

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE AGROINDUSTRIALIZACIÓN
DEL LIMÓN CRIOLLO**

Laura Irene García Rodenas

Guatemala
2009

**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE AGROINDUSTRIALIZACIÓN
DEL LIMÓN CRIOLLO**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE
AGROINDUSTRIALIZACIÓN DEL LIMÓN CRIOLLO**

Trabajo de investigación presentado por Laura Irene García
Rodenas para optar al grado académico de Licenciada en
Ingeniería en Ciencias de Alimentos

Guatemala
2009

Vo. Bo. :

(f) _____
Lda. Ana Silvia Colmenares de Ruíz

Tribunal Examinador:

(f) _____
Lda. Ana Silvia Colmenares de Ruíz

(f) _____
Lda. Patricia Palacios de Palomo

(f) _____
Dr. Ricardo Bressani

Fecha de aprobación: Guatemala, 9 de diciembre 2009.

PREFACIO

Este trabajo de investigación se elaboró durante los primeros nueve meses del año 2009. Se llevó a cabo en el Laboratorio de Química de Alimentos de la Universidad del Valle de Guatemala. En el experimento se utilizó limón criollo como materia prima, al cual se aplicaron diversos procesos para la obtención de subproductos del mismo.

El propósito de la elaboración de este trabajo fue el estudio de alternativas de procesos que pueden realizarse con la parte del limón que es considerada como residuo o desperdicio. Proponer métodos o procesos que sean viables para la industria, así como determinar la funcionalidad de los productos obtenidos.

El estudio realizado proveerá a los productores de limón criollo en Guatemala alternativas para la agroindustrialización de este fruto, lo cual conllevará a un aprovechamiento del mismo en un mayor porcentaje con lo cual se disminuirán las pérdidas que se tienen actualmente.

Agradezco a Dios y a la Virgencita, por haberme acompañado y dado la oportunidad de alcanzar esta etapa tan anhelada. Por ser mi fortaleza y enseñarme que muchas veces el camino no es fácil, pero es este el que nos deja el mayor aprendizaje y nos enseña a valorarlos más.

A mi mamá, por su infinito amor, apoyo, esfuerzo y entrega, por creer en mí. Por ayudarme en los momentos en los que flaqueaba, por todas sus palabras de aliento y ejemplo que muchas veces me dieron el valor para seguir adelante luchando por alcanzar mis sueños, que sé que se han convertido en nuestros sueños. Gracias por todo mami.

A mi papá por su amor, apoyo y esfuerzo. Gracias por estar siempre presente, por alentarme a seguir adelante, no importando los obstáculos que se presentan. Por tu actitud tan positiva hacia la vida, pero sobre todo por creer siempre en mí y apostar a mis sueños.

A mi hermana que siempre ha estado conmigo, que me ha acompañado en los momentos de alegría, desesperación y tristeza, que siempre está presente no importando la situación. Gracias por tu confianza, tus consejos y alegría, por apoyarme en todas mis ideas y sueños.

A mi abuelito Q.P.D., por el ánimo que siempre me dio para seguir adelante, por estar siempre presente en cada paso que he dado en mi vida porque sé que siempre me acompaña y me acompañará. Te quiero abuelito.

A mis amigas, incondicionales compañeras de estudio, pero principalmente compañeras de vida, de las que he aprendido mucho en esta etapa de mi vida. Gracias por todos sus consejos, apoyo y por todos los momentos compartidos. Les agradezco por haber llegado a mi vida, sin ustedes no lo habría logrado. Siempre las llevaré en mi corazón.

A mi asesora, Licenciada Ana Silvia Colmenares, por el tiempo dedicado en este trabajo.

A todas las personas que colaboraron en la elaboración de este trabajo, gracias por su tiempo, paciencia y esfuerzo.

CONTENIDO

	Página
PREFACIO.....	vi
LISTA DE CUADROS.....	xi
LISTA DE GRÁFICOS.....	xii
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	3
A. COMERCIALIZACIÓN.....	3
B. PROBLEMAS Y POTENCIALIDADES.....	3
C. PRODUCCIÓN NACIONAL.....	5
D. CONSUMO APARENTE.....	5
E. MERCADO MUNDIAL.....	6
F. MERCADO LOCAL.....	7
G. ALTERNATIVAS DE INSUTRIALIZACIÓN ACTUAL.....	7
1. Deshidratación.....	7
2. Extracción de aceites esenciales.....	8
III. JUSTIFICACIÓN.....	10
IV. OBJETIVOS.....	12
V. HIPÓTESIS.....	13
VI. MARCO TEÓRICO.....	14
A. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO.....	14
B. ASPECTOS IMPORTANTES DE LA COSECHA Y POSTCOSECHA.....	16
C. FACTORES POST-COSECHA QUE INCIDEN EN EL MANEJO Y CALIDAD.....	17
D. CONSIDERACIONES TÉCNICAS.....	20

	Página
E. FISIOPATÍAS.....	21
F. POSIBILIDADES DE AGOINDUSTRIALIZACIÓN.....	22
1. Jugo de limón.....	22
2. Fibra dietética.....	32
3. Pectina cítrica.....	33
VII. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	43
A. METODOLOGÍA.....	43
VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	55
IX. CONCLUSIONES.....	70
X. RECOMENDACIONES.....	72
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	74
XII. APÉNDICE.....	78

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Importaciones de limón en Guatemala.....	5
2. Ciclos de producción de limón Criollo en Guatemala.....	6
3. Caracterización física del limón promedio.....	55
4. Caracterización de jugo de limón pasteurizado.....	59
5. Análisis microbiológico de jugo de limón pasteurizado...	60
6. Caracterización de fibra dietética.....	64
7. Caracterización de pectina cítrica.....	67
8. Caracterización de pectina cítrica.....	68
9. Porcentaje de rendimiento del proceso de obtención de pectina.....	69
10. Formas de comercialización de los productores.....	78
11. Establecimiento de hectáreas de plantaciones de limón Criollo según año. Período 1998-2005.....	79
12. Consumo aparente del limón Criollo. Período 1998-2005.....	81
13. Condiciones de clima y suelo optimas para establecer plantaciones de limón Criollo.....	82
14. Caracterización física del limón.....	88
15. Degradación de ácido ascórbico en jugo de limón pasteurizado almacenado a diferentes temperaturas.....	89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico	Página
1. Cambio de propiedades durante cuatro semanas de jugo de limón pasteurizado.....	59
2. Degradación de ácido ascórbico en jugo de limón almacenado a $T=25^{\circ}\text{C}$ y $T=5^{\circ}\text{C}$	61
3. Constante de velocidad de reacción de degradación de ácido ascórbico.....	62
4. Log k vrs $1/T$ en degradación de ácido ascórbico.....	62
5. Tiempo – Grado de gelificación.....	68
6. Comportamiento de las importaciones de limón al país. Período 1998-2005.....	80
7. Producción de limón en Guatemala.....	83
8. Importaciones de limón en Guatemala. Período 2002 – 2005.....	84
9. Importaciones de limón Criollo en Guatemala.....	85
10. Exportaciones de limón en Guatemala.....	86
11. Consumo nacional aparente.....	87

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustraciones	Página
1. Materia prima utilizada: Limón Criollo.....	93
2. Proceso de extracción de fibra dietética: Cáscaras después de secado en secador de bandejas....	94
3. Fibra dietética obtenida a partir de limón Criollo.....	94
4. Determinación de fibra dietética por medio de Kit Sigma..	95
5. Proceso de hidrólisis ácida para obtención de pectina cítrica.....	96
6. Proceso de precipitación con Etanol al 95% de pectina cítrica.....	96
7. Proceso de filtración para obtención de pectina cítrica....	97
8. Pectina cítrica después de filtrado.....	98
9. Secado de pectina cítrica en secador de bandejas.....	98
10. Pectina cítrica después de secado.....	99
11. Pectina cítrica obtenida antes de tamizado.....	99
12. Producto final obtenido: Pectina cítrica de bajo metoxilo...	100

RESUMEN

La producción de limón en Guatemala ha aumentado a lo largo de los últimos años, lo cual ha hecho que los productores de este fruto amplíen sus alternativas de comercialización. Algunas autoridades estiman las pérdidas de los cítricos en no menos del 50%, la mitad de lo que se cultiva (MAGA, 2007); por lo que es importante realizar estudios sobre alternativas de agroindustrialización que ayuden a disminuir este porcentaje de pérdidas, ya que existen diversos productos que pueden elaborarse a partir del limón Criollo; debido a las propiedades que este posee tanto nutricionalmente como tecnológicamente. Alternativas que pueden ser parte de la comercialización actual que tiene el país.

En este trabajo se presenta un estudio sobre alternativas del limón Criollo en Guatemala, tomando como referencia la cantidad de residuos que se obtienen de las frutas cítricas, que son acerca de un 50% de la cantidad original de la fruta entera. Este residuo está principalmente constituido por la cáscara, de la cual después de la extracción de jugo se puede utilizar para obtención de otros productos.

El objetivo de este trabajo fue la obtención de jugo de limón pasteurizado, extracción de pectina cítrica y fibra dietética. Así como la caracterización funcional de cada uno de los productos obtenidos.

El jugo de limón pasteurizado se obtuvo a partir de limón criollo, este proceso se realizó por medio de prensado. Se realizó la pasteurización e inactivación de la enzima pectinesterasa a 74° C por 15 segundos. Se evaluó las características del jugo durante 4 semanas realizando análisis de pH, ° Brix, acidez total, viscosidad y actividad de pectinesterasa, así como un análisis microbiológico de mohos y levaduras. El jugo de limón presentó un valor de acidez de ~0.38meq/mL de ácido cítrico, un pH inicial de 3.1, una cantidad de sólidos solubles de ~8.2° Brix y una actividad de pectinesterasa de 0.128 UPE/mL.

El proceso realizado para la obtención de fibra dietética, se realizó a partir de cáscaras de limón, las cuales fueron sometidas a una molienda gruesa,

posteriormente a un lavado en caliente a 90° C por 5min y un secado a 65° C por 7 horas utilizando un secador de bandejas. La calidad de la fibra dietética obtenida fue determinada por medio de análisis de capacidad de retención de agua, porcentaje de humedad y contenido de fibra dietética. La fibra dietética obtenida presentó un porcentaje de humedad de 5.2%, una capacidad de retención de agua de 10.9g agua/ g fibra, así como un contenido de fibra dietética de 69.2%. La pectina cítrica se obtuvo a partir de las cáscaras de limón después de la extracción de jugo. La extracción de pectina se realizó por medio de hidrólisis ácida a una temperatura de 95° C y 90 minutos de tiempo de extracción. Se obtuvo una pectina cítrica de bajo metoxilo, la calidad de la pectina se evaluó mediante análisis de humedad, cenizas, peso molecular, porcentaje de metoxilos, grado y tiempo de gelificación.

La pectina cítrica obtenida presentó un porcentaje de humedad de 3.9%, un contenido de cenizas de 0.33g. El porcentaje de metoxilos obtenido fue de 3.95%, con un peso molecular de 104010.5g/mol y una acidez libre de 25.4meq/g carboxilo.

La calidad evaluada de cada uno de los productos realizados según los resultados obtenidos indica que la funcionalidad de los productos obtenidos puede cumplir con las necesidades tecnológicas y alimentarias de la industria alimentaria.

I. INTRODUCCIÓN

En Guatemala existen diversos productores que se dedican al cultivo del limón, la producción de este fruto varía según la época del año y el mercado en el que se comercialice el mismo. La producción de limón en Guatemala ha mostrado un aumento en los últimos años, por lo que muchos productores han visto la necesidad de buscar alternativas para procesar el limón de diversas formas con el objetivo de un mayor aprovechamiento del cultivo en las temporadas altas y poder tener este fruto en todas las épocas del año en diferentes presentaciones (jugo, té, etc.) ya que las oportunidades de mercado y comercialización son grandes debido a la riqueza de nuestro país en este fruto.

Uno de los problemas que afectan actualmente a los productores son los cambios de precios en los escasos mercados que se cuentan, así como la falta de conocimiento y acceso a la tecnología, por lo que es necesario desarrollar diferentes alternativas de procesamiento del limón aplicando diversas tecnologías, que permitan a los productores la comercialización del limón a nivel nacional e internacional.

Las frutas cítricas son una importante fuente de ácido ascórbico y flavonoides y son frecuentemente usadas en la industria para la extracción de flavonoides. Durante el procesamiento industrial de frutas que son utilizadas para obtener concentrados, jugos y néctares, pueden realizarse diferentes procesos de extracción que pueden alterar el contenido de estos compuestos en el producto final. El limón posee el mayor potencial antioxidante entre las frutas cítricas y es la fibra dietética más adecuada para la prevención de enfermedades cardiovasculares y otras enfermedades. (Gorinstein, 2001)

La cantidad de residuos obtenidos de frutas cítricas es aproximadamente de un 50% de la fruta entera. (Cohn & Cohn, 1997) El residuo es principalmente constituido por la cáscara (albedo y flavelo) la cual constituye casi un cuarto de la fruta completa, semillas y pulpa de fruta que queda después de la extracción de jugo y aceites esenciales y es utilizado generalmente para la obtención de pectinas, fibra dietética y alimentos para animales. (Braddock, 1999)

En este trabajo, se aplicarán diversas alternativas de procesamiento para la industrialización del limón Criollo que ayuden al aprovechamiento de los residuos del limón considerados como desperdicios de este producto en la actualidad, realizando procesos post-cosecha para la obtención de jugo de limón, pectina cítrica y fibra dietética.

Para evaluar los productos realizados a partir del limón Criollo, se caracterizará fisicoquímicamente el jugo de limón (sólidos solubles, pH, acidez, viscosidad, acidez total y análisis de pectinesterasa), por último se determinará su vida de anaquel. Al igual, se caracterizará la funcionalidad de la pectina cítrica (contenido de humedad, contenido de ceniza, acidez, viscosidad, contenido de metoxilo, grado y tiempo de gelificación). Así mismo, se realizará la caracterización funcional de fibra dietética (capacidad de retención de agua, porcentaje de humedad, contenido de fibra); así como un análisis microbiológico para la determinación de su conservación.

II. ANTECEDENTES

En Guatemala se han realizado estudios de mercado para determinar las posibilidades de comercialización de limón, lo cual ha permitido conocer la interacción entre la demanda, la oferta, los precios y el consumo aparente a través de una serie histórica de los años 1994-2005. (Guzmán, M.; 2007)

A. Comercialización del limón

Las formas de comercializar el limón pueden ser por venta directa, que abarca el 19% se venden directo a los centros de distribución la Central de Mayoreo (CENMA) o La Terminal zona 4 (Ciudad Guatemala), el 53% de los productores vende a intermediarios y el 28% restante venden directo e intermediarios, como puede apreciarse en el cuadro 10. Ver Apéndice 1. (Guzmán, M., 2007)

Se ha determinado que el 53% de los productores venden a través de intermediarios sus productos, solo el 19% vende en forma directa, mientras que el 28% venden parte con intermediarios y la otra la venden en forma directa, lo que permite visualizar que la mayoría de los productores tienen bajos ingresos ya que la mayoría venden a los intermediarios quienes consiguen mejores precios en los mercados de la capital. (Guzmán, M., 2007)

Por otro lado, se determinó que el 53% de los productores comercializan puesto en la finca el producto, el 19% en el mercado municipal y el 26% en el mercado de la capital, lo cual permite determinar la diferencia de precio que existe actualmente entre las tres categorías de productores comercializadores. (Guzmán, M., 2007)

B. Problemas y potencialidades

Con información obtenida por medio de estudios elaborados por diversas organizaciones en la región (Progreso y Zacapa) y a las observaciones *in situ*, establecidas por el equipo de técnicos, la consultora y PROFRUTA, se han establecido los principales problemas y las potencialidades de los productores de limón. (Guzmán, M., 2007) Los problemas más generalmente se presentan a los productores de limón son:

- Escasas posibilidades de comercializar el producto.
- Medios estándares de calidad.
- Pocas fuentes de créditos blandos para riego, manejo y agroindustria.

