

TRABAJO PROFESIONAL
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO BIOQUÍMICO

QUE PRESENTA:
JORGE IVÁN RAMÍREZ PÉREZ

CON EL TEMA:
“CARACTERIZACIÓN DEL JUGO DE MANGO
(*Mangifera indica*) VARIEDAD CRIOLLO OBTENIDO
POR LICUEFACCIÓN ENZIMÁTICA”

MEDIANTE:
OPCION X
(MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL)

ÍNDICE

	Página
1. Introducción	1
2. Justificación.....	2
3. Objetivos.....	3
4. Caracterización del área de trabajo.....	4
5. Problemas a resolver.....	7
6. Alcances y limitaciones.....	8
7. Marco teórico.....	9
7.1. Mango.....	9
7.1.1. Características generales.....	11
7.1.1.1. Cosecha.....	11
7.1.1.2. Métodos Post-Cosecha.....	12
7.1.1.2.1. Mercado local.....	13
7.1.1.2.2. Mercado nacional y extranjero.....	13
7.1.2. Producción Nacional y Estatal.....	13
7.1.3. Variedades de mango cosechadas en Chiapas.....	17
7.1.4. Mango Criollo.....	19
7.1.5. Usos de la pulpa de mango.....	22
7.1.6. Extracción del jugo de mango.....	22
7.1.6.1. Despulpado.....	23
7.1.6.2. Refinado.....	24
7.1.6.3. Tratamientos de conservación.....	24
7.1.6.4. Proceso industrial.....	25
7.1.7. Métodos para mejorar la extracción del jugo de mango.....	26
7.2. Enzimas.....	27
7.2.1. Generalidades.....	28
7.2.1.1. Concepto.....	28
7.2.1.2. Factores que afectan la actividad enzimática.....	29
7.2.1.3. Clasificación.....	30
7.2.1.4. Usos Industriales.....	32

7.2.2. Pectinasas.....	33
7.2.2.1. Pectinas.....	34
7.2.2.2. Mecanismo de acción.....	35
7.2.2.3. Pectinex 3XL.....	36
7.2.3. Importancia de las pectinasas en la industria de jugos.....	37
7.2.3.1. Licuefacción enzimática.....	38
7.3. Trabajos sobre el tratamiento enzimático en pulpa de frutas.....	40
8. Metodología.....	43
9. Resultados y discusiones.....	45
10. Conclusiones.....	55
11. Recomendaciones.....	56
12. Bibliografía.....	57
13. Anexos.....	62
Anexo A. Método de determinación de azúcares reductores por DNS.....	62
Anexo B. Método de determinación de azúcares totales por colorimetría del Fenol-Sulfúrico.....	63
Anexo C. Ficha técnica Pectinex 3XL.....	64

1. INTRODUCCIÓN

El mango es una fruta tropical de pulpa carnosa y dulce, destacando entre sus principales características su buen sabor. El mango criollo es un fruto muy abundante en el estado de Chiapas durante la temporada; tiene gran contenido de pulpa, la cual es carnosa y fibrosa; lo cual lo hace poco conveniente para la industria procesadora de jugos, resultando un jugo turbio, viscoso y poco uniforme. Por ser un producto perecedero, el productor de mango debe contar con un mercado seguro, pues en ocasiones los frutos que no alcanzan a comercializarse se pudren y desechan, lo que puede representar grandes pérdidas. Por ello se decidió aplicar un tratamiento enzimático a la pulpa, para aumentar el rendimiento jugo/pulpa del fruto e impulsar el procesado del mango criollo. El presente trabajo tuvo por objetivo el desarrollo y análisis del proceso de licuefacción enzimática en la pulpa de mango variedad criollo. La licuefacción enzimática consiste en la hidrólisis por acción de enzimas sobre sustratos específicos, que son los componentes que constituyen la pulpa de las frutas, como son la pectina, el almidón, la celulosa y la hemicelulosa. Este proceso presenta ventajas respecto a otros métodos empleados en la industria procesadora, pues además de aumentar el rendimiento de la extracción del zumo de fruta, brinda una menor viscosidad, garantiza la conservación del sabor y propiedades nutricionales, minimiza el tiempo de proceso al incrementar el flujo del jugo, entre otros beneficios. La licuefacción es preferida en los procesos en los que interviene la presión mecánica, pues sin ésta, existe un rendimiento pobre y una baja estabilidad en el jugo; si se sustituye este paso por la clarificación enzimática, se obtienen beneficios adicionales sin que el producto sufra daños por compresión. Para lograr la degradación de las paredes celulares, las enzimas más usadas son las pectinasas, hemicelulasas y celulasas, analizando el rendimiento y calidad del producto final. Para la licuefacción de la pulpa de mango criollo, se empleó la enzima pectolítica Pectinex 3XL; la cual provoca la hidrólisis de las pectinas de la pulpa, obteniendo un jugo clarificado. El tratamiento se realizó empleando tres diferentes concentraciones de enzima y tres diferentes pHs. Para verificar que la técnica sea eficiente, se midió indirectamente la degradación de la pectina por medio del descenso en la viscosidad de la pulpa. Se realizó también la caracterización fisicoquímica y bioquímica de la pulpa de mango y del clarificado obtenido, para determinar la calidad del producto.

2. JUSTIFICACIÓN

La industria de jugos prefiere mangos que presenten una pulpa suave y jugosa, para un mayor rendimiento en planta (Corpoica C.I. Nataima, 2008). El mango criollo es un fruto rico en pulpa, la cual es carnosa y fibrosa, dependiendo el estado de madurez del fruto. Por lo cual, es conveniente establecer un proceso de licuefacción enzimática de la pulpa de mango criollo, para obtener un mayor rendimiento de jugo respecto a la pulpa del fruto; y de esta manera promover su industrialización. Los comerciantes locales, usualmente venden el fruto entero o troceado y acidulado; por lo que requieren de frutos en estado sazón para facilitar su manipulación. Generalmente los frutos que son exportados, deben cumplir con ciertas características, como un determinado tamaño o tener un bajo nivel de madurez, para evitar su descomposición durante el traslado. De esta forma, los productores de mango criollo, tienden a desechar los frutos que no cumplen con las características requeridas. Si se establece un proceso de clarificación enzimática, los mangos que son rechazados o desechados por su estado físico, podrían tener un mejor destino; pues como ya se mencionó, el mango criollo presenta una pulpa fibrosa, y la licuefacción enzimática promovería su entrada a la industria procesadora al reducir la materia fibrosa de la pulpa. Esto no sólo traería beneficios en la economía de los productores locales, al poder comercializar los frutos que normalmente desecharían; pues también repercutiría en las industrias, quienes podrían optimizar su producción, al emplear este fruto. Pues, si bien el tratamiento enzimático presenta costos extras en el procesado, hay que recordar que durante su temporada, el mango criollo es más accesible y económico que las otras variedades comúnmente procesadas; y al mejorar producción, los costos se ven compensados con las ganancias. Por ello, es importante establecer un método de clarificación adecuado, donde sea posible conservar las propiedades fisicoquímicas del mango criollo, así como limitar los costos del tratamiento, para poder emplear el clarificado en la elaboración de jugos.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la degradación de la pectina por medio de la viscosidad, en la pulpa de mango criollo para la obtención de un clarificado, con una enzima pectolítica comercial caracterizada; y establecer el mejor método al que se ajusten los datos obtenidos para un mayor rendimiento; así como evaluar algunas propiedades fisicoquímicas del jugo clarificado obtenido.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto de la concentración de la enzima Pectinex 3XL y del pH sobre la viscosidad de la pulpa de mango a una temperatura controlada.
- Determinar algunas propiedades fisicoquímicas y bioquímicas en la pulpa de mango sin tratamiento enzimático.
- Evaluar la influencia de las diferentes concentraciones de enzima Pectinex 3XL y diferentes pHs, sobre las propiedades fisicoquímicas y bioquímicas del jugo de mango clarificado.
- Establecer un modelo, en base al tratamiento enzimático sobre la pulpa de mango criollo, para optimizar la clarificación de ésta.

4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

4.1. HISTORIA

En la década de los 70's, se incorpora el estado de Chiapas al movimiento educativo nacional extensión educativa, por intervención del Gobierno del Estado de Chiapas ante la federación. Esta gestión dio origen a la creación del Instituto Tecnológico Regional de Tuxtla Gutiérrez (ITRTG) hoy Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG). El día 23 de agosto de 1971 el Gobernador del Estado, Dr. Manuel Velasco Suárez, colocó la primera piedra de lo que muy pronto sería el Centro Educativo de nivel medio superior más importante de la entidad. El día 22 de octubre de 1972, con una infraestructura de 2 edificios con 8 aulas, 2 laboratorios y un edificio para talleres abre sus puertas el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez con las carreras de Técnico en Máquinas de Combustión Interna, Electricidad, Laboratorista Químico y Máquinas y Herramientas. En el año 1974 dio inicio la modalidad en el nivel superior, ofreciendo las carreras de Ingeniería Industrial en Producción y Bioquímica en Productos Naturales. En 1980 se amplió la oferta educativa al incorporarse las carreras de Ingeniería Industrial, Eléctrica e Ingeniería Industrial Química. En 1987 se abre la carrera de Ingeniería en Electrónica y se liquidan en 1989 las carreras del sistema abierto del nivel medio superior y en el nivel superior se reorientó la oferta en la carrera de Ingeniería Industrial Eléctrica y se inicia también Ingeniería Mecánica. En 1991 surge la licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales. En 1998 se estableció el programa interinstitucional de postgrado con la Universidad Autónoma de Chiapas para impartir en el Instituto Tecnológico la Maestría en Biotecnología. A partir de 2000 se abrió también la Especialización en Biotecnología Vegetal y un año después dio inicio el programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica y la Licenciatura en Informática.

4.2. MISIÓN

Formar de manera integral profesionistas de excelencia en el campo de la ciencia y la tecnología, con actitud emprendedora, respeto al medio ambiente y apego a los valores éticos.

4.3. VISIÓN

Ser una institución de excelencia en la educación superior tecnológica del sureste, comprometida con el desarrollo socioeconómico sustentable de la región.

4.4. LOCALIZACIÓN

El Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez se encuentra ubicado en la carretera Panamericana km. 1080 Terán, Chiapas (Figura 1 y 2).

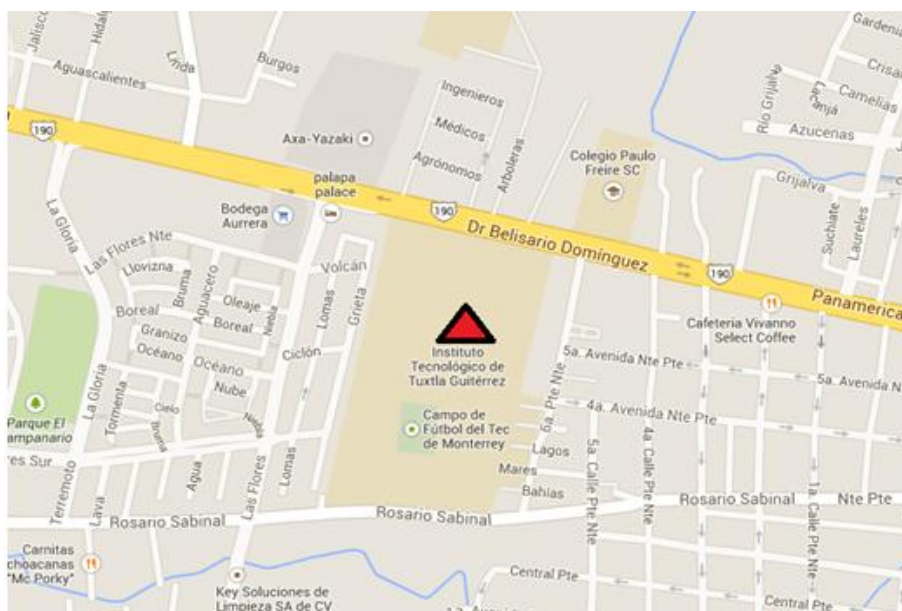


Figura 1. Ubicación del ITTG.



Figura 2. Entrada principal del ITTG.

4.5. INSTALACIONES

El Polo Tecnológico Nacional para el Desarrollo de Investigación y Pruebas Analíticas en Biocombustibles (Figura 3), es un laboratorio de referencia en análisis para pruebas de

aceites para combustibles, teniendo como tarea ofrecer servicios de alta calidad, tales como la caracterización de semillas, determinación del perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases, caracterización de aceites vegetales o de origen animal y de biodiesel.

Uno de los laboratorios con los que cuenta el edificio del Polo Tecnológico es el de bromatología en donde se llevó a cabo el desarrollo de este proyecto de residencia. Los equipos con los que cuenta son baños de incubación con control de temperatura y agitación, baño termostato, refrigerador, balanza analítica, potenciómetro, espectrofotómetro de UV-Visible y equipos básicos para análisis bromatológico.



Figura 3. Polo Tecnológico Nacional para el Desarrollo de Investigación y Pruebas Analíticas en Biocombustibles.

5. PROBLEMAS A RESOLVER

El mango criollo suele florecer durante la estación de la primavera, es un fruto dulce y rico en nutrimentos. Debido a su gran producción en Chiapas y a la facilidad de su adquisición durante la temporada, el mango criollo podría ser aprovechado para ser procesado; pues pocas veces es empleado para su industrialización, ya que generalmente se comercializa el fruto fresco o de manera artesanal (troceado y acidulado).

El mango criollo es uno de los mangos que más pulpa contiene respecto al peso del fruto; sin embargo, su contenido de agua por peso es bajo en comparación con otras variedades, lo que resulta en una baja producción de jugo. Debido a esto, el mango criollo no resulta rentable para la industria procesadora de jugos, por lo que prefieren otras variedades que ofrecen un mayor rendimiento de jugo por fruto.

Ya que el mango criollo es abundante durante su temporada, y debido a que su comercialización no es lo suficientemente vasta, en ocasiones muchos frutos se pudren o descomponen y se desechan, al igual que los mangos que no cumplen con la demanda del mercado (tamaño, forma, grado de madurez, etc.), lo que representa una gran pérdida para los productores locales.

Aumentar el rendimiento de jugo en el mango criollo, abriría las puertas de dicho fruto a la industria procesadora, haciendo así que la comercialización y demanda del fruto aumente, lo que impulsaría la economía de nuestros productores chiapanecos.

Debido a esto, es necesario establecer un método que nos permita aumentar el rendimiento jugo/pulpa del fruto, y así aprovechar al máximo la producción del fruto en el estado, lo que repercutirá satisfactoriamente en nuestra economía.

6. ALCANCES Y LIMITACIONES

El presente, es un proyecto realizado a escala laboratorio, que pretende establecer un método de clarificación enzimática para la pulpa del mango criollo; y con esto aumentar la obtención de jugo a partir de dicho fruto. El trabajo se limitará únicamente a la licuefacción del fruto, para analizar su rentabilidad en la industria de jugos; analizando la degradación de las pectinas por medio del descenso de la viscosidad.

Para el desarrollo de este proyecto se estableció un máximo de 6 meses de duración, durante el cual se debe estudiar y analizar cada uno de los tratamientos aplicados a la pulpa de mango, y los efectos sobre ésta; con el fin de definir un proceso para la licuefacción adecuada del fruto.

Una de las limitaciones principales del proyecto, es que el mango criollo es un fruto de temporada, por lo cual, no estará disponible durante todo el transcurso del proyecto. Por lo anterior, se decidió conseguir un lote al inicio del proceso, despulparlo y congelarlo; a fin de evitar su descomposición y descongelar solo lo necesario conforme se va requiriendo.

Debemos tomar en cuenta que los factores ambientales son variantes para cada zona, por lo que para evitar que estos afecten el tratamiento, se establecerán las mismas condiciones para que todos los análisis sean representativos. Así mismo, debemos considerar que si bien, el tratamiento es rentable a escala laboratorio, podría no serlo a nivel industrial; por lo que debemos considerar el menor gasto de enzimas para obtener una mayor eficiencia, estableciendo concentraciones mínimas de Pectinex 3XL para el estudio.

Se debe procurar, que el tratamiento al que es sometida la pulpa del mango, no sea destructivo ni dañino para las propiedades nativas del fruto. De igual forma el clarificado obtenido debe ser de buena calidad, sin alteraciones, y se debe evitar el desperdicio de materia prima.

El alcance principal de este proyecto, es establecer un proceso de licuefacción enzimática de la pulpa del mango criollo, analizando el efecto que este tenga sobre sus propiedades.

7. FUNDAMENTO TEÓRICO

7.1. MANGO

El mango es indudablemente la especie de mayor importancia de la familia de las Anacardiáceas (Cuadro 1), tanto por su distribución mundial como por su importancia económica. Según las estadísticas de la FAO en el año 2005, el mango se cultivó en 70 países, aunque en las mismas no se incluyen algunos países productores como España, Portugal, Estados Unidos y pequeñas islas, como por ejemplo Cabo Verde, por lo que resulta más real decir que el mango se cultiva en alrededor de 100 países (Galán, 2009).

Cuadro 1. Posición taxonómica del mango

Clase	Dicotiledóneas
Subclase	Rosidae
Orden	Sapindales
Suborden	Anacardiineae
Familia	Anacardiaceae
Genero	Mangifera
Especie	Indica

Fuente: Galán, 2009.

El género *Mangifera* (Cuadro 2) comprende 69 especies según la revisión efectuada por Bompard (1993). La zona de origen de este género, se ubica en el sudeste de Asia. Estas especies se encuentran distribuidas en una amplia zona geográfica con distintas condiciones ambientales y exhiben una considerable diversidad genética, particularmente en caracteres del fruto.

Cuadro 2. Ficha técnica

Tipo	Fruta
Nombre común	Mango
Nombre científico	Mangifera indica L.
Origen	África
Familia	Anacardiácea
Genero	Mangifera

Fuente: Pulpafruit, 2012.

Probablemente fue Clusius en 1605 el primer botánico que describió el mango en el mundo occidental, pero el nombre científico *Mangifera* se debe a Bontius quien en 1658 llamó a esta especie *Mangifera arbor* (el árbol que produce mandos), denominación que fue primero conservada por Linneo en 1747 y luego cambiada por el mismo autor en su famoso libro "Species plantarum" a su nombre actual *Mangifera indica* (una planta india productora de mango) (Bajpai et al., 1985). Debe precisarse que en este caso, el binomio latino hace referencia al lugar donde el mango común fue seleccionado y mejorado

(India), sin que sea esta necesariamente su área de origen, que es bastante más amplia (Galán, 2009). El mango es una planta resistente a la sequía y por ello ha sido plantado en muchos lugares de los trópicos como árbol ornamental para proporcionar frescor y sombra (Galán, 2009).

