIA</p> <p>9. Me gusta extremadamente 8. Me gusta mucho 7. Me gusta moderadamente 6. Me gusta levemente 5. No me gusta ni me disgusta 4. Me disgusta levemente 3. Me disgusta moderadamente 2. Me disgusta mucho 1. Me disgusta extremadamente</p>		
<p>ACEPTABILIDAD</p> <p>9. Me gusta extremadamente 8. Me gusta mucho 7. Me gusta moderadamente 6. Me gusta levemente 5. No me gusta ni me disgusta 4. Me disgusta levemente 3. Me disgusta moderadamente 2. Me disgusta mucho 1. Me disgusta extremadamente</p>		

Fuente: Loyola-López *et al.*, 2007

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Caracterización del fruto y de la pulpa

En la Figura 5.1.1 se muestran los frutos analizados, la apariencia en general fue buena, presentándose esporádicamente productos dañados con enfermedades como antracnosis y cáncer negro. El peso de los frutos estuvo en un intervalo de 350 a 1 330 gramos, con medidas de 9 a 14 cm de diámetro y 9 a 16 cm de longitud transversal.



Figura 5.1.1. Frutos de chirimoya analizados física y fisicoquímicamente

El rendimiento de la pulpa fue de 58.6%, mientras que las semillas 6.1% y la cáscara 33.2%. Estas últimas, bien podrían utilizarse en otros procesos (Martín et al., 2000; y Tacán-Pérez, 2007).

En cuanto al color de la cáscara (expresado como ángulo Hue [$^{\circ}h = \tan^{-1}(b/a)$], los resultados variaron de 105° a 133° (Figura 5.1.2) de esta manera, el color medido se encontró dentro de los amarillo-verdoso, tal como se aprecia en la Figura 5.1.3. Lo anterior, indicó de manera real la degradación de la clorofila y la aparición de otros pigmentos, lo que podemos relacionar directamente con la maduración de los frutos.

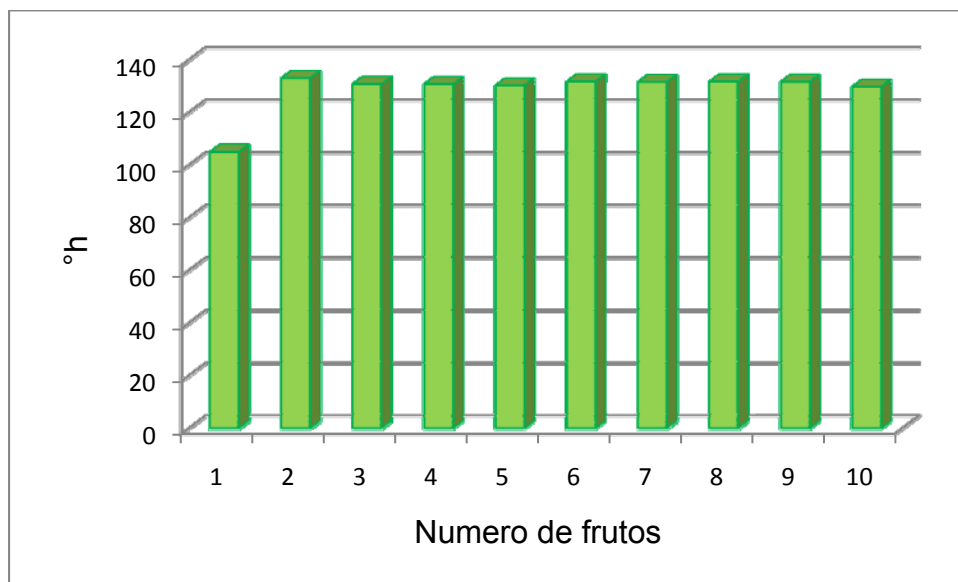


Figura 5.1.2. Variación del color en la cáscara del fruto de chirimoya.

El color medido se expresó como ángulo Hue. Un ángulo Hue de 0° representa un rojo puro, mientras que un ángulo hue de 180° representa un verde puro (Uquiche y Cisneros-Zevallos, 2002), como se puede apreciar en la Figura 5.1.3.

El color también ha sido determinante como índice de cosecha, de ahí que Saucedo y Arévalo (1993) señalaron que la mayoría de las frutas para mercado de consumo en fresco y procesados son cosechados con base en el color de la fruta. Por otro lado Samin y Banks (1993), indicaron que en los frutos de otras especies, los cambios en color dependen de la concentración de fenoles y otros cofactores en los tejidos y que además el color rojo se decolora más rápido que el verde en algunos frutos, presumiblemente debido a una diferencia en la concentración de precursores fenólicos y pigmentos de antocianinas en las áreas rojas. (López-López, 1998)

En el caso del color de la pulpa (sistema Hunter L, a, b), éste se encuentra en un espacio de color rectangular de tres dimensiones, basado en la teoría de los colores opuestos, donde la cromaticidad se evalúa con los parámetros “a” y “b”; concretamente: “a” mide el componente rojo en el eje positivo, gris cuando es 0 y el componente verde en el eje negativo y “b” mide el amarillo en el eje positivo, gris cuando es 0 y el azul en el eje negativo; “L” mide la luminosidad y varía desde 100 para blanco hasta 0 para negro (Brumovsky *et al.*, 2010). De esta manera, los resultados de la evaluación de color en la pulpa (medido como luminosidad “L”), éste varió de 94.77 y 99.98, tal como se puede apreciar en la Figura 5.1.4. El color de la pulpa fue prácticamente blanco.

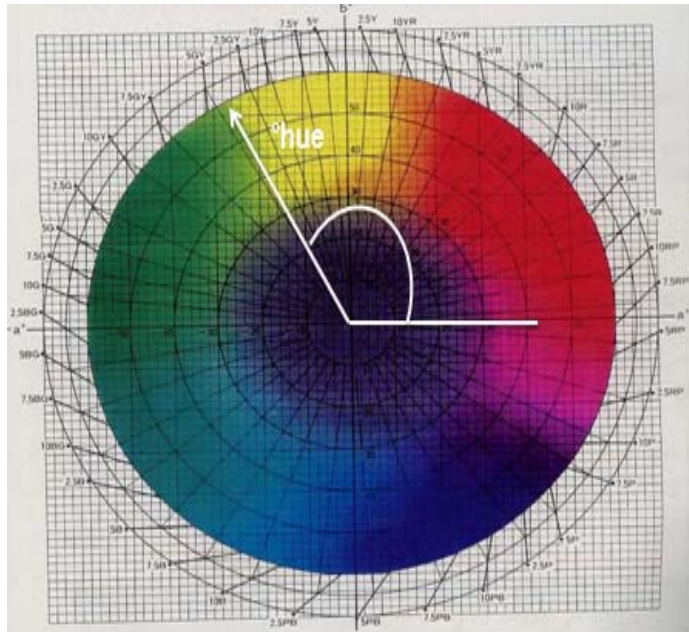
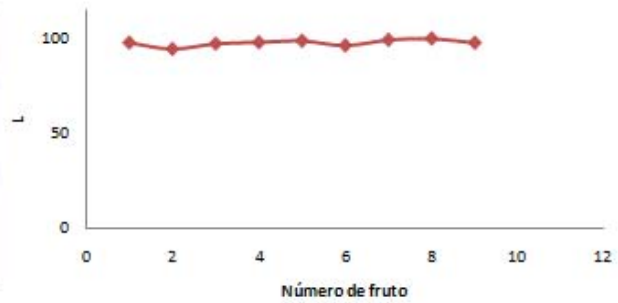


Figura 5.1.3. L*a*b* ($^{\circ}$ hue)



a) Corte transversal de chirimoya



b) Evaluación del color en la pulpa de chirimoya

Figura 5.1.4. Evaluación de color en la pulpa del fruto.

Los resultados del análisis fisicoquímico de la pulpa se muestran en el Cuadro 5.1.1. Representan el promedio obtenido de 25 frutos.

Cuadro 5.1.1. Análisis fisicoquímico de la pulpa de chirimoya

Variable evaluada	Promedio
Humedad	71.2 %
Cenizas	1.12 (g/100g)
pH	4.5
Acidez titulable	0.27 (como ácido cítrico)
Sólidos solubles totales	24 °Bx.
Vitamina C	66.96 (mg/100g)
Azúcares Totales	19.38 (g/100g)
Azúcares Reductores	4.73 (g/100g)
Pectina	1.57 (g/100g)

La mayor parte de la porción comestible de la pulpa de chirimoya fue de agua (71.2%), la cual fue menor en comparación con el contenido de otras frutas frescas (75-95%) de acuerdo con Kirk *et al.* (2008) lo que podría explicarse con el elevado contenido de sólidos solubles (24°Bx). La mayoría de las frutas contiene una cantidad razonable de carbohidratos. Éstos pueden incluir proporciones variables de dextrosa, fructosa y sacarosa, y posiblemente de almidón.