- Costos elevados de producción.
- Baja asistencia técnica
- Vacío en capacidad empresarial.

(Guzmán, M., 2007)

Escasas posibilidades de comercialización del producto, uno de los problemas que afectan a los productores son los cambios de precios en los escasos mercados que se cuentan, que no tienen acceso a tecnología son afectados ya que tienen que vender sus cosechas a precios muy bajos, obteniendo escasos ingresos, en especial a los que venden a intermediarios que representan el 53% del total. (Guzmán, M., 2007)

Pocas fuentes de créditos blandos para riego, manejo y agroindustria, como en la mayoría del agro guatemalteco las fuentes de crédito son escasas, existiendo algunos entes financieros que ofertan créditos con altas tasas de interés, períodos cortos y varios requisitos, y las líneas gubernamentales son muy escasas y difíciles de acceder. (Guzmán, M., 2007)

Costos elevados de producción, bajo las condiciones climáticas y topográficas de la región los costos de producción son altos y a largo plazo es la recuperación del capital, por lo que es otro problema que afrontan los productores. (Guzmán, M., 2007)

Baja asistencia técnica, debido a la cantidad de productores existen una gran parte que requieren de asistencia técnica y seguimiento, así como los trabajos post-cosecha son evidentes, reportándose grandes pérdidas en épocas de cosecha. (Guzmán, M., 2007)

Aprovechamiento de los mercados nacionales e internacionales, determinando las bondades del producto denominado limón criollo o lima, se ha concluido que existen mercados nacionales e internacionales, que pueden ser un gran potencial para la implementación de proyectos agroindustriales que promuevan el incremento al valor agregado del mismo. (Guzmán, M., 2007)

C. Producción nacional

Desde el año 1998 al 2005, la producción nacional se ha comportado de la siguiente forma: un repunte significativo en el año 1999, mientras que en los demás años del 2000 al 2002 un crecimiento relativamente poco, por otro lado en los años 2003 al 2005 el crecimiento reportado es mayor, como puede apreciarse en el cuadro 11. Apéndice 2. (Guzmán, M., 2007)

1. Importaciones. Actualmente la importación de limas y limones es poco significativa en el país. Para ejemplificar mejor las tendencias de las importaciones se presenta la gráfica 1. Anexo 3. (Guzmán, M., 2007)

Cuadro No. 1
Importaciones de limón en Guatemala

	Toneladas métricas				%
	2002	2003	2004	2005	
El Salvador	23	0	0	0	83%
Honduras	0	0	4	0	15%
Estados Unidos	0	0.3	0.4	0	3%

Fuente: Base de datos BANGUAT.

2. Exportaciones. Las exportaciones de limón y limas en el país es uno de los aspectos más importante a tomar en cuenta para así poder determinar el mercado que se desea abarcar. (Guzmán, M., 2007) El mercado de destino más importante para el limón producido en Guatemala es Estados Unidos (55%), seguido de Arabia Saudita (21%), El Salvador (8%), Costa Rica (4%), Bahrein (3%) y Jordania (2%). Ver Gráfica No.5. Anexo 6 (MAGA 2007)

D. Consumo aparente

El consumo aparente de limón Criollo ha crecido un 326%, con respecto al año 1998, demostrando con ello que el consumo del limón Criollo es significativo. Ver Cuadro 12. Apéndice 4. (Guzmán, M., 2007)

En Guatemala, el consumo de limón Persa se dedica a su consumo en fresco y a la exportación (cantidades mayoritarias), mientras que el limón Criollo está destinado al abastecimiento del mercado nacional (en fresco), a causa de su mayor preferencia por parte de los consumidores y para el mercado del Medio Oriente, como limón

Criollo deshidratado. Ver Gráfica No. 8 Consumo nacional aparente de limón en Guatemala. Apéndice 10. (MAGA, 2007)

Cuadro No. 2

Ciclos de producción de limón Criollo en Guatemala

Limón Criollo	Meses
Ciclo alto	abril a octubre
Ciclo bajo	noviembre a marzo

Fuente: MAGA-UIPE.

Durante los meses de escasez, la calidad del limón disminuye. Los limones no alcanzan su tamaño normal, y presentan poco jugo. (MAGA, 2007)

E. Mercado mundial

Dentro del período evaluado (1998-2005) se puede determinar por año cuáles han sido los principales países que importan el limón, para el año de 1998 el principal comprador fue Arabia Saudita con el 38.6%, Kuwait con el 17%, Costa Rica con el 14.9% y los Emiratos Árabes Unidos con el 14.4%. (Guzmán, M., 2007)

Para el año 1999, los principales países consumidores fueron Arabia Saudita con el 60.3%, USA con el 13.7% y Kuwait con el 11.7%. (Guzmán, M., 2007)

Para el año 2000 los países compradores fueron Arabia Saudita con el 72.6%, Emiratos Árabes Unidos el 7.9%, USA con el 5.7% y Kuwait con el 4.9%.

Para el año 2001 los países consumidores son los siguientes Arabia Saudita con el 62.1%, los Emiratos Árabes Unidos 10.4%, y USA con el 5.5%. (Guzmán, M., 2007)

Para el año 2002 el principal comprador fue Arabia Saudita con el 88.0%, Bahrein con el 3.1% y USA con el 2.3%. (Guzmán, M., 2007)

Para el 2003 los principales consumidores fueron Arabia Saudita con 66.4%, USA con el 11.1%, Costa Rica con el 6.2% y Jordania con el 5.6%. (Guzmán, M., 2007)

Para el año 2004 los principales países que compraron el limón fueron Arabia Saudita con el 57.5%, USA el 12.7%, Bahrein con el 7.4% y Jordania con el 5.6%. (Guzmán, M., 2007)

Mientras que para el año 2005 los principales demandantes fueron Arabia Saudita con el 58.5%, USA con el 20.6%, Bahrein con el 7.5 y los Emiratos Árabes Unidos con el 6.3%, concluyéndose que el principal comprador es Arabia Saudita en todo el período analizado. (Guzmán, M., 2007)

Los países ubicados en el Medio Oriente, utilizan grandes cantidades de especias, hierbas y productos deshidratados para condimentar sus comidas. Entre ellas, particularmente el limón deshidratado, ya sea entero o rayado. Los usos que este producto tiene, son para darle un toque de ácido a los tés, especialmente cuando se vende entero y usualmente se le abre un agujero para cuando se sumerja el té suelte su sabor. El limón deshidratado o en polvo se utiliza para condimentar comidas, especialmente el arroz y carnes. Es comúnmente utilizado para perfumar corderos. Así mismo, la cáscara de limón, también es deshidratada y se utiliza para la industria de la pectina y usos medicinales. (MAGA, 2007)

Para Guatemala, Arabia Saudita, es el mercado principal para el limón Criollo deshidratado, este ha aumentado desde los años 70 en forma consistente y es el mayor mercado de alimentos y bebidas en el Medio Oriente. (MAGA, 2007)

F. Mercado local

Gran parte de la producción de limón Criollo se comercializa en el mercado local, especialmente en el CENMA y La Terminal zona 4, los mejores precios se encuentran en los meses de diciembre a marzo, considerando la estacionalidad del cultivo y a los requerimientos de demandantes. (Guzmán, M., 2007)

G. ALTERNATIVAS DE INDUSTRIALIZACIÓN ACTUAL

1. Deshidratación. El proceso deshidratado consiste en reducir la cantidad de agua, obteniendo una humedad entre el 4 y el 12 por ciento, alcanzada mediante la remoción de la humedad de las frutas por medios mecánicos y calentamiento artificial bajo condiciones controladas de temperatura, humedad y flujo de aire, el

término deshidratación se refiere al uso de secadores con aire forzado y energía solar para evaporar la humedad de la fruta por lo general el término se refiere a la eliminación de humedad en una sustancia. (Guzmán, M., 2007)

El mercado del limón deshidratado es para exportación a países de Omán, Yemen, Arabia Saudita, Katar, Kuwait y Líbano y la parte que no cumpla con las especificaciones del mercado se puede convertir en polvo para la realización de un té por infusión y frío, para mercado local). (Guzmán, M., 2007)

Ventajas:

- Disminuye el peso y volumen de la fruta, vegetal, raíz y grano haciendo así más fácil su transporte con reducción de costo del mismo.
- Permite regular el mercado en los períodos de sobre producción.
- Alarga la vida útil del producto.
- Logra que el consumo se prolongue durante todo el año.

(Guzmán, M., 2007)

2. Extracción de aceites esenciales. El aceite esencial obtenido se clasifica como aceite crudo, el cual es altamente cotizado en el mercado nacional e internacional, ya que sirve de materia prima, al refinarlo (es decir descomponerlo en sus componentes), en la industria de perfumes, en la industria de bebidas con sabores cítricos, en la industria de los helados y en la industria de la confitería en y en la industria farmacéutica. (Guzmán, M., 2007)

El aceite esencial, como producto terminado, se puede comercializar como aceite esencial crudo o bien como aceite esencial refinado, este último, lógicamente tiene mayor valor agregado que el aceite esencial crudo. (Guzmán, M., 2007)

a. Producción y aplicaciones. Los aceites esenciales se obtienen por uno de los métodos siguientes: arrastre en una corriente de vapor, extracción con solventes volátiles, expresión a mano o a máquina, proceso en el cual se utiliza grasa como solvente. Actualmente los aceites esenciales sintéticos u obtenidos de fuentes naturales por cualquiera de esos cuatro métodos, se purifican normalmente por destilación fraccionada al vacío. (Guzmán, M., 2007)

Los aceites esenciales se utilizan para dar sabor y aroma al café, el té, los vinos y las bebidas alcohólicas. Son los ingredientes básicos en la industria de los perfumes y se utilizan en jabones, desinfectantes y productos similares. También

tiene importancia en medicina, tanto por su sabor como por su efecto calmante del dolor y su valor fisiológico. (Guzmán, M., 2007)

b. Descripción del método

1) Arrastre con vapor de agua. El proceso de obtención de aceite

esenciales por el método de arrastre con vapor de agua directo que se aplica en la planta piloto de extracción, consiste en lo siguiente: el vapor de agua se introduce directamente al extractor por la parte inferior y una vez establecido el equilibrio, el vapor vivo forma con el aceite esencial, contenido en la planta vegetal, un sistema no miscible. El aceite esencial se calienta por medio de vapor de agua proveniente de la caldera y es desalojado del tejido vegetal mezclándose con el vapor de agua. Después de mezcla vapor-aceite esencial se hace pasar por la superficie fría de un condensador de concha y tubos, donde se condensa obteniéndose una mezcla de hidrato, gomas, aceite esencial y pectinas), en un vaso florentino, en donde se forman dos fases líquidas, una aceitosa, rica en aceite esencial y otra acuosa. Esta última se llama hidrolato y es rica en agua. Posteriormente, ambas fases se pueden separar por decantación manual o bien decantación automática. (Guzmán, M., 2007)

III. JUSTIFICACIÓN

En Guatemala se producen dos variedades principales de limón: limón Persa (*Citrus aurantifolia*) y limón Criollo (*Citrus aurantifolia* S.). Ambas variedades se complementan de manera natural para satisfacer las demandas del mercado, tanto internacional como internacional.

La producción de este fruto varía según la época del año y el mercado en el que se comercialice, por lo que muchos productores han visto la necesidad de buscar alternativas para procesar el limón de diversas formas con el objetivo de un mayor aprovechamiento del cultivo en las temporadas altas y poder tener este fruto en todas las épocas del año en diferentes presentaciones ya que las oportunidades de mercado y comercialización de Guatemala son grandes debido a la riqueza de este fruto en nuestro país.

El departamento que cuenta con la mayor producción de limón en Guatemala es Escuintla (17%) seguido de Santa Rosa (16%), Suchitepequez (11%), Retalhuleu (11%), El Progreso y San Marcos (7%), Alta Verapaz (6%) y Zacapa (5%).

El comportamiento de la producción de limón en Guatemala muestra un aumento en su volumen, con un promedio anual de 99,025 toneladas métricas y una tasa de crecimiento del 11%. Se considera que el aumento en la producción, tiene su causa en la migración de productores de café hacia el cultivo del limón.

En Guatemala, el consumo de limón persa se dedica a su consumo en fresco y a la exportación, mientras el limón Criollo está destinado al abastecimiento del mercado nacional, a causa de su mayor preferencia por parte de los consumidores y para el mercado del Medio Oriente, como limón Criollo deshidratado.

El limón es un producto que presenta muy poca elasticidad, esto quiere decir que cuando el precio baja el consumo no aumenta en la misma proporción, es por esta razón que las plantas deshidratadoras sirven de regulador del precio, pues en la época de mayo a noviembre aumenta la producción significativamente y si no fuera por las deshidratadoras el producto se perdería porque el mercado en fresco nacional y centroamericano no estaría en la capacidad de aumentar sus niveles de consumo, aunque el precio del producto sea bajo o casi regalado. Es por esto que es

importante desarrollar nuevas alternativas post cosecha que ayuden a disminuir la pérdida de la producción de limón actualmente.

En los últimos años Guatemala se ha colocado como el segundo país exportador en Centro América de frutos como el limón a países como Estados Unidos con un porcentaje de exportación de 0.6% y actualmente desea ampliar su mercado a países Europeos, los cuales desean utilizar el limón en diferentes productos, por lo que los productores y exportadores guatemaltecos deben aplicar tecnologías post-cosecha para cumplir con los estándares de calidad que pide el mercado. El mercado de destino más importante para el limón producido en Guatemala es Estados Unidos (55%), seguido de Arabia Saudita (21%), El Salvador (8%), Costa Rica (4%), Bahrein (3%) y Jordania (2%).

Por lo anteriormente mencionado, es importante determinar otras alternativas de procesos para aprovechar la capacidad de producción de limón que tiene nuestro país aplicando la tecnología post-cosecha, con los cuales se pueda dar opciones a los productores de limón de comercializar su producto, y abarcar mayores mercados ya que actualmente se presenta una diversidad de población lo que provoca un cambio en la tendencia de consumo.

IV. OBJETIVOS

A. General

Desarrollar diversos productos a partir del limón Criollo para promover su agroindustrialización.