El árbol de mango puede producir flores e incluso frutos cuajados a partir del primer año, pero se deben ir retirando hasta el tercero o cuarto año para obtener un buen desarrollo de la misma, antes de que esté dispuesta a soportar un cultivo completo. La fruta del mango es dulce, de acidez moderada, aunque el sabor y la textura de su pulpa pueden variar de una variedad a otra (Cuadro 3). Los hay de una consistencia blanda y suave, parecida al de la ciruela, otros con una carne firme similar a la del melón, e incluso algunas variedades con una cierta textura fibrosa. Su color varía desde el rojo y los anaranjados hasta el violáceo, morado, amarillento e incluso el verde, siempre en función de su variedad.

Cuadro 3. Variedades, estacionalidad y características sensoriales del mango.

NOMBRE	ESTACIONALIDAD	SABOR · TEXTURA Y COLOR
 ATAULFO	Enero a Agosto	<ul style="list-style-type: none"> * Sabor dulce y cremoso * Textura suave y firme sin fibras * Su piel es amarillo vibrante con tintes dorados profundos
 HADEN	Febrero a Julio	<ul style="list-style-type: none"> * Rico en Sabor con matices perfumados * Pulpa firme con finas fibras * Piel verde a amarillo con toques de color rojo a naranja
 KEITT	Junio a Octubre	<ul style="list-style-type: none"> * Sabor dulce, afrutado * Pulpa firme y jugosa, con pocas fibras * Su piel permanece verde aun estando maduro y un ligero tono rosado
 KENT	Mayo a Agosto	<ul style="list-style-type: none"> * Rico sabor dulce * Pulpa tierna y jugosa con pocas fibras * Su piel es verde oscuro con un rubor rojo oscuro y matices amarillos aparecen al madurar
 MANILA	Enero a Agosto	<ul style="list-style-type: none"> * Sabor dulce ligeramente ácido * Muy jugoso y delicado, textura muy suave * Color amarillo brillante
 TOMMY/ATKINS	Marzo a Julio	<ul style="list-style-type: none"> * Sabor ligeramente dulce * Textura firme, bastante fibrosa * Su piel dorada o verdosa con rubor bermellón (rojo vivo)

Fuente: CONASPROMANGO, 2013

7.1.1. Características generales

Son numerosos los análisis reportados sobre el fruto del mango para estudiar su valor nutritivo. En el Cuadro 4, se incluyen diferentes composiciones señaladas por diversos autores. Muchos de estos valores son muy variables dependiendo de los cultivares y del grado de madurez. Cabe destacarse que el mango maduro contiene una moderada cantidad de vitamina C, siendo rico en provitamina A y en vitaminas B1 y B2.

Cuadro 4. Composición y valor nutritivo del mango

<i>Composición (por 100 g de pulpa)</i>	<i>Morton, op. cit.(1)</i>	<i>Srivastava (1967)</i>	
		<i>mango verde</i>	<i>mango maduro</i>
Calorías	62.1 - 63.7	39	50 - 60
Humedad	78.9 - 82.8 g	90.0 g	86.1 g
Proteínas	0.36 - 0.40 g	0.7 g	0.6 g
Grasa	0.30 - 0.53 g	0.1 g	0.1 g
Hidratos de carbono	16.20 - 17.18 g	8.8 g	11.8 g
Fibra	0.85 - 1.06 g	—	1.1 g
Ceniza	0.34 - 0.52 g	—	—
Calcio	6.1 - 12.8 mg	0.01 g	0.01 g
Fósforo	5.5 - 17.9 mg	0.02 g	0.02 g
Hierro	0.20 - 0.63 mg	450 mg	30 mg
Vitamina A	0.135 - 1.872 mg	150 U.I.	4800 U.I.
Tiamina	0.020 - 0.073 mg	—	0.04 mg
Riboflavina	0.025 - 0.068 mg	0.03 mg	0.05 mg
Niacina	0.025 - 0.707 mg	—	—
Ácido Ascórbico	7.8 - 172.0 mg	3 mg	13 mg
Metionina	3 - 6 mg	—	—
Triptófano	32 - 37 mg	—	—
Lisina	—	—	—
Ácido nicotínico	—	—	0.3 mg

(1) Valores extraídos de diversos análisis hechos en Cuba, América Central, África e India.

— Significa sin datos.

Fuente: Galán, 2009

7.1.1.1.Cosecha

Existen algunos caracteres visuales que pueden ser empleados para determinar el punto de corte en algunas variedades y tipos de mango; por ejemplo:

- Inicio de la coloración amarilla en la pulpa.
- El desarrollo del pico.
- El desarrollo de los hombros (más apreciables en mangos del grupo hindú).
- La formación de cavidad en la base del pedúnculo.
- El incremento en tamaño de las lenticelas y en varios casos el cambio de color café de estas lenticelas.

La mayoría de las variedades de mango al llegar a su madurez fisiológica muestran cambios en el color de la pulpa al amarillo, y puede determinarse fácilmente al rebanar la pulpa de unas cuantas frutas, de ahí que pueda ser un factor guía para su cosecha.

Las fechas de cosecha del mango oscilan de acuerdo con la variedad y la zona de cultivo, en virtud de ello es recomendable determinar el número de días de floración a madurez o bien los cambios de color de fondo de los frutos, el peso específico, la proporción de sólidos-ácidos y el periodo climatérico de la respiración; por tal motivo se deben efectuar muestreos periódicos o bien hacer que los frutos maduren y analizarlos tanto química como en sus propiedades organolépticas. En cuanto se determina la calidad satisfactoria se pueden cosechar todos los frutos que proceden de un periodo determinado de floración. Por la naturaleza delicada y altamente perecedera de los frutos de mango, el corte debe hacerse a mano tanto como sea posible. El fruto se tuerce en forma brusca hacia un lado o hacia arriba; para aquellos frutos de las ramas altas se recomienda el uso de escaleras dobles o garrochas con canastilla en el extremo donde se fija un gancho o una navaja cortante; esta herramienta da a la fruta mejor trato y se recomienda recortar el pedúnculo para evitar que dañe el resto de los frutos (InfoAgro, 2006).

El fruto golpeado debe desecharse inmediatamente, ya que durante su maduración puede sufrir pudriciones y contagiar el resto de los frutos. La presencia de agua de lluvia o rocío en el fruto causa manchas al madurar, lo que demerita su valor comercial y por esta razón la cosecha no debe realizarse cuando el fruto está mojado. La cosecha debe hacerse a temprana hora y transportarse el mismo día evitando el amontonamiento en grandes cantidades de la fruta en el campo, además se deben usar cajas adecuadas, lavadas y desinfectadas que permitirán el manejo y transporte de la fruta a la empacadora sin que sufra golpes que influyan en su maduración y no se propicien campos propios para el ataque de enfermedades fungosas (InfoAgro, 2006).

7.1.1.2. Métodos post-cosecha

Tratamiento físico y químico: primero la cantidad de fruta que llega a un empaque se cataloga por lotes, en la cual el inspector ya sea USDA (NORMES) o un APROBADO inspecciona la fruta para saber si no lleva larvas muertas o vivas y a su vez ahí se inspecciona el grado de madurez que tenga, si esta tierno se regresa, una vez autorizada

esta prueba, se va a una seleccionadora, en donde por método manual se elimina la fruta que este lastimada, roñosa, con picaduras, etc., y por método técnico se selecciona el tamaño de la fruta y se va clasificando de acuerdo al mercado al que será destinado (local, nacional y de exportación). Posteriormente se incorpora la fruta al proceso llamado hidrotérmico que consiste en pasar la fruta por agua caliente, a cierta temperatura (esta depende del tamaño de la fruta y a su vez está determinará el tiempo que permanecerá ahí), después pasa por agua a temperatura normal. Esto sirve para eliminar lo que pudiera existir de mosca de la fruta y aumentar la vida de anaquel.

7.1.1.2.1. Mercado local

El mango se vende fresco y no se utiliza ningún proceso que genere valor agregado al fruto. Para movilizar la fruta hacia su destino, el transporte generalmente es por vía terrestre, lo cual muchas veces causa daño en el mango; además en ocasiones se presentan atrasos tanto en la llegada de las cajas del empaque como a su destino (SAGARPA, 2005).

7.1.1.2.2. Mercado nacional y de exportación

Generalmente se empaca la fruta en cajas de cartón de 5, 9 y 10 lbs, estas se clasifican en diferentes calibres desde 9 hasta 25. La fruta lleva un etiquetado y cada caja posee la descripción del producto, esto sirve para mantener en buen estado el producto y la calidad hasta su destino; estas cajas a su vez son puestas en tarimas y se forman los pallets que pueden llevar 136 y 142 o más cajitas. Éstos pallets son los que van dentro de los contenedores o camiones refrigerados (Infoagro, 2006). Cabe destacar, que el mercado de exportación suele tener estándares de calidad más estrictos que el nacional.

7.1.2. Producción Nacional y Estatal

El mango es la fruta tropical más comercializada en el mundo después del aguacate y el banano (Ureña, 2007). México es el quinto productor mundial de mango: uno de cada veinte mangos que se consumen en el orbe es mexicano. Los principales productores son India, China, Tailandia, Pakistán, seguidos por nuestro país e Indonesia. En conjunto, estas seis naciones generan tres de cada cuatro toneladas del fruto a nivel mundial (Cuadro 5).

Cuadro 5. Principales países productores de mango

País productor de mango	Millones de toneladas	%
India	16.3	42
China	4.4	11.3
Tailandia	2.6	6.6
Paquistán	1.8	4.6
México	1.6	4.2
Indonesia	1.3	3.4

Fuente: **SIAP** con datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

El valor de la producción del mango mexicano alcanzó en el 2014 cuatro mil 847 millones de pesos. El mango se cultiva en 23 entidades, en un área de 186 mil hectáreas, 40% corresponden a la modalidad de riego y 60% a la de temporal (SIAP, 2014). El pico de producción se ubica entre los meses de mayo y junio, aunque la oferta se extiende de marzo a agosto.

Los estados de Guerrero, Nayarit, Chiapas, Oaxaca, Sinaloa, Veracruz y Michoacán aportan en conjunto más de un millón 384 mil toneladas de mango, es decir, nueve de cada diez (89%) de la producción nacional (Figura 4).











Figura 4. Producción de mango por entidad federativa al 2011 (toneladas).

Fuente: **SIAP**.

En el Cuadro 6, se presentan las variedades de mango más importantes en México, las cuales son *Ataulfo* (que representa uno de cada cuatro mangos mexicanos y cuenta además con denominación de origen), *Manila*, *Tommy Atkins*, *Haden* y *Kent* que conjuntamente aportan el 81.2% de la producción nacional (SIAP, 2012).

Cuadro 6. Participación porcentual por variedad, 2011.

Variedad	Participación %	Variedad	Participación %
Ataulfo 	25.4	Kent 	11.3
Manila 	19.8	Criollo 	7.0
Tommy Atkins 	13.2	Keitt 	4.5
Haden 	11.5	Otros 	6.3

Fuente: SIAP con datos de las Delegaciones de la SAGARPA, 2012.

Las exportaciones de mango mexicano y sus derivados crecieron un 77% hacia el 2011 (Figura 5); son 122 mil toneladas más destinadas al comercio exterior. En total, se exportó una de cada cinco toneladas (18%) de la producción del fruto, lo que colocó a México como el segundo exportador mundial sólo detrás de la India (SIAP, 2012).

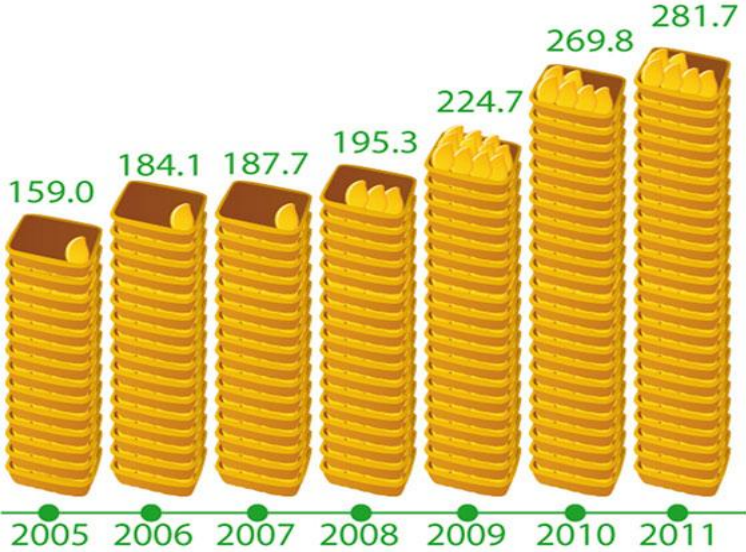


Figura 5. Exportaciones de mango 2005-2011 (miles de toneladas).

Fuente: **SIAP** con datos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

Durante 2013, las exportaciones de mango mexicano se incrementaron a 312.5 mil toneladas, lo que contribuyó a consolidar a México en el primer lugar mundial en las ventas de este producto, según la SAGARPA. Los países a los que llega el mango mexicano son: Estados Unidos, Canadá, Japón, Reino Unido, Bélgica, España, Francia, Alemania, Países Bajos, Guatemala, Austria, Suiza, Australia, Costa Rica, Israel, Italia, Luxemburgo, Nueva Zelanda, Brasil, Corea del Sur, Colombia y Suecia.

En el año 2013 Chiapas exportó a Estados Unidos 20 mil toneladas de mango, en 2014 25 mil toneladas a dicho país, y a Canadá más 3 mil toneladas; en tanto el resto de la producción total del estado, cubrió el mercado nacional, entre ellos la parte norte del país, además de Monterrey, Distrito Federal, Guadalajara y la Península de la República (Excelsior, 2014).

El estado de Guerrero es el principal productor de mango, con el 22 por ciento del volumen total; Nayarit, con un 17 por ciento, y Sinaloa con un 14 por ciento. Estas tres entidades participan con el 53 por ciento de la producción nacional. El resto se produce en Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Veracruz, Jalisco, Colima y Campeche.

La producción de mango en Chiapas, en lo que respecta a superficie cultivada, es la sexta actividad agrícola del Estado, después del maíz, frijol, café, caña de azúcar y cacao (Ballinas y col, 2013). Además, es la principal actividad frutícola, tanto en superficie sembrada como en producción (Cuadro 7). Además, de esta actividad dependen aproximadamente 5,700 productores, sin contar con los empleos indirectos (SIAP, 2003).

Cuadro 7. Cierre de la producción agrícola de mango en Chiapas

Año	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
2005	23,700.46	20,439.71	131,249.62	6.42	2,886.28	378,823.41
2006	23,660.43	21,444.35	165,981.69	7.74	4,257.38	706,647.80
2007	23,924.18	21,664.93	149,394.95	6.90	2,766.41	413,287.62
2008	25,978.93	23,235.18	177,000.60	7.62	3,752.70	664,229.72
2009	26,158.99	24,264.24	188,634.69	7.77	2,871.40	541,645.35
2010	26,178.59	24,798.59	184,859.47	7.45	3,737.63	690,935.56
2011	26,484.09	25,049.99	193,041.60	7.71	3,397.14	655,788.80
2012	26,556.69	25,601.59	162,921.77	6.36	2,833.46	461,631.69
2013	27,691.19	26,278.59	143,303.92	5.45	3,523.22	504,891.67
2014	27,683.19	27,300.19	196,166.05	7.19	4,320.57	847,549.31

Fuente: SIAP, 2015.

Como podemos observar en la Figura 6, la producción de mango en el Estado ha ido incrementando ligeramente a través del tiempo, pudiéndose notar en el 2007 una drástica caída en la producción. Los siguientes años presentan un ligero incremento, aunque nuevamente desciende en el año 2012 y posteriormente un notable aumento para el 2014; así, se puede deducir que la producción de mango en el estado de Chiapas se ha mantenido estable durante los últimos años.

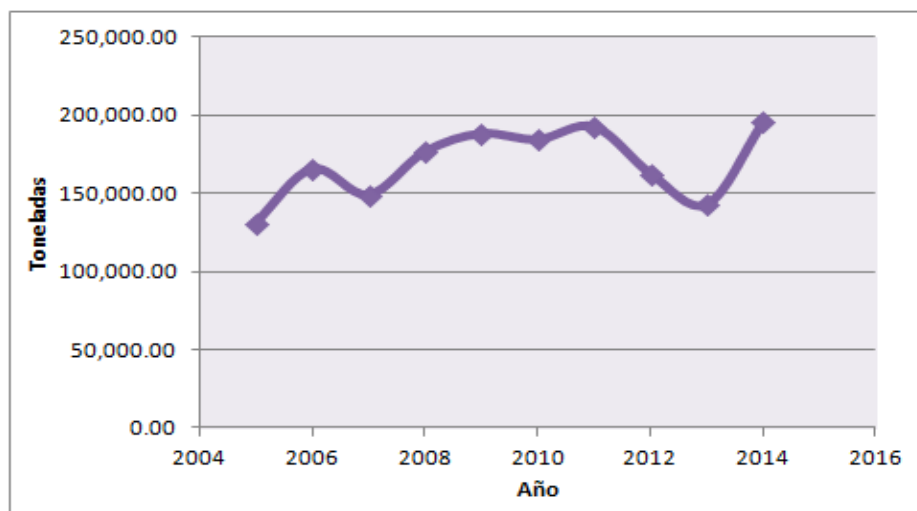


Figura 6. Producción de mango en el estado de Chiapas (2005-2014).

7.1.3. Variedades de mango cosechadas en Chiapas

En Chiapas se producen principalmente cuatro variedades de mango: Ataulfo, Criollo, Manililla y Tommy Atkins (Figura 7). La variedad Ataulfo fue la que más se produjo en el año 2003, la participación de esta fue del 59% del total de la producción estatal, seguida de la variedad Manililla con 12% del total de la producción (Figura 8).

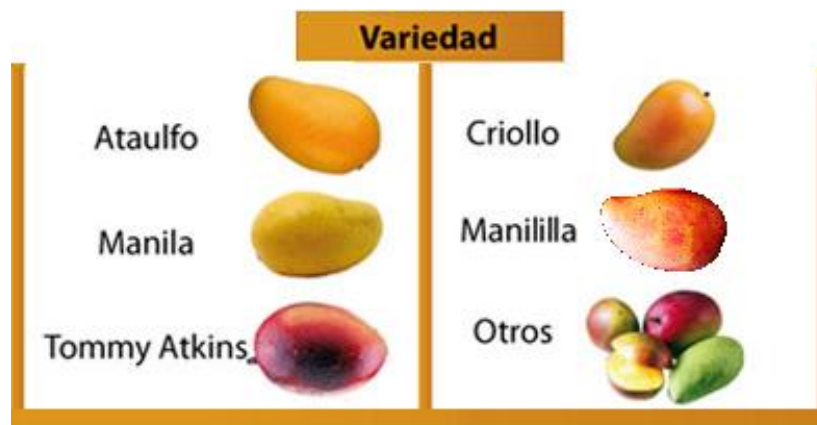


Figura 7. Algunas variedades de mango cosechadas en Chiapas.