En el caso de los sólidos solubles totales presentes en un jugo o pulpa de la chirimoya, están compuestos principalmente por azúcares, ácidos, sales y demás compuestos solubles en agua (UNC, 2010) por lo que la diferencia entre éstos y los azúcares totales (19.38% ó g/100g), demuestran la presencia de otros los componentes (ácidos, pectinas, etc.). El pH de la pulpa de chirimoya se encuentra dentro del rango de las frutas (2.5 a 4.5; Kirk *et al.*, 2008). Se determinaron cenizas para conocer la cantidad de residuo inorgánico que queda después de quemar la materia orgánica. La ceniza obtenida no tiene necesariamente la misma composición que la materia inorgánica del alimento original, ya que puede haber pérdidas por volatilización o alguna interacción entre los componentes; pero en este residuo inorgánico podemos encontrar minerales como el calcio, el cual es el elemento metálico más abundante en el cuerpo humano y el 99% del mismo se encuentra en huesos y dientes. El resto es esencial para las

contracciones del corazón y otros músculos, para las funciones nerviosas y enzimáticas y la coagulación de la sangre; el potasio que es un componente principal en los líquidos intracelulares de animales y plantas. En los primeros tiene una acción complementaria para el funcionamiento celular junto con el sodio en los líquidos extracelulares y el fosforo que después del calcio, es el mineral más abundante en el cuerpo. Se encuentra en huesos, dientes y líquidos celulares; desempeña una función esencial en la liberación y utilización de energía en los tejidos de animales y plantas y, por lo tanto está ampliamente distribuido en todos los alimentos (Kirk *et al.*, 2008). En particular cada especie de fruta posee compuestos que las hacen diferentes en sus características fisicoquímicas, sensoriales y en su rendimiento, las cuales varían de manera importante de especie a especie y aun entre variedades de la misma especie (Villalba *et al.*, 2006).

5.2. Estabilización enzimática de la pulpa

En pruebas preliminares de estabilización de color se probaron dos tipos de antioxidantes: ácido ascórbico y metabisulfito de sodio a diferentes concentraciones, sin embargo el *Codex Alimentarius* en su norma general para jugos y néctares de frutas, no permite el uso de metabisulfito de sodio como antioxidante (Codex Stan 247-2005), por lo que se descartó su uso. La maceración enzimática de la pulpa se realizó durante 2 h a temperatura (A) ambiente, 50°C y 70°C; con y sin adición de 300 ppm de ácido ascórbico (B) como antioxidante (NOM-130-SSA1-1995) y usando los complejos enzimáticos (C). El efecto de estos factores sobre las variables de respuesta se observa en el cuadro 5.2.1 y 5.2.2.

Cuadro 5.2.1. Efecto de la temperatura, antioxidante y complejo enzimático en las propiedades fisicoquímicas del jugo de chirimoya estabilizado enzimáticamente.

Factor	Acidez (%)	Azúcares Reductores (%)	Azúcares totales (%)	Pectina (%)	pH	SST (%)	Vitamina C (mg/100g)	Rendimiento (%)
Temperatura (A)	**	**	**	**	**	**	**	**
Antioxidante (B)	**	**	**	**	*	**	**	NS
Complejo enzimático (C)	**	**	**	**	**	**	**	NS
AB	**	**	*	**	**	**	**	NS
AC	NS	NS	**	**	**	**	**	**
BC	**	**	**	**	**	**	**	NS
ABC	**	**	NS	**	**	**	**	**

*significativo (5%), **altamente significativo (1%), NS No significativo.

Cuadro 5.2.2. Comparación de medias de las variables evaluadas en el jugo de chirimoya estabilizado enzimáticamente.

Factor	Nivel	n	Acidez (como ácido cítrico)	Azúcares Reductores (g/100g)	Azúcares totales (g/100g)	Pectina (g/100g)	pH	Sólidos solubles totales (°Bx)	Vitamina C (mg/100g)	Rendimiento (%)
Temperatura	70°C	24	0.483 ^a	6.97 ^a	13.14 ^a	1.22 ^a	4.16 ^c	19.00 ^b	213 ^a	65.25 ^c
	50°C	24	0.478 ^a	6.79 ^a	12.63 ^b	0.98 ^b	4.18 ^b	20.33 ^a	205 ^b	75 ^a
	Ambiente	24	0.368 ^b	4.83 ^b	9.40 ^c	0.76 ^c	4.29 ^a	17.17 ^c	174 ^c	73.25 ^b
Antioxidante	Con ácido ascórbico	36	0.465 ^a	5.64 ^b	12.00 ^a	0.95 ^b	4.21 ^a	19.44 ^a	332 ^a	71.66 ^a
	Sin ácido ascórbico	36	0.421 ^b	6.75 ^a	11.44 ^b	1.03 ^a	4.20 ^a	18.22 ^b	64 ^b	70.66 ^b
Complejo enzimático	Macerex®	24	0.538 ^a	7.02 ^a	13.11 ^a	0.78 ^c	3.94 ^c	18.67 ^c	212 ^a	71.66 ^a
	Celluzyme®	24	0.438 ^b	6.00 ^b	11.93 ^b	0.96 ^b	4.28 ^b	18.83 ^b	207 ^a	71.41 ^a
	Sin complejo enzimático	24	0.354 ^c	5.55 ^c	10.13 ^c	1.23 ^a	4.40 ^a	19 ^a	174 ^b	70.41 ^b

Nota: n, número de repeticiones; valores con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). La comparación se realizó ente niveles de cada factor. Los niveles en cada factor están en orden ascendente

Los efectos principales, así como las interacciones entre ellos, fueron altamente significativos ($P < 0.01$) o significativos ($P < 0.05$) para la mayoría de las variables de respuesta (Cuadro 5.2.1).

En el caso de la acidez, los ácidos orgánicos son los sólidos solubles contenidos en mayor cantidad, después de los azúcares y tienen un importante papel en el sabor del fruto, pues lo acentúan (Materano *et al.*, 2004). De esta manera, una mayor temperatura de proceso, la adición del ácido ascórbico y la hidrólisis de las pectinas insolubles por el complejo enzimático Macerex[®] trajo como consecuencia una mayor acidez, además de un aumento en el contenido de vitamina C, y por ende una reducción en el pH (Cuadro 5.2.2) de las muestras.

Por otra parte, la hidrólisis de los polisacáridos presentes en las paredes y membranas celulares (celulosas, pectinas, etc.) así como los de la fase acuosa (sacarosa) de la pulpa de chirimoya, fue directamente proporcional a la temperatura y al complejo enzimático Macerex[®] por lo que se observa un incremento en el contenido de azúcares reductores y totales (Cuadro 5.2.2). En el caso de las pectinas, la pulpa de chirimoya contiene cantidades elevadas (1.96-1.53%. Salazar *et al.*, 2010) y el uso de enzimas pectinolíticas en el caso del complejo Macerex[®], contiene pectinasa por lo que se observó un menor contenido (0.78%) en comparación con el testigo (1.23%) y fue directamente proporcional a la temperatura de proceso.

En cuanto a los sólidos solubles totales (SST), en su mayoría están representados por azúcares, aunque también se encuentran algunos otros (pectinas, ácidos orgánicos, etc.), están relacionados con la gravedad específica de una solución y constituyen un factor importante, junto con la acidez, en el sabor de los frutos, jugos y mermeladas (Materano *et al.*, 2004). El contenido de SST no tuvo una marcada tendencia y se pudo determinar un mayor contenido a una temperatura intermedia (50°C), con adición de ácido ascórbico y sin acción enzimática. Aunque se observó una ligera disminución con el uso de complejos enzimáticos. Los valores elevados de SST podrían atribuirse al estrés térmico que conlleva a la degradación de pectinas componentes del tejido, como

posible daño inducido por el tiempo de exposición al calor. En la industria de los alimentos, es importante que las frutas o sus derivados (jugos, néctares) contengan altos niveles de sólidos ya que se reduce la cantidad de azúcar (sacarosa) a agregar, por ejemplo en los néctares y refrescos en donde se necesita un mínimo de 10°Brix del producto (Lara *et al.*, 2007).

La vitamina C (ácido ascórbico) es la más lábil de los nutrientes y que una gran parte se pierde durante el procesamiento de alimentos. Aún cuando la pulpa de chirimoya tiene un contenido elevado de vitamina C (67 mg/100g), hubo un enriquecimiento con esta vitamina ya que durante el procesamiento se le agregó 300 ppm con el fin de evitar cambios en el color de la pulpa. En este caso, se observaron valores similares en cuanto a la temperatura y el complejo enzimático se refieren (Cuadro 3.4). El enriquecimiento en su contenido se observó claramente cuando se evaluó el factor B (antioxidante) ya que su contenido aumentó más de cinco veces con respecto al testigo (sin ácido ascórbico). El ácido ascórbico es relativamente termoestable. Sin embargo el ácido dehidroascórbico es fácilmente destruido por el calor. Datos bibliográficos indican que el jugo de naranja puede perder hasta 100% de ácido ascórbico cuando se calienta en un recipiente abierto, sin embargo, concentrado al vacío y congelado retiene 95% de su contenido original (Castillo-Soto y Miranda-Sánchez, 1995).