B. Específicos

1. Caracterizar físicamente el limón Criollo.
2. Obtener y caracterizar funcionalmente el jugo de limón.
3. Determinar y evaluar la vida de anaquel de jugo de limón.
4. Obtener fibra a partir de cáscara de limón Criollo.
5. Caracterizar funcionalmente la fibra, obtenida a partir de cáscara de limón.
6. Obtener pectina a partir de cáscara de limón Criollo.
7. Caracterizar funcionalmente la pectina, obtenida a partir de cáscara de limón.

V. HIPÓTESIS

Es posible desarrollar diferentes alternativas de procesamiento para la agroindustrialización del limón Criollo en Guatemala.

VI. MARCO TEÓRICO

A. Origen del producto

Los cítricos se originaron hace unos miles de años en el sudeste asiático. Desde entonces hasta ahora han sufrido numerosas modificaciones debidas a la selección natural y a hibridaciones tanto naturales como producidas por el hombre. (Ciba-Geigy, 1975)

La dispersión de los cítricos desde sus lugares de origen se debió fundamentalmente a los grandes movimientos migratorios: conquistas de Alejandro Magno, expansión del Islam, cruzadas, descubrimiento de América, etc. El limonero fue introducido por los árabes en el área mediterránea entre los años 1.000 a 1.200, siendo descrito en la literatura árabe a finales del siglo XII. (Ciba-Geigy, 1975)

En Guatemala se reporta el cultivo de los cítricos desde la época de la Colonia, introducidos por religiosos españoles. A principios del presente siglo solo se contaban con plantaciones de cítricos a nivel de huertos familiares; en la década de los años 30's se inician las primeras fincas de cítricos en la zona del sur occidente del país; en los años 50's se introducen materiales de mejor calidad y de alto rendimiento provenientes de California (USA); y en los años 70's ANACAFÉ y el MAGA, ejecutan el proyecto de diversificación para las zonas cafetaleras del país, introduciendo materiales de California (USA), solo que esta vez materiales certificados contra las principales enfermedades del tipo viral. (MAGA, 2007)

1. Clasificación botánica. El limón Criollo o lima (*Citrus aurantifolia* S.), está considerado dentro del grupo de limas ácidas, es un árbol de porte medio con alturas de 3 a 5 metros, posee espinas simples en las axilas de las hojas que suelen caer cuando las ramas son viejas, hojas unifoliadas, delgadas, con pecíolo más o menos a lado, la floración más o menos continua, ya que es el cítrico más tropical junto al pomelo, por lo que se puede jugar con los riegos para mantener el fruto en el árbol hasta el verano, ya que es la época de mayor rentabilidad. (MAGA, 2007)

Los cítricos se componen de un exocarpio llamado flavedo, que contiene las sustancias responsables del color exterior de la fruta y glándulas oleíferas con sesquiterpenos que protegen a la fruta de los insectos y microorganismos. Debajo del flavedo existe un mesocarpio blanco esponjoso llamado albedo. (Kimball, D.; 1999)

Las flores son solitarias o en pequeños racimos, los estambres son en número de cuatro, el disco nectario es pequeño, ovario subglobuloso y bien diferenciado del estilo. Los frutos son bayas (hesperidios), formados de segmentos que contienen semillas. (MAGA, 2007)

2. Requerimientos climáticos. Para un desarrollo adecuado de las plantaciones de limón Criollo (*Citrus aurantifolia* S.), se requieren suelos bien drenados, profundos, con un contenido de materia orgánica de 2 a 4%, y con pH de 6 a 7. Así como con altitudes entre 50 a 1,500 msnm, precipitaciones de 900 a 1,2000mm de lluvia al año y temperaturas de 12 a 28° C, desarrollándose mejor a 30° C; este ultimo factor es considerado como uno de los más importantes debido a que de él, depende una adecuada brotación, floración, cuaje y calidad de frutos. Ver Cuadro 13. Apéndice 5. (Ciba-Geigy, 1975)

Hay que reconocer que no siempre se encuentran reunidas en un sitio todas las condiciones de clima y suelo ideales, esto no quiere decir que determinada especie de cítrico no puede cultivarse en aquellas zonas donde no se presenten una o más características favorables, lo que sucede en la mayoría de los casos. En el caso de establecer plantaciones con clima y suelo desfavorables, se tendrá que incurrir en gastos y cuidados especiales para poder compensar los daños ocasionados por factores negativos. (Ciba-Geigy, 1975)

Las condiciones climáticas en conjunto o por sí solas pueden afectar marcadamente la producción, tanto en cantidad como en calidad; dentro de éstas podemos mencionar:

a. Humedad relativa (HR). Conjuntamente con la temperatura funciona como regulador y es considerado decisivo para la producción del cultivo, aunque este se puede adaptar a condiciones extremas, esto quiere decir que en algunas etapas fenológicas del cultivo pueda afectar (brotación, floración, cuaje, crecimiento y calidad de fruta). Es de mucha importancia su conocimiento, debido a su relación con condiciones favorables al desarrollo de ciertos fitopatógenos (plagas y/o enfermedades). (Willis, R., MacGlasson, B., Graham. D. & Joyce, D., 1998)

b. Precipitación. Los requerimientos del cultivo en cuanto a precipitación van de 900 a 1,200mm de lluvia/año, y bien distribuida. El efecto de la lluvia esta en el aporte de humedad al suelo y es el medio de transporte de nutrientes, pudiéndose sustituir por aplicaciones de riego. En nuestras condiciones climáticas y específicamente en épocas de sequía (estrés hídrico), seguidas de la época lluviosa, son las que inducen a la floración. Se ha determinado que se requieren aproximadamente 30 días de sequía total, para poder inducir una floración aceptable. (Willis, R., MacGlasson, B., Graham. D. & Joyce, D., 1998)

c. Luz solar. La luz solar es importante para el desarrollo y calidad del fruto, es por ello que se recomienda al inicio del establecimiento de la plantación y durante su mantenimiento, efectuar podas de formación, permitiendo de esta manera una ventilación y penetración de los rayos solares de manera uniforme, mejorando con ello, la cantidad y calidad del fruto. (Willis, R., MacGlasson, B., Graham. D. & Joyce, D., 1998)

d. Viento. Estos por lo general influyen negativamente sobre las plantaciones, ya que los vientos excesivos provocan la caída de flores, frutos, y rozaduras de frutos con ramas. De ocurrir, es necesario establecer barreras rompevientos, reduciendo de esta manera los daños a la plantación. (Willis, R., MacGlasson, B., Graham. D. & Joyce, D., 1998)

e. Reacción del suelo (pH). Es importante considerar el pH, ya que esto determinará la necesidad de hacer correcciones en el suelo, evitando así la formación de compuestos insolubles, toxicidades para la planta y determinar el tipo de patrón a desarrollar. (Willis, R., MacGlasson, B., Graham. D. & Joyce, D., 1998)

B. Aspectos importantes de la cosecha y postcosecha

1. Determinación de la madurez para la cosecha. Los productos listos para ser cosechados, la madurez indica el momento en que la planta ha completado su crecimiento activo (crecimiento vegetativo) y ha llegado al estado de floración y producción de semillas (madurez fisiológica), por consiguiente la madurez para la cosecha es el estado en el que el producto puede ya cosecharse y en su cálculo debe tenerse en cuenta el tiempo necesario para hacerlo llegar al mercado y el tipo

de manipulación a que será sometido por el transporte. (Willis, R., MacGlasson, B., Graham. D. & Joyce, D., 1998)

2. Determinación de la madurez para la cosecha de los cítricos. A

continuación se presentan los requerimientos para determinar la madurez del fruto:

- **Visual:** Color, forma, tamaño
- **Tacto:** Textura, dureza o blandura
- **Olfato:** Olor y aroma
- **Gusto:** Dulzura, acidez, amargo
- **Resonancia:** Sonido producido al palmear el producto

(Ciba-Geigy, 1975)

3. Forma técnica: Registro del tiempo transcurrido desde la floración hasta la cosecha. Propiedades físicas como forma, tamaño, peso específico, peso, cantidad de jugo por fruto, espesor de la piel, la dureza etc.; Propiedades Químicas, sólidos solubles y acidez titulable. (Ciba-Geigy, 1975)

4. Técnicas de recolección. En los países productores de cítricos, la mayoría de los productos destinados a los mercados urbanos internos y de exportación se cosechan a mano, si esta recolección se hace correctamente, causa menos daños al producto que en forma mecanizada. (Frutales y bosques, Biblioteca Práctica Agrícola y Ganadera, 1995)

C. Factores de post-cosecha que inciden en el manejo y calidad

1. Factores físico-químicos. Es difícil calcular las pérdidas de producción en los países en desarrollo, pero algunas autoridades estiman las pérdidas de los cítricos en no menos del 50%, la mitad de lo que se cultiva. (MAGA, 2007)

Las causas a las cuales se les atribuyen estas pérdidas son:

2. Pérdidas debidas al carácter perecedero de los productos. Todas las frutas, hortalizas y raíces son parte de plantas vivas que contienen de un 65 a un 95% de agua y cuyos procesos vitales continúan después de la recolección. (AGEXPRONT, 2003)

Cuando se agotan las reservas de alimentos y de agua, el producto muere y se descompone. Las pérdidas causadas por los cambios fisiológicos normales se intensifican cuando intervienen condiciones que aceleran el proceso natural de deterioro, como altas temperaturas, baja humedad atmosférica y daños físicos. (AGEXPRONT, 2003)

La manipulación negligente del producto fresco es causa de magulladuras internas que dan lugar a un deterioro fisiológico anormal o a hendiduras y grietas de la piel, que aumentan rápidamente la pérdida de agua y acelera el proceso normal de modificaciones fisiológicas. Las grietas en la piel también propician las infecciones por los organismos patógenos causantes de la descomposición. (AGEXPRONT, 2003)

3. Selección. Se realiza generalmente de manera manual sobre mesas de selección o bandas transportadoras. Durante esta operación se eliminan productos y partes inadecuadas para el procesamiento y en algunos casos se clasifica por tamaño y calidad. (MAGA, 2007)

4. Clasificación. Para el comercio internacional, se han establecido normas y los grados de las normas se basan en la sanidad, firmeza, limpieza, tamaño, peso, color, condición, forma, madurez y ausencia de materias extrañas, enfermedades y daños de insectos, así como de daños mecánicos. (MAGA, 2007)

Las tres categorías generales establecidas por un protocolo de clasificación pueden ser las clases "extra" es calidad superior poseyendo la forma y color de la variedad y sin defectos internos que puedan afectar su textura y sabor inherentes; con una tolerancia del 5 %. (MAGA, 2007)

Los requisitos para la clase "primera" son casi los mismos que para la clase "extra" excepto que tiene una tolerancia del 10 %. Se admiten frutos con ligeros defectos, de forma, color y defectos menores de la corteza. (MAGA, 2007)

Los productos de la clase "segunda" pueden tener algunos defectos externos e internos siempre que sean adecuados para consumirse frescos. (MAGA, 2007)

5. Empaque.

a. Protección de la calidad y reducción de desperdicio. El empaque apropiado puede proteger a los productos frescos del ambiente (luz del sol, humedad). La prevención de magulladuras y raspaduras es de importancia capital ya que los productos dañados son rechazados por los compradores. Los recipientes deben tener la resistencia suficiente para soportar el apilamiento y el impacto de la carga y descarga sin que se magullen o lesionen los productos delicados. (AGEXPRONT, 2003)

Estos recipientes pueden requerir el empleo de forros, acolchonados, charolas o envolturas de papel para impedir daños por el contacto con superficies ásperas o las unidades de producto adyacente. Los cortes ocasionados por lados filosos pueden ocasionar serias pérdidas de calidad por pudrición y escurrimiento subsiguiente. (AGEXPRONT, 2003)

El empaque puede reducir las pérdidas de humedad (pérdidas se peso) y así impedir la deshidratación en especial si se emplean materiales que forman barreras para el vapor de humedad, aspecto, la textura y la comercialización. (AGEXPRONT, 2003)

a. Daños que sufren los productos empacados.

1) Lesiones: Cortes o perforaciones, impactos (golpes), compresión (apretujamiento o aplastamiento), vibraciones. (Willis, R., MacGlasson, B., Graham. D. & Joyce, D., 1998)

2) Condiciones ambientales: Por el calor, enfriamiento o congelación, humedad y el agua, luz. (Willis, R., MacGlasson, B., Graham. D. & Joyce, D., 1998)

3) Otras causas: Contaminación química, insectos, personas y animales. (Willis, R., MacGlasson, B., Graham. D. & Joyce, D., 1998)

6. Transporte. Es un factor importante en la comercialización del producto fresco, con frecuencia el más determinante. (AGEXPRONT, 2003)

7. Daños físicos. Pueden producirse por varias razones:

- Manipulación poco cuidado del producto embalado al cargarlo y descargarlo.
- Vibración (sacudidas) del vehículo, especialmente por carreteras en mal estado.
- Conducción demasiado rápida y mal estado del vehículo.
- Apilamiento incorrecto de la carga, que hace que oscile durante el transporte y pueda llegar a derrumbarse.
- Formación de pilas demasiado altas.

(Frutales y bosques, Biblioteca Práctica Agrícola y Ganadera, 1995)

D. Consideraciones técnicas

1. Índices de cosecha. Un contenido mínimo de jugo por volumen de 28 a 30% dependiendo del grado de clasificación; color: limones cosechados en el estado verde oscuro tienen la mayor vida de postcosecha, mientras que aquellos cosechados completamente amarillos deben ser comercializados de manera más rápida. (Willis, R., MacGlasson, B., Graham. D. & Joyce, D., 1998).

2. Índices de calidad. Intensidad y uniformidad del color; tamaño, forma, suavidad de la cáscara, firmeza, ausencia de pudriciones y ausencia de defectos incluyendo daño por congelamiento, deshidratación, daño mecánico, manchas en la cáscara, "pintas rojas", marchites y decoloración. (Willis, R., MacGlasson, B., Graham. D. & Joyce, D., 1998).

3. Temperatura óptima. Las temperaturas adecuadas son de 12-14° C (54-57° F) dependiendo del cultivar, grado de madurez a la cosecha, zona productiva, y duración del almacenaje y transporte (puede ser hasta 6 meses). (Willis, R., MacGlasson, B., Graham. D., & Joyce, D., 1998).

4. Humedad relativa óptima. La humedad relativa óptima se encuentra entre los rangos de 90-95%. (Willis, R., MacGlasson, B., Graham. D. & Joyce, D., 1998).

5. Efectos del etileno. Si se desea el desverdecimiento, los limones pueden ser tratados con 1-10ppm de etileno por 1-3 días entre 20 a 25° C (68-77° F), pero esta exposición puede acelerar la tasa de deterioro e incidencia de pudriciones. (Willis, R., MacGlasson, B., Graham. D. & Joyce, D., 1998).

6. Efectos de las Atmósferas Controladas (AC). La Atmósfera Controlada de 5-10% O₂ y 0-10% CO₂ pueden retrasar la senescencia de los limones, incluyendo la pérdida de color verde. Niveles fungistáticos de CO₂ (10-15%) no son utilizados porque pueden inducir el desarrollo de sabores indeseables, debido a la acumulación de compuestos volátiles de la fermentación, especialmente si los niveles de O₂ están por debajo del 5%. La remoción del etileno del lugar de almacenaje de los limones puede reducir la tasa de senescencia e incidencia de pudriciones. (Willis, R., MacGlasson, B., Graham. D. & Joyce, D., 1998).