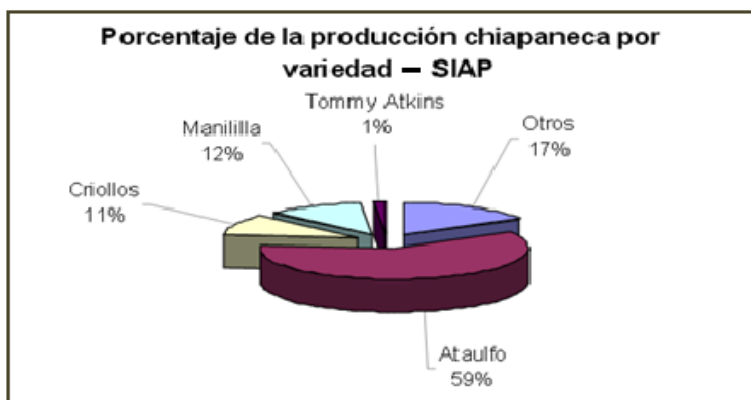




















Figura 8. Producción chiapaneca por variedad de mango.

Actualmente, Chiapas participa con el 57.67% de la producción nacional de mango manililla, el 33.49% de mango Ataulfo y 13.16% de la producción de mango oro en el país. Al 2015, Chiapas representa el 11.98% de la producción nacional de mango criollo (SNIIM, 2015).

En el mundo se han caracterizado morfológicamente diversas variedades de mango de interés comercial (Litz, 1997). Sin embargo, la descripción morfológica y agronómica del mango en México es escasa. En la región del soconusco, ubicada en el sureste de Chiapas, existe una amplia gama de tipos de mangos nativos (Cuadro 8), cuya denominación es local y cuyo valor comercial y/o ecológico aún no se ha cuantificado (Gálvez et al, 2006).

Cuadro 8. Aspecto de los frutos maduros de algunos registros de mango nativos del Soconusco, Chiapas, México.

Nombre	Fruto maduro	Nombre	Fruto maduro	Nombre	Fruto maduro
Manililla		Plátano		Agua	
Canela		Viejita		Plátano	
Coche		Tecolote		Sin nombre 1	
Amatillo		Pepino		Ajo	
Cachetio		Manzana		Sin Nombre 2	
Oro		Alcanfor		Ataulfo 50	

Fuente: Gálvez et al, 2006.

7.1.4. Mango criollo

El mango es una rica fuente de vitaminas y minerales. Su alto contenido en vitamina A, vitamina E (beta-caroteno) y selenio pueden ayudar claramente a prevenir enfermedades del corazón, de colon o el cáncer de cuello uterino. Las vitaminas A y C del mango proporcionan también una alta cantidad de potasio, lo que ayuda a regular la presión arterial, la contracción muscular y participa en el correcto funcionamiento de los procesos corporales. El hierro contenido en el mango es otro de sus elementos destacados, un consumo regular es beneficioso para las personas con anemia y para las mujeres embarazadas (Benamayor, 2010). Aunque existen diversas variedades de mango, todas guardan una estrecha relación en cuanto a sus propiedades. En el Cuadro 9, podemos apreciar algunas características del mango criollo frente a otras variedades.

Cuadro 9. Características físicas y químicas de frutos de 13 variedades de mango

Variedad	Masa (g)	Largo (cm)	Ancho (cm)	pH	Brix (SS %)	AT (%)	SS/AT
Zill	314.08	9.85	7.45	4.26	18	0.55	32.72
Manzana	517.35	10.27	9.53	4.22	14.9	0.67	22.23
Criollo	359.76	10.48	8.01	4.55	19.5	0.35	55.51
Gleen	347.13	11.03	7.80	4.29	17.1	0.59	28.98
Haden	436.98	11.22	8.14	3.91	14.9	0.83	17.95
Tommy	469.28	11.39	8.73	4.33	17.32	0.57	30.38
Carusell	410.54	11.75	8.36	4.27	19.3	0.35	55.14
Irwin	366.49	12.31	7.82	3.9	15.71	0.69	27.76
Kent	754.40	12.35	10.26	3.74	19.4	0.63	30.7
Ford	713.96	13.69	10.04	4.4	17.54	0.66	26.57
Sprinfels	767.42	14.54	9.62	3.68	17.9	0.89	20.17
Valencia	522.38	15.64	8.03	4.24	17.9	0.59	30.33
Palmer	528.11	16.05	8.14	4.18	17.43	0.52	33.51

Fuente: Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 2010.

El mango criollo, es una drupa carnosa que puede contener uno o más embriones. Posee un mesocarpio comestible de diferente grosor según los cultivares y las condiciones de cultivo. Su peso es variable; su forma también es variable, pero generalmente es ovoide-oblonga, notoriamente aplanada, redondeada, u obtusa a ambos extremos, de 4-25 cm de largo y 1.5-10 cm de grosor. El color puede estar entre verde, amarillo y diferentes tonalidades de rosa, rojo y violeta. La cáscara es gruesa, frecuentemente con lenticelas blancas prominentes; la carne es de color amarillo o anaranjado, el fruto del mango es

jugoso y sabroso. La semilla es ovoide, oblonga, alargada, estando recubierta por un endocarpio grueso y leñoso con una capa fibrosa externa, que se puede extender dentro de la carne (Celestino, 2009).

La industria del mango busca un fruto con tamaño adecuado que facilite su manipulación en planta y en algunos casos para la venta en grandes superficies o centros de abastos. Como se observa en la Figura 9, los mangos criollos presentan una alta variabilidad en esta característica presentándose con mayor frecuencia mangos que pesan entre 120 - 240 g (García et al, 2009).

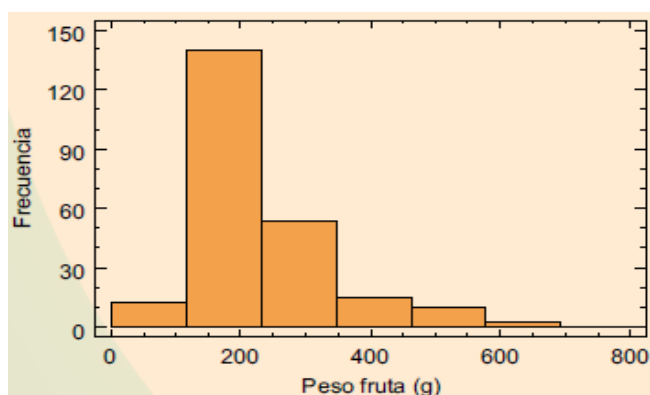


Figura 9. Gráfico de la frecuencia peso, determinada para algunos mangos criollos. Fuente: Corpoica C.I. Nataima, 2008.

La firmeza del fruto varía durante el estado de madurez, puesto que durante este periodo ocurren fenómenos como la degradación del almidón en azúcares solubles, así como la degradación de la pectina presente en la pared celular, disminuyendo la firmeza del fruto (CONASPROMANGO, 2013). En la Figura 10 se muestra una relación entre la coloración de la pulpa de mango y algunas de sus propiedades químicas, observándose una disminución en la firmeza conforme aumenta el grado de maduración del fruto.

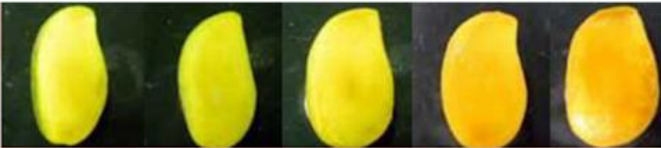
CRIOLLO	COLOR PROMEDIO					
	Color interno (pulpa)	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4	Grado 5
	Madurez					
	Firmeza (Lbs-Fuerza)	8-12	6-10	4-6	2-4	1-2
	Sólidos solubles (°Brix)	5-6	10-13	12-14	15-16	16-18

Figura 10. Carta de madurez y propiedades químicas del mango criollo. Fuente: CONASPROMANGO, 2013.

De las propiedades químicas analizadas en el Cuadro 9, la de mayor importancia para la industria de transformación del mango es el porcentaje de sólidos solubles, determinado como grados Brix ($^{\circ}$ Brix); y que se expresa como el porcentaje de sacarosa presente en la pulpa. La industria de procesamiento exige un mínimo de 14° (Corpoica C.I. Nataima, 2008). Para esta propiedad, se presenta un amplio rango entre algunas variedades de mangos criollos (Figura 11).

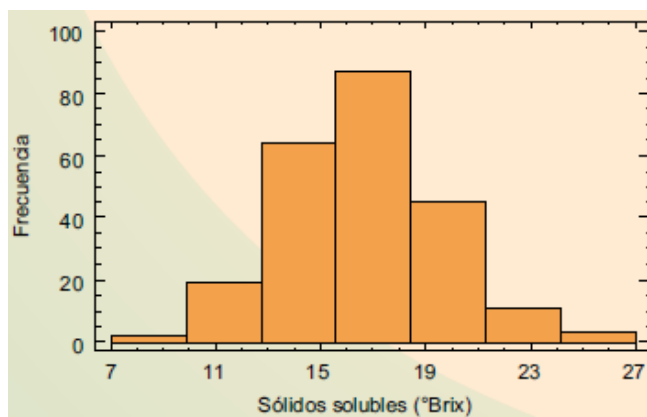


Figura 11. Gráfico de frecuencia de porcentaje de sólidos solubles, expresada como $^{\circ}$ Brix. Fuente: Corpoica C.I. Nataima, 2008.

En promedio, se tiene un total de 17° Brix para el mango criollo, lo que se encuentra dos puntos por arriba del mínimo exigido por la industria de jugos (García et al, 2009).

Algunos de los criterios evaluados por las industrias son $^{\circ}$ Brix, rendimiento en planta y peso del fruto (Corpoica C.I. Nataima, 2008). Se han asignado categorías de acuerdo con los criterios exigidos por la agroindustria nacional (Cuadro 10).

Cuadro 10. Criterios para la selección de frutos de mango élite criollo

CATEGORÍA	$^{\circ}$ BRIX	RENDIMIENTO EN PLANTA	PESO DEL FRUTO
Excelentes	> 18	> 85%	> 200 g
Muy buenos	16 - 18	> 85%	> 200 g
Estándar*	14 - 16	> 75%	> 150 g
Aceptable*	> 14	> 75%	Cualquier tamaño

* El rendimiento en pulpa puede ser menor del 70%.
Fuente: Corpoica C.I. Nataima, 2008.

7.1.5. Usos de la pulpa de mango

Por su excelente sabor, esta fruta se consume en estado fresco. También tiene posibilidades de empleo en la fabricación de helados, jugos, pulpas, compotas, néctares, conservas, dulces, enlatados, etc. En estado inmaduro sirve para la elaboración de harinas para el consumo animal y humano (Pulpafruit, 2012). Todos los residuos del procesamiento de la fruta se pueden utilizar como forraje (sobre todo para cerdos).

Tradicionalmente, el mango en estado sazón es comercializado pelado y troceado con saborizantes (sal, chile, limón). También se utiliza como un ingrediente importante en la mezcla de muchas bebidas y en helados caseros. El mango tierno en los países asiáticos, se consume como verdura, como fruta fresca o en almíbar (DESCA, 2007).

En México, del total de la producción del fruto, el 13.5% se destina a la industrialización: en 2011 se generaron 194 mil toneladas de jugos con un valor de 1,776 millones de pesos y casi 16 mil toneladas de conservas de mango con un valor de 152 millones 892 mil pesos (SIAP, 2011).

7.1.6. Extracción del jugo de mango

Estas operaciones consisten esencialmente en el rompimiento de la estructura celular del fruto permitiendo la salida del jugo contenido en las vacuolas, acompañado de una proporción más o menos grande del citoplasma y la pared celular (Forero, 2011).

Esta separación se obtiene por la acción conjunta de tres efectos:

- Rompimiento mecánico de la pared celular.
- Separación de las lamelas por fraccionamiento de la pectina y desprendimiento de la celulosa por acción térmica o enzimática.
- Permeabilización y plasmólisis de la membrana celular.

Los efectos anteriores se obtienen por reducción de tamaño, calentamiento o congelación y adición de enzimas hidrolizantes. El contenido celular liberado se separa de los sólidos por procesos mecánicos en los cuales se obtiene una fase líquida pura (jugo) o una fase unida al material celulósico (pulpa).

Durante la fase de la ruptura de la estructura celular y la separación de su contenido ocurren una serie de fenómenos físicos, químicos y enzimáticos que influyen directamente sobre el rendimiento cuantitativo y cualitativo de los procesos.

En la composición de los jugos y pulpas de frutas, existe una fracción acuosa libre y una ligada; su composición depende de los tratamientos físicos aplicados, como clasificación, estabilización y concentración.

La proporción entre la fracción acuosa libre y ligada depende del:

- Tipo de operación de reducción de tamaño (trititación o compresión).
- Condiciones de la operación de reducción de tamaño (tratamiento térmico o enzimático).
- Clase de equipo empleado para separar la fase líquida de la sólida del fruto.

7.1.6.1. Despulpado

Este proceso se utiliza para separar de la fruta las semillas y las fracciones de la cáscara que afectan la calidad del material; de la misma manera continúa la reducción del tamaño mejorando la homogeneidad del producto (Forero, 2011). Los equipos más utilizados son:

- Despulpador horizontal.
- Despulpador horizontal de tornillo.
- Despulpador inclinado de escobillas.

- Despulpador horizontal.

Consta de un eje horizontal en el cual se fijan unas paletas de acero inoxidable, de caucho o escobillas de nylon; la capacidad de extracción está regulada por la mayor o menor distancia entre las paletas y una malla cilíndrica que los recubre; la regulación de la distancia está ligada a la clase de fruta que se pretende despulpar.

La eficiencia de esta operación depende del tamiz utilizado, cuanto menor es el tamaño de los orificios y menor la distancia entre las paletas y el tamiz, se obtendrá una pulpa más refinada y homogénea, puesto que a menor distancia se ejerce más presión sobre el producto; es necesario regular esta presión para evitar las roturas de las semillas. Este despulpador posee además una abertura localizada longitudinalmente a lo largo del eje

horizontal o boca de salida, que permite eliminar el material residual que no pasa a través del tamiz.

- Despulpador horizontal de tornillo.

Está formado por un tornillo sin fin, la distancia entre los pasos de rosca va disminuyendo en dirección a la salida del producto, de tal manera que el paso de rosca es mayor en el punto de alimentación; posee diferentes juegos de tamices con el fin de regular el grado de refinación por la presión del tornillo sobre la pulpa.

- Despulpador inclinado de escobillas.

Funciona con el mismo principio que el despulpador horizontal, con un tratamiento de fricción más ligero, ya que las paletas son sustituidas por escobillas de nylon con una velocidad de rotación menor, evita la rotura de la semilla y se utiliza para un primer despulpado grueso.

7.1.6.2. Refinado

En la práctica se utilizan dos o tres clases de equipos, combinados o equipos iguales utilizados en serie disminuyendo la abertura de los tamices con el propósito de efectuar un despulpado grueso con el equipo con los tamices de abertura mayor, pasando a un segundo con tamices más pequeños y luego a un tercero o último con tamices de abertura fina para obtener una pulpa más suave y homogénea (Forero, 2011).

7.1.6.3. Tratamientos de conservación.

Existen varios métodos utilizados para la conservación de pulpas y jugos de frutas que son:

- Envasado en caliente (hot fill).
- Envasado aséptico.
- Preservación con agentes químicos.
- Congelación.

7.1.6.4. Proceso Industrial

La industria procesadora de jugos, prefiere variedades de mango con una pulpa suave y con un alto rendimiento en planta (Corpoica C.I. Nataima, 2008) por su alto contenido de jugo. Podemos describir las siguientes etapas en la producción del jugo (Frutosa, 2013):

- Recepción

Las frutas que se reciben del campo no llegan limpias y es necesario remover el polvo, pajas, etc. El lavado se hace con la ayuda de tanques con agitación, cepillos rotatorios y boquillas a presión, complementado con la inspección visual realizado en transportadores de rodillos donde se separan las frutas que no cumplen con las condiciones de calidad.

- Extracción

La extracción de jugos se realiza con el sistema de corte y pulpeado, y en el caso del mango previa inactivación enzimática por medio de vapor, se realiza la extracción de la pulpa en la pulpeadora.

- Separación del jugo

La separación del jugo de la semilla, se realiza en refinadoras con mallas con perforaciones finas de hasta 0.5 mm lo que permite obtener un jugo/pulpa homogéneo y libre de restos de semillas, cascara, fibra, etc.

- Aditivos

La adición de aditivos es recomendable para prolongar su vida útil. Uno de estos aditivos es el ácido cítrico al 0.3% como acidulante para bajar el pH y evitar así el crecimiento de microorganismos. Además, estas condiciones permiten la acción del benzoato de sodio al 0.1% como preservante y se recomienda la adición de ácido ascórbico al 0.1% como antioxidante para evitar el oscurecimiento del producto al mismo tiempo que ayuda a combatir los hongos y levaduras. Los aditivos se agregan poco antes que termine el tratamiento térmico, se disuelven en un poco de agua o pulpa caliente y se da una buena agitación para asegurar una distribución homogénea. El producto final debe tener 13°Brix y un pH de 3.4 a 3.5.

- Pasteurización

Esto permite eliminar las bacterias presentes, empleando equipos de última generación, lo que permite asegurar un proceso eficiente y seguro que garantiza la inocuidad y calidad final del producto.

- Envasado

Para envío al mercado internacional, se utilizan tambores metálicos con bolsas plásticas dobles interiores.

- Congelado

Después del envasado, el producto es llevado inmediatamente a la cámara de congelado, que se encuentra a una temperatura de $-18/20^{\circ}\text{C}$; de la cual, después de la etapa de congelado, el producto es finalmente llevado al contenedor tipo “reefer” (refrigerado) el cual transportará el producto a su mercado de destino. Durante el congelado, se deben controlar las condiciones adecuadas para prolongar la vida de anaquel del producto (Cuadro 11).

Cuadro 11. Condiciones óptimas para el tratamiento en frío del mango

ALIMENTOS	HUMD RELT (%)	VIDA ALMACEN (días)
MANGO	85-90	14-21
MANGO-BADAMI	85-90	28
MANGO-CARABAO	85-90	18-25
MANGO-PICO	85-90	21

Fuente: ASHRAE, 1971.