Finalmente, el rendimiento en jugo resultó afectado ($Pr \leq 0.01$) por la temperatura y su combinación con el complejo enzimático, así como por la acción de los tres factores. El menor porcentaje de extracción se dio a la temperatura de 70°C (65%), mientras que el mayor fue a 50°C de 75%.

5.2.1. Evaluación del color

Los mayores valores de luminosidad (L) fueron en los tratamientos a 50°C adicionados con el ácido ascórbico y con el complejo enzimático Macerex® (Cuadro 5.2.1.1). En estos casos se cumplió con el objetivo de evitar el oscurecimiento de la pulpa. Por otra

parte los tratamientos que tuvieron un mayor grado de oscurecimiento fueron los tratados a 70°C con y sin adición de ácido ascórbico.

Cuadro 5.2.1.1. Color de la pulpa de chirimoya estabilizada enzimáticamente.

Temperatura	Antioxidante	Tratamiento enzimático	L* (Luminosidad)
Ambiente	Sin ácido ascórbico	Sin complejo enzimático	75
		Celluzyme	78
		Macerex	84
	Con ácido ascórbico	Sin complejo enzimático	80
		Celluzyme	89
		Macerex	86
50°C	Sin ácido ascórbico	Sin complejo enzimático	76
		Celluzyme	83
		Macerex	89
	Con ácido ascórbico	Sin complejo enzimático	87
		Celluzyme	90
		Macerex	92
70°C	Sin ácido ascórbico	Sin complejo enzimático	66
		Celluzyme	71
		Macerex	76
	Con ácido ascórbico	Sin complejo enzimático	69
		Celluzyme	82
		Macerex	82

Nota: Los resultados son el promedio de tres repeticiones.

5.2.2. Evaluación de la viscosidad

Se obtuvieron curvas de flujo (Figura 5.2.2.1), las cuales relacionan la viscosidad aparente vs la velocidad de deformación. Estas curvas evidenciaron el tipo de fluido pseudoplástico. De la representación en escala logarítmica de los datos de viscosidad aparente y velocidad de deformación, se obtuvieron los parámetros de la Ley de la Potencia: índice de flujo (n) e índice de consistencia (K).

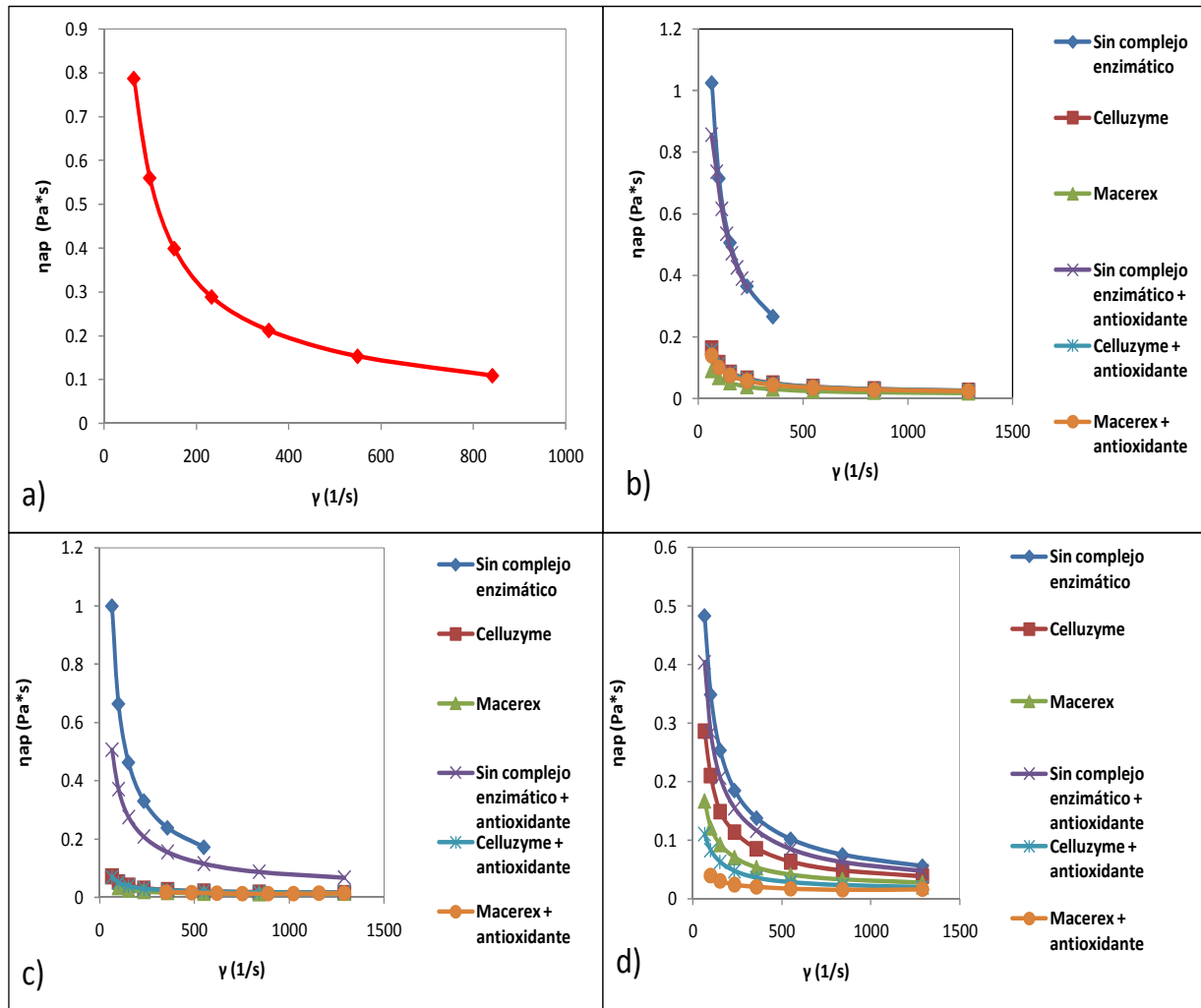


Figura 5.2.2.1. Reograma de la pulpa de chirimoya (a). Efecto de la temperatura sobre la viscosidad aparente a diferentes temperaturas: ambiente (b), 50°C (c) y 70°C (d).

En la Figura 5.2.2.1 se observa que los fluidos evaluados presentan un comportamiento típico de los fluidos pseudoplásticos, es decir, su viscosidad disminuye a medida que se aumenta la velocidad de deformación. Los alimentos que presentan este tipo de comportamiento se caracterizan por tener partículas de forma irregular dispersas en la fase líquida. En reposo estas partículas se encuentran desordenadas, lo cual origina una gran resistencia interna al flujo. A medida que aumenta la velocidad de deformación, las partículas se orientan en la dirección del flujo disminuyendo así la resistencia al deslizamiento y por lo tanto también disminuye la viscosidad. Este tipo de comportamiento es muy usual en los fluidos alimentarios, siendo quizás el

comportamiento no newtoniano más común. Ejemplos de fluidos pseudoplásticos son: jugos de frutas concentrados clarificados, purés de frutas y vegetales, concentrados de proteínas, yema de huevo con sal, etc. (Pagani, 2001).

El comportamiento reológico de la pulpa y de los productos obtenidos se ajustan adecuadamente al modelo de Ostwald de Waele o Ley de potencia, comportándose como fluidos pseudoplásticos, debido a que para todos los tratamientos el valor del índice de comportamiento al flujo (n) fue menor que uno (Cuadro 5.2.2.1). Este modelo y comportamiento es típico para las pulpas de frutas, como mango, guayaba y cereza de las Indias (Andrade *et al.*, 2009).

Cuadro 5.2.2.1. Índices de la ley de la potencia para jugo de chirimoya estabilizado enzimáticamente.