E. Fisiopatías

1. Daño por frío. Los síntomas incluyen depresiones, manchado de las membranas internas, y pintas rojas. La severidad depende del cultivar, zona productiva, fecha de cosecha, grado de madurez a la cosecha, duración y temperatura de las operaciones de postcosecha. Niveles moderados a severos de daño por frío son usualmente seguidos de pudriciones. (Timmer. L., Garnsey, S. & Graham. J., 2002)

2. Manchas oleosas (Oleocelosis). La ruptura de las células oleosas debido a stress físico sobre las células turgentes provoca la liberación del aceite, el cual daña los tejidos circundantes. Evitar cosechar limones cuando están muy turgentes y un manejo cuidadoso reduce la severidad de este desorden. (Timmer. L., Garnsey, S. & Graham. J., 2002)

3. Desórdenes patológicos. Para llevar a cabo esta actividad se listan las principales acciones a realizar. (Timmer. L., Garnsey, S. & Graham. J., 2002)

a. Moho verde. Es causado por *Penicillium digitatum*, el cual penetra la cáscara de la fruta a través de heridas. Los síntomas comienzan como zonas acuosas en la superficie del fruto, seguido por el crecimiento de un micelio blanco, y luego la esporulación (color verde). (Timmer. L., Garnsey, S. & Graham. J., 2002)

b. Moho azul. Es causado por *Penicillium italicum*, el cual penetra la piel (sin heridas) y puede expandirse hacia limones adyacentes. Los síntomas son similares al moho verde excepto que las esporas son azules. (Timmer. L., Garnsey, S. & Graham. J., 2002)

c. Alternaria. Es causado por *Alternaria citri* el cual penetra en los limones a

través de los botones. Tratamientos de precosecha con ácido giberélico o de postcosecha con retrasan la senescencia de los botones y subsecuente pudrición por *Alternaria*. (Timmer. L., Garnsey, S. & Graham. J., 2002)

4. Estrategias de control.

- Manipulación cuidadosa durante la cosecha y operaciones posteriores para minimizar cortes, rasguños y magulladuras.
- Tratamientos de postcosecha con fungicidas y/o agentes biológicos.
- Rápido enfriamiento al rango de temperaturas adecuado.
- Mantener rangos óptimos de temperatura y humedad relativa, y excluir el etileno durante el transporte y almacenaje.
- Sanitización efectiva durante todo el sistema de manejo.

(Timmer. L., Garnsey, S. & Graham. J., 2002)

F. Posibilidades de agroindustrialización del limón

Los cítricos son las frutas más populares para obtener bebidas naturales; el sabor de los mismos se encuentra entre los más apetecidos a nivel mundial. (Murillo, O., 2000) La fruta cítrica es bastante compleja. Está compuesta por una cáscara gruesa que le proporciona protección contra los daños. La superficie exterior se conoce como el pericarpio o flavelo y contiene el aceite y los pigmentos de la cáscara. Seguidamente está la capa blanca esponjosa llamada mesocarpio, que es rica en pectina. El jugo interior que contiene el endocarpio está dividido en varios segmentos donde se encuentran los sacos de jugo individuales y las semillas, si las hay. Por último hay un centro esponjoso o placenta. Cada una de estas partes presenta problemas especiales y oportunidades en el procesamiento. (Murillo, O., 2000)

G. JUGO DE LIMÓN.

En el mercado, el principal producto que se puede encontrar derivado del limón es el jugo del mismo. (Murillo, Olga, 2000)

Los posibles productos que se pueden obtener son los siguientes:

- Jugo de limón natural refrigerado
- Jugo concentrado congelado

- Jugo aséptico
- Jugo de limón pasteurizado y refrigerado

(Murillo, O., 2000)

El proceso básico que se aplica al limón es la obtención de su jugo y la concentración y congelación del mismo para lograr conservarlo por más tiempo. (Murillo, O., 2000)

1. Descripción del proceso.

a. Jugo de limón refrigerado. Se obtiene de la extracción del jugo de la fruta, envasado y refrigerado inmediatamente antes que actúen las enzimas que le pueden cambiar su sabor y hacerlo amargo. Los envases deben estar completamente limpios y toda el área de trabajo también, para evitar que el producto se contamine. También es importante el tipo de manipulación que se le dé. Esta es la única manera de conservar el sabor original del jugo en caso que se quiera utilizar en la elaboración de otros productos en los cuales así se requiera, por ejemplo en ceviche, refresco envasado, té frío con jugo natural de limón, etc. La cadena de frío debe mantenerse en todo momento, hasta llevarlo al lugar de venta, donde también debe tener temperaturas de refrigeración. Es importante recalcar que este producto no ha recibido ningún tipo de tratamiento térmico ni tiene aditivos que puedan evitar el deterioro del mismo una vez empacado. Por lo tanto, al ser el enfriamiento el único método para evitar su deterioro, esta debe ser permanente hasta que el producto es usado por el consumidor. (Murillo, O., 2000) El proceso de extracción del jugo debe hacerse con el equipo adecuado, evitando la extracción del zumo de la cáscara (aceites esenciales) que le pueden impartir un sabor amargo. (Murillo, O., 2000)

b. Jugo de limón pasteurizado y refrigerado. Se obtiene de la extracción del jugo de la fruta, el cual se pasteuriza aplicando calor a una temperatura y por un tiempo determinado. El tiempo y la temperatura de pasteurización deben determinarse en forma práctica, ya que debe ser el suficiente para eliminar las enzimas que le pueden dar el sabor amargo y eliminar la carga microbiana. Pero no debe ser extremo ya que el sabor del jugo cambiaría mucho y probablemente no sea aceptado por el consumidor quien probablemente esté acostumbrado a consumirlo fresco, por la disponibilidad del mismo en el mercado. Se recomienda conservarlo en refrigeración para no tener que añadir aditivos preservantes. La cadena de frío

también debe mantenerse en todo momento, inclusive en el lugar de venta. (Murillo, O., 2000)

Las técnicas de proceso también deben hacerse con la mayor higiene posible para evitar la contaminación del producto y deterioro posterior al envasado. (Murillo, O., 2000)

c. Jugo congelado. Este producto es el mismo jugo que ha sido extraído y pasteurizado con los cuidados necesarios para no alterar su sabor original. Se empaqueta en bolsas o recipientes plásticos y se congela; no se usan aditivos pues el producto se conserva por congelación. Lo que sí es importante es que se mantenga la cadena frío para evitar que se descongele y que todo el proceso se haga con la higiene necesaria, para tener un producto final de buena calidad. (Murillo, O., 2000)

d. Concentrado congelado. Este producto es el mismo jugo pasteurizado con los cuidados necesarios para no alterar su sabor original. Posteriormente se aplica un proceso de concentración, en el cual se evapora parte del agua natural que contiene, concentrándolo hasta aproximadamente 55° Brix. Es muy importante el control de tiempo y temperatura para que no se afecten las propiedades sensoriales del producto; por lo general se hace a baja presión, para utilizar bajas temperaturas. Esto requiere el uso de equipos sofisticados. Luego del concentrado el jugo se almacena por un corto tiempo, para recibir un tratamiento de preenfriado y llevarlo a temperaturas bajo cero (-10 ° C), antes de ser depositado en tanques de suficiente capacidad o en el envase final (estañones de 200 litros) y llevado a bodegas o furgones que lo mantienen a esa temperatura (escarchado). (Murillo, O., 2000)

e. Jugo aséptico. La tecnología aséptica es considerada una tecnología de punta. Se basa en la conservación de un producto a temperatura ambiente sin el uso de aditivos químicos. Se aplica un tratamiento térmico a temperaturas ultra altas por tiempos cortos, posteriormente se envasa asépticamente, en envases también asépticos y en un ambiente con iguales características. (Murillo, O., 2000)

Estas condiciones permiten tener un producto que conserva muchas de sus propiedades originales, y no contiene preservantes químicos. Además, tienen una vida útil de más de seis meses a temperatura ambiente. Los empaques que se utilizan permiten empaquetar el producto en grandes volúmenes, hay máquinas

llenadoras que trabajan con bolsas estériles capaces de almacenar desde 300kg hasta 1000 kg. Esto es importante para efectos de exportación. (Murillo, O., 2000)

La inversión que se debe hacer para este tipo de proceso es muy alta, se recomienda para grandes volúmenes de producción y se necesita mano de obra más especializada que la que normalmente se utiliza para los procesos convencionales. (Murillo, O., 2000)

2. Actividad enzimática en jugos. En los alimentos ocurren cambios de calidad, esto pueden ser resultado de tres tipos de reacciones entre el alimento y el medio ambiente u ocasionado por la composición química de alimentos:

- Microbiológicas
- Enzimáticas y
- Cambios químicos no enzimáticos.

(Murillo, O., 2000)

Es conocido que las enzimas pueden ocasionar cambios dañinos en frutas a temperatura ambiente y bajos niveles de humedad. Por esta razón algunas frutas deben ser conservadas por tratamiento térmico, congelamiento o deshidratación para inactivar a las enzimas en los alimentos. (Murillo, O., 2000)

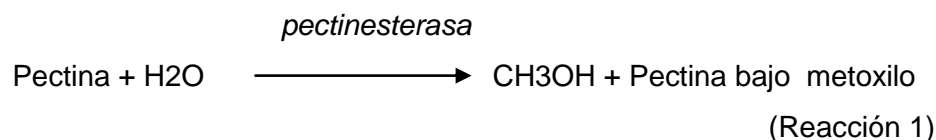
Los cambios bioquímicos involucrados en la maduración de frutas tropicales se encuentran asociadas a la actividad de algunas enzimas como la polifenoloxidasas, pectinesterasa, poligalacturonasa y peroxidasa. Su acción a nivel de los tejidos del fruto, varía según el grado de maduración, y da lugar a una serie de características de calidad fisicoquímica de importancia, para la fruta fresca como procesada. Algunas de estas enzimas causan problemas en la apariencia, color, olor, sabor, textura, etc., de las pulpas y como consecuencia en los productos terminados, dando lugar a una calidad comercial defectuosa. (Murillo, O., 2000)

Por ejemplo la poligalacturonasa (PG) y pectinesterasa (PE), están involucradas con la degradación de pectinas, además de afectar viscosidad y textura del producto, la lipoxigenasa (LOX), contribuye al desarrollo de sabores desagradables en diversos productos y la polifenoloxidasas (PPO), es responsable del oscurecimiento. (Murillo, O., 2000)

a. Pectinesterasa. Uno de los principales problemas en la industria de jugos

de fruta es mantener la turbidez en los jugos. La pérdida de nube en los jugos es iniciada por la reacción enzimática de la pectinesterasa (PE), la cual se encuentra distribuida principalmente en frutas y hortalizas. (Murillo, O., 2000)

La pectinesterasa cataliza la desesterificación del ácido galacturónico en pectinas, liberando metanol; es decir hidroliza los ésteres metílicos de la pectina atacando la cadena de la pectina desde el extremo reductor a partir de grupos carboxilo libres y de manera lineal pasa a través de la molécula dejando bloques sucesivos de residuos de ácido galacturónico con grupos carboxilo libres, lo que provoca la liberación de metanol. Al tener un número mayor de grupos carboxilo libres pueden interaccionar con iones divalentes como el calcio y magnesio formando estructuras rígidas, lo que origina una mayor firmeza en el tejido. (Fennema, O., 1996)



(Fennema, O.; 1996)

En jugos, lo anterior no es deseable ya que las pectinas de bajo metoxilo pueden agregarse y sedimentarse originando pérdidas de la nube del jugo, la acción de la pectinesterasa, aumenta la susceptibilidad de la pectina a una posterior degradación por la poligalacturonasa, esto ocurre porque esta enzima actúa en los segmentos de la cadena de pectina que han sido desmetilados por la pectinesterasa, la poligalacturonasa rompe la cadena del ácido poligalacturónico de la pectina y reduce la longitud promedio de las cadenas pectínicas, lo que genera una reducción en la viscosidad de los jugos. (Murillo, O., 2000)

La pectinesterasa es importante en la industria cítrica porque es el agente causante de la clarificación de jugos y gelación de concentrados congelados. En frutas, la pectinesterasa existe normalmente en dos o más isoformas, cada una contiene una cadena simple de polipéptidos, con un punto isoeléctrico entre 7 y 11. Para prevenir cambios no deseados durante la vida de anaquel por enzimas, las pulpas y jugos de frutas son sometidos a algún tipo de tratamiento térmico, como: esterilización comercial y pasteurización. En investigación se han reportado de resistencia térmica de las enzimas en frutas y hortalizas, demostrando que a altas temperaturas y cortos tiempos de procesamiento la inactivación enzimática asegura también la destrucción de microorganismos. (Fennema, O., 1996)

La inactivación de pectinecterasa se da en un intervalo de temperatura de 75 – 95° C y la optimización corresponde a tiempos cortos de tratamiento y temperaturas $\geq 85-87^\circ$ C. (Versteeg, Rombouts & Pilnik, 1979)

La actividad de la pectinesterasa se ve reducida notablemente a un pH de 2.5. (Eagerman & Rouse, 1976). Se ha demostrado que la inactivación de la pectinesterasa depende del pH del jugo, con un incremento en su inactivación a pH bajo; también se ha reportado que esta enzima es muy estable a pH alto, especialmente a un pH de 7.0. (Marshall, Marcy & Braddock, 1985)

b. Inactivación enzimática. La presencia de enzimas es causa de pérdida de calidad durante la vida de anaquel del producto como oscurecimiento enzimático, pérdida de nube, degradación en color, aroma y sabor entre otros atributos por lo que es necesario inactivarlas. Uno de los métodos más empleados es la aplicación de calor, las temperaturas de inactivación de las enzimas varían entre 40 y 130° C. (Murillo, O., 2000)

En la destrucción de enzimas por calor influyen la temperatura y el tiempo de tratamiento. A temperaturas bajas la destrucción enzimática es mayor que la de los microorganismos, en cambio a temperaturas altas sucede lo inverso y se inactivan de manera más rápida los microorganismos. (Murillo, O.; 2000)

3. Efecto del calor sobre la degradación de atributos sensoriales y nutricionales. Las reacciones físicas y químicas que ocurren durante el tratamiento químico pueden ser deseables o indeseables, estos cambios están influenciados por el tiempo y temperatura del proceso, la composición y propiedades del alimento (pH, contenido de iones metálicos, etc.) y condiciones ambientales (cantidad de luz, disponibilidad de oxígeno, entre otros). (Fennema, O., 1996)

En los jugos y néctares de frutas uno de los intereses es conservar las características organolépticas por lo que se requiere poca cocción, ya que una cocción inadecuada puede ocasionar efectos indeseables sobre el sabor, olor y otros factores de calidad, las causas pueden ser las siguientes:

- Oscurecimiento no enzimático causado por reacciones de Maillard entre aminoácidos y azúcares reductores, como consecuencia pueden

producir alteraciones en el sabor y olor de las frutas sometidas a tratamiento de pasteurización. (Fennema, O., 1996)