7.1.7. Métodos para mejorar la extracción del jugo de mango

- Macerado:

Con esta operación se busca aumentar los rendimientos de jugo en pulpa. Se logra por la acción de enzimas naturales de la fruta o mediante la adición de enzimas comerciales agregadas, después del despulpado. También se emplea para disminuir la viscosidad de algunos jugos o pulpas para lograr su concentración a niveles superiores a 60°Brix , como

en el caso de la mora, mango o maracuyá (Forero, 2011). El macerado se logra con mezclas de enzimas llamadas pectinasas, amilasas y celulasas. Las variables de concentración de enzimas, temperatura, pH y tiempo de acción óptimos varían de una fruta a otra.

Los rendimientos de jugo respecto a la pulpa, aumentan en valores cercanos al 5-7% o más, dependiendo de las características de cada fruta. El costo por empleo de enzimas puede considerarse alto, pero se recuperan entre mayores sean los volúmenes tratados (Forero, 2011).

7.2. ENZIMAS

La catálisis es el proceso por el cual se aumenta la velocidad de una reacción química, debido a la participación de una sustancia llamada catalizador y las que desactivan la catálisis son denominados inhibidores. Un concepto importante es que el catalizador no se modifica durante una reacción química, lo que lo diferencia de un reactivo. Algunos catalizadores son simples, mientras que otros son muy complejos, en el sentido de que incorporan diferentes tipos de componentes catalíticos, como son las enzimas.

Las enzimas más simples son proteínas de peso molecular desde unos 12 mil hasta 40 mil (Myron y Lewis, 1977). Las proteínas están compuestas de pequeños bloques o residuos, conocidos como aminoácidos, cuyo peso molecular abarca desde 75 hasta 200. Por consiguiente, la mayoría de las enzimas simples están construidas por 100 a 400 residuos de aminoácidos.

Cada célula y cada tejido tienen su actividad propia, lo que implica continuos cambios en su estado bioquímico, en la base de la cual están las enzimas, que tienen el poder de catalizar, facilitar y agilizar determinados procesos sintéticos y analíticos (Ludeña, 1999). Debido al gran número de aminoácidos que la naturaleza ha escogido para construir moléculas de enzimas, las propiedades de una molécula enzimática dependerán en gran medida de la secuencia de residuos aminoácidos en la molécula enzimática final (Myron y Lewis, 1977).

7.2.1. Generalidades

Las enzimas son proteínas complejas que producen un cambio químico específico en diversos procesos. Por ejemplo, pueden ayudar a descomponer los alimentos que consumimos para que el cuerpo los pueda usar. La coagulación de la sangre es otro ejemplo del trabajo de las enzimas.

La larga cadena de aminoácidos que constituye la molécula de la enzima hace que ésta no se doble libremente, más bien adquiere una estructura tridimensional definida. Un aspecto que contribuye a la estabilidad de esta estructura tridimensional en la mayoría de las enzimas es la presencia de enlaces disulfuro (covalentes) entre residuos de cisteína que actúan como uniones entre diferentes regiones de una cadena polipeptídica o entre dos cadenas polipeptídicas.

Diversos procesos de síntesis son llevados a cabo ininterrumpida y rutinariamente por las células, principalmente a través de las enzimas, los catalizadores de naturaleza proteínica de la biosfera. Las enzimas no sólo intervienen en la síntesis de compuestos biológicos, catalizan también reacciones que abastecen a la célula de energía, destoxifican compuestos, producen luz, etc. (Conn, 2009).

7.2.1.1. Concepto

Desde el punto de vista químico, las enzimas están formadas de carbono (C), Hidrógeno (H), oxígeno (O), Nitrógeno (N), y Azufre (S) combinados, pero con un peso molecular bastante elevado, y con propiedades catalíticas específicas. Las enzimas son también catalizadores particularmente específicos y suelen actuar sobre una forma de un compuesto ópticamente activo, aun cuando éste se encuentre en una mezcla de formas quirales.

Las enzimas aumentan la velocidad de las reacciones químicas. En algunos casos, la rapidez de una reacción particular catalizada por enzimas es tan baja en ausencia de la enzima que no puede detectarse ante la gama de reacciones con las que compite. Como todos los catalizadores, una enzima funcionará a una concentración molar mucho menor que el de los reactivos sobre los cuales funciona. En estas condiciones, la enzima no

altera el equilibrio de la reacción, y una mol de enzima facilita la conversión de muchos moles del reactivo en producto (Conn, 2009).

Las enzimas se unen a sus sustratos de manera específica, mediante interacciones complementarias geométricas y físicas. Estas interacciones permiten que tengan estereoespecificidad absoluta; tanto en la unión con el sustrato, como en las reacciones que catalizan. Las enzimas varían en el requisito más estricto de la especificidad geométrica, algunas de ellas son muy específicas para la identificación de sus sustratos, mientras que otras se unen a un amplio rango de sustratos y catalizan diversos tipos de reacciones relacionadas (Voet y Voet, 2004). La actividad enzimática puede regularse por la alteración alosterica de la afinidad de unión con el sustrato (Figura 12).

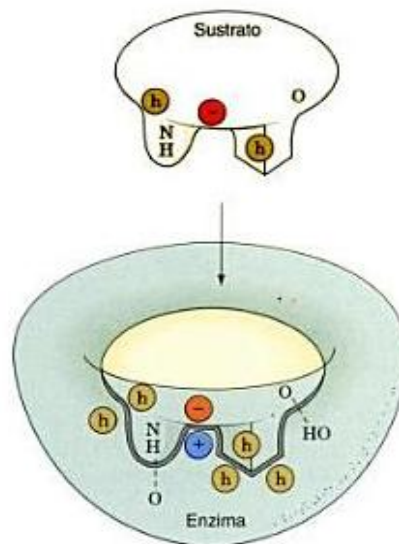


Figura 12. Complejo enzima-sustrato que muestra la complementariedad geométrica y física entre enzimas y sustratos.

Fuente: Voet 2004

7.2.1.2. Factores que modifican la actividad enzimática

Los factores principales que alteran la actividad enzimática son: concentración de la enzima y del sustrato, temperatura, pH e inhibidores. Dentro de una gama limitada de valores, la velocidad de una reacción catalizada por enzimas aumenta cuando se eleva la temperatura. La velocidad de muchas reacciones biológicas aproximadamente se duplica con un aumento de 10°C de temperatura y se reduce a la mitad si la temperatura decrece 10°C. La Figura 13 es típica para velocidades de reacciones catalizadas por enzimas medidas a diferentes temperaturas. Así, hay una temperatura óptima en la cual la

reacción es más rápida; por encima de ésta temperatura la velocidad de reacción decrece rápidamente, debido principalmente a la desnaturalización de la enzima por el calor (Murray, 1992).

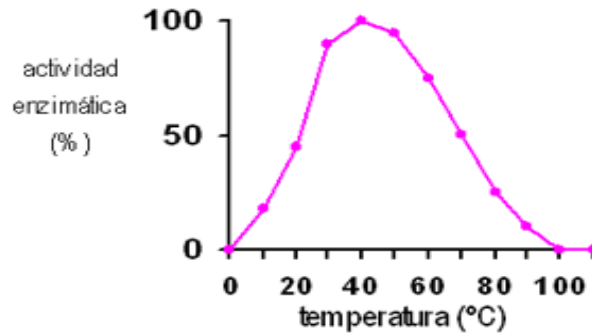


Figura 13. Efecto de la temperatura sobre la velocidad de una reacción hipotética catalizada por enzimas.
Fuente: Murray, 1992.

Los cambios moderados de pH afectan el estado iónico de la enzima, y con frecuencia también el del sustrato. Cuando se mide la actividad enzimática a diversos pH, la actividad óptima generalmente se observa entre los valores de 5.0 y 9.0 (Murray, 1992). Sin embargo, unas cuantas enzimas, por ejemplo la pepsina y la arginasa, son activadas a valores de pH muy alejados de estos límites (Figura 14).

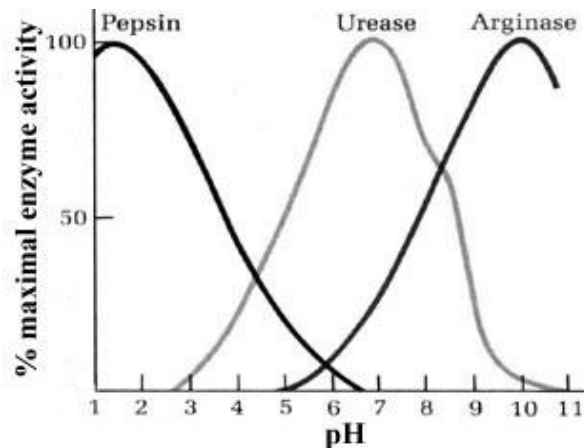


Figura 14. Efecto del pH sobre la velocidad de una reacción de algunas enzimas.
Fuente: Murray, 1992.

7.2.1.3. Clasificación

Una característica importante de una enzima es su especificidad por el sustrato; es decir, debido a la conformación de la compleja molécula de proteína, la singularidad de su sitio

activo y la configuración estructural de la molécula de sustrato; con frecuencia una enzima seleccionará sólo un compuesto específico o una serie de compuestos relacionados con los cuales reaccionará.

Las enzimas pueden clasificarse de acuerdo con el tipo de reacción que catalizan (Conn, 2009). Las enzimas se clasifican en seis grandes grupos:

Oxidorreductasas: estas enzimas catalizan reacciones en las cuales un sustrato se oxida y otro sustrato se reduce. Las oxidorreductasas incluyen las deshidrogenasas, que convierten los enlaces simples en enlaces dobles; y las oxidasas, que utilizan oxígeno como oxidante. Otras enzimas de este grupo son las peroxidasas, que utilizan H_2O_2 como antioxidante; las hidroxilasas, que introducen grupos hidroxilo; y las oxigenasas, que introducen oxígeno molecular en lugar de un doble enlace en el sustrato.

Transferasas: las enzimas de este grupo transfieren grupos de un sólo átomo de carbono, grupos aldehídicos o cetónicos, grupos fosforilo y amino, etc. de un sustrato a otro.

Hidrolasas: estas enzimas catalizan la ruptura hidrolítica de enlaces C-O, C-N, C-C, P-O y otros enlaces simples. Este grupo incluye las enzimas peptidasas, estererasas, glucosidasas, fosfatasas y enzimas similares.

Liasas: rompen los enlaces sin la adición de agua, pero mediante reacciones de eliminación para formar anillos o dobles enlaces. Este grupo incluye también enzimas que catalizan la reacción inversa, es decir, la adición de grupos transversalmente a dobles enlaces o anillos. En general, la actividad de estas enzimas es sobre los enlaces C=C, C=O o C=N; y son ejemplos de ellas, las descarboxilasas, aldolasas y deshidratasas.

Isomerasas: las racemasas, epimerasas, cis-trans isomerasas, oxidorreductasas intramoleculares, mutasas y transferasas intramoleculares, forman este grupo; que altera la estructura, pero no la composición atómica de los sustratos al cambiar un grupo de una posición a otra en una molécula.

Ligasas: las enzimas de este grupo, conocidas también como sintetasas, acoplan la hidrólisis de un pirofosfato del ATP u otro nucleósido trifosfato a una segunda reacción en la cual se unen dos moléculas. Por ejemplo, una RNA ligasa formará un nuevo enlace fosfodiéster a medida que une dos fragmentos de RNA, una reacción que resulta también en la hidrólisis del ATP

7.2.1.4. Usos Industriales

Las enzimas son utilizadas en la industria química, y en otros tipos de industria, en donde se requiere el uso de catalizadores muy especializados. Sin embargo, las enzimas están limitadas tanto por el número de reacciones que pueden llevar a cabo como por su ausencia de estabilidad en solventes orgánicos y altas temperaturas (Conn, 2009). El Cuadro 12 muestra algunas aplicaciones de ciertas enzimas.

La utilización de enzimas inmovilizadas para la producción de cantidades industriales de ciertos compuestos es otro campo prometedor para el uso de las enzimas en la industria. Una enzima inmovilizada es un enzima unido covalentemente por medios químicos a una matriz insoluble, por ejemplo, perlas de vidrio o celulosa. La inmovilización de una enzima aumenta, con frecuencia, su estabilidad, lo que hace que su vida catalítica más larga, sea una valiosa característica desde el punto de vista industrial.

Cuadro 12. Usos comerciales de algunas enzimas

Enzimas	Uso
Proteasas	
Alcalasa	Aditivo de detergentes para eliminar manchas de proteína
Bromelina	Ablandado de carne
Papaína	Estabilización de cerveza al frío; ablandado de carne
Pepsina	Ayuda a la digestión de alimentos pre-cocidos
Tripsina, ficina y estreptodornasa	Limpieza de heridas
Renina	Fabricación de quesos
Glucosidasas	
Amilasa	Ayuda a la digestión de alimentos pre-cocidos
Amiloglucosidasa	Producción de dextrosa a partir del almidón
Celulasa y hemicelulasa	Preparación de concentrados líquidos de café
Glucosa isomerasa	Conversión de serrin en glucosa (2.ª Guerra Mundial)
Glucosa oxidasa	Producción de fructosa y jarabes de alto contenido en fructosa a partir de almidón de maíz hidrolizado
Invertasa	Eliminación de glucosa de huevos sólidos
Lactasa	Prevención de la cristalización de azúcares en bombones rellenos
Pectinasa	Prevención de formación de cristales de lactosa en helados
Catalasa	Producción de leche con lactosa hidrolizada
Lipasa	Clarificación de vinos y jugos de frutas
Lipoxigenasa	Eliminación de peróxido de hidrógeno después de la «pasteurización en frío» de la leche para fabricar queso
	Producción de sabor en los quesos
	Blanqueo del pan

Fuente: Bradley 1982

La utilización de la cromatografía sobre columna, empleando un enzima ligado a la fase estacionaria es también atractiva industrialmente, pues ofrece un proceso de producción efectivo; a saber, el sustrato puede adicionarse a la columna recogiendo el producto

deseado en el eluato (Bradley, 1982). Actualmente, en los Estados Unidos, se utiliza con éxito la glucosa isomerasa inmovilizada en la producción de grandes cantidades de jarabe de maíz con alto contenido en fructosa.

Las enzimas hidrolasas han jugado un papel muy importante en la industria de alimentos tales como la proteasa en el ablandamiento de carnes, pectinasas en la clarificación de jugos, vinos, lipasas en la generación de sabores en productos lácteos.

7.2.2. Pectinasas

Principalmente, son enzimas de origen microbiano (*Aspergillus niger*) que catalizan la descomposición de la pectina, el cual es el principal componente de la pared celular en las frutas (Rivera, 2000). Las pectinasas se han utilizado también en el proceso de elaboración del vino desde la década de los sesenta, donde la temperatura y pH óptimos de acción son de 45 a 55 °C y 4.5 a 5.5 respectivamente (Olson, 2011).

Las pectinasas comerciales presentan un intervalo de pH óptimo de actividad comprendido entre 4 y 5 (Figura 15). Estas preparaciones no son adecuadas para la elaboración de purés vegetales, que presentan un pH cercano al neutro.

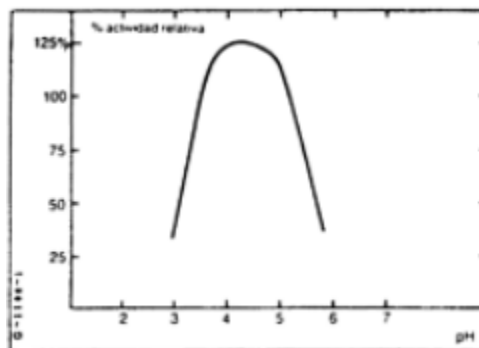


Figura 15. Gráfico de la actividad de la pectinasa en función del pH.
Fuente: Molina, 2000.

Además, debido a la escasa estabilidad térmica de las preparaciones comerciales, es necesario que las maceraciones enzimáticas transcurran a temperaturas inferiores a 45°C, temperaturas a las que pueden crecer los microorganismos mesófilos contaminantes, siendo, por lo tanto, imprescindible una etapa de pasteurización para reducir el crecimiento de estos microorganismos (Chesson y Codner, 1978).

De acuerdo con López et al. (2010), no todas las enzimas conocidas son utilizadas en procesos a nivel industrial. Debido a que las enzimas actúan a bajas concentraciones, no son tóxicas porque son específicas en su manera de actuar en un ambiente adecuado para su correcto desempeño (Rivera, 2000). Sin embargo, la obtención y uso de las mismas es lo que eleva los costos de producción.

Las enzimas pectinasas ó pectinolíticas pueden producirse mediante microorganismos de distintos grupos como hongos y levaduras, aunque las enzimas también se encuentran naturalmente en frutas y vegetales (Yegres, 2001).

Se ha reportado la presencia de *Kluyveromyces marxianus var. marxianus* (sinónimo *Saccharomyces fragilis*) en la elaboración de sidra, como probable responsable de la producción de la pectinasa que juega de manera simultánea un papel importante en la clarificación del producto; la acción clarificante de esta pectinasa sobre el jugo de frutas ha sido demostrada recientemente (Quintero y López, 2004). También se han obtenido enzimas pectolíticas a partir de cepas de *Aspergillus niger* y *Aspergillus foetidus* (Grebechova y Figueroa, 2005).

7.2.2.1. Pectinas

Las pectinas son polímeros de ácido galacturónico que tienen más de la mitad y hasta tres cuartas partes de los grupos carboxilos esterificados con alcohol metílico (ácidos pectínicos) (Charley, 2008). Según Coultate (2007) no se sabe con certeza como es que la pectina se encuentra en los tejidos vegetales, ya que su estructura sólo puede explorarse después de que se separa de los tejidos vegetales; sin embargo, Cheftel y Cheftel (1976) afirman que en los vegetales las pectinas están frecuentemente ligadas a la celulosa, bajo forma de un complejo insoluble en agua llamado protopectina, muchas veces basta un breve calentamiento en un medio ácido, tal como existe en la forma natural en muchas frutas, para liberar la pectina soluble en agua. Las pectinas contribuyen a la viscosidad y a la turbidez estable de los zumos de frutas.

Primo (1998), menciona que la pectina total puede separarse en tres fracciones : a) Pectina de alto metoxilo, que es soluble en agua, la que tiene casi todos los grupos carboxílicos esterificados con metanol, b) La pectina de bajo metoxilo, que ha sufrido la hidrólisis de una gran porción de los grupos de éster metílico, estos en presencia de los

iones de calcio del zumo insoluble en agua, pero se hace soluble en presencia de sequestradores del calcio, c) Protopectina, que es una fracción de pectinas que está unida a la celulosa en forma insoluble, pero puede extraerse con bases fuertes.