Temperatura	Antioxidante	Tratamiento enzimático	n (índice de comportamiento de flujo)	K (Pa*s ^{n}) (índice de consistencia)	η_{ap} (Pa*s)
Ambiente	Sin ácido ascórbico	Sin complejo enzimático	0.213	26.82	0.58
		Celluzyme	0.387	1.93	0.07
		Macerex	0.457	0.81	0.04
	Con ácido ascórbico	Sin complejo enzimático	0.309	15.74	0.55
		Celluzyme	0.402	1.74	0.07
		Macerex	0.411	1.49	0.06
50°C	Sin ácido ascórbico	Sin complejo enzimático	0.185	28.62	0.48
		Celluzyme	0.497	0.53	0.03
		Macerex	0.632	0.16	0.02
	Con ácido ascórbico	Sin complejo enzimático	0.326	8.21	0.22
		Celluzyme	0.514	0.93	0.03
		Macerex	0.727	0.08	0.01
70°C	Sin ácido ascórbico	Sin complejo enzimático	0.278	9.59	0.20
		Celluzyme	0.322	4.64	0.12
		Macerex	0.387	2.03	0.08
	Con ácido ascórbico	Sin complejo enzimático	0.286	7.64	0.17
		Celluzyme	0.404	1.25	0.05
		Macerex	0.627	0.19	0.02

De acuerdo con el índice de comportamiento al flujo (n), se determinó que los jugos de chirimoya más pseudoplásticos son aquellos a los que no se les agregó complejo enzimático ($0.185 \leq n \leq 0.326$), y los menos pseudoplásticos fueron a los que se les agregó el complejo enzimático Macerex® ($0.387 \leq n \leq 0.727$), y de acuerdo a los valores de índice de consistencia (K), los jugos obtenidos sin tratamiento enzimático presentaron mayor consistencia ($7.64 \leq K \leq 28.62$) que los obtenidos con Macerex® ($0.08 \leq K \leq 2.03$).

La viscosidad aparente disminuyó con la adición de los complejos enzimáticos y el aumento de temperatura, obteniendo el menor valor ($0.01 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) el tratamiento con Macerex® a 50°C . Se puede observar que aunque la especificación del fabricante recomienda trabajar los complejos enzimáticos a una temperatura de 50°C , se puede trabajar a temperaturas inferiores o superiores con resultados positivos respecto a la viscosidad.

5.3. Microencapsulación y secado por aspersión

En experimentos previos (cuyos resultados no se muestran) se varió la concentración de maltodextrina (30-50% b.s.) obteniéndose un producto con características indeseables en concentraciones menores al 50%, por lo que se eligió trabajar con ésta última.

En el cuadro 5.3.1 se observa que el contenido de cenizas fue mayor conforme se incrementó la temperatura y puede estar ligado con el rendimiento, el cual tiene el mismo comportamiento al pasar de 36 a 42%, similares a los reportado por Tonon *et al.* (2009), es decir, existe un mayor atrapamiento de los componentes a mayor temperatura. Por su parte, la humedad tiene un comportamiento inverso debido a que a mayor temperatura de entrada existe un gradiente más grande entre el flujo atomizado y el aire de secado, resultando en una fuerza motriz para una mayor evaporación del agua y por lo tanto la producción de polvos con menor contenido de humedad, tal como

observaron Candela-Cadillo *et al.*, 2005, Quek *et al.*, 2007 y Tonon *et al.*, 2009 en estudios de secado por aspersión de tomate, sandía y acai, respectivamente.

Cuadro 5.3.1. Comparación de medias de las variables evaluadas en el jugo microencapsulado seco (polvo).

Factor	Nivel	n	Cenizas (%)	Humedad (%)	Higroscopicidad (g/100g)	Solubilidad (%)	Actividad Acuosa (Aw)	Rendimiento (%)
Temperatura	160°C	4	2.12 ^a	4.17 ^c	9.83 ^a	76.36 ^a	0.296 ^a	42 ^c
	140°C	4	1.56 ^b	7.11 ^b	8.31 ^a	75.01 ^b	0.295 ^a	40 ^b
	120°C	4	1.23 ^c	8.24 ^a	4.76 ^b	76.84 ^a	0.287 ^b	36 ^a

Notas: n, número de observaciones; valores con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). La comparación se realizó ente niveles de cada factor. Los niveles en cada factor están en orden ascendente.

En el caso de la higroscopicidad, ésta aumenta conforme a la temperatura, lo que se explica por el menor contenido de humedad. Estos valores fueron menores a los reportados por Tonon *et al.* (2009) los cuales variaron de 13 a 15%, debido a que la maltodextrina es un material con baja higroscopicidad y confirma su eficiencia como agente encapsulante (Rodríguez–Hernández *et al.*, 2005).

La solubilidad del jugo microencapsulado fue similar en los tres niveles de temperatura en un intervalo de 75-76%. Cano-Chauca *et al.*, (2005) reportan valores de solubilidad de 77-90%. De esta manera, la solubilidad del producto se puede considerar buena, debido a las propiedades físicas de la maltodextrina, especialmente su alta solubilidad en agua.

Todas las muestras presentaron valores de actividad de agua (aw) por debajo de 0,3, lo que fue positivo para la estabilidad del producto en polvo, ya que habrá menos agua disponible para el desarrollo de los microorganismos en crecimiento así como para las reacciones bioquímicas indeseables lo que asegura una vida útil más larga al producto.

Los resultados obtenidos fueron similares a los obtenidos por Quek *et al.* (2007) para jugo de sandía secado por aspersión.

La Figura 5.3.1 muestra las micrografías obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB). La forma de las partículas fue de tipo esférico de varios tamaños, lo cual es típico en los materiales producidos por secado por aspersión. La mayoría de las partículas mostró una superficie arrugada debida al colapso por efecto de la pérdida de volumen. El aumento en la temperatura de secado llevó a la producción de un mayor número de partículas con la superficie lisa y dura, lo cual se relaciona con el aumento de la velocidad de secado y a una evaporación más rápida del agua. Sin embargo, cuando la temperatura de secado fue menor, la superficie de la partícula permanece húmeda y flexible por más tiempo, de modo que puede colapsarse (desinflarse) y se arruga a medida que se enfría (Tonon *et al.*, 2009).

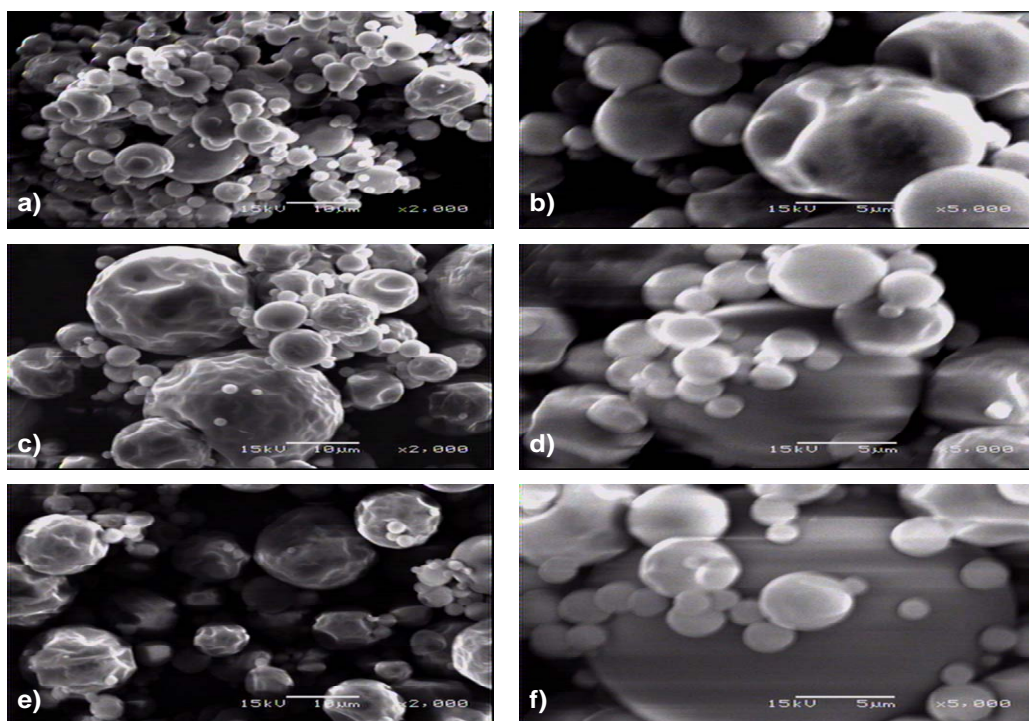


Figura 5.3.1. Micrografías de las microcápsulas de jugo de chirimoya microencapsulado y secado por aspersión a 120°C (a, b), 140°C (c, d), y 160°C (e, f).

De acuerdo con los resultados obtenidos, se eligió la opción de rehidratar y caracterizar fisicoquímicamente el jugo obtenido a 160°C, ya que presentó el mayor rendimiento, menor contenido de humedad, buena solubilidad, actividad acuosa e higroscopicidad. Los resultados de su caracterización se muestran en el Cuadro 5.3.2. En comparación con el puré de fruta existió una reducción en el contenido de las variables evaluadas, debido a la degradación natural al someterlos a procesos térmicos y prolongados.

Cuadro 5.3.2. Análisis fisicoquímico del jugo microencapsulado rehidratado.