- Caramelización causada por el efecto del calor sobre los azúcares y otros compuestos que además de provocar coloraciones oscuras alteran el sabor y aroma. (Fennema, O., 1996)
- Oxidación y polimerización del ácido ascórbico, con el desarrollo de aromas y sabores impropios del alimento. (Fennema, O., 1996)
- Polimerización de aldehídos que provoca compuestos oscuros y sabores extraños. (Fennema, O., 1996)
- Degradación de vitaminas generalmente depende del pH y puede ser catalizada en presencia de metales (cobre, hierro y zinc), o enzimas. (Fennema, O., 1996)

La destrucción de nutrientes y vitaminas durante el tratamiento térmico, reduce el valor nutricional, por lo que es necesario conocer la cinética de destrucción y el orden de reacción para determinar las condiciones del proceso necesarias para minimizar este efecto. Un ejemplo es la degradación de vitamina C (ácido ascórbico), donde la pérdida de vitamina es por la conversión de L-ácido ascórbico a L-ácido deshidroascórbico con oxígeno, la reacción es catalizada por iones de metales particularmente Cu^{+2} , Fe^{+3} y Zn^{+2} . Entre las vitaminas termolábiles la tiamina es la más estable a la desnaturalización por calor, en investigaciones se ha encontrado que la cinética es de primer orden, aunque también se ha reportado cinéticas de segundo orden. (Fennema, O., 1996)

4. Control microbiológico en procesados de cítricos. La corteza de los cítricos es una barrera natural eficaz contra la mayor parte de los microorganismos, aunque los hongos que crecen en la superficie pueden, con el tiempo producir la descomposición de la fruta. Sin embargo si la corteza de la fruta está rota, se produce una rápida descomposición microbiana. (Nagy, S., Shaw, P., & Veldhuis, M., 1977)

La inspección de la USDA no permite que tras separar la fruta defectuosa de la mesa de clasificación, exista más de un 10% de fruta rota, y únicamente un 2% o

menos puede mostrar signos visibles de descomposición (color anormal o textura esponjosa). Además la fruta que se recibe en la planta generalmente pasa por algún tipo de proceso de eliminación de restos y lavado antes de su clasificación. (Kimball, D., 1999)

Como la mayoría de los zumos se pasteurizan en modernos evaporadores o pasteurizadores, la flora microbiana del zumo recién extraído rara vez tiene relación con la flora del zumo procesado. (Kimball, D., 1999)

A menudo la fruta se lava y aclara con agua que contiene de 15 a 20 ppm de cloro. La concentración de cloro se determina fácilmente mediante sistemas comerciales diseñados para medir el cloro en el agua, basados en la producción de un color amarillo debido a la reacción del cloro con O-tolidina. Puede ser necesario diluir las muestras de agua si la concentración de cloro es mayor que el máximo del intervalo previsto en el cuadro de comparación del kit. La clasificación y lavado de la fruta con agua clorada es generalmente más importante en climas más cálidos y húmedos o en las estaciones de más calor del año. La utilización de desinfectantes ha sido validada como medio para lograr la reducción de la carga de microorganismos patógenos en 5 órdenes de magnitud decimales (5 log) que permite evitar el requisito recientemente establecido en EEUU de incluir un mensaje de advertencia en zumos no pasteurizados en los que no se haya reducido suficientemente la carga microbiana. (Kimball, D., 1999)

5. Pasteurización. El tratamiento térmico más utilizado para reducir la actividad microbiana en los alimentos. Las bacterias, que son los microorganismos que proliferan con mayor facilidad en zumos cítricos recién extraídos, se reproducen por división celular cada 30 minutos en condiciones óptimas de medio y temperatura. (Kimball, D., 1999)

Las esporas de *Alicyclobacillus acidoterrestris*, un microorganismo no patógeno que produce un fuerte olor medicinal no deseado en zumos de frutas no concentrados con valores de pH de 2 a 7. (Kimball, D., 1999)

Las condiciones de pasteurización son de 65 a 77° C durante 30 segundos para zumo de limón o lima, también se ha comprobado la eficacia de una combinación de 85° C durante 1 segundo ó 74° C durante 16 segundos. Sin embargo, se necesitan

temperaturas de al menos 91° C para desactivar las pectinasas que pueden ocasionar la pérdida de turbidez y/ o la gelificación de los zumos. (Kimball, D., 1999)

En los sistemas asépticos se esteriliza el zumo con pasteurizadores de 10 a 15 segundos y esterilizan los envases de zumo con peróxido de hidrógeno antes de llenarlos. El envasado aséptico es menos frecuente en zumos de cítricos que en otros zumos, ya que el mayor contenido de aminoácidos de los zumos de cítricos puede favorecer el desarrollo de pardeamiento y defectos de sabor. El principal objetivo del envasado aséptico es minimizar o eliminar la necesidad de almacenamiento con refrigeración. Aunque en zumos de cítricos procesados con tratamiento aséptico la actividad microbiana es nula, es necesaria en todo caso la refrigeración para impedir el desarrollo de sabores y colores no deseables debidos a la oxidación de aminoácidos, ácido ascórbico y azúcares. (Murillo, O., 2000)

Los métodos de pasteurización no térmicos incluyen el tratamiento a alta presión, la exposición a la luz ultravioleta (UV), luz pulsada, campos eléctricos pulsantes, radiación gamma y filtración de alta eficiencia (ultrahigh filtration, UHF). Se está estudiando la posibilidad de utilizar altas presiones (400MPa durante 10 minutos a 40° C) como método alternativo no destructivo para la pasteurización y control de la actividad de la pectinasa de zumos sensibles al calor. Sin embargo, ya sea por el alto costo, o porque no se ha investigado aún lo suficiente o debido a efectos negativos sobre la calidad, en la actualidad, ninguno de estos métodos se está utilizando de forma generalizada. El tratamiento con altas presiones se considera demasiado caro. Se ha comprobado que los tratamientos con luz UV y luz pulsada alteran las características organolépticas del zumo. La filtración de alta eficiencia (UHF) es lenta y costosa, pero se está utilizando industrialmente como operación previa al desamarrado del zumo para separar la materia opaca y pulpa que obstruye las resinas de adsorción. (Murillo, O., 2000)

Un equipo de investigación de la universidad de Ohio informó en la reunión anual de 1998 de Institute of Food Technologists de EEUU que el zumo de naranja recién exprimido tratado mediante campo eléctrico pulsante (pulsed electric field, PEF) sufría un menor deterioro del sabor tras el almacenamiento en refrigeración durante seis semanas que el zumo sometido a tratamiento térmico. Según los investigadores, el zumo tratado mediante PEF almacenado durante ocho semanas a 4° C mantuvo el mismo sabor, color y contenido de vitamina C que el zumo fresco, pero sufrió deterioro microbiológico a las seis semanas. Sin embargo, la vida útil de zumo

sometido a un tratamiento térmico suave y PEF fue de 6 meses a 22° C. (Murillo, O., 2000)

La irradiación con rayos gamma es una técnica prometedora, pero puede generar preocupación en el público por la posible exposición accidental del medio ambiente a la irradiación, aunque la irradiación gamma que se necesita para destruir microorganismos patógenos es generalmente de tan baja intensidad que la preocupación por sus efectos sobre el medio ambiente no está justificada. (Murillo, O., 2000)

6. Efectos del frío. La refrigeración inmediata de zumos o concentrados pasteurizados no solo inhibe el crecimiento de los microbios que hayan sobrevivido al tratamiento, sino que además reduce la velocidad de las reacciones de oxidación. Los zumos no concentrados deben mantenerse a temperaturas próximas a 0° C y los concentrados se deben envasar y almacenar a -4° C ó menos. En los concentrados almacenados a temperaturas de este orden se produce una reducción sistemática de la flora microbiana con el tiempo. (Murillo, O., 2000)

7. Cambios en la composición nutraceútica de jugo de limón y degradación de ácido ascórbico en jugo de limón. Las frutas cítricas son una importante fuente de ácido ascórbico y flavonoides y son frecuentemente usadas en la industria para la extracción de flavonoides. Durante el procesamiento industrial de frutas que son utilizadas para obtener concentrados, jugos y néctares, pueden realizarse diferentes procesos de extracción que pueden alterar el contenido de estos compuestos en el producto final. (Kabasakalis, Siopidou, & Moshatou, 2000)

La degradación de ácido ascórbico es usualmente la responsable de importantes cambios en la calidad de diferentes productos durante su almacenamiento, lo cual limita su vida de anaquel, por la formación de compuestos intermedios inestables como furfural. (Robertson & Gerschenson, 1990). La degradación de ácido ascórbico se ha reportado que es mayor en reacciones que ocurren durante el almacenamiento de jugos cítricos. (Lee & Nagy, 1988)

Se observó que es notable el incremento en la tasa de degradación de ácido ascórbico causado por el incremento en la temperatura y concentración del jugo. La cantidad de sólidos solubles y acidez titulable no cambia significativamente durante el almacenamiento a 25, 35 y 45° C. (Al-Zubaidy & Khalil, 2006)

La pérdida de ácido ascórbico en jugo de limón a 9 y 50 ° Brix almacenado a 25, 35 y 45° C por 4 meses; indicaron que un incremento en la temperatura, produce una reducción de concentración de ácido ascórbico. Se ha sugerido que una temperatura relativamente baja puede reducir la degradación de ácido ascórbico durante el proceso. (Al-Zubaidy & Khalil, 2006)

En estudios realizados, no se ha observado ningún efecto significativo en los niveles de diferentes tipos de flavonoides en jugos de limón según el sistema de extracción utilizado. La cantidad de flavonoides y ácido ascórbico, varía según la variedad de limón utilizado. Por el contrario sí se ha observado diferencias significativas en la cantidad de aceites esenciales, dependiendo el tipo de sistema utilizado para la extracción, lo cual afecta en las características organolépticas de los jugos obtenidos. (Martínez, Uribealago, Castillo & Frutos, 2001)

H. FIBRA DIETÉTICA.

La cantidad de residuos obtenidos de frutas cítricas son acerca de un 50% de la cantidad original de la fruta entera. (Cohn & Cohn, 1997) El residuo es principalmente constituido por la cáscara (albedo y flavelo) la cual constituye casi un cuarto de la fruta completa, semillas y pulpa de fruta que queda después de la extracción de jugo y aceites esenciales y es utilizado generalmente para la obtención de pectinas y alimentos para animales. (Braddock, 1999)

Las fibras dietéticas no son solo deseables por sus propiedades nutricionales si no que también por sus propiedades funcionales y tecnológicas. La fibra de frutas tiene una buena calidad debido a su alto contenido de fibra soluble, su capacidad de retención de agua y aceite y su bajo contenido calórico. (Larrauri, 1999) Por otra parte, las frutas cítricas tienen una mejor calidad que otras fuentes de fibra dietética debido a la presencia de sustancias bioactivas (flavonoides y vitamina C) con propiedades antioxidantes, que pueden ejercer efectos de promoción de la salud mayor que el de fibra dietética en sí. (Gorinstein, 2001)

El limón posee el mayor potencial antioxidante entre las frutas cítricas y es la fibra dietética más adecuada para la prevención de enfermedades cardiovasculares y otras enfermedades. (Gorinstein, 2001)

Las recomendaciones para la obtención de fibra a partir de limón son: moler la cáscara de limón, lava con agua caliente para producir una fibra con alta capacidad de retención de agua, lavar y secar fibra de limón. (Laurrauri, 1999)

El lavado previo al secado aumenta la reducción de la actividad de agua, mejora la preservación de la fibra, considerando que el pH y la materia seca no se ven afectados. El lavado aumenta considerablemente la capacidad de retención de agua en la fibra probablemente porque se da la remoción de azúcares. (Laurrauri, 1999)

La capacidad de retención de agua es mayor en la fibra con un tamaño de partícula mayor a 0.9mm, al igual se ha determinado que la capacidad de retención de agua disminuye cuando disminuye el tamaño de partícula. (Borroto, Laurrauri & Criterio, 1995)

La capacidad de retención de agua es depende del proceso y también de la estructura química y física, y es también relacionada con el contenido de fibra dietética soluble presente. Debido al alto contenido de fibra soluble en fibras cítricas, la molienda en seco afecta su estructura rompiendo los poros y aumentando su densidad y disminuyendo su capacidad de retención de agua. Se ha reportado que un aumento en el tamaño de partícula de la fibra dietética está asociado con una reducción en la capacidad de retención de agua y aceite. (Sangnark & Noomhorm, 2003)

La alta capacidad de retención de agua del polvo de fibra de limón sugiere que puede ser utilizado como un ingrediente funcional para reducir la sinéresis, modificar la textura y viscosidad y reducir calorías en los alimentos. La fibra que se obtiene de la cáscara de limón una buena calidad funcional y microbiológica, así como puede proveer características fisicoquímicas favorables para ser utilizada en formulaciones de alimentos como carne, lácteos y productos de panadería. (Sendra, García, Fuentes, Sayas, Fernández & Pérez, 2003)

I. PECTINA CÍTRICA.

La pectina es un coloide por excelencia que tiene la propiedad de absorber una gran cantidad de agua. Pertenece al grupo de los polisacáridos y se encuentra en la mayoría de los vegetales, especialmente en frutas como naranja, toronja, limón y limonzón. La pectina se deposita principalmente en la pared primaria y en la lámina

media, siendo los tejidos mesenquimáticos y parenquimáticos particularmente ricos en dicha sustancia, teniendo la función de cemento intercelular. (Kimball, D., 1999)

La pectina juega un papel fundamental en el procesamiento de los alimentos como aditivo y como fuente de fibra dietética. Los geles de pectina son importantes para crear o modificar la textura de compotas, jaleas, confites y productos lácteos bajos en grasa. Es también utilizada como ingrediente en preparaciones farmacéuticas como antidiarreicos, desintoxicantes, entre otros. Además, ésta reduce la intolerancia a la glucosa en diabéticos e incluso bajan el nivel del colesterol sanguíneo y de la fracción lipoproteica de baja densidad. (Kimball, D., 1999)

Para fines industriales, la fuente de obtención se restringe principalmente a las cáscaras de frutos cítricos conteniendo cerca del 25% de sustancias pécticas y del bagazo de manzana rindiendo alrededor del 15-18% de pectina. Otras fuentes de pectina incluyen conchas de mango, residuos de girasol, guayaba, entre otros. (Kimball, D.; 1999)

Por otra parte, las propiedades físicas (tiempo de gelificación) y químicas (contenido de metoxilo, contenido de ácido galacturónico, grado de esterificación y viscosidad) en la molécula de pectina son función de la naturaleza de la planta, del estado de maduración y de la metodología de extracción, estableciéndose variaciones en cuanto al contenido y calidad de pectina. (Kimball, D., 1999)

1. Estructura de pectinas. La pectina es un polisacárido constituido, en su mayor parte, por 150-500 unidades de ácido galacturónico unidos por uniones α -(1 \rightarrow 4) cuyos residuos se encuentran parcialmente esterificados con grupos metoxilo (región lineal). La cadena que constituye el esqueleto contiene también restos de L-ramnosa y está ramificada con cadenas laterales compuestas mayoritariamente por β -Dgalactopiranososa y α -L-arabinofuranosa (región no lineal). (Fennema, O., 1996)

La molécula, en solución, adopta una conformación curvada con gran flexibilidad. Dicha flexibilidad está dada por las regiones no lineales. (Fennema, O., 1996)