Existe hasta un 20% de los azúcares neutros como L-ramnosa, D-glucosa, D-galactosa, L-arabinosa, D-xilosa. (Primo 1998; Coultate 2007; Charley 2008). En la Figura 16 se puede observar la conformación química de la pectina.

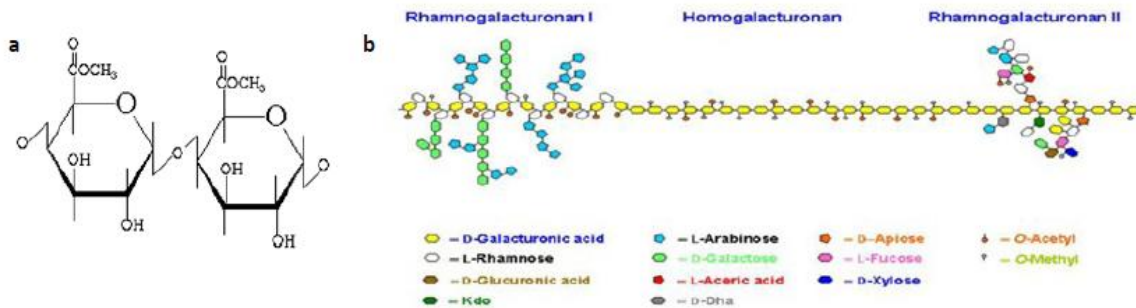


Figura 16. a) Moléculas de ácido galacturónico, b) estructura química de la pectina

Fuente: Yadav, 2009.

7.2.2.2. Mecanismo de acción

Las pectinasas se clasifican en tres tipos principales: enzimas desesterificantes (pectinesterasas), enzimas despolimerizantes (hidrolasas y liasas) y protopectinasas (Soriano, 2005).

La pectinesterasa se usa para desmetoxilar las pectinas muy metoxiladas, para obtener pectinas poco metoxiladas. Las pectinas obtenidas de esta manera muestran una gelación dependiente del calcio. Esta formación del gel no requiere la adición de azúcares (Gist-Brocades, 1997). Las pectinesterasas rompen el enlace éster, reduciendo así el grado de metilación.

Las hidrolasas rompen los enlaces entre monómeros del ácido galacturónico por adición de agua. Son activas a pH ácido y se inactivan con la presencia de iones de calcio. Soriano (2005), plantea a su vez que las hidrolasas se pueden clasificar en poligalacturonasas y polimetilgalacturonasas.

Las poligalacturonasas (PG), llamadas también pectato hidrolasas, catalizan la hidrólisis de los enlaces α -1,4-glucosídico (Martínez, 2009) de la pectina desmetilada. Se clasifican en endo y exo hidrolasas, las primeras catalizan esta hidrólisis de manera aleatoria y la segunda de manera secuencial.

Las polimetilgalacturonasa (PMG) conocidas como pectina hidrolasa, catalizan la degradación de la pectina. Según Martínez (2009), esto sucede mediante una catálisis ácida. Se clasifican en endo y exo, teniendo la misma lógica de acción que las poligalacturonasas, dando como consecuencia en la primera oligalacturónicos saturados y ácido galacturónicos, mientras que las exo provocan la liberación de residuos saturados de ácido galacturónico.

Las liasas producen la catálisis de enlaces α -1,4-glucosídico por medio de β -eliminación, proceso que produce la formación de 4,5-oligalacturónidos insaturados mientras otras pectinasas actúan secuencialmente degradando la molécula de la pectina completamente. Además el papel de la pectinliasa microbiana posee potencial biotecnológico en las industrias del jugo de frutas debido al hecho de que degrada la pectina sin perturbar el grupo del éster que es responsable del aroma específico del jugo y evita la formación del metanol que es tóxico (Yadav, 2009). La mayoría de las liasas de la pectina estudiadas hasta ahora en su gran mayoría se obtiene de los microorganismos pero hay informes escasos de su presencia en las plantas y animales.

Según Soriano (2005), las protopectinasas catalizan la pectina por dos mecanismos, los cuales hacen que las enzimas a su vez se clasifiquen en: tipo A; que degradan el ácido poligalacturónico de la protopectina; y tipo B que degradan las cadenas de polisacáridos que conectan al ácido poligalacturónico con otros constituyentes de la pared celular.

7.2.2.3. Pectinex 3XL

Pectinex® 3XL es una combinación de pectintransaminasa, poligalacturonasa y pectinesterasa con un lugar activo de arabinasa usada en el tratamiento de jugos de fruta. Las condiciones óptimas para su máxima actividad enzimática son: temperatura (20-50°C) y pH (3.0-4.5) (Carvajal, 2007). Es capaz de romper sustancias pécticas vegetales, y es producida por una cepa de *Aspergillus aculeatus* mediante una fermentación sumergida (Novozymes, 2007). La pectina es un polisacárido compuesto de una cadena lineal de

moléculas de ácido D-galacturónico las que unidas constituyen el ácido poligalacturónico, la cual al romperse cambia las características de los alimentos. Para provocar la precipitación de los coloides, la pectinasa causa hidrólisis y desestabilización de la pectina (Novozymes 2007), ya que por medio de su acción rompe el enlace glucosídico α (1,4) en el interior del polímero como en los extremos del mismo.

El uso de estas enzimas para la total licuefacción de pulpas de frutas, nos da un mayor flujo de jugo en un tiempo más corto y sin necesidad de tratamientos mecánicos, como es el prensado. Durante el tratamiento enzimático, se despolimerizan algunos compuestos en la fruta; al mismo tiempo la pectina se descompone en una medida tal, que la viscosidad del puré se reduce (Anonymous, 1991).

De acuerdo a estudios previos (Mutlu et al, 1998), el rendimiento en la producción del jugo de zanahoria se incrementó hasta un 20% por el uso de esta enzima pectolítica durante el proceso de extracción del jugo. También aumentó la cantidad de β - carotenos, y las propiedades organolépticas del jugo de zanahoria, fueron mejores que el de la pulpa sin tratamiento (Acar y Ozdemir, 1996). Al aplicar esta enzima en la clarificación de la pulpa de plátano, se detectó una reducción del 80% de la viscosidad original del puré (Siliha, et al, 1994).

7.2.3. Importancia de las pectinasas en la industria de jugos

Las frutas exóticas tropicales son adecuadas para el mercado creciente de zumos y bebidas de fruta por su diversidad de aromas, sabores, y valor alimenticio (Matta et al, 2002). Para obtener un mayor rendimiento, así como un jugo pre-clarificado, se emplean enzimas, comúnmente celulasas o pectinasas. Debe tomarse en cuenta que la enzima elegida no degrade (o lo haga mínimamente) las propiedades naturales del fruto fresco del cual va a ser obtenido el jugo. Su función consiste en la extracción del jugo de frutas, lo cual es un proceso delicado para la conservación del color y aroma naturales del fruto en el jugo (Rodriguez y Guzman, 2010).

La presencia de pectinas, hace que los zumos sean viscosos y difíciles de aclarar por simple filtración. La adición de pectinasa tras la extracción, licua el zumo a la vez que descompone la pectina que envuelve la superficie de las partículas en suspensión. Una

vez eliminada dicha película, las partículas se apilan juntas y flotan en la parte inferior del zumo donde se depositan como un poso (Aldridge, 1999).

La maceración con ayuda de enzimas pécticas permite disgregar los tejidos vegetales (frutas y verduras), proporcionando suspensiones de células sueltas y agrupados celulares (Rombouts et al., 1980). Este método presenta ventajas sobre la disgregación termo-mecánica, ya que conserva las propiedades nativas del zumo. Estos tratamientos son de interés en la producción de néctares de frutas, así como en la elaboración de purés vegetales (de patata y zanahoria, entre otros) y de alimentos infantiles, en general. Si se emplean preparaciones de pectinasas suplementadas con celulasas, se puede conseguir la total licuefacción de los frutos o verduras (Serra et al., 1992).

7.2.3.1. Licuefacción enzimática

Hace mucho tiempo que se observó que el crecimiento de mohos sobre un zumo de manzana turbio conducía a la floculación y clarificación del mismo, gracias a las enzimas pectolíticas segregadas por los microorganismos. Desde 1930 se han logrado preparados enzimáticos a partir de mohos, disponibles comercialmente con propiedades pectolíticas específicas para la elaboración de zumos de fruta (Ashurst, 1999).

Entendemos por licuefacción al cambio en la consistencia al pasar de un estado sólido a un estado líquido (Oxford, 2007). Al aplicar este tratamiento a la pulpa de frutas con ayuda de enzimas, se reduce la viscosidad de la pulpa obteniendo un jugo clarificado. La clarificación enzimática está basada en la hidrólisis parcial de las pectinas solubles que actúan como coloides protectores. La hidrólisis permite que las partículas insolubles floculen; así se reduce la viscosidad, rompiendo las moléculas de pectina a otras de menor peso molecular, y aumenta el rendimiento por prensada (Ashurst, 1999).

La acción de una pectin-metil-esterasa (PME) desmetilará parcialmente la pectina, liberando ácido galacturónico, cargado negativamente que se combinará con cationes como el calcio para formar grumos que sedimentan enseguida, o con proteínas para dar una turbidez más estable que permanecerá inicialmente en suspensión en el zumo. Si la poligalacturonasa (PG) está también presente, romperá las largas cadenas de pectina y la viscosidad del zumo disminuirá notablemente. La actividad PG afecta también a la distribución de cargas de los compuestos pectina-proteína, haciendo que se unan en

partículas más grandes. Por eso, cualquier partícula o complejo pectina-proteína que ya se haya formado, caerá como sedimento (Ashurst, 1999). La actividad de PG y PME son necesarias conjuntamente, ya que la PG no actúa sobre las pectinas metoxiladas nativas.

Cierta viscosidad en los zumos es esencial para el paladar, aunque la viscosidad suponga dificultades técnicas para la extracción, lavado de pulpa y en la concentración del zumo. La concentración por encima de los 40° Brix, hace preciso el uso de enzimas pectolíticas para reducir la viscosidad por degradación de enzimas (Ashurst, 1999).

El tratamiento con enzimas se lleva a cabo añadiéndolos a la pulpa e incubándolas antes del prensado, se realiza en un tanque de incubación, normalmente durante 8 h a 15-20°C o 1 h a 45°C (Varnam, 1997). Debe evitarse las temperaturas comprendidas entre 20 y 40° C para reducir el posible crecimiento de levaduras.

El tratamiento con enzimas presenta diversas ventajas:

- ✓ En esta etapa los recuentos de levadura son bajos y la actividad oxidativa es también mínima.
- ✓ La adición de enzimas pectinolíticas a la pulpa aumenta el rendimiento de jugo.
- ✓ Disminuye la viscosidad y mejora la apariencia del zumo.
- ✓ Conserva intactos el sabor, los pigmentos y los compuestos activos celulares.

El pretratamiento enzimático presenta también una serie de desventajas que limitan su aplicación (Varnam, 1997):

- La operación interrumpe la producción y es cara.
- La ruptura parcial de la pectina puede conducir a la formación de arabinanos y turbidez durante el almacenamiento.
- En algunos frutos, puede ser necesario un calentamiento de 85°C para inactivar la actividad polifenol oxidasa y prevenir la inhibición de las pectinas. Esto puede perjudicar el sabor y aroma.

En la extracción de zumo de frutas, la licuefacción enzimática facilita éste proceso obteniéndose mejores resultados en cuanto a rendimiento y calidad, esto se logra a partir de la hidrólisis de sustancias insolubles que principalmente son la pectina, la celulosa, hemicelulosa y almidón. Para cada fruto es necesario una investigación particular que defina los parámetros necesarios para maximizar el rendimiento (Bejarano y Quispe, 2011).

7.3. TRABAJOS SOBRE EL TRATAMIENTO ENZIMÁTICO EN PULPA DE FRUTAS

Mutlu et al. (1998). Estudiaron el efecto de la enzima Pectinex Ultra SP-L sobre la viscosidad de una solución de pectina a diferentes concentraciones (0.5- 5%), a un pH de 3.5 y a diferentes temperaturas (15, 20, 26, 35 y 45°C), encontrando que la viscosidad en cada caso es directamente proporcional a la concentración de pectina e inversamente proporcional a la temperatura de reacción. La temperatura de 35°C resultó ser la más representativa y fue empleada para el siguiente experimento. Se empleó 0.1% (v/v) de la enzima sobre una solución de pectina (0.4% de pectina disueltos en una solución de 40% de sacarosa) a partir de los resultados obtenidos calcularon los diferentes parámetros cinéticos de Michaelis-Menten $V_{max}= 0.0046$ % pectina (p/v)/s, $K_m=1.137$ %pectina (p/v) y un coeficiente de correlación $r^2=0.998$. En este trabajo los autores determinaron la actividad pectolítica de la enzima a 0.0025 %pectina (p/v)/seg/% enzima. La energía de activación calculada para la reacción catalizada fue de 9.316 kcal/mol.

Mutlu et al. (2000). Estudiaron la actividad enzimática y la reutilización de la pectinasa comercial inmovilizada Pectinex Ultra SP-L en la pulpa de zanahoria. El proceso de inmovilización se llevo a cabo a diferentes concentraciones (2, 6, 10 ,14 y 18%), mediante partículas de resina de intercambio iónico; se lavaron con solución tampón de fosfato 0.05 M a pH de 4.5; encontrando que la concentración óptima de enzima para su inmovilización fue de 6% (v/v). Se empleó dicha enzima inmovilizada a una concentración de 1.5 g/100 g de pulpa de zanahoria a un pH de 4.5 a 35°C determinando la actividad de la enzima en base a la medición de la reducción de la viscosidad. Las determinaciones realizadas después del tratamiento enzimático fueron pH, SST, viscosidad y rendimiento. Obteniendo un descenso significativo de la viscosidad y pH, mientras que el contenido de SST y los rendimientos fueron notablemente mayores debido a la degradación de los polisacáridos. El máximo incremento en el rendimiento del jugo extraído fue de 30.23% respecto a la pulpa sin tratamiento enzimático. Mientras que la actividad pectolítica fue de 1.252% pectina/seg/mL, que corresponde a una pérdida de actividad de sólo el 20% después de nueve lotes; después de seis tratamientos la perdida de actividad fue sólo del 6.5%, lo que hace a la enzima inmovilizada bastante estable.

Rodríguez et al. (2010). Estudiaron y desarrollaron una tecnología enzimática para maximizar la extracción del jugo de zarzamora con alta calidad funcional. Un total de seis tratamientos fueron realizados a tres diferentes concentraciones de enzima (50, 100 y 150 mg/kg) y diferentes temperaturas (30, 31, 32, 33, 34 y 35°C) para evaluar el rendimiento, las propiedades fisicoquímicas y funcionales del jugo; como son densidad, turbidez, SST, acidez total y titulable, antocianinas, taninos, polifenoles, capacidad antioxidante y vitamina C. De acuerdo a los resultados, el jugo de zarzamora que mantuvo un mayor porcentaje de sus componentes fitoquímicos-funcionales sin alteraciones significativas fue obtenido a la temperatura de 33°C empleando una concentración de enzima de 100 mg/kg.

Norjana et al. (2011). En este estudio, la pulpa de durian fue diluida en agua en una relación 2:1 con la finalidad de facilitar su maceración, y posteriormente fue pasteurizado a 90°C por 10 min. El jugo fue tratado con la enzima Pectinex ultra SPL a diferentes concentraciones (0, 0.025, 0.05, 0.075 y 0.1 %) e incubados a 38.5°C en diferentes tiempos (1, 2 y 3 h). Al jugo tratado le determinaron diferentes parámetros como son rendimiento, pH, SST, viscosidad, color y evaluación sensorial. Concluyendo que el jugo tratado con 0.05% de enzima durante 3 horas, fue el que presentó un mejor resultado en la evaluación sensorial, con un incremento en el rendimiento del 35% sin cambios significativos en SST, pH y color, y un significativo descenso en la viscosidad del jugo.

Flores y Vaca. (2012). Evaluaron tres tiempos de incubación y dos diluciones (agua y pulpa) para la obtención de jugo clarificado de tamarindo. En este estudio se utilizaron dos proporciones de Agua:Pulpa (13:1 y 21:1) inoculadas con Pectinex (0.1%) en 0, 2, 2.5 y 3 h de incubación (primera fase). Posteriormente, se utilizaron dos proporciones de Agua:Pulpa (3:1 y 7:1) y tiempos de incubación de 0 y 3 h (segunda fase). En éste estudio se realizaron análisis físico-químicos (pH, °Brix, viscosidad, color, turbidez, fenoles totales, rendimiento), análisis sensorial y de costos. Las pulpas diluidas 13:1 y 3:1 incubadas por 3 h resultaron con la mayor concentración de polifenoles y con mayor rendimiento de jugo extraído. Existió un incremento en la extracción de polifenoles de 23% (primera fase) y 20% (segunda fase) y un incremento promedio de 5 y 10.5% en el rendimiento de jugo obtenido con tratamiento enzimático en cada fase, respectivamente. La turbidez, pH, °Brix y color se vieron afectados por la dilución. El tratamiento enzimático elevó los costos variables en 65 y 73% para los tratamientos de la segunda fase,

respectivamente. Los autores recomiendan evaluar éstos resultados a escala industrial para determinar su aplicabilidad para la Planta Hortofrutícola.

Mieszczakowska-Frac et al. (2012). Para este estudio, se emplearon frutos de grosella negra y ciruela variedad Horvin, la pulpa fue extraída y congelada para su conservación. Se emplearon cuatro enzimas comerciales para los tratamientos Pectinex BE Colour, Pectinex BE XXL y una mezcla de enzimas Rohament PL y Rohament PTE. Para cada jugo se emplearon diferentes concentraciones de enzima (100, 200 y 400 g/ton) a diferentes tiempos de incubación (1, 2, 3 y 4 h). Concluyendo que el tratamiento más eficiente tanto para la grosella negra como para la ciruela Horvin fue el de 200 g/ton durante 4 h, sin una alteración significativa de sus propiedades, y que la adición de ácido ascórbico (500 mg/kg) durante el macerado de la ciruela tiene un efecto protector sobre las antocianinas que contiene la fruta.

8. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo se empleó un lote de 3 kg de mango variedad criollo, el cual fue adquirido en la Central de Abastos de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Todos los mangos presentaban un grado de madurez comercial. El fruto fue seleccionado en base a su grado de madurez por color de piel, prefiriendo frutos de grado 5, de color amarillo que no presentaran magulladuras y/o deterioro físico o microbiológico (CONASPROMANGO, 2013). El fruto fue lavado y despulpado manualmente, posteriormente fue licuado hasta tener una pasta uniforme y se almacenó en bolsas herméticas dentro de un congelador a -20°C.