Variable evaluada	Promedio	
	Pulpa	Jugo rehidratado
Humedad	77.65%	71.2 %
Cenizas	0.28 (g/100g)	1.12
pH	4.09	4.5
Acidez titulable	0.23 (como ácido cítrico)	0.27
Sólidos solubles totales	24 °Bx.	24 °Bx.
Vitamina C	21.95 (mg/100g)	66.96
Azúcares Totales	5.22 (g/100g)	19.38
Azúcares Reductores	2.91 (g/100g)	4.73

El color se evaluó en todos los productos microencapsulados obtenidos a las diferentes temperaturas (Cuadro 5.3.4). Se observaron valores muy cercanos al blanco para los polvos y una considerable reducción en los valores en el jugo rehidratado (34.08) (Figura 5.3.3). Las variaciones en el color del jugo rehidratado se debieron principalmente a reacciones de formación de complejos con iones metálicos como el cobre y el hierro lo que trajo como consecuencia un pardeamiento del producto y por ende, una disminución en los valores de luminosidad, además, reacciones de degradación de pigmentos (especialmente carotenoides y clorofila), afectan el color durante el secado (Cortés *et al.*, 2008).

Cuadro 5.3.3. Color del jugo de chirimoya en polvo microencapsulado y del jugo rehidratado

	Tratamiento	L* (Luminosidad)
Jugo en polvo	120°C	97.91
	140°C	96.23
	160°C	96.62
Jugo rehidratado		34.08

Nota: El resultado es el promedio de cuatro repeticiones.



Figura 5.3.2. Jugo de chirimoya en polvo (a) microencapsulado y rehidratado (b).

5.4. Evaluación de parámetros sensoriales.

Se evaluaron la apariencia y aceptabilidad del producto obtenido. La evaluación de estos parámetros en la pulpa y el jugo se realizó utilizando una escala hedónica de 9 puntos. La evaluación se realizó con 15 panelistas no entrenados cuyos resultados se muestran en la Figura 5.4.1. Respecto a la apariencia, la pulpa de chirimoya obtuvo una calificación promedio de 6.2 y el jugo de 7.27; mientras que para la aceptabilidad la pulpa obtuvo una calificación de 6.87 y el jugo de 6.07. El jugo obtenido tiene una apariencia más agradable que el puré, pero una aceptabilidad menor que el mismo,

debido a la presencia de un resabio amargo en el jugo al finalizar el tratamiento enzimático por la liberación de componentes presentes en el fruto tal como lo reportó Brito *et al.* en 2008.

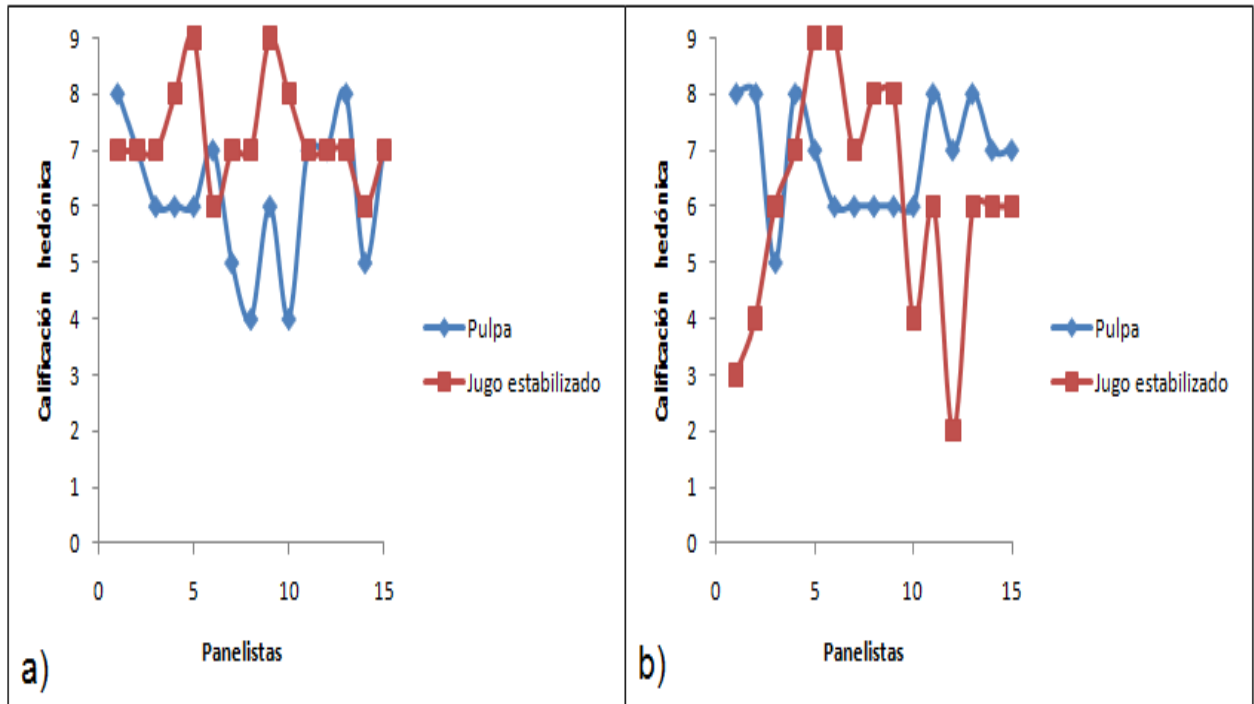


Figura 5.4.1. Evaluación de parámetros sensoriales de la pulpa y jugo de chirimoya estabilizado enzimáticamente: apariencia (a) y aceptabilidad (b).

Finalmente, los resultados de la comparación sensorial entre el jugo rehidratado y la pulpa (Figura 5.4.2) mostraron una calificación de 6.13 contra 7.47 en cuanto a la apariencia; mientras que para la aceptabilidad ambos obtuvieron una calificación similar, posiblemente a la poca familiaridad del evaluador con el fruto así como al ligero sabor amargo del jugo después de la maceración enzimática. Estos resultados nos indican que el producto aunque presenta una buena apariencia el sabor no es aceptable y por esta razón el producto no se podría comercializar de manera directa. Se sugiere realizar trabajos posteriores para eliminar dicho sabor.

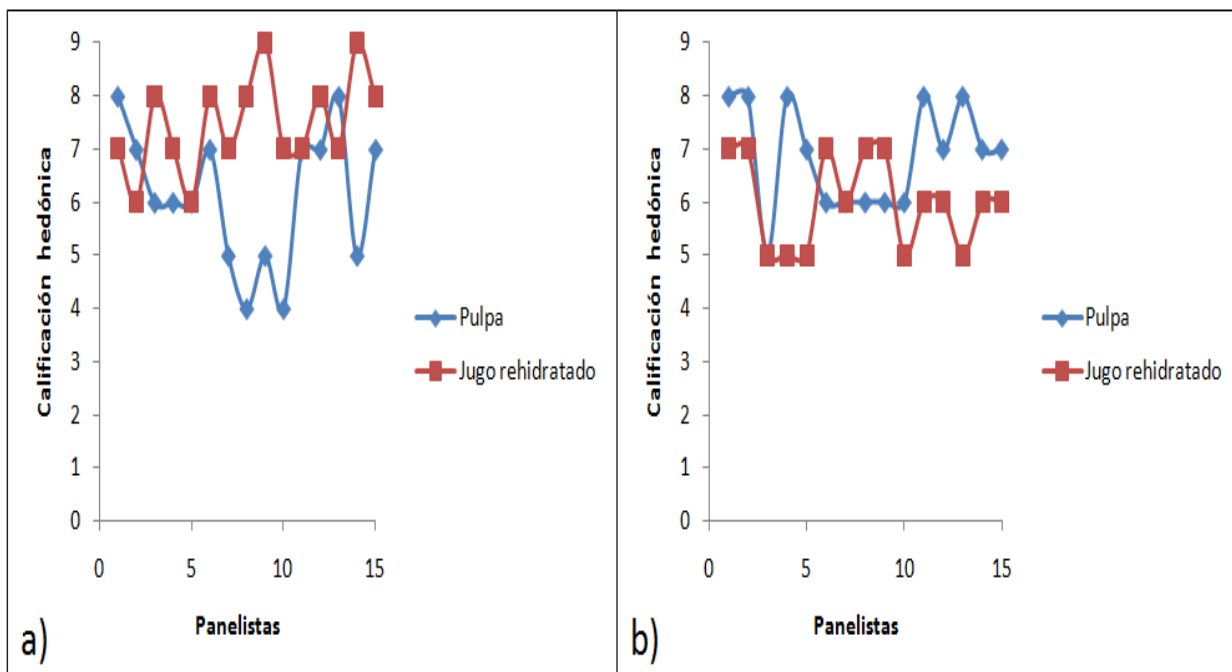


Figura 5.4.2. Apariencia (a) y aceptabilidad (b) de la pulpa y jugo de chirimoya rehidratado.