Las pectinas se clasifican, según su grado de metilación (DE o DM), en:

- Pectinas de alto grado de Metilación (HM): DE > 50%
- Pectinas de bajo grado de Metilación (LM): DE < 50%

(Fennema, O., 1996)

2. Geles de pectina. Los dos tipos de pectinas de alto y bajo grado de metilación (HM y LM) gelifican bajo condiciones completamente distintas. Las pectinas de alto grado de metilación (HM) gelifican en condiciones de bajo pH y alta concentración de sólidos solubles, mientras que, a medida que disminuye el grado de metoxilación de las pectinas, disminuye la capacidad de gelificación bajo estas condiciones y aumenta la habilidad de gelificar con iones divalentes (generalmente Ca^{+2}). (Fennema, O., 1996)

Lo anterior se puede explicar de acuerdo al mecanismo de gelificación de las distintas pectinas. (Fennema, O., 1996)

Las pectinas son hidrocoloides, fuertemente hidratados, que se encuentran en solución; las moléculas de agua están unidas por enlaces de hidrógeno a los grupos hidroxilo de la cadena polimetilgalacturónica. Además, las moléculas pécticas tienen cargas eléctricas (negativas) que les permiten estirarse, aumentando la viscosidad de la solución, y rechazarse entre sí, manteniendo las moléculas en estado disperso. (Fennema, O., 1996)

Las pectinas totalmente esterificadas contienen 16.32% de radical metoxilo, calculado sobre base seca y libre de cenizas la sustancia péctica. Comercialmente se establece un límite del 7% de contenido en metoxilo para distinguir con el nombre de pectinas de alto contenido en metoxilo, las que contienen por encima de dicho valor y pectinas de bajo contenido en éster a las otras. (Guagnini, O, 2005)

a. Pectinas alto grado de metilación (HM). En las pectinas HM a un pH cercano a 3, el 90 % de los grupos ácidos disponibles se encuentran no disociados y, por lo tanto, son capaces de formar enlaces por puentes de hidrógeno con grupos ácidos o hidroxilos de cadenas adyacentes. Estos enlaces son débiles y los geles pécticos de este tipo se caracterizan por una gran plasticidad. Además del pH, es necesario adicionar un co-soluto, como la sacarosa, para disminuir la actividad del agua; el agua se encuentra entonces menos libre para solvatar la molécula de polisacárido. Por lo tanto, la sacarosa aumenta la interacción hidrofóbica entre los grupos éster metílico permitiendo la formación de zonas de unión estables. (Fennema, O., 1996)

Existen condiciones de equilibrio entre el contenido de pectina, de azúcar y el pH fuera de las cuales no es posible la formación del gel. (Fennema, O., 1996)

Condiciones generales para la obtención de gel HM:

- $1 < \text{PH} < 3,5$
- $55\% < \text{Sólidos solubles} < 85\%$
- Pectina = 0.5 %

(Fennema, O., 1996)

Un pH excesivamente bajo puede provocar una gran inversión de la sacarosa añadida, con peligro de cristalización de glucosa, gelificación demasiado rápida con formación de grumos, sabor excesivamente ácido y sinéresis. (Fennema, O., 1996)

Si la concentración de sólidos es menor al 55% o el pH es mayor a 3,5 no se obtendrá un gel pero puede llegar a obtenerse un aumento de viscosidad. (Fennema, O., 1996)

b. Pectinas bajo grado de Metilación (LM). El mecanismo de gelificación de estas pectinas se basa en la unión de grupos carboxilo con cadenas adyacentes a través de iones divalentes, generalmente calcio o magnesio. (Fennema, O., 1996)

Condiciones generales de gelificación:

- $1 < \text{PH} < 7$ (afecta la textura)
- $0\% < \text{Sólidos solubles} < 85\%$
- Requiere calcio

(Fennema, O., 1996)

c. Reactividad con el calcio. Dependiendo del grado de metoxilación de las pectinas LM, éstas serán más o menos reactivas con el calcio: cuanto menos metoxiladas están las pectinas, mayor será su reactividad con el Ca^{+2} . Esto significa que necesitan menor concentración de Ca^{+2} para obtener un buen gel. Este hecho se fundamenta estadísticamente: a mayor número de grupos ácido a lo largo de la cadena existe mayor probabilidad que los iones divalentes ocupen los sitios de unión correctos. (Fennema, O., 1996)

d. Sólidos solubles. La cantidad de Ca^{+2} necesaria para formar un buen gel

depende también de la cantidad de sólidos solubles. En general se puede decir que a medida que aumenta la concentración de sólidos solubles disminuyen los requerimientos de calcio necesario para la obtención del gel, pero, a su vez, se hace más estrecho el rango de concentración óptima de calcio. (Fennema, O., 1996)

3. Obtención de pectinas y propiedades químicas de las pectinas. Las pectinas se encuentran principalmente en las paredes celulares y los espacios intercelulares de los tejidos vegetales. Están ligadas frecuentemente a la celulosa, especialmente en las paredes celulares, bajo la forma de un complejo insoluble en agua llamado protopectina. (Fennema, O., 1996)

La pectina comercial se obtiene a partir de pulpa de manzana y de frutos cítricos. Los procedimientos de fabricación se basan en una hidrólisis, separación y recuperación. Se hidroliza la protopectina en medio ácido diluido, en caliente, removiendo así, no solo la pectina, sino también, otros productos tales como polisacáridos neutros y gomas. A continuación las materias insolubles se separan por prensado y filtración. El extracto péctico transparente se precipita en alcohol. Luego se purifica el coagulo fibroso obtenido por lavados sucesivos con solución hidroalcohólica. La pectina fibrosa se prensa, se seca bajo vacío, se muele y luego se criba. El grado de esterificación final, depende de la temperatura, del pH y de la duración del tratamiento ácido. (Kimball, D., 1999)

La extracción de pectina de frutos, principalmente cítricos, mediante hidrólisis ácida es el principal y más utilizado procedimiento industrial de obtención de ésta, a pesar que en los últimos años se están realizando estudios de extracción de pectina por métodos enzimáticos y microbiológicos. (Untiveros, G., 2003)

La hidrólisis ácida puede ser inducida por varias alternativas, después de realizar un análisis técnico - económico se opta por utilizar ácido cítrico en el proceso. (Untiveros, G., 2003)

Los procesos esenciales para producir pectina de calidad, son: control de calidad de la materia prima, hidrólisis ácida, evaporación, secado y molienda. (Untiveros, G., 2003)

Con el proceso desarrollado, hidrólisis ácida, se logra obtener una pectina que cumple con los requerimientos de mercado, esto es: porcentaje de metoxilos, grado

de gelificación, peso equivalente y porcentaje de ácido galacturónico; el proceso presenta un buen rendimiento económico. (Untiveros, G., 2003)

a. Descripción del Proceso. La pectina es una sustancia de origen vegetal, presente en las plantas, principalmente en sus frutos, su característica principal es ser un gelificante natural. El método más conocido para obtener pectina es la hidrólisis ácida, el cual consiste en someter a las cáscaras a una cocción en medio ácido, posterior filtración y purificación, con lo cual se logra separar la pectina presente del resto de compuestos de las cáscaras, para luego secarla y molerla hasta tener un fino polvo listo para comercializarlo. (Untiveros, G., 2003)

Actualmente se conocen varios métodos de obtención de pectina, a escala industrial el más utilizado es la hidrólisis ácida. Por esta razón se prueba este método con algunas modificaciones hasta obtener un proceso sencillo, se puede utilizar varios ácidos como el sulfúrico, tartárico y cítrico, y se ha llegado a la conclusión que el último reactivo es el más conveniente por varios factores, incluyendo el económico. (Untiveros, G., 2003)

El proceso de obtención de pectina, consta de las siguientes etapas:

Selección de la materia prima. Preferentemente, la fruta a utilizarse debe ser sana, la madurez debe ser intermedia, la corteza no debe presentar magulladuras y partes en estado de descomposición; esto permite tener un buen rendimiento y buena calidad de pectina. (Untiveros, G., 2003)

Lavado. Durante 10 minutos con agua a 60 °C se somete a las cáscaras a un lavado, para eliminar sustancias solubles en agua caliente, las cuales perjudican sus características organolépticas, es decir, puede la pectina adquirir mal sabor y olor. (Untiveros, G., 2003)

Inactivación bacteriana. Durante 3 minutos con agua a 100° C se somete a las cáscaras a este proceso, para controlar la proliferación de microorganismos que pueden degradar la materia prima. (Untiveros, G., 2003)

Hidrólisis ácida. A las cáscaras se las somete a una hidrólisis ácida, durante 80 minutos aproximadamente, se adiciona agua acidulada (pH = 2, utilizando ácido cítrico), en una relación cáscaras / agua acidulada de 1/3, a 85° C y agitación

constante de 400rpm. Proceso en que la protopectina (insoluble en agua) presente en la materia prima se transforma en pectina (soluble en agua), que luego es fácilmente separada del resto de componentes insolubles de la materia prima (celulosa especialmente). Es importante mencionar que para realizar la hidrólisis ácida se utiliza agua desmineralizada, con el propósito de eliminar especialmente los iones calcio, los cuales tienen un efecto negativo en el rendimiento del proceso. (Untiveros, G., 2003)

Evaporación. El producto del proceso anterior, se somete a evaporación y tiempo suficiente para evaporar el 75 % de la carga inicial. Se controla rigurosamente la temperatura, no debe superar los 65° C ya que la pectina es muy susceptible de degradación a temperaturas altas, para lo cual es necesario trabajar en condiciones de vacío; la pectina líquida así obtenida se la puede envasar y comercializar directamente. (Untiveros, G., 2003)

Secado. Controlando de igual manera la temperatura, 65° C, y tiempo suficiente para secarla totalmente, se obtiene pectina sólida, para esta operación se utiliza un secador de bandejas y se trabaja en condiciones de vacío. (Untiveros, G., 2003)

Molienda. La pectina seca es sometida a un proceso de molienda, que se realiza en un molino de bolas hasta pulverización total, para tener un producto semejante al importado. (Untiveros, G., 2003)

Las operaciones de secado y molienda, antes descritos, se los debe realizar en forma continua y envasarlos lo más rápidamente posible, en recipientes herméticamente sellados, para así evitar la oxidación y humedecimiento de la pectina, ya que ésta es fácilmente oxidada y altamente higroscópica, o sea, adquiere humedad del medio ambiente de forma casi inmediata. (Untiveros, G., 2003)

4. Propiedades químicas de las pectinas

Las pectinas son hidrocoloides que en solución acuosa presentan propiedades espesantes, estabilizantes y sobre todo gelificantes. Son insolubles en alcoholes y disolventes orgánicos corrientes y parcialmente solubles en jarabes ricos en azúcares. (Kimball, D., 1999)

a. Dispersabilidad-solubilidad. La disolución en agua de las pectinas en polvo tiene lugar en tres etapas: Dispersión, hinchado y disolución.

Para la dispersión del polvo es necesaria una fuerte agitación a fin de separar bien los gránulos de pectina e impedir la formación de grumos que serían posteriormente insolubles. (Kimball, D., 1999)

Una vez dispersada, la pectina necesita tiempo más o menos largo (función de la temperatura, de la concentración, de la dureza del agua, etc.) para hidratarse: es la etapa de hinchado. Por ejemplo para una pectina HM 150 SAG, se dispersa en una solución al 4% en agua fría o tibia. (Kimball, D., 1999)

Finalmente cuando las moléculas han fijado una cantidad suficiente de agua, entre 15 y 25 veces su propio peso según las condiciones de trabajo, se obtiene una solución homogénea. (Kimball, D.; 1999)

b. Propiedades de las disoluciones. A temperatura ambiente y a su propio pH, (2,8-3,2) las pectinas son tanto mas solubles en agua cuanto mayor es su grado de esterificación. Las disoluciones que se obtienen presentan un carácter aniónico (carga negativa) que puede comportar incompatibilidades en la formulación de algunos productos alimenticios. (Kimball, D., 1999)

La viscosidad de la solución depende de:

- La concentración y la temperatura,
- El peso molecular y el grado de esterificación de la pectina,
- La presencia de electrolitos en el medio,
- La dureza del agua, especialmente en las pectinas de bajo metoxilo.

(Kimball, D.; 1999)

Este grado de esterificación determinará el comportamiento de las pectinas junto a los ingredientes necesarios para la gelificación. Es así que las pectinas con alto metoxilo necesitan para formar geles contar con una concentración mínima de sólidos solubles y un valor de pH que oscila entre un rango relativamente estrecho. (Kimball, D., 1999)

El peso molecular de la pectina, que depende directamente de la longitud de la cadena molecular, influirá en la solidez del gel producido, es decir del poder gelificante de la pectina. (Kimball, D., 1999)

Este poder se ha convenido expresarlo en los grados SAG. Estos grados se definen como: número de gramos de sacarosa que en una solución acuosa de 65 °

Brix y un valor de pH 3,2 aproximadamente, son gelificados por un gramo de pectina, obteniéndose un gel de una consistencia determinada. (Kimball, D., 1999)

Los grados SAG de una determinada pectina extraída de una fruta como la manzana o cáscaras de cítricos, varían principalmente según el grado de madurez de la fruta, del proceso de extracción y condiciones de almacenamiento de la pectina obtenida. (Kimball, D., 1999)

Las disoluciones de pectina son estables en medio ácido (pH: 2,5 a 4,5) incluso a temperaturas elevada; por el contrario sufren una rápida degradación en medio alcalino. (Kimball, D., 1999)

Las enzimas pectolíticas degradan las soluciones de pectina. Según el tipo de enzima se producirá una reacción diferente que afectará el grado de esterificación o su peso molecular y con esto su poder gelificante. (Kimball, D., 1999)

Estas pectinas encuentran su mayor empleo en la preparación de mermeladas cuando las frutas con las cuales se preparan a nivel industrial poseen un bajo contenido en pectinas. (Kimball, D., 1999)

Las pectinas que se pudieran conseguir en el mercado varían en su grado de esterificación y en algunos casos ya llevan incorporadas cantidades de sales de calcio para ser utilizadas con valores de pH y sólidos solubles precisos. La extensión del campo de empleo, desde pH=2,5a 6,5 y ° Brix=0-80%, permite obtener una amplísima gama de productos interesantes para la industria de alimentos, de dulces, cosmética, farmacéutica, etc. (Kimball, D., 1999)

La dosis de pectina, que generalmente se determina por pruebas con pequeñas cantidades de materias primas disponibles, está normalmente comprendida entre 0.3 y 2% del peso final del producto. Las modalidades de empleo práctico no difieren de las empleadas con pectinas de alto metoxilo, para estas hay que tener un máximo cuidado en su perfecta disolución para la completa utilización del poder gelificante. (Kimball, D., 1999)

Estas pectinas también tienen un amplio rango de temperaturas para la gelificación el cual oscila entre 38 y 100 ° C. (Kimball, D., 1999)

5. Empleo de la pectina. El empleo de la pectina como gelificante ha sido muy extenso debido a las características de las pectinas de bajo metoxilo, de los pectatos y ácidos pépticos, para formar geles con calcio o iones equivalentes, sin o casi sin la presencia de azúcar. (Untiveros, G., 2003)