La pulpa de mango fue sometida a un tratamiento enzimático a diferentes concentraciones porcentuales (0.1, 0.5, 0.9) de la enzima Pectinex 3XL, analizando cada variable con 3 niveles diferentes de pH (4, 5, 6). Los tratamientos enzimáticos con Pectinex 3XL que se emplean en esta investigación, se realizan de forma aleatoria de acuerdo al esquema que se muestra en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Esquema de aplicación de los tratamientos enzimáticos.

Diseño	[Enzima] (%)	pH
1	0.1	4
2	0.1	5
3	0.1	6
4	0.5	4
5	0.5	5
6	0.5	6
7	0.9	4
8	0.9	5
9	0.9	6

Para cada tratamiento se tomó una muestra de 100 g de pulpa incubando en un baño a temperatura constante de 40°C por un tiempo de 40 min, durante el cual se tomo lectura cada 5 min de la viscosidad de la pulpa con el viscosímetro de Haake, para verificar el efecto de la enzima en cada tratamiento, inactivando la enzima al concluir dicho tiempo.

Cada experimento se realizó por triplicado, realizando algunos análisis fisicoquímicos a la pulpa antes del tratamiento y posteriormente al clarificado obtenido:

pH: el pH inicial de la pulpa fue regulado con soluciones tampón de acetato de sodio 0.2 M y ácido acético 0.2 M, y medido con un potenciómetro.

°Brix: se tomó una alícuota de cada muestra, y se colocó en el refractómetro previamente calibrado con agua destilada.

Acidez: se empleó la técnica (colorimétrica) de acidez titulable de la AOAC (30.071; 30.072; 30.073), se tomó 4 mL de muestra diluyendo a 24 mL, la cual se tituló con una solución de NaOH de concentración 0.1 N hasta el vire de color a rosa.

Azúcares reductores y totales: se realizaron diluciones en serie a partir de cada muestra, realizando la cuantificación por dos métodos diferentes:

- La cuantificación de azúcares reductores se realizó mediante la Técnica colorimétrica DNS (Lee, 1992); para determinar la concentración de glucosa (g/L). Previamente se realizó una curva patrón (Ver Anexo A).
- La cuantificación de azúcares totales se realizó mediante la técnica colorimétrica de Fenol sulfúrico (Gallego y García, 2009) para la determinación de sacarosa (g/L). Previamente se realizó una curva patrón (Ver Anexo B).

Para este proyecto se empleó un diseño factorial aleatorio 3x3, empleando tres concentraciones de enzima y analizando cada una con 3 valores de pH, resultando en 9 tratamientos diferentes, cada uno de los cuales se realizó por triplicado, dando un total de 27 tratamientos.

9. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se realizaron un total de 27 tratamientos, probando tres concentraciones diferentes de enzima (0.1, 0.5 y 0.9%) y regulando a diferentes pHs (4, 5 y 6), siendo el pH inicial promedio de la pulpa 4.52. Los resultados de acidez, azúcares totales y reductores, fueron calculados en base a los datos obtenidos en las pruebas realizadas a la pulpa y al clarificado obtenido.

➤ Tratamiento enzimático al 0.1%

Cinética enzimática:

En el Cuadro 14, se presentan los valores de viscosidad (poise) obtenidos durante la cinética enzimática de la pulpa de mango criollo a 40°C, con una concentración de enzima al 0.1%. Se tabulan los resultados promedio obtenidos para pH 4, pH 5, y pH 6; y la desviación estándar para cada dato. De igual forma se presenta la viscosidad final, medida a 25°C después de la inactivación enzimática; y el descenso total de la viscosidad con el tratamiento. En las Figuras 17, 18 y 19, se ilustra el comportamiento cinético de cada tratamiento.

Cuadro 14. Cinética de la viscosidad de la pulpa de mango, Pectinex 3XL al 0.1%.

Tiempo (min)	Viscosidad (poise)		
	pH 4	pH 5	pH 6
0	4.83±0.12	4.83±0.12	4.57±0.12
5	4.23±0.12	4.20±0.10	3.86±0.15
10	4.16±0.15	4.07±0.06	3.83±0.15
15	4.06±0.15	3.97±0.12	3.83±0.15
20	4.03±0.12	3.93±0.06	3.76±0.15
25	4.03±0.12	3.87±0.06	3.73±0.15
30	3.96±0.15	3.83±0.06	3.73±0.15
35	3.90±0.10	3.83±0.06	3.70±0.10
40	3.83±0.21	3.80±0.10	3.66±0.15
Inactivando enzima	4.03±0.12	3.97±0.06	3.80±0.10
Descenso total de viscosidad	0.80±0.00	0.87±0.06	0.77±0.06

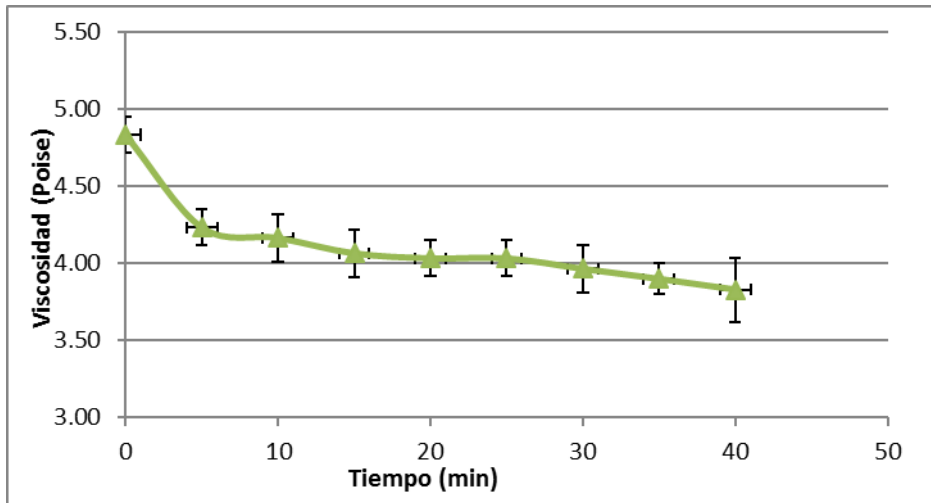


Figura 17. Cinética de la viscosidad en la pulpa de mango. Tratamiento al 0.1% a pH 4.

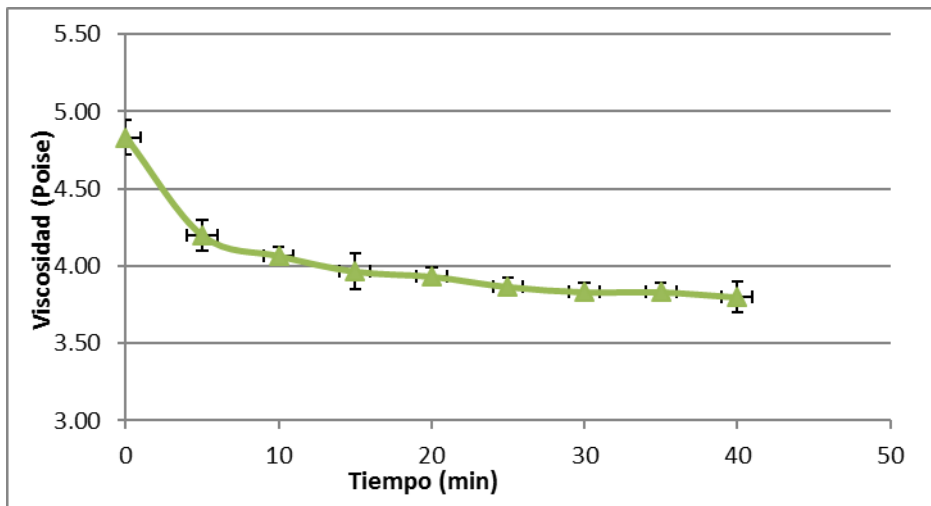


Figura 18. Cinética de la viscosidad en la pulpa de mango. Tratamiento al 0.1% a pH 5.

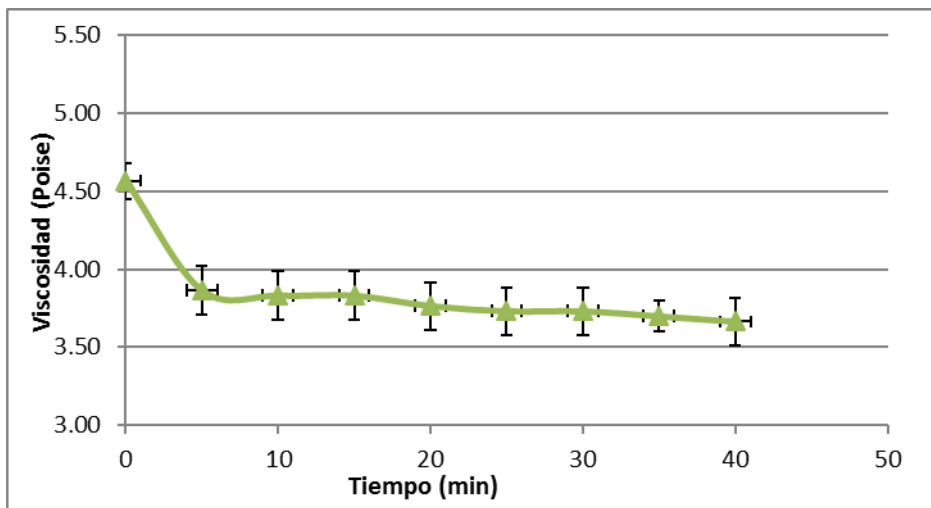


Figura 19. Cinética de la viscosidad en la pulpa de mango. Tratamiento al 0.1% a pH 6.

Se puede observar que, la adición de enzima al 0.1% a la pulpa de mango, provocó un descenso significativo en la viscosidad de la pulpa en todos los pH. Durante los primeros 10 min de incubación de la pulpa con la enzima a pH 5, se observó que la viscosidad disminuyó drásticamente; después de 30 min de tratamiento enzimático, se tuvo una descendencia promedio de 0.87 poise en la viscosidad de la pulpa. Mientras que la pulpa tratada a pH 4 presentó un descenso en la viscosidad de 0.8 poise y 0.77 poise para pH 6. Con el descenso de la viscosidad, podemos deducir que la degradación de la pectina se está llevando a cabo satisfactoriamente. Para la concentración de 0.1% de enzima, se observa que la pulpa tratada a pH 5 presentó una mayor degradación de la pectina.

En el Cuadro 15, se enlistan cada una de las propiedades analizadas para la pulpa (inicial) y el clarificado (final) obtenido del tratamiento enzimático al 0.1%.

Cuadro 15. Propiedades fisicoquímicas y bioquímicas de la pulpa de mango tratada enzimáticamente al 0.1%.

Propiedades químicas	pH 4	pH 5	pH 6
pH Inicial	4.08±0.05	5.03±0.05	5.93±0.07
pH Final	3.76±0.04	4.46±0.21	5.23±0.29
Acidez Inicial*	3.03±0.24	3.03±0.24	3.03±0.24
Acidez Final*	5.65±0.48	3.76±0.38	2.74±0.29
°Brix Inicial	19.00±0.00	19.00±0.00	19.00±0.00
°Brix Final	19.83±0.58	19.50±0.50	16.14±1.04
[Glucosa]_{inicial}**	46.38±1.56	46.38±1.56	46.38±1.56
[Glucosa]_{final}**	74.76±5.99	62.13±2.54	54.89±3.17
[Sacarosa]_{inicial}**	5297.40±332.19	5297.40±332.19	5297.40±332.19
[Sacarosa]_{final}**	3264.49±364.98	3147.99±115.95	2745.24±237.23

* Porcentaje de ácido cítrico.

** Concentración de azúcares en g/L.

Podemos observar un claro aumento en las propiedades de acidez, °Brix y concentración de glucosa al final de los tratamientos enzimáticos realizados a pH 4 y 5. También se aprecia en los mismos tratamientos, un descenso en las propiedades de pH y sacarosa. En los tratamientos a pH 6, se presentó un aumento en el contenido de glucosa, mientras que hubo un descenso en las demás propiedades. Podemos notar que en general, en los tratamientos a pH 5 presentaron mínimas variaciones en las propiedades de pH, °Brix y sacarosa.

➤ **Tratamiento enzimático al 0.5%**

Cinética enzimática:

En el Cuadro 16, se presentan los valores de viscosidad obtenidos durante el tratamiento enzimático al 0.5% en la pulpa de mango criollo. Se tabulan los resultados promedio obtenidos durante la cinética para cada pH, y la desviación estándar. De igual forma se presenta la viscosidad medida a 25°C después de la inactivación enzimática; y el descenso total de la viscosidad después del tratamiento. En las Figuras 20, 21 y 22, se ilustra el comportamiento cinético para cada tratamiento.

Cuadro 16. Cinética de la viscosidad de la pulpa de mango, Pectinex 3XL al 0.5%.

Tiempo (min)	Viscosidad (poise)		
	pH 4	pH 5	pH 6
0	4.87±0.06	4.83±0.12	4.77±0.06
5	4.23±0.12	4.20±0.10	4.26±0.15
10	4.16±0.15	4.06±0.15	4.13±0.12
15	4.06±0.15	3.96±0.15	4.06±0.15
20	4.03±0.12	3.93±0.12	4.06±0.15
25	3.93±0.12	3.86±0.15	3.96±0.15
30	3.83±0.15	3.83±0.15	3.93±0.15
35	3.77±0.12	3.80±0.10	3.86±0.15
40	3.73±0.15	3.76±0.15	3.86±0.15
Inactivando enzima	3.93±0.12	3.90±0.10	4.06±0.15
Descenso total de viscosidad	0.93±0.15	0.93±0.06	0.70±10

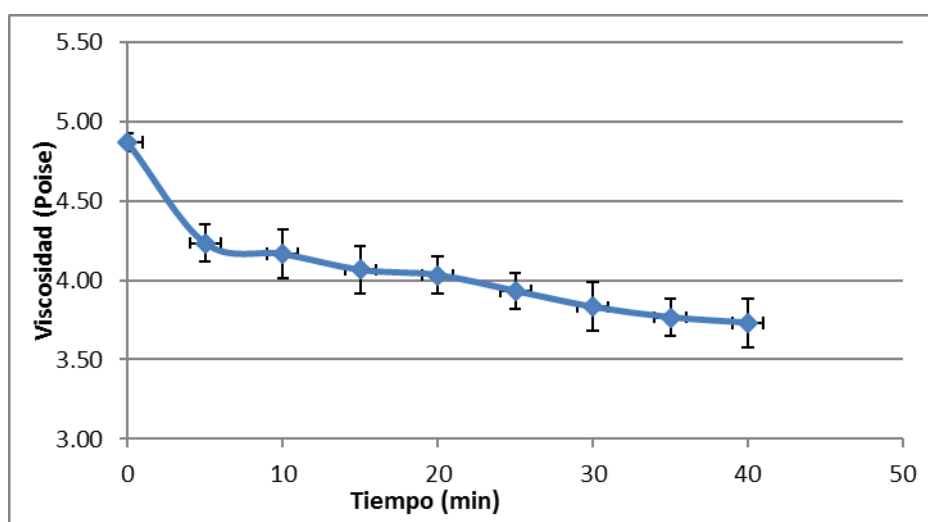


Figura 20. Cinética de la viscosidad en la pulpa de mango. Tratamiento al 0.5% a pH 4.

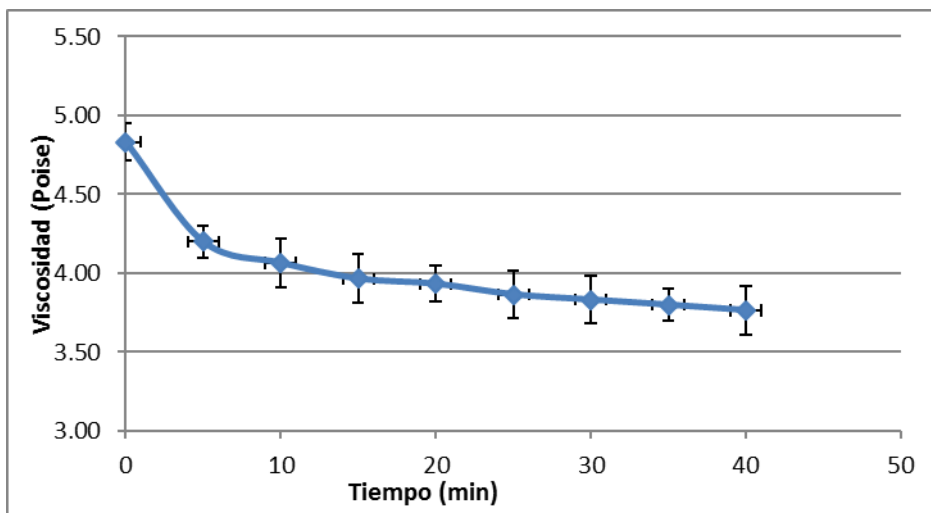


Figura 21. Cinética de la viscosidad en la pulpa de mango. Tratamiento al 0.5% a pH 5.

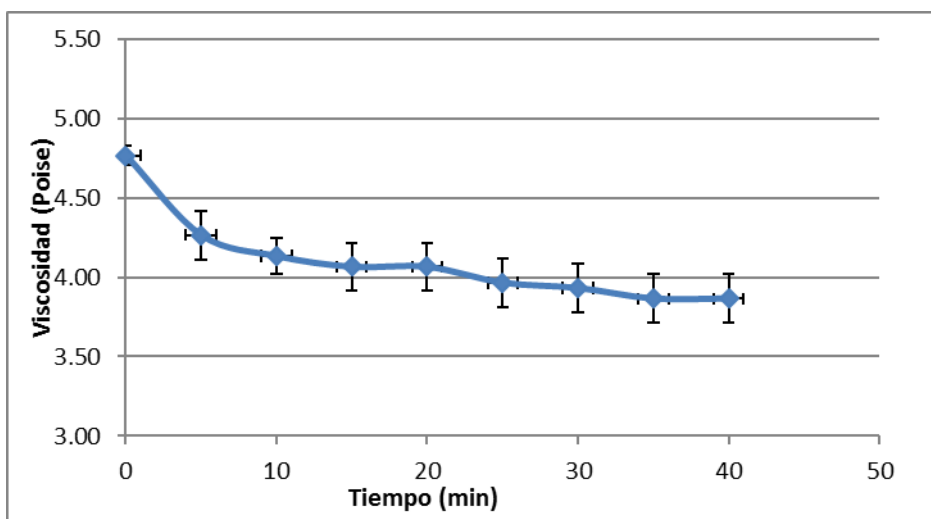


Figura 22. Cinética de la viscosidad en la pulpa de mango. Tratamiento al 0.5% a pH 6.