VI. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La caracterización de los frutos es una herramienta útil en el área de tecnología de alimentos, desarrollo de nuevos productos o bien para nuevas alternativas de industrialización. Al realizar la caracterización física del fruto se observó el color superficial de la cáscara en un intervalo verde-amarillento ($^{\circ}\text{hue} = 105\text{-}133^{\circ}$). La cáscara representó 33.2%, semillas 6.10% y pulpa 58.60%. La pulpa tuvo un pH de 4.5, humedad 71.2%, sólidos solubles totales 24 $^{\circ}$ Bx, contenido de pectina 1.57 g/100g, azúcares reductores 4.73 g/100g, y totales 19.38 g/100g, acidez titulable 0.27%, como ácido cítrico, cenizas 1.12 g/100g, vitamina C 66.96 mg/100g, color ($L^* = 94.77\text{-}99.98$, luminosidad, sistema Hunter Lab) muy cercano al blanco ($L^* = 100$). La chirimoya es una fruta rica en azúcares, pectina y minerales por lo que se recomienda consumirla fresca, sin descartar la posibilidad de utilizarse en la elaboración de productos como jugos, mermeladas, vinos y helados, un mercado que no está explotado en México para esta fruta. Siendo la gran cantidad de semillas un inconveniente para el proceso.

El ácido ascórbico funcionó como antioxidante, ya que los valores de luminosidad ($L^*=90-92$) a 50°C con Celluzyme® y Macerex®, respectivamente se encuentran muy cercanos al blanco. El uso de complejos enzimáticos incrementó el rendimiento del jugo y disminuyó la viscosidad, esto de acuerdo con los valores de los índices de comportamiento de flujo (n) y consistencia ($K, \text{Pa}\cdot\text{s}^n$); los cuales disminuyeron con el uso de complejos enzimáticos, siendo mejores tratamientos con Macerex® a 50°C y adición de antioxidante ($n = 0.727, K = 0.08$). Las variables evaluadas (acidez titulable, azúcares (reductores y totales), pectina, pH, sólidos solubles totales, vitamina C y rendimiento, se vieron afectadas por la temperatura, adición de complejos enzimáticos y adición de antioxidante. El análisis sensorial mostró que el producto obtenido es de mejor apariencia que el puré, mientras que la aceptabilidad no es buena debido a la presencia de un resabio amargo en el jugo obtenido.

Se logró obtener jugo de chirimoya microencapsulado seco en buenas condiciones con una temperatura de entrada de 160°C con el mejor rendimiento de todos los tratamientos. El producto presentó microcápsulas de diferente tamaño ($5-20 \mu\text{m}$) y morfología, arrugadas a menor temperatura y lisas a mayor temperatura. El color de los polvos presentaron valores elevados de luminosidad cercanos al blanco ($L^*= 96-97$) y menores para el jugo rehidratado ($L^*= 34.08$). Todas las variables evaluadas presentaron una reducción en cuanto a sus contenidos iniciales (jugo fresco o puré). La apariencia obtuvo la mejor calificación (7.47) y la aceptabilidad del jugo rehidratado estuvo por encima del mínimo (6), debido al ligero sabor amargo del jugo después de la maceración enzimática.

La perspectiva de esta investigación es un estudio posterior de la utilización de otro tipo de complejos enzimáticos, o bien de los mismos pero con diferentes condiciones de trabajo, con el objetivo de eliminar el sabor final del jugo.

VII. LITERATURA CITADA

- Abadio, F.D.B., Domínguez, A.M., Borges, S.V. y Oliveira, V.M. 2004. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice-effect of maltodextrin concentration and atomization speed. *Journal of Food Engineering*, 64 (3), 285–287.
- Acevedo B., Montiel M. y Avanza J. 2002. Efecto del tratamiento térmico en la capacidad antioxidante total de jugos de pomelo, naranja y mandarina. Facultad de ciencias exactas y naturales y agrimensura. Argentina [en línea]. <http://www1.unne.edu.ar/cyt/2002/08-Exactas/E-013.pdf>. Consultado: Abril 2010
- Andrade R. D., Torres R., Montes E. J., Pérez O.A., Restan L. E. y Peña R. E. 2009. Efecto de la temperatura en el comportamiento reológico de la pulpa de níspero (*Achras sapota* L.). *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 26: 599-612.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15 th edition. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- Avilés Vale. S. L... 2006. Evaluación del uso combinado de membrana y preservativo para mejorar la calidad de un cordial de parcha (*Passiflora edulis* variedad *flavicarpa*). Universidad de Puerto Rico. pp. 66.
- Besana portal agrario. 2008. Composición y usos de la chirimoya. [en línea]. <http://www.portalbesana.es/estaticas/informacion/paginas/composicionyusos.html> Consultado Marzo 2010.
- Brito B, Rodríguez M, Samaniego I, Jaramillo M, Vaillant F. 2008. Characterizing polysaccharides in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) pure and their enzymatic liquefaction. *EurFood Res. Technology*. 226: 355–361.
- Brumovsky L. A.; Hartwig V. G.; Horianski M. Evaluación instrumental de propiedades sensoriales en raíces de mandioca preservadas por tecnología de obstáculos. Facultad de ciencias exactas, químicas y naturales. [en línea]. http://exactasunam.dyndns.org/recyt/images/stories/documentation/propieda_dessensorialesmandioca.pdf. Consultado en Marzo 2010.
- Camacho-Flores F. J, Tovar-Coria L, Gallardo-Navarro Y. 2007. Estudio Reológico a Mayonesas Adicionadas de Fibra. *Revista Salud Pública y Nutrición*. [en línea].

<http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2007/ee-12-2007/documentos/CNCA-2007-04.pdf>. Consultado Abril 2010.

- Candelas-Cadillo, Alanis G. J, Bautista J, Del Río O, García D. 2005. Contenido de licopeno en jugo de tomate secado por aspersión. *Revista Mexicana de Ingeniería*. 4: 299-307.
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P.C., Ramos, A.M. y Cal-Vidal, J. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6 (4): 420–428.
- Carneiro L, Dos Santos S, Dos Santos G. F, Martínez Matta V, Corrêa Cabral L. 2002. Cold sterilization and clarification of pineapple juice by tangential microfiltration. *Brazil, Desalination* 148: 93–98.
- Cassano A; Jiao B; Drioli E. 2003. Production of concentrated kiwifruit juice by integrated membrane process. *Food Research International* 37: 139-148.
- Casp A. y Abril J. 1999. **Procesos de Conservación de alimentos**. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid España. pp. 41-43, 450-456.
- Castillo-Soto P, Miranda-Sánchez L. 1995. Cinética de la degradación de la vitamina c en el jugo concentrado y congelado de maracuyá. Universidad de Campinas., Sao Paulo, Brasil. pp. 1-12. [en línea]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/2054> .Consultado: Abril 2010.
- Cortés R. M, Chiralt A. 2008. Cinética de los cambios de color en manzana deshidratada por aire fortificada con vitamina E. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica. Universidad de Antioquia; Medellín, Colombia*. 15 (1): 8-16
- Dáger Jervis B y Cornejo Hidalgo P. 2007. Determinación del estado de madurez óptimo para cosecha y caracterización post-cosecha de canistel (*Pouteria campechiana*). *Tierra tropical*. 3 (1): 109-116.
- Dubois, M, Gilles, K, Hamilton, J, Rebers, P, and Smith, F. 1956. Colorimetric Method form Determination of Sugars and Related Substances. *Nature*, 28(3): 350-356.
- Eliécer-Carrera, J. 2003 Producción y aplicación de enzimas industriales. Production and application of industrial enzymes. Facultad de Ciencias Agropecuarias,

Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad del Cauca, Popayán: pp. 9-15.

EROSKI S. Coop Fundación. 2008. Chirimoya. [en línea].
<http://www.frutas.consumer.es/documentos/tropicales/chirimoya/intro.php>.

Consultado Marzo 2010.

Ersus S. y Yurdagel U. 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier. *Journal of Food Engineering*. 80: 805–812.

Expreso. Tu diario de siempre. 2007. [en línea].
<http://www.expreso.com.pe/edicion/index.php>. Consultado Marzo 2010.

Fennema, O. R. 1996. **Food Chemistry**, Third Edition. Marcel Dekker, Inc, New York. pp. 559 – 566.

Ferrucci Péndula, F. 2008. Estudios de Mercado para Frutas y Hortalizas Seleccionadas. [en línea]
<http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/frutas/chirimoya/principal.htm>. Consultado Marzo 2010

Fundación Integra. Integración de recursos y nuevas tecnologías para la modernización de la región de Murcia. [en línea]:
https://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,543,m,2715&r=ReP-23701-DETALLE_REPORTAJESPADRE. Consultado en marzo 2010.

Gabas A.L., Telis V.R.N., Sobral P.J.A., Telis-Romero J. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. *Journal of Food Engineering*. 82: 246–252.