Con estas pectinas se hallan geles que encuentran interesantes aplicaciones no solo en la industria alimentaria, sino también en la farmacéutica y cosmética, para la preparación de pastas y cremas gelificadas, como dispersante y en general para reducir la presencia de azúcar. (Untiveros, G., 2003)

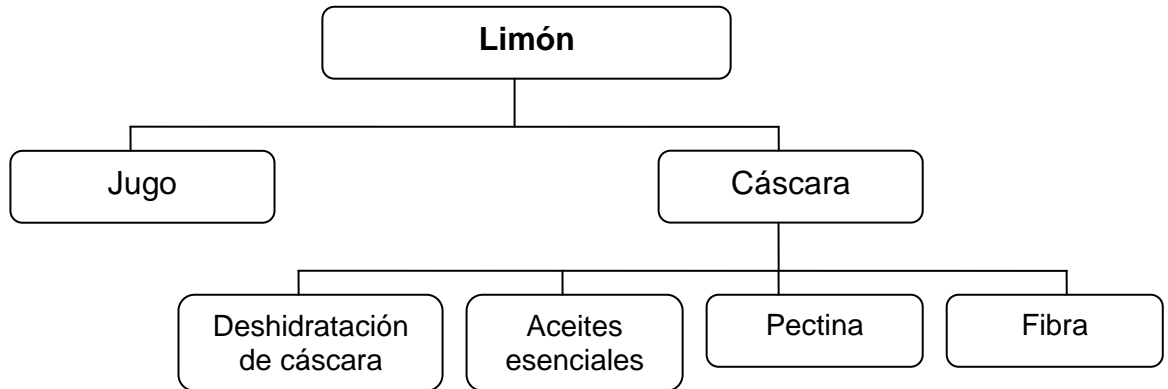
En muchos casos además, el empleo de las pectinas de bajo metoxilo es facilitado por la baja temperatura de fusión de los geles obtenidos y por su capacidad de retomar el aspecto primitivo, después de la fusión. (Untiveros, G.; 2003)

Las pectinas de bajo metoxilo y sus sales (pectinatos) son utilizados en la industria alimentaria para la preparación de pudines de leche, geles de jugos de fruta o mezclas de frutas, geles para rellenos de pastelería, mermeladas para bizcochería y mermeladas con contenido de sólidos inferiores al 55%. (Untiveros, G., 2003)

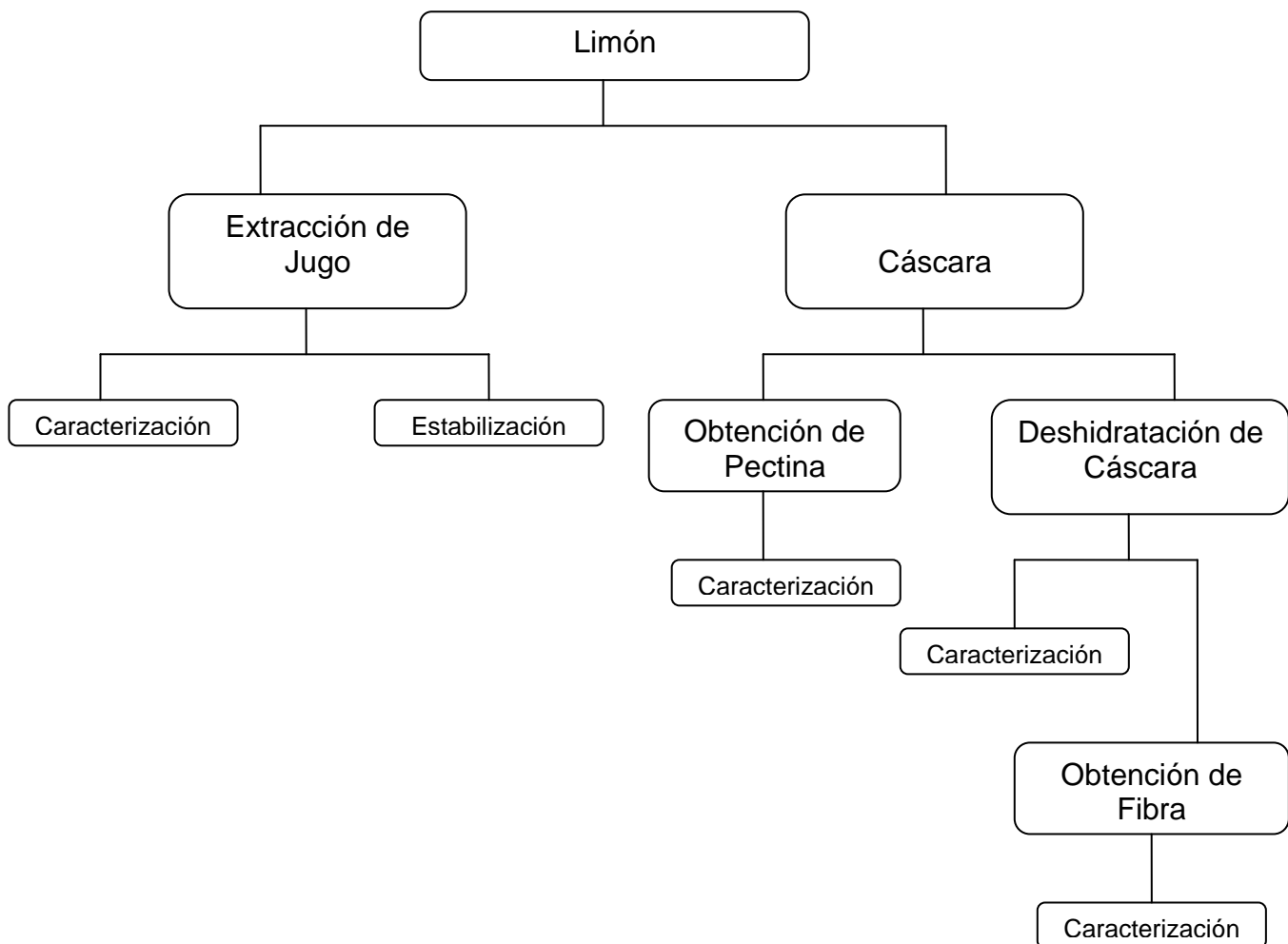
VII. DISEÑO EXPERIMENTAL

A. METODOLOGÍA

Alternativas de procesamiento de limón para su industrialización

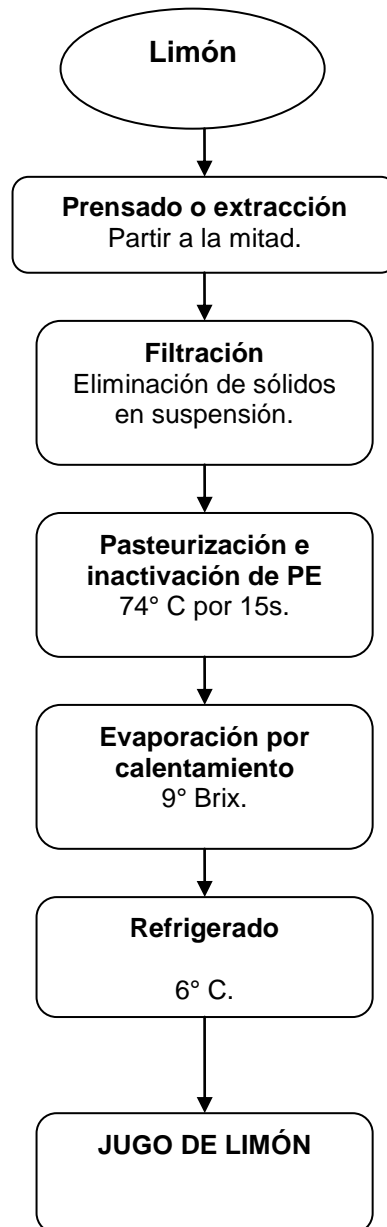


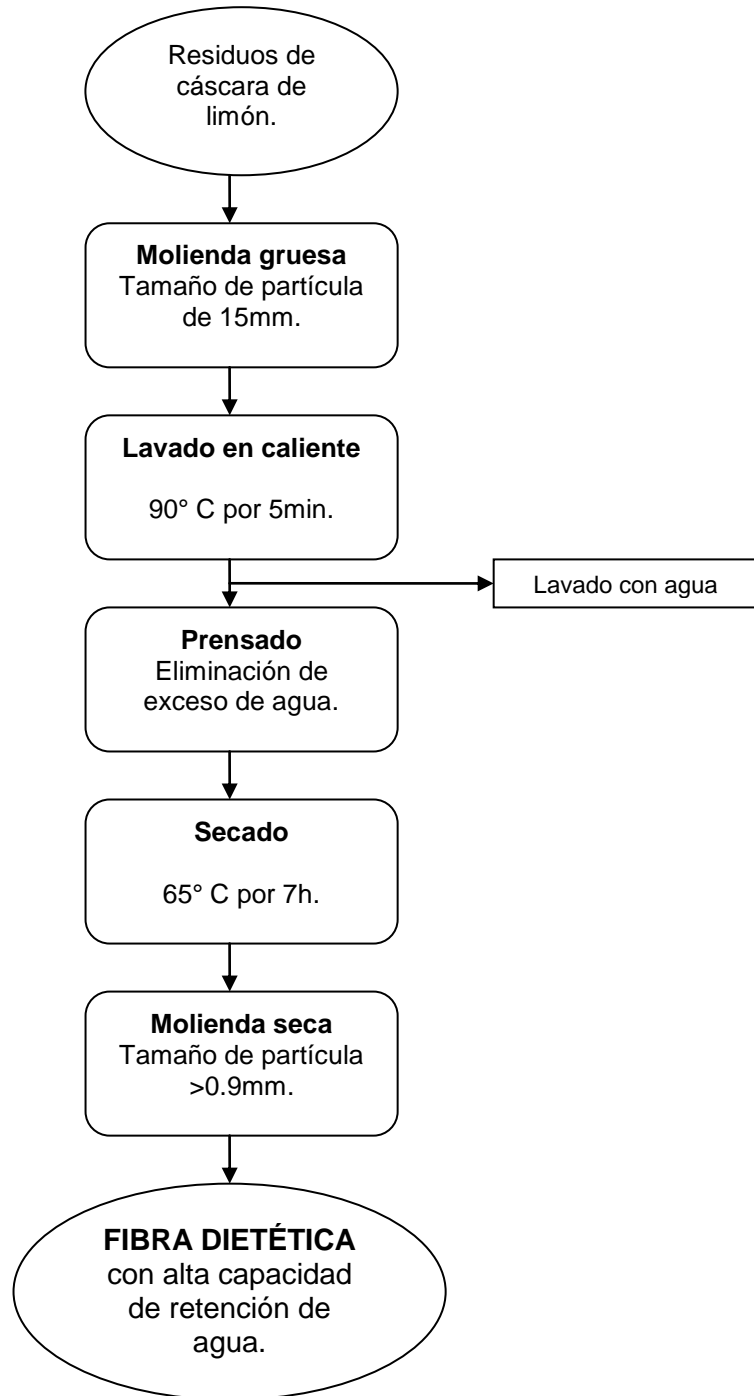
Productos a realizar a partir de limón Criollo



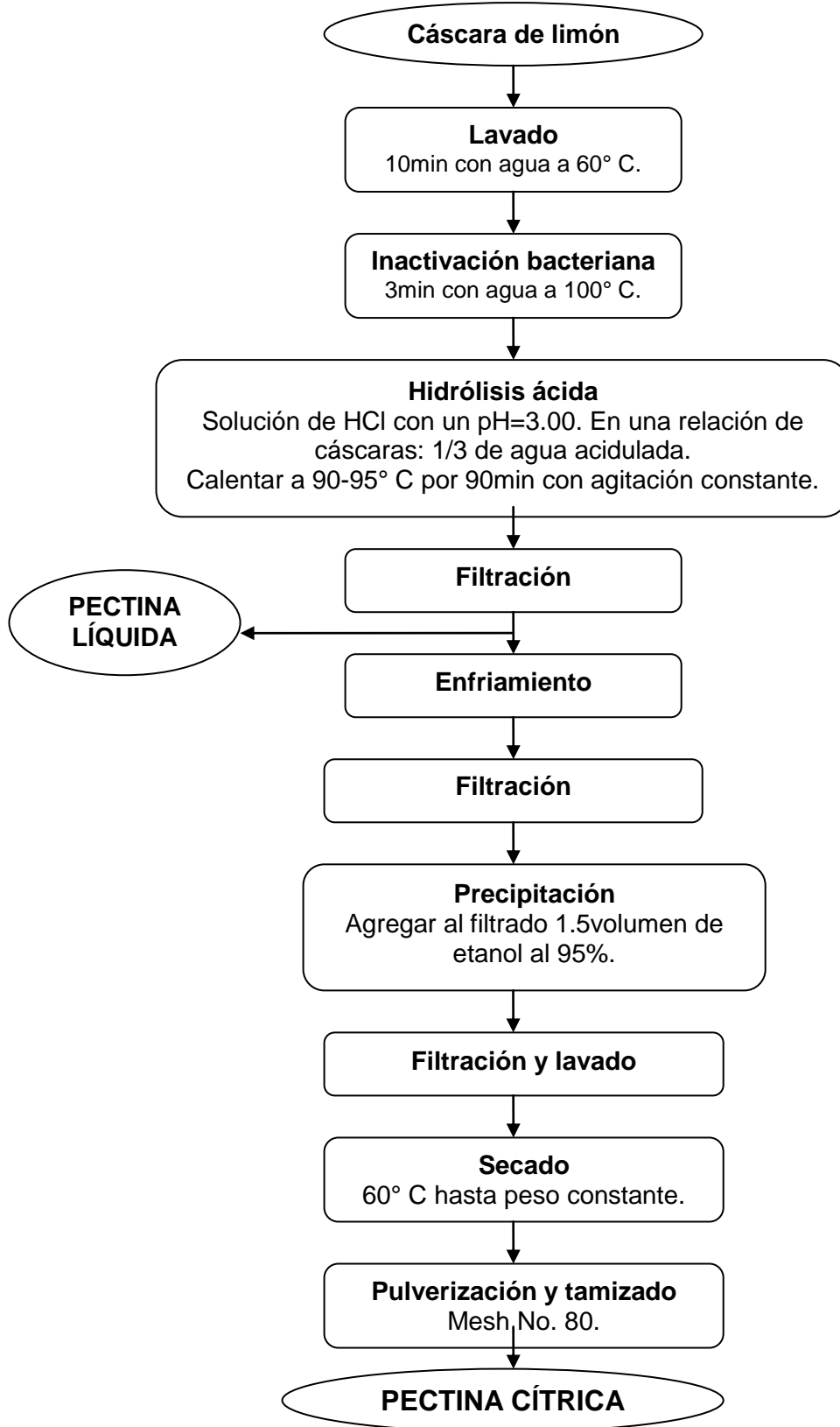
Metodología para la elaboración de diferentes productos a partir de limón Criollo.