En estos tratamientos, podemos observar un descenso promedio total de 0.93 poise en la viscosidad de la pulpa tratada a pH 4; 0.93 poise para pH 5 y 0.70 poise para pH 6. Observándose, que a la concentración de 0.5% de enzima, los tratamientos a pH 4 y 5 presentaron un mayor descenso en la viscosidad inicial de la pulpa de mango.

En el Cuadro 17, se enlistan cada una de las propiedades analizadas a la pulpa (inicial) y al clarificado (final) obtenido del tratamiento enzimático al 0.5%.

Cuadro 17. Propiedades fisicoquímicas y bioquímicas de la pulpa de mango tratada enzimáticamente al 0.5%.

Propiedades químicas	pH 4	pH 5	pH 6
pH Inicial	4.10±0.02	4.96±0.05	5.95±0.04
pH Final	3.77±0.02	4.38±0.15	5.17±0.34
Acidez Inicial*	3.03±0.24	3.03±0.24	3.03±0.24
Acidez Final*	6.29±0.43	4.28±0.42	3.00±0.29
°Brix Inicial	19.00±0.00	19.00±0.00	19.00±0.00
°Brix Final	19.50±0.50	19.50±0.50	17.63±1.44
[Glucosa] _{inicial} **	46.38±1.56	46.38±1.56	46.38±1.56
[Glucosa] _{final} **	65.97±9.28	63.70±3.26	60.15±5.03
[Sacarosa] _{inicial} **	5297.40±332.19	5297.40±332.19	5297.40±332.19
[Sacarosa] _{final} **	3083.12±334.22	2985.14±72.40	2815.97±150.27

* Porcentaje de ácido cítrico.

** Concentración de azúcares en g/L.

Nuevamente se presentó un aumento en las propiedades de acidez, °Brix y concentración de glucosa en los tratamientos a pH 4 y 5; y así mismo un descenso en las propiedades de pH y sacarosa. En los tratamientos a pH 6, continúa observándose un descenso en todas las propiedades químicas, exceptuando el contenido de glucosa. Para la concentración de enzima al 0.5%, los tratamientos que presentaron menores cambios en las propiedades químicas y bioquímicas del mango, fueron los realizados a pH 5 y 6.

➤ Tratamiento enzimático al 0.9%

Cinética enzimática:

En el Cuadro 18, se presentan los valores promedio de viscosidad obtenidos durante la cinética enzimática de la pulpa de mango criollo tratada a 40°C empleando enzima al 0.9%. Igualmente se presenta la viscosidad promedio medida a 25°C después del tratamiento y el descenso total de la viscosidad de la pulpa. En las Figuras 23, 24 y 25, se representa la cinética de cada tratamiento.

Cuadro 18. Cinética de la viscosidad de la pulpa de mango, Pectinex 3XL al 0.9%.

Tiempo (min)	Viscosidad (poise)		
	pH 4	pH 5	pH 6
0	4.80±0.01	4.73±0.12	4.66±0.15
5	4.03±0.15	4.13±0.06	4.10±0.10
10	3.93±0.15	3.93±0.12	4.00±0.10
15	3.87±0.12	3.83±0.15	4.00±0.10
20	3.80±0.10	3.80±0.10	3.97±0.06
25	3.80±0.10	3.76±0.15	3.90±0.00
30	3.73±0.06	3.70±0.10	3.87±0.06
35	3.70±0.10	3.70±0.10	3.83±0.06
40	3.63±0.06	3.66±0.15	3.80±0.00
Inactivando enzima	3.83±0.06	3.76±0.15	3.96±0.15
Descenso total de viscosidad	0.97±0.06	0.97±0.06	0.70±0.00

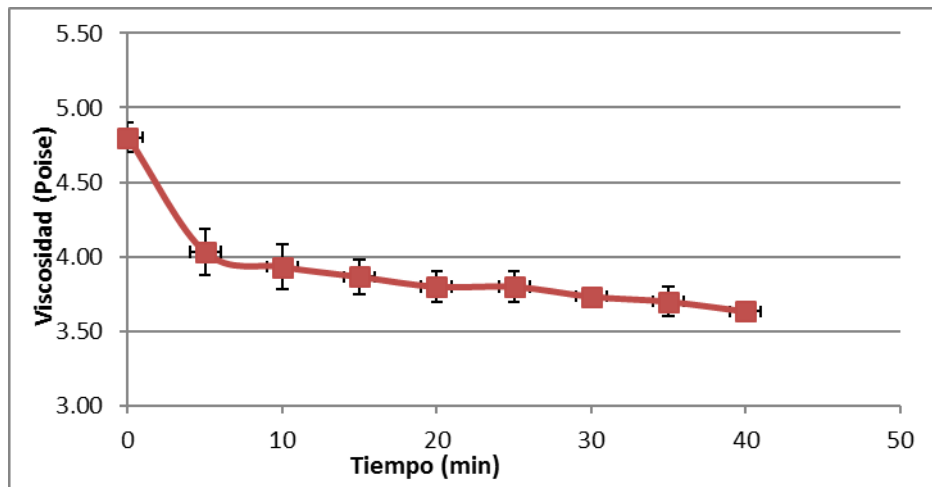


Figura 23. Cinética de la viscosidad en la pulpa de mango. Tratamiento al 0.9% a pH 4.

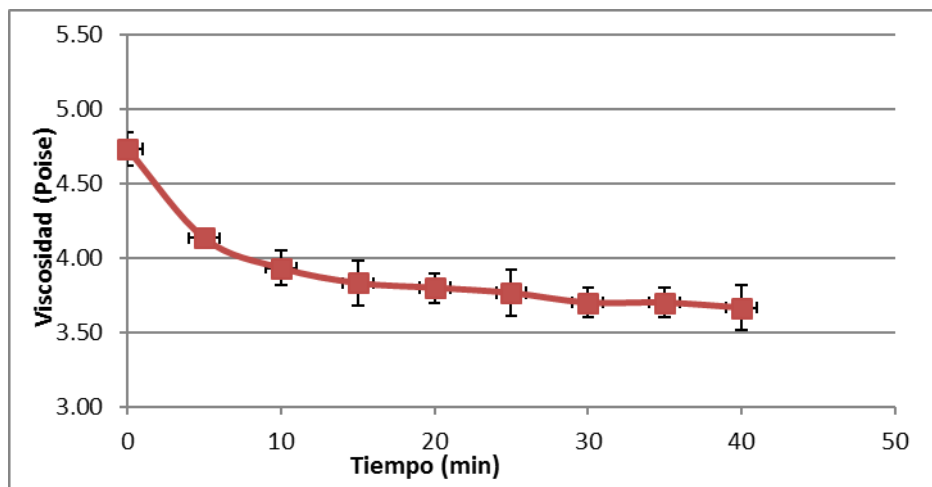


Figura 24. Cinética de la viscosidad en la pulpa de mango. Tratamiento al 0.9% a pH 5.

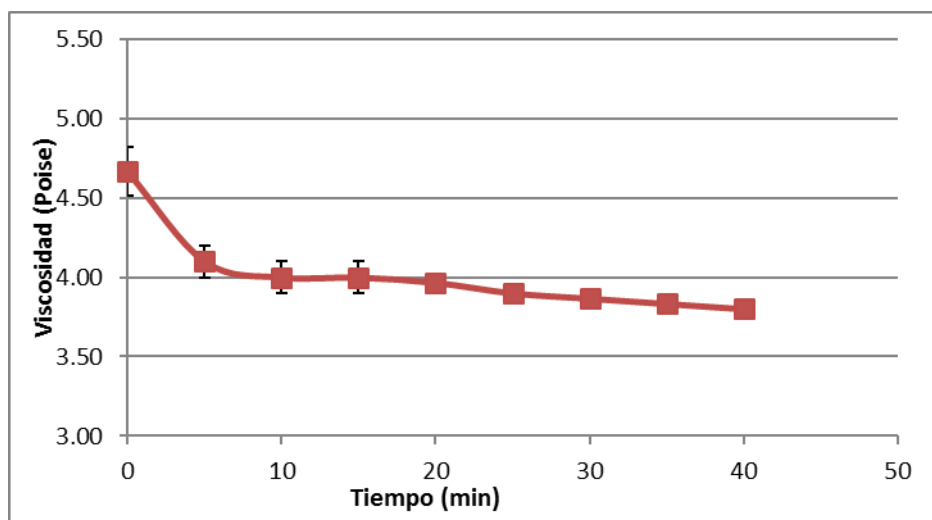


Figura 25. Cinética de la viscosidad en la pulpa de mango. Tratamiento al 0.9% a pH 6.

Al finalizar el tratamiento enzimático al 0.9%, se presentó una descendencia promedio de 0.97 poise en la viscosidad de la pulpa tratada a pH 4; 0.97 poise para pH 5 y 0.7 poise para pH 6. A esta concentración de enzima, se obtuvo un mayor descenso de la viscosidad de la pulpa para los tratamientos a pH 5 y 4.

En el Cuadro 19, se enlistan cada una de las propiedades analizadas en la pulpa (inicial) y el clarificado (final) obtenido del tratamiento enzimático al 0.9%.

Cuadro 19. Propiedades fisicoquímicas y bioquímicas de la pulpa de mango tratada enzimáticamente al 0.9%.

Propiedades químicas	pH 4	pH 5	pH 6
pH Inicial	4.07±0.06	5.00±0.02	6.01±0.03
pH Final	3.73±0.06	4.39±0.16	5.22±0.36
Acidez Inicial*	3.03±0.24	3.03±0.24	3.03±0.24
Acidez Final*	7.00±0.80	4.68±0.49	2.84±0.29
°Brix Inicial	19.00±0.00	19.00±0.00	19.00±0.00
°Brix Final	21.33±0.58	20.66±0.58	17.25±2.08
[Glucosa]_{inicial}**	46.38±1.56	46.38±1.56	46.38±1.56
[Glucosa]_{final}**	78.22±8.43	63.17±7.02	57.16±5.02
[Sacarosa]_{inicial}**	5297.40±332.19	5297.40±332.19	5297.40±332.19
[Sacarosa]_{final}**	2942.42±285.46	2683.74±249.61	2570.84±232.67

* Porcentaje de ácido cítrico.

** Concentración de azúcares en g/L.

Se continúa notando un aumento en las propiedades de acidez, °Brix y concentración de glucosa en los tratamientos a pH 4 y 5. Estos mismos tratamientos presentaron un

descenso en las propiedades de pH y sacarosa. En los tratamientos a pH 6, continúa presentándose un aumento en el contenido de glucosa y descenso en las propiedades químicas restantes. Nuevamente, los tratamientos a pH 5 presentaron menor variación en cuanto a sus propiedades químicas.

Debido a que Pectinex 3XL actúa rompiendo el enlace $\alpha(1,4)$ de la pectina, esta se hidroliza y comienzan a generarse nuevos azúcares como la sacarosa los cuales a su vez se hidrolizan hasta generar azúcares reductores, como la glucosa. Con el rompimiento de estos enlaces, también se liberan moléculas de ácido galacturónico, degradando así la pectina y disminuyendo la viscosidad de la pulpa. Podemos decir entonces, que el aumento en la acidez de la pulpa, posiblemente se deba a la liberación de ácido galacturónico durante la hidrólisis de la pectina; y el aumento de los °Brix y concentración de glucosa, por la hidrólisis de los polisacáridos como la sacarosa liberando con ello, glucosa y fructosa (azúcares reductores). El descenso en las propiedades de pH y sacarosa, es indirectamente proporcional, pues con hidrólisis de polisacáridos, al degradarse la pectina se acidifica el medio disminuyendo ligeramente el pH y la concentración de sacarosa disminuye conforme se va hidrolizando en monosacáridos.

En el Cuadro 20, se presenta la variación final promedio de la viscosidad para todos los tratamientos con Pectinex 3XL a diferentes concentraciones y en diferentes pH.

Cuadro 20. Descenso promedio de la viscosidad para cada tratamiento enzimático (Poise).

	Enzima al 0.1%	Enzima al 0.5%	Enzima al 0.9%
pH 4	0.80±0.00	0.93±0.15	0.97±0.06
pH 5	0.87±0.06	0.93±0.06	0.97±0.06
pH 6	0.77±0.06	0.70±0.10	0.70±0.00

Aquí podemos observar que los mayores descensos en la viscosidad de la pulpa de mango se dieron en los tratamientos a pH 4 y 5 a las concentraciones de 0.5% y 0.9% de enzima. Siendo mínima la diferencia entre el descenso de viscosidad para las concentraciones de 0.5% y 0.9%. Para el tratamiento a la concentración de 0.5%, se presentó una desviación estándar menor para el tratamiento a pH 5, respecto a la realizada a pH 4. Para los tratamientos al 0.9% se observó el mismo descenso promedio y desviación estándar para los realizados a pH 4 y 6. Los tratamientos a pH 6, presentaron un mínimo descenso de la viscosidad inicial de la pulpa de mango, siendo el mayor

descenso para este pH a la concentración de 0.1% de enzima, el cual no resulta significativo en comparación con los tratamientos a los pH 4 y 5.

Podemos notar en los resultados obtenidos que, conforme aumenta la concentración de la Pectinex 3XL, la degradación de la pectina va incrementando. Esto se observa, por el descenso total de la viscosidad de la pulpa, pues éste es mayor conforme aumenta la concentración de enzima para los tratamientos a pH 4 y 5. Así, el descenso de la viscosidad en el tratamiento enzimático al 0.1%, es menor que el tratamiento de concentración 0.5%, y éste a su vez menor que el de las muestras tratadas al 0.9% de enzima. Siendo esto una excepción para los tratamientos a pH 6; donde el descenso de la viscosidad disminuyó al aumentar la concentración de enzima.

Es necesario mencionar, que el clarificado obtenido en todos los tratamientos a pH 5; fueron en promedio, los que presentaron una menor variación en cuanto a las propiedades fisicoquímicas y bioquímicas de la pulpa.

Las muestras reguladas a pH 4 y pH 5 tratadas con Pectinex 3xL a concentraciones de 0.5% y 0.9% fueron las que presentaron una mayor degradación de la pectina, demostrando una mejor clarificación de la pulpa del mango criollo. En los tratamientos donde se agregó enzima al 0.5 y 0.9%, no hubo gran diferencia significativa (0.04 poise); debido a que esta variación podría ser despreciable, y que al usar una menor concentración de enzima se disminuyen costos de producción; podemos optar por los tratamientos realizados a con enzima al 0.5%. Sin embargo, el tratamiento con Pectinex 3XL al 0.5% en pH 5, presentó una desviación estándar menor a la de pH 4. Cabe mencionar que debido a que el pH promedio inicial del mango oscila en 4.5, puede no ser relevante regular el pH de la pupa antes del tratamiento enzimático, lo que descartaría el gasto de soluciones reguladoras.

10. CONCLUSIONES

La disminución en la viscosidad de la pulpa hasta la obtención del clarificado, demuestra indirectamente la degradación de la pectina en la pulpa de mango, lo cual indica que la licuefacción enzimática fue satisfactoria.

La enzima comercial Pectinex 3XL mejoró la viscosidad del jugo clarificado, observándose un descenso significativo a mayor concentración de enzima hasta 0.5% y en función del pH 4 y 5.

El jugo clarificado obtenido en los tratamientos realizados a pH 5 presentó una menor variación en las propiedades fisicoquímicas y bioquímicas respecto a la pulpa de mango, lo que nos asegura la calidad del producto.

Emplear la licuefacción enzimática en la pulpa de mango criollo resulta eficiente para aumentar el rendimiento de jugo respecto a la pulpa, lo cual favorecería su empleo en la industria procesadora de jugos.

11.RECOMENDACIONES

A continuación se enlistan algunas recomendaciones a considerar para el análisis o realización del estudio presentado:

- Emplear soluciones amortiguadoras de alta concentración; de lo contrario, para elevar el pH de la pulpa de mango de 4.5 a 6 se emplearía una excesiva cantidad de solución alcalina, lo cual afectaría la viscosidad inicial de la pulpa.
- Debido a que la mayor clarificación enzimática de la pulpa se presentó entre los pHs 4 y 5, se recomienda no regular el pH inicial de la pulpa de mango, pues su valor se encuentra dentro del rango de mayor actividad catalítica de la enzima.
- Debido a que la fruta es de temporada, para su almacenamiento durante el estudio, se recomienda mantenerla en congelación para evitar su descomposición.

12. BIBLIOGRAFÍA

➤ LIBROS

Bajpai, P. N., Shujkla, H. S., Chaturvedi O. P. (1985). **Fruits of India Tropical and subtropical**. Naya Pradesh Kash. Calcuta, India. Pág. 1-20.

Bradley Armstrong, F. (1982). **Bioquímica**. Editorial Reverte. Barcelona, España. Pág. 148.

Charley, H. (2008). **Tecnología de alimentos-Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos**. Editorial Limusa. México. Pág. 767.

Cheftel J y Cheftel H. (1976). **Introducción a la bioquímica y tecnología de alimentos**. Editorial Acribia. Zaragoza, España. Pág. 333.

Coulate, T. (2007). **Manual de química y bioquímica de alimentos**. Editorial Acribia. Zaragoza, España. Pág. 446.

Conn E. E., Stumpf, P. K. (2009). **Bioquímica Fundamental**. 4ª edición. Editorial Limusa S.A. de C.V. México, DF. Pág. 131-156.

Galán Saucó, V. (2009). **El cultivo del mango**. 2da edición. Grupo Mundi-Prensa. Madrid, España.

Lee, J. M, (1992). **Biochemical engineering**. Editorial Prentice Hall, Englewood Cliffs. Pág. 86-94.

Molina-Ubeda, R. (2000). **Teoría de la clarificación de mostos y vinos y sus aplicaciones prácticas**. AMV Ediciones. Madrid España. Pág. 231.

Murray, R. K., Granner, D. K., Mayes, P. A., Rodwell, V. W. (1992). **Bioquímica de Harper**. 11a Edición. Editorial el Manual Moderno. México DF. Pág. 12-81.

Myron Lee, B. Lewis J.L. (1977). **Catálisis y acción enzimática**. Editorial Reverte. España. Pág. 13-18

Primo, E. (1998). **Química de los alimentos Editorial Síntesis**. Barcelona, España.

Quintero Ramírez, R, López Munguía A. (2004). **Biotecnología alimentaria**. Editorial Limusa. México DF. Pág. 301.