García-Aguirre K., Gallegos R, Madrigal-Bujaidar E. 2008. Evaluación Citotóxica *in vitro* de acetogeninas aisladas de *Annona cherimola* Mill. 2° Congreso Nacional de Química Médica. México: 01

García Gutiérrez, C, González Maldonado M.B.; Ochoa Martínez L.A.; Medrano Roldan. 2004. Microencapsulación de jugo de cebada verde mediante secado por aspersion. *Ciencia y tecnología alimentaria*. 4: 262-266.

García-Larrauri J A, Calixto-Fulgencio S. 2000. Evaluation of CIE-lab color parameters during the clarification of a sugar syrup from Mesquite pods (*Prosopis Pallida* L.). *International Journal of Food Science and Technology*. 35 (4): 385-389.

- Hernández Alarcón E. 2005. **Evaluación Sensorial**. Colombia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. pp.128.
- Kader A. A. y Arpaia M. L. 2001. Chirimoya, Atemoya y Anona. Recomendaciones para mantener la calidad poscosecha. [en línea]. <http://postharvest.ucdavis.edu>. Consultado Marzo 2010
- Kira R, Sawyer R y Egan H. 2008. **Composición y análisis de alimentos de Pearson**. 2ª. Edición. Grupo editorial patria. pp. 14, 15,35, 37, 40, 259, 266.
- Lacroix N, Fliss I, Makhlouf J. 2004. Inactivation of pectin methylesterase and stabilization of opalescence in orange juice by dynamic high pressure. *Food Research International*. 38: 569-576.
- Lara C, Nerio L, Oviedo L. E. 2007. Evaluación fisicoquímica y bromatológica de la guayaba agria (*Psidium araca*) en dos estados de maduración. *Temas agrarios*.12(1):13-21.
- Lee W. C., Yusof S, Hamid N. S. A., Baharin B. S. 2005. Optimizing conditions for enzymatic clarification of banana juice using response surface methodology (RSM). *Journal of food Engineering*. 73: 55-63
- Liria-Domínguez M. R. 2007. Guía para la Evaluación Sensorial de Alimentos. Instituto de Investigación Nutricional. *AgroSalud*. pp 45.
- López López Luis. 1998. Caracterización de frutos de nueve selecciones de níspero (*Eriobotrya japonica* Thunb Lindl). Memoria Fundación Salvador Sánchez Colín Cictamex S.C. Coatepec Harinas, México. pp. 109-114.
- Lozano-Berna M. 2009. Obtención de microencapsulados funcionales de zumo de *Opuntia stricta* mediante secado por atomización. Universidad Politécnica de Cartagena.Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. España. pp. 3-4, 21-24.
- Loyola-López N, Calquín C. P, Norambuena A. R. 2007. Evaluación de parámetros físicos, microbiológicos y sensoriales de radicchios (*Chichorium Intybus* L. Var. *Foliosum*). *IDESIA (Chile)*. 25(3): 59-73.
- Martín P., Soría F.J., Villagrán M., López M.A., Ocete R. y Ocete M.E. 2000. Evaluación de la capacidad inhibidora de la alimentación de un triturado de las semillas de

chirimoya, *Annona cherimola* Miller sobre *Ceratitis capitata*. *Bol. San. Veg. Plagas* 26: 297-303.

Materano W., Zambrano J., Valera A., Quintero I., Alvarez R. y Maffei M. 2004. Efecto del escaldado en lechosa (*Carica papaya* L.) con mínimo procesamiento. *Rev. Fac. Agron.* 21 (1): 343-350.

Meza-Velázquez J. A, Quintana B. M. L, Meza V. M. 2008. Aplicación de jugo de piña como agente inhibidor del oscurecimiento enzimático en rodajas de plátano deshidratadas *Revista Salud Pública y Nutrición.* pp. 1-8.

Miller, G. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry.* 31(3): 426-428.

Montes-Horcasitas M, Magaña-Plaza I. 2002 Enzimas con Aplicación industrial. *Avance y Perspectiva.* 21: 279-282.

Montes, E, De Paula, C, A. Ortega, F. 2007. Determinación de las condiciones óptimas de encapsulamiento por co-cristalización de jugo de maracuyá (*Passiflora edulis*). *Temas agrarios.* 12: 5 – 12.

Morales-Astudillo A, Medina-Medina A, Criollo-Merchán L, Castro-Quezada P. 2006. Interpretive results in the inheritance of some characters of quality of the fruit of the Chirimoya (*Annona cherimolla* Mill). *Lyonia.* 10: 59-74

Muñoz de Chávez M, Chávez-Villanueva J, Roldán-Amaro J, Ledesma-Solano E, Mendoza-Ramírez F, Pérez-Gil R. 1996. **Tablas de valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en Latinoamérica.** 1ª Edición. México. Editorial Pax. pp: 113.

Nindo C., Tang J., Powers J. y Taknar P. 2007. Rheological properties of blueberry puree for processing applications. *Food Science and Technology.* 40(2):292-299.

Norma general del codex para zumos (jugos) y néctares de frutas (CODEX STAN 247-2005)

Norma Mexicana. NMX-F-83-1986. Alimentos-Determinación de humedad en productos alimenticios. Dirección general de normas.

Norma Oficial Mexicana NOM-130-SSA1-1995, Bienes y servicios. Alimentos envasados en recipientes de cierre hermético y sometidos a tratamiento térmico. Disposiciones y especificaciones sanitarias.

- Ovando-Chacón S. L., Waliszewski K. N. 2005. Preparativos de celulasas comerciales y aplicaciones en procesos extractivos. *Universidad y ciencia*. 21 (42): 111-120.
- Pagani J. 2001. Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón. *Servei de Publicacions Universitat de Lleida*. pp. 21-23.
- Pedroza-Islas, R. 2002. Alimentos Microencapsulados: Particularidades de los procesos para la microencapsulación de alimentos para larvas de especies acuícolas. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola realizado en Quintana Roo. México.
- Pereira E., Queiroz A. y Feitosa. R. 2003. Comportamiento reológico de miel de abeja (*Melípona scutellaris*, L.). *Rev. ciênc. Exatas nat.* 5(2):179-186.
- Quek, S.Y., Chok, N.K. y Swedlund, P. 2007. The physicochemical properties of spray dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing*, 46 (5): 386–392.
- Righetto, A.M., y Netto, F.M. 2005. Effect of encapsulating materials on water sorption, glass transition and stability of juice from immature acerola. *International Journal of Food Properties*, 8 (2): 337–346.
- Rodríguez-Hernández, G.R., González-García, R., Grajales-Lagunes, A., Ruiz-Cabrera, M.A., 2005. Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. *Drying Technology*. 23(4): 955–973.
- Salazar R, Piedra D. y Escarabay P. 2010. Propiedades físico-químicas de cinco futas de la zona sur del ecuador para su industrialización. [en línea]. www.utpl.edu.ec/files/image/stories/publi_cientificas/cettia/PUB-CETTIA-004.pdf. Consultado Marzo 2010
- Sandoval-Lutín V. L. 2006. Cuantificación de ácido ascórbico (vitamina C) en jugos de naranja naturales comercializados en supermercados de la ciudad de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. pp. 1-30. [en línea]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2478.pdf. Consultado: Abril 2010

- Samin W, N. H. Banks. 1993. Color changes in apple bruises over time. *Acta Hort.* 343: 304-306
- Saucedo, V.C. y G. M. Arévalo. 1993. Impacto de la tecnología postcosecha en la calidad de frutas tropicales. Simposio: Manejo Postcosecha de frutas y hortalizas tropicales. Veracruz, México.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. 2007. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. [en línea] www.siap.gob.mx. Consultado Marzo 2010.
- Sevillano-Tripero L. 2007 Expresión de Proteínas de estrés de bajo peso molecular en mesocarpio de Chirimoya (*Annona cherimolla* Mill). Departamento de Bioquímica y Biología Molecular 2. Facultad de Farmacia, Universidad de Granada. pp: 3, 5-6.
- Sylva-Fusseau I M, 2009 La chirimoya y las nuevas tendencias de mercado. *Revista de Agronegocios. El huerto.* 15: 29-31.
- Tacán-Pérez M. V. 2007. Caracterización agromorfológica e identificación de zonas potenciales de conservación y producción de guanábana (*Annona muricata*) y chirimoya (*Annona cherimola*) en fincas de agricultores y condiciones ex situ en Costa Rica. Centro Agronómico tropical de investigación y enseñanza. pp. 8-9
- Tonon R. V, Brabet C, Hubinger M. D. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering.* 88: 411–418
- Torrallas, R., Vendruscolo J. y Vendruscolo C. 2006. Reología del puré homogeneizado de Péssego: Efecto de la temperatura y concentración. *Food Technol.* 9 (1):-8.
- UNC. Universidad Nacional de Colombia. 2010. [en línea]. <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/teoria/obpulpfru/p7.htm>. Consultado Marzo 2010.
- Uquiche Carrasco E y Cisneros-Zevallos L. 2002. Efecto del escaldado y recubrimiento higroscópico sobre la calidad de zanahorias (*Daucus carota* var Chantenay) precortadas durante el almacenamiento. *Archivos latinoamericanos de Nutrición.* 52(2): 187-192.

- Van Damme P y Scheldeman X. 2010. El fomento del cultivo de la chirimoya en América Latina. *Deposito de documentos de la FAO*. [en línea] www.fao.org/docrep/x2450s/x2450s09.htm. Consultado Marzo 2010
- Vargas y Vargas M de L, González N. S. A, Escamilla S. J. B, Tamayo C. J. 2008. Alternativa para la comercialización del chicozapote (*Achras sapota*): tecnología de los tratamientos mínimos. *Revista mexicana de agronegocios*. 23: 644-656.
- Vehring, R. 2008. Pharmaceutical particle engineering via spray drying. *Pharmaceutical Research*. 25(5): 999-1022.
- Vidal J., Pelegri D y Gasparetto. C. 2004. Efecto de la temperatura en el comportamiento reológico de la pulpa de manga (*Mangífera indica* L. Keitt). *Ciênc. Tecnol. Aliment*. 24(1):39-42.
- Villalba M, Yepes I, Arrázola G. 2006. Caracterización fisicoquímica de frutas de la zona del Sinu para su agroindustrialización. *Temas agrarios*.11:(1): 15 – 23.
- Villaruel L., Alvarez J, y Maldonado D. 2003. Aplicación del análisis de componentes principales en el desarrollo de productos. *Acta nova*. 2(3): 399-408.
- Viteri P. y Cornejo F. 2010. Estudio de estabilidad de la pulpa de mora sometida a un proceso de liofilización. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador. pp. 1-6. [en línea]. <http://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/8936/1/Estudio%20de%20Factibilidad%20de%20la%20Pulpa%20de%20mora.pdf>. Consultado: Abril 2010.
- Von Atzingen M. C. y Machado Pinto e Silva M.E. 2005. Evaluación de la textura y color de almidones y harinas en preparaciones sin glúten. *Ciencia y tecnología alimentaria*. 4(5): 319-323.
- Willis, R., McGlasson G. D. y Joyce D. 1998. **Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales**, segunda edición. Zaragoza, España. Editorial Acribia. S.A. de C.V.
- Yáñez-Fernández, C, J.A. Salazar Montoya, L. Chaires Martínez, J. Hernández, M. Márquez Robles y E. G. Ramos Ramírez. 2005. Aplicaciones Biotecnológicas de la microencapsulación. *Mundo Alimentario*: 24-26.

ANEXO



CELLUZYME
CELULASA , HEMICELULASA, BETA-GLUCANASA

DESCRIPCIÓN

CELLUZYME es producida por fermentación controlada de una cepa de *Trichoderma longibrachiatum* no genéticamente modificada.

CELLUZYME es un sistema enzimático para la degradación de celulosa y otros polisacáridos estructurales de las células vegetales. Contiene actividades de celulasa, hemicelulasa y beta glucanasa. Su acción es un resultado de la hidrólisis conjunta de las diferentes enzimas.

PROPIEDADES

FORMA	:	Polvo Blanco a amarillo claro
ACTIVIDAD	:	NMD 90,000 CMCase/g NMD 1,500 BGU/g

EFECTO DE LA TEMPERATURA

Estabilidad	Hasta 70 °C
Rango efectivo	50 – 60 °C
Temperatura óptima	50 °C

TFDS 001.12.3.1 MAR 30, 2007
SUSTITUYE A: -

EFEECTO DEL pH

Estabilidad	3.5 – 5.5
Rango efectivo	4.0 – 5.5
Rango pH óptimo	4.5 – 5.0

La enzima es fácilmente inactivada por arriba de los 70 °C y pH de 7.

APLICACIONES

- ♦ Maceración de frutas
- ♦ Tratamiento de beta glucanos de cereales
- ♦ Preparación de mejorantes de panificación para hidrólisis de pentosanos de trigo
- ♦ Incrementa el rendimiento en la producción de alcohol a partir de granos, evitando problemas de alta viscosidad en el equipo de destilación.

NIVELES DE USO

Los niveles óptimos de aplicación de CELLUZYME dependen del sustrato, las condiciones de operación y el tiempo de reacción. Se recomienda iniciar las pruebas con una dosis de 0.4 a 0.5 % b.s. y posteriormente bajar paulatinamente la dosis para encontrar el nivel óptimo.

ALMACENAMIENTO

En recipientes cerrados, bajo condiciones de almacenamiento frescas y secas, la pérdida de actividad generalmente es menor al 10 % en un año. La vida de anaquel puede prolongarse si se almacena bajo refrigeración a 5 °C.

TFDS 001.12.3.1 MAR 30, 2007
SUSTITUYE A: -

SERVICIO TECNICO

ENMEX, S.A. DE C.V. mantiene un grupo técnico experimentado y laboratorios equipados a fin de asistirlos en cuanto al uso de nuestros productos.

Río Lerma No. 228
Fracc. Industrial San Nicolás
Tlalnepantla, Edo. de México
C.P. 54030 MEXICO
<http://www.enmex.com.mx>

Tel. 5565-59-99 Conmutador
5565-92-23 Directo
Fax 5390-48-26
E-mail ventas@enmexsa.com.mx

ADVERTENCIA

Los datos y sugerencias que se citan en este boletín, son ofrecidos de buena fe, basados en información confiable, sin garantía expresa o implícita por nuestra parte, debido a que el manejo de nuestros productos y el modo de su uso en diversas aplicaciones están fuera de nuestro control.

TFDS 001.12.3.1 MAR 30, 2007
SUSTITUYE A: -



MACEREX PM
Sistema Enzimático para Maceración de Frutas

❖ DESCRIPCION

MACEREX PM es un sistema enzimático estandarizado de pectinasa y celulasa, obtenido por fermentación controlada de *Aspergillus niger* y *Trichoderma reesei*. Es un producto diseñado para maceración o licuefacción de fruta para maximizar la extracción de jugo y sólidos.

Los beneficios que se pueden obtener son:

- ◆ Incremento de volumen de jugo extraído
- ◆ Incremento de sólidos solubles extraídos
- ◆ Disminuye la viscosidad de la masa
- ◆ Mejor eficiencia de centrifugación y ultrafiltración

❖ CARACTERISTICAS

Apariencia:	Líquido café claro
Solubilidad:	Miscible en agua
ACTIVIDAD:	180,000 AJDU/ml

❖ EFECTO DEL pH

Rango óptimo de pH	3.5 - 5.0
--------------------	-----------

❖ EFECTO DE LA TEMPERATURA

Temperatura óptima	50 °C a 3.5 de pH
Rango efectivo de temperatura	2 - 60 °C

❖ APLICACIONES

MACEREX PM puede ser adicionado durante la molienda de la fruta o en el tanque de maceración. Es importante que la enzima sea dispersada en la pulpa y se recomienda una agitación periódica. Puede ser adicionado directamente o diluido en solución del 10 al 20%.

El grado de maceración o licuefacción dependerá del nivel de uso de MACEREX PM, temperatura, tiempo y contenido de pectina de la fruta. Con el tratamiento de la fruta se reduce rápidamente la viscosidad de la pulpa y se incrementa la velocidad de filtración. Los procesos que emplean licuefacción pueden ser optimizados con centrifugación.

❖ NIVEL DE USO

- ◆ Maceración: 20 a 50 ml por tonelada de fruta en 2 horas a 15° C
- ◆ Licuefacción 40 a 100 ml por tonelada de fruta en 2 horas a 15° C

❖ ALMACENAMIENTO

Si se mantiene el producto en contenedores sellados, bajas temperaturas y condiciones secas, la pérdida de actividad es normalmente menos de 10% en seis meses. El tiempo de almacenamiento puede ser ampliado si se almacena en refrigeración a 5 ° C.

TFDS 001.12.15.1 MAR 30, 2007
SUSTITUYE A: -

SERVICIO TECNICO

ENMEX, S.A. DE C.V. mantiene un grupo técnico experimentado y laboratorios equipados a fin de asistirlos en cuanto al uso de nuestros productos.

Río Lerma No. 228
Fracc. Industrial San Nicolás
Tlalnepantla, Edo. de México
C.P. 54030 MEXICO
<http://www.enmex.com.mx>

Tel. 5565-59-99 Conmutador
5565-92-23 Directo
Fax 5390-48-26
E-mail ventas@enmexsa.com.mx

ADVERTENCIA

Los datos y sugerencias que se citan en este boletín son ofrecidos de buena fe y basados en información que juzgamos confiable, sin garantía expresa de nuestra parte, debido a que el manejo de nuestros productos y el modo de uso de diversas aplicaciones no está bajo nuestro control.

TFDS 001.12.15.1 MAR 30, 2007
SUSTITUYE A: -