Voet D., Voet J.G., (2004). **Bioquímica**. 3ra edición. Editorial Médica Panamericana. Montevideo Uruguay. Pág. 473-484.

➤ ARTÍCULOS

Acar, J. Özdemir, N. (1996). **Einflub einer Enzymbehandlung von milchsäuren Karotten-säften auf die chemischen und sensorischen Eigenschaften.** Flüssiges Obst, 9163. Pág. 521-523.

Aldridge S. (1999). **El hilo de la vida.** Cambridge University Press. Madrid, España. Pág. 167-169.

Anonymous (1991). **Nordisk Ferment Ltd.** Catalogue, Switzerland.

Ávila de Hernandez, R. M., (2014). **Comparación de la acción enzimática de tres preparados comerciales en el tratamiento de la pulpa de guanábana.** Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Lara, Venezuela. Pag 4-7.

Ballinas Díaz, E. J., Vela Gutiérrez, G. y López Zuñiga, E.J., (2013). **Mango: cultivo, tratamiento pre y postcosecha, propiedades nutrimentales y funcionales.** Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. México. Pag. 13-40.

Bejarano Alva, I., Quispe Condori, S., Matos Chamorro, A. (2011). **Licuefacción enzimática en el proceso de extracción de pulpa de fruta.** I Congreso Nacional de Investigación. Lima, Perú. Pág. 1-8.

Bompard, J. M. (1993). **The Genus Mangifera rediscovered.** The potential contribution of wild species to mango cultivation. Acta Horticulture 341. Pág. 69-76.

Carvajal Aldaz, D. G. (2007). **Optimización de las características físicas y químicas del puré de manzana (*Malus domestica*) para la extracción de su esencia.** Departamento de Agroindustria alimentaria. Zamorano, Honduras. Pág. 5-6.

Celestino Mutis, J. (2009). **El mango.** Herbario de la Institución Merceditas Gómez Martínez.

Chesson, A. Y Codmer, R.C. (1978). **The maceration of vegetable tissue by a strain of *Bacillus subtilis*.** J. Appl. Bacteriol. Pág. 347-364.

Flores Vaca F. E. (2012). **Evaluación de la acción enzimática de Pectinex® Ultra SP-L en tres tiempos de incubación y dos diluciones para obtención de jugo clarificado de tamarindo (*Tamarindus indica L.*).** Departamento de Agroindustria Alimentaria. Zamorano, Honduras. Pág. 8-24.

Forero Morales R. (2011). **Procesamiento de Pulpa de Frutas.** SENA.Colombia. Pág. 6-9.

Gallego S. y Garcia G. A. (2009). **Obtención de biomasa y exopolisacáridos de *Humphreya coffeata* en cultivo sumergido.** Medellín, Colombia. Pág. 75-76

Gálvez López, D., Salvador Figueroa, M., Makey Pérez, N. (2006). **Diversidad morfológica del fruto en germoplasma nativo de mango *Mangifera indica L.***

(Anacardiaceae) nativo de Chiapas, México. Cuadernos de Biodiversidad. Chiapas, México. Pág. 11-13.

García Lozano, J., Piedad Sandoval, A., Forero, F., (2009). **Atributos de calidad del mango criollo para la agroindustria.** Centro de Investigación Nataima. Espinal-Tolima, Colombia. Pág. 7-12.

Gist Brocades, N. V. (1997). **Uso de pectinesterasa en el tratamiento de frutas y vegetales.** Oficina española de patentes y marcas. Madrid, España. Pág. 2-11.

Grebechova R., Figueroa, L.M, Prieto Contreras L. (2005). **Producción, purificación y caracterización de la enzima pectinasa aislada de *Aspergillus niger* y *Aspergillus foetidus*.** Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería de Alimentos. Bogotá, Colombia. Pág. 3-12.

Litz R. E., (1997). **The mango: botany, production and uses.** CAB International Homestead. U.S.A. Pág. 587.

López, L. (2010). **Efecto de la incorporación de extracto de tamarindo (*Tamarindus indica*) con actividad antioxidante en la elaboración y funcionalidad de películas biodegradables proteína-almidón.** Universidad Autónoma Metropolitana. México. Pág. 131.

Ludeña, M. (1999). **La enzimología.** Universidad Peruana Cayetano Heredia. Facultad de estomatología. Lima, Perú.

Martínez, M. (2009). **Estudio cinético de la producción secuenciada de pectinasas en *Aspergillus flavipes* FP-500.** Instituto Politécnico Nacional. México. Pág. 113p.

Matta, V.M., Moretti, R.H. y Cabral, M. C. (2002). **Microfiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of acerola juice.** Embrapa Food Technology. State University of Campinas. Rio de Janeiro, Brasil.

Mieszczakowska-Frac M., Markowski J., Zbrzezniak M., Plochanski W. (2012). **Impact of enzyme on quality of blackcurrant and plum juices.** LWT – Food Science and Technology. Skierniewice, Poland. Pág. 1-6.

Mutlu M, Sarioglu K., Demir N., Ercan M., Acar, J. (1998). **The use of comercial pectinase in fruit juice industry. Part 1: Viscosimetric determination of enzyme activity.** Journal of Food Engineering 41. Ankara, Turkey. Pág 147-150.

Mutlu M., Sarioglu K., Demir N., Acar, J. (2000). **The use of comercial pectinase in fruit juice industry. Part 3: Immobilized pectinase for mash treatment.** Journal of Food Engineering 47. Ankara, Turkey. Pág 275-280.

Norjana I., Noor Aziah A.A., (2011). **Quality attributes of durian (*Durio zibethinus Murr*) juice after pectinase enzyme treatment.** International Food Research Journal 18. Penang, Malaysia. Pág 1117-1122.

Rivera, G. (2000). **Uso de enzimas en la industria alimentaria**. Instituto Tecnológico Superior de Calkini en el Estado de Campeche. México. Pág. 13.

Rodríguez García, M. V., Guzmán Maldonado, S. H., Andrade Esquivel, E., Hernández López, D. (2010). **Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de jugo obtenido mediante tratamiento enzimático en zarzamora comercial (*Rubus spp*) del estado de Michoacán**. Universidad de Guanajuato. Guanajuato, México. Pág. 1-18.

Serra, J. L., Alkorta, I., Llama, M. J. (1992). **Aplicación industrial de los enzimas pécticos. Producción, purificación, inmovilización y algunas propiedades de la pectina liasa de *Penicilium italicum***. Pág. 127-132.

Siliha, H., El Zoghbi, M., Askar, A. (1994). **Foam-mat drying of enzyme treated banana pulp**. Fruit Processing 8. Pág. 210-215.

Soriano, M. (2005). **Análisis de sistemas pectinolíticos bacterianos-Aislamiento y caracterización de las pectinasas-PeIA de *Paenibacillus sp.* BP-23 e YvpA de *Bacillus subtilis***. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España. Pág. 255.

Ureña Bogantes, A.L., González Rojas, J. M. (2007). **Agrocadena del mango**. Ministerio de agricultura y ganadería, Atenas. Pág. 7.

Yadav, S., Kumar, P., Yadav. D., Deo Singh, K. (2009). **Pectin lyase: A review**. Process Biochemistry. Pág. 44.

Yegres, S., Sanchez, M. B. R., Wallis, D. B. (2001). **Producción de enzimas pécticas**. Laboratorio Clínico Universitario. Universidad de Oriente. Cumaná. Venezuela. Pág. 24.

➤ REVISTAS

Atributos de calidad del mango criollo para la agroindustria (2008). Boletín técnico, Centro de Investigaciones Nataima. CORPOICA

Características físicas y químicas de frutos de trece cultivares de mango (*Mangifera indica L*) en el municipio mara en la planicie de Maracaibo. (2010). México DF. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, Vol. 10, Núm. 2. (Asociación iberoamericana de tecnología postcosecha de México). Pág. 65 -72.

Cook HT In ASHRAE guide and Data Book – Applications. (1971). New York, USA. ASHRAE. Chapter 38. Pag. 471-476.

Pectic enzymes (1980). London. Economic Microbiology, Vol. 5. Microbial Enzymes and Bioconversions. Por: Rombouts, F. M. Y Pilnik, W. Pág. 227-282.

Promoción de inversiones e intercambios comerciales. (2007). Guatemala, Guatemala. Mango 1 Fich/26/UE, Núm. 1. DESCA. Pág. 2-5

Uno de cada cinco mangos mexicanos se consume en el extranjero (2012, Mayo 7). México DF. Disemina No. 76. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

➤ **PÁG. WEB**

AGEXPORT (2007). **Industria de mangos.** Disponible en: <http://agexporthoy.export.com.gt/?s=industria+de+mango>

Benamayor, I. (2010). **El Mango.** Disponible en: http://campodebenamayor.es/productos/fruta-fresca_fresh-fruit/mangos/

CONASPROMANGO. (2013). **El árbol de mango.** Disponible en: <http://mangomexicano.com.mx/consumidores/conoce-mejor-el-mango/>

Centro de Inversión, Desarrollo, y Exportación de Agronegocios (IDEA). (2002). **Boletín técnico #16: Procesamiento de mango.** Disponible en: http://www.fintrac.com/docs/elsalvador/boletin_tecnico_16_procesamiento_mango_producto.pdf

Excelsior. (2014). **Mango Ataulfo alcanza una exportación de más de 28 mil toneladas.** Disponible en: <http://www.excelsior.com.mx/nacional/2014/10/30/989729>

Frutosa S.A. (2013, Agosto 12). **Planta procesadora de frutos naturales.** Disponible en: <http://www.frutosa.com.pe/>

INEGI (2007). **Glosario Institucional de Términos.** Disponible en: http://www.inegi.org.mx/lib/glosario/paginas/contenido.aspx?id_nivel=01020000000000&id_termino=301&g=scn&s=est&c=10594&e=

InfoAgro (2006). **El cultivo del mango.** Disponible en: http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/mango.htm

Olson, A. (2011). **A juicy Project: extracting Apple juice with pectinase.** Disponible en: http://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project_ideas/BioChem_p010.shtml

Pulpafruit S.A. (2012). **Productos de mango.** Disponible en: http://pulpafruit.com.co/productos_mango.html

SIAP (2013). **Cierre de la producción agrícola por cultivo.** Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350

SNIIM (2015). **Resumen SNIIM del mango.** Disponible en: <http://www.economia-sniim.gob.mx/analisis/SNIIMproducto.asp?prod=465&dest=T&prodC=9049>

13. ANEXOS

ANEXO A. MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE AZUCARES REDUCTORES POR DNS

- Preparación del reactivo DNS

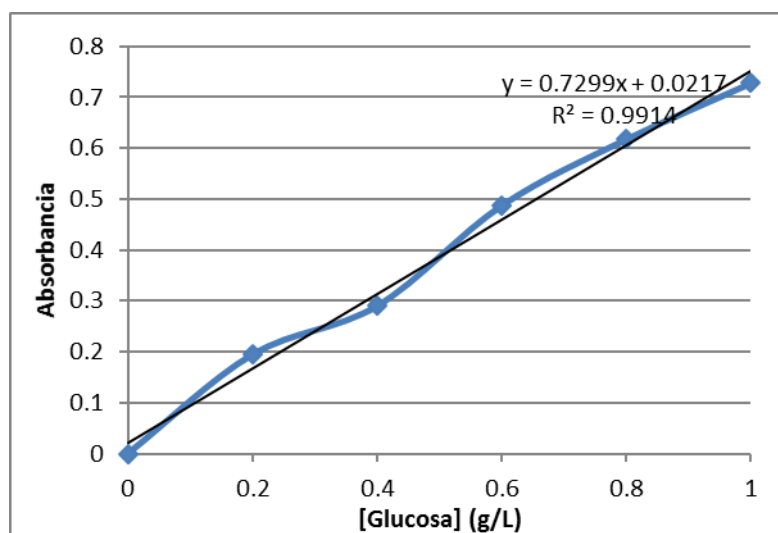
Medir 472 ml de agua destilada en un vaso de precipitados y cubrir de la luz. Agregar 3.53 g de ácido dinitrosalicílico y mezclar con un agitador. Sin dejar de mezclar, se agregan 6.6 g de NaOH y 102 g de sal Rochelle; posteriormente agregar 2.53 g de fenol. Para finalizar se agregan 2.76 g de metabisulfito de sodio y se termina de mezclar. Una vez terminado, se toma una muestra y se titula para comprobar, con NaOH 0.1 N usando fenolftaleína como indicador.

- Preparación de soluciones patrón

Preparar 50 mL solución de glucosa [1 g/L], pesando 0.05 g de glucosa y aforando con agua destilada hasta el volumen mencionado. A partir de esta solución, preparar diferentes soluciones a concentraciones: 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1 g/L

- Elaboración de la curva patrón

Colocar 0.5 mL de cada solución en diferentes tubos de ensayo, agregar 1.5 mL de la solución DNS a cada tubo y agitar. Colocar a baño María en agua hirviendo por 5 min, al finalizar agregar 8 mL de agua destilada a cada tubo y mezclar hasta homogeneizar. Dejar enfriar y leer la absorbancia en el espectrofotómetro a 540 nm calibrando con el blanco (concentración 0 g/L). Graficar los resultados obtenidos como absorbancia vs concentración de la solución.



ANEXO B. MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE AZUCARES TOTALES POR COLORIMETRÍA DEL FENOL-SULFÚRICO

- Preparación del reactivo fenol al 5%

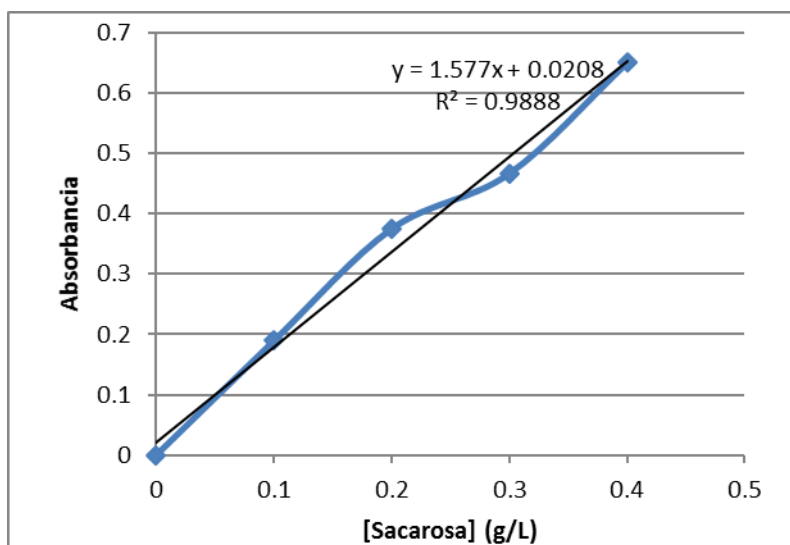
Pesar 2.5 g de fenol grado reactivo y disolver en un poco de agua destilada. Posteriormente aforar hasta 100 mL con agua destilada.

- Preparación de soluciones patrón

Para preparar la solución 0.4 g/L de sacarosa, primeramente se deberá elaborar una solución 0.8 g/L de sacarosa. Pesar 0.4 g de sacarosa y diluir en un poco de agua destilada, posteriormente aforar hasta 50 mL. Se toman 25 mL de la solución anterior con ayuda de una pipeta, y se mezclan con 25 mL de agua destilada; esta será la solución 0.4 g/L de sacarosa. A partir de esta solución, preparar diluciones a diversas concentraciones: 0, 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 g/L.

- Elaboración de la curva patrón

Colocar 1 mL de cada solución en diferentes tubos de ensayo, agregar 0.5 mL del reactivo fenol a cada tubo y agitar. Inmediatamente agregar 2.5 mL de ácido sulfúrico concentrado y agitar, dejar incubar durante 10 minutos lejos de la luz del sol. Transcurrido ese tiempo, colocar en un baño de agua a 30°C por 30 min, posteriormente agregar 4 mL de agua destilada y leer absorbancia en el espectrofotómetro a 492 nm, calibrando con el blanco (concentración 0 g/L). Graficar los resultados obtenidos como absorbancia vs concentración de la solución.



ANEXO C. FICHA TÉCNICA PECTINEX 3XL.

Application

Pectinex is capable of breaking down pectic substances in plant material. Pectinex can generally be used in the fruit juice industry where quick and complete depectinization is desired. The main application is, however, in the production of apple and pear concentrates and the processing of any fruit or vegetable. Pectinex is exceedingly good for the degradation of soluble and insoluble pectins with varying degrees of esterification for viscosity reduction, clarification, depectinization and maceration of plant tissue.

However, for the treatment of apple or pear mashes we recommend the use of Pectinex Ultra SP-L. The araban activity of Pectinex is normally sufficient to avoid secondary haze in concentrates. Under special conditions, e.g. mash extraction with water or enzymation of apple and pear mashes with Pectinex Ultra SP-L, the use of Pectinex AR for juice depectinization is recommended to avoid the formation of araban haze safely.

Reaction Parameters

Activity and Stability

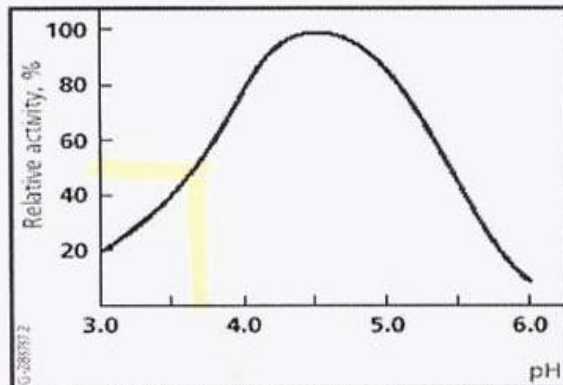


Fig. 1. Pectinase activity at different pH values.

Depectinization of apple juice at 55°C (131°F).

Reaction time 100 minutes.

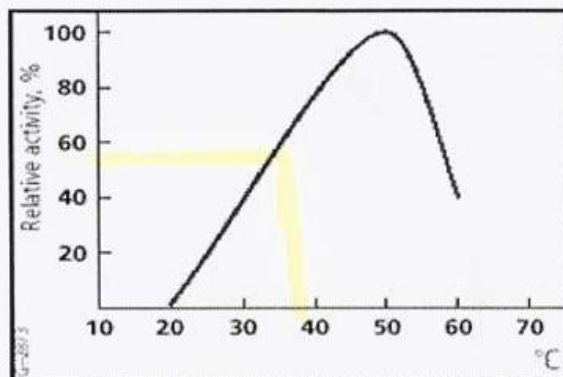


Fig. 2. Pectinase activity at different temperatures

Depectinization of apple juice at pH 3.5. Reaction time 100 minutes.