A. Obtención de jugo de limón



B. Obtención de fibra dietética

C. Obtención de Pectina Cítrica



1. Caracterización del Física de Limón Criollo.

Se caracterizó determinando los siguientes parámetros:

- Forma: Se determinó la forma por medio de la medición de altura y diámetro utilizando un vernier.
- Peso: Se determinó utilizando una balanza analítica por medio de lectura directa, se determinará el peso de individualmente.
- Cantidad de jugo por unidad: Se determinó el peso de cada unidad, para luego exprimir cada unidad para obtener jugo, el cual se midió por medio de una probeta volumétrica.
- Determinación de color: Se determinó por medio de cartas de color.

2. Caracterización de jugo de limón

- Determinación de sólidos solubles. Se determinó utilizando un refractómetro realizando la medición a 20° C.
- Determinación de pH. Se determinó con un pH-metro calibrado con dos soluciones tampón de valores de pH 7.0 y 4.0. Se realizaron las mediciones en triplicado.
- Determinación de acidez. Se determinó por medio de una titulación con NaOH 0.1N, utilizando fenolftaleína como indicador. Se expresó como porcentaje de ácido cítrico y se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\%acidez = \frac{N \times V \times 0.064}{v} \times 100$$

Donde:

N = normalidad de la solución de NaOH usado para titular

V = volumen de la solución de NaOH usado para titular

v = volumen de la muestra

0.064 = meq del ácido cítrico

- Determinación de viscosidad en el tiempo. Se determinó por medio de consistómetro, mediante la relación de grados Bostwick, que determinan la distancia que recorre el líquido en un tiempo de 30 segundos.

Por medio de viscosímetro Bookfield, se midió inmediatamente después de la extracción, luego a temperatura de refrigeración 6° C y luego de 4 semanas de almacenamiento.

- Actividad de Pectinesterasa. Se determinó la actividad de pectinesterasa en base al método de pH estático reportado por Argaiz (1996) con algunas modificaciones. Consistió en pesar 10mL de muestra y centrifugar a 4600rm. De la fase líquida se tomó una alícuota de 6mL y se mezcló con el mismo volumen de una solución de pectina al 1%, ajustada previamente a pH 7. Posteriormente se ajustó el pH de la mezcla a 7 y se dejó en agitación por 30 minutos. Finalmente se midió el pH y se tituló con una solución de NaOH 0.0004N hasta alcanzar un pH de 7.

Los resultados se expresaron como unidades de pectinesterasa UPE/mL (meq/min-mL) donde la actividad de la enzima se expresa como microequivalentes de éster hidrolizados durante el tiempo de tratamiento por gramo de jugo. La actividad de la enzima pectinesterasa se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{UPE/mL} = \left(\frac{v * \frac{N}{1000}}{t * a} \right) \times 10^6$$

Donde:

v = volumen de la solución de NaOH usado para titular

N = normalidad de la solución de NaOH usado para titular

t = tiempo de agitación

a = alícuota

- Determinación de vida de anaquel. Se determinó por un tiempo de cuatro semanas, en las cuales se determinó las características fisicoquímicas: pH, sólidos solubles, acidez, viscosidad y actividad de pectinesterasa.

- Vida de anaquel acelerada. Se determinó por medio de la cuantificación de la degradación de ácido ascórbico a un 50% de este, por medio del método de titulación con 2,6-dicloroindofenol del jugo de limón pasteurizado almacenado a 5° C y 25° C.

El proceso de titulación fue el siguiente:

- a. Se colocaron 50mg de ácido ascórbico estándar en 50mL de solución extractora, o una solución de concentración de 1mg de ácido ascórbico en un mililitro de solución extractora (ácido metafosfórico con ácido acético y agua destilada).
- b. De la solución anterior se tomaron 2mL y se le agregan 5mL de solución extractora, el volumen final de 7mL se titula con la solución preparada de 2,6 dicloroindofenol. El valor aproximado teórico debe ser alrededor de 15 ml.
- c. A continuación se usaron 2 ml de la solución estándar de ácido ascórbico, y se le agregan 5 ml de solución extractora, para después agregar el mismo volumen de diclorofenol pero usando agua destilada, estos son los blancos y deben ser repetidos tres veces.
- d. Para preparar la muestra de jugo se homogenizó la muestra de jugo y filtrar.
- e. Se colocaron 2 ml de la muestra de jugo con 5 ml de solución extractora, y se tituló con solución de 2,6 dicloroindofenol.

Utilizando la siguiente fórmula se determinó los miligramos de ácido ascórbico presente en la muestra:

$$\text{mg de ácido ascórbico} = \frac{\text{volumen titulación de muestra}}{\text{volumen titulación estándar}}$$

Con los resultados obtenidos, se realizó una gráfica de mg de ácido ascórbico vs tiempo. Utilizando la cinética de reacción:

$$-\frac{dx}{dt} = k(x)^n$$

Donde:

$$\frac{dx}{dt} = \text{Cambio de cantidad del atributo X con el tiempo}$$

x = Cantidad del atributo de calidad a cualquier tiempo t .

k = Constante de velocidad de reacción.

n = Orden de la reacción (0, 1, 2)

Después de un procedimiento de integración matemática:

$$x = x_0 - kt$$

Donde:

x = cantidad del atributo de calidad a cualquier tiempo t .

k = constante de velocidad de reacción (pendiente de la ecuación)

Normalmente, la constante de velocidad de reacción (k), obedece la ecuación de Arrhenius.

$$K(T) = K_0 * e^{-E_a/RT}$$

Donde

K_0 = factor preexponencial

E_a = Energía de activación de la reacción

R = Constante ideal de los gases (8.314kJ/kmol-°K)

T = Temperatura en ° K

Después de un procedimiento aritmético se obtuvo:

$$\log k = \log K_0 - \left(\frac{E_a}{R}\right) * \left(\frac{1}{T}\right)$$

La cual es una línea de la recta en la gráfica semi-logarítmica. Donde E_a/R es la pendiente de la recta. ($\log k$ vs. $1/T$)

De ésta se obtuvo la siguiente ecuación:

$$K = m(1/T) + l$$

Donde:

m = pendiente de la curva

l = intercepto

A partir de esta ecuación se calculó k , y se extrapoló a diferentes temperaturas. Con el valor de k obtenido, se utilizó la siguiente ecuación:

$$X = X_0 - Kt$$

Donde:

X = mg de ácido ascórbico degradado un 50%

X₀ = mg. de ácido ascórbico inicial.

Se sustituyó los valores x, x₀ y k, luego se despejó t, obteniendo un tiempo estimado de vida útil en meses.

- Mohos y levaduras. Incubación en Petrifilm con período de incubación de 5 días a 25° C.
- Análisis estadístico. Se utilizó el análisis estadístico ANOVA, por medio de Excel; utilizando un intervalo de confianza del 95%.

3. Caracterización de fibra dietética

Propiedades funcionales:

- Capacidad de retención de agua. Se determinó el peso de la fibra dietética. Luego el contenido de agua retenida. Se calculó por medio de la siguiente fórmula.

$$\text{CRA} = \frac{\text{Contenido de agua retenida}}{\text{Materia seca de la muestra deshidratada}}$$

- Porcentaje de humedad. Se determinó la humedad utilizando una balanza de humedad. Se expresó en porcentaje, realizando el procedimiento en triplicado.
- Contenido de fibra dietética total. Se determinó por medio de un kit de ensayo para fibra dietética total, para lo cual se realizó el siguiente procedimiento:
 - a. Se pesó 1g de muestra en un beacker, se realizó en duplicado.
 - b. Se agregó 50mL de fosfato a pH 6 + α-Amilasa, se calentó a 95° C por 15min.

- c. Se enfrió a temperatura ambiente y ajustó el pH a 7.5 agregando NaOH 0.275N o HCl.
- d. Se agregó una solución de proteasa 50mg/mL de solución de buffer fosfato.
- e. Se cubrió con papel aluminio y se colocó en un baño de agua a 60° C por 30min, manteniendo una agitación constante.
- f. Se dejó enfriar a temperatura ambiente y se ajustó el pH a 4 añadiendo 10mL de HCl 0.325M.
- g. Se agregó 0.1mL de Amiloglucosidasa, se cubrió con papel aluminio y se colocó en un baño de agua a 60° C.
- h. Se realizó una precipitación con etanol al 95%, se dejó la solución a temperatura ambiente durante una noche para completar la precipitación. Se filtró la solución utilizando Celite.
- i. Se secó en horno la solución durante una noche a 105° C.
- j. Se realizó un análisis de proteína por medio de Kjeldahl especificado en la AOAC.
- k. Se realizó un análisis de cenizas, colocando las muestras en una mufla por 5horas a 525° C.

Con los datos obtenidos se calculó el contenido total de fibra dietética utilizando la siguiente fórmula:

$$B = R_{\text{blanco}} - P_{\text{blanco}} - A_{\text{blanco}}$$

$$\%TDF = [(R_{\text{muestra}} - P_{\text{muestra}} - A_{\text{muestra}} - B) / SW] \times 100$$

Donde:

TDF = Fibra dietética total

R = Promedio peso de muestra (mg)

P = Promedio peso de proteína (mg)

A = Promedio peso de cenizas (mg)

SW = Promedio peso de muestras (mg)

- Análisis estadístico. Se utilizó el análisis estadístico ANOVA, por medio de Excel; utilizando un intervalo de confianza del 95%.

4. Caracterización de pectina cítrica

- Determinación del contenido de humedad. Se determinó la humedad utilizando una balanza de humedad. Se expresó en porcentaje, realizando el procedimiento en triplicado.
- Determinación del contenido de cenizas. La materia orgánica volátil se eliminó incinerando la muestra a 550° C en un horno. El residuo se cuantificó gravimétricamente y se calculó el porcentaje de cenizas (método AOAC 923.03, 1990).
- Determinación de peso equivalente y acidez libre. El peso equivalente se calculó relacionando el peso de la muestra (mg) y los miliequivalentes de hidróxido de sodio (0.25N) empleados en la titulación.
La acidez libre se expresa como miliequivalentes de carboxilos libres por gramo.
- Determinación del contenido de metoxilo. Se realizó la deseterificación del metoxilo con hidróxido de sodio 0.25N, luego se neutralizó con ácido clorhídrico 0.25N y se realizó una titulación con hidróxido de sodio 0.1N hasta llegar a un pH 7.5.

El porcentaje de metoxilo se calculó por medio de la siguiente fórmula:

$$\%MeO = \frac{\text{mL de titulación} \cdot \text{Normalidad de NaOH} \cdot 31 \cdot 100}{\text{peso de la muestra (mg)}}$$

Donde 31 es el peso molecular del metoxilo (CH₃O⁻)

- Determinación de grado y tiempo de gelificación. Se determinó rehidratando la muestra calentándola a 65° C y se tomó el tiempo de gelificación. Luego se colocó en una placa y se observó consistencia y apariencia del gel.
Se colocó 0.2g, 0.4g, 0.6g, 0.8g y 1g de pectina en 5 vasos diferentes, añadiendo 50mL de una solución de ácido cítrico de pH 3 calentándose hasta dilución, agregando suficiente sacarosa en cada vaso suficiente sacarosa hasta llegar a un 65% de sólidos solubles, completando el volumen a 100mL con la solución ácida. Se dejó enfriar por 24h para que gelifique. El grado de

gelificación se consideró aceptable, si al momento de invertir los vasos, su contenido sólo se reduce en un 10% de su altura inicial.

- Análisis estadístico. Se utilizó el análisis estadístico ANOVA, por medio de Excel; utilizando un intervalo de confianza del 95%.

VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Caracterización de fruta fresca

El limón Criollo es un fruto pequeño de forma redondeada a ovalada. La cáscara es muy delgada, lisa y de apariencia correosa y de un color verdoso-amarillento cuando el fruto está maduro. La pulpa tiene el mismo color, es jugosa y posee un aroma característico, posee un número moderado de semillas. Las propiedades físicas como peso, forma, tamaño y cantidad de jugo por fruto son de esencial importancia para determinar el proceso al cual puede ser sometido el fruto y así obtener las características deseadas en el producto final, es por ello que se realizó la caracterización del limón Criollo, de las cuales se obtuvo un peso promedio de 30 ± 5 g, un ancho de 13 ± 1 cm y un largo de 6 ± 0.4 cm, al igual se determinó la cantidad de jugo contenido el cual se observó que era proporcional al tamaño del limón (Ver Apéndice 11. Cuadro 14). El limón Criollo se caracteriza por poseer una cantidad de jugo relativamente alta por lo que es utilizado para procesos de elaboración de subproductos, uno de estos subproductos es el jugo de limón pasteurizado, cuyo alto rendimiento lo hace beneficioso para su comercialización.

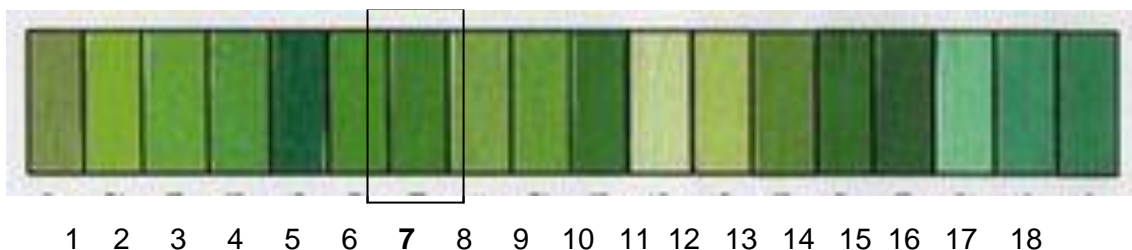
Todos los limones utilizados se encontraban en el mismo estado de maduración lo cual se pudo observar en el color de los mismos, el color de estos se clasificó de acuerdo a una carta de colores (ver carta de colores color 7) observándose un color verde uniforme.

Cuadro 3.

Caracterización física del limón promedio

No. de Muestras	Peso	Ancho Perimetral	Largo	Volumen de jugo
20	30 ± 5 g	13 ± 1 cm	6 ± 0.5 cm	10 ± 2 mL

Carta de colores



B. Jugo Pasteurizado

Las características evaluadas fueron: pH, acidez total, ° Brix, actividad de pectinesterasa y consistencia. La concentración y el pH son propiedades que determinan el comportamiento de productos como el jugo de limón durante su almacenamiento por lo cual es importante determinar los cambios que ocurren en estas propiedades. Se observó que la concentración del jugo de limón disminuyó en 0.2° Brix de la primera semana a la segunda semana de medición (Ver Cuadro 4) luego de esto no ocurrió ningún cambio en la medición de ° Brix (~8° Brix), por lo que se esperaba que este factor no afectaría significativamente en otras propiedades físicas como la viscosidad y acidez total. El pH inicial que presentó el jugo de limón fue de 3.1, el cual disminuyó en la primera semana a 2.6 obteniéndose una desviación estándar de 0.09 por lo que se consideró un cambio no significativo, al igual en las siguientes semanas evaluadas no se observó ningún cambio significativo en la disminución del mismo (Ver Cuadro 4) esto puede deberse a que no ocurrió degradación en los ácidos orgánicos presentes en el jugo de limón. El jugo de limón presentó una acidez de ~0.38meq/ mL ácido cítrico, este valor de acidez puede ser atribuido al alto contenido de ácidos orgánicos como el ácido cítrico, ácido ascórbico y ácido málico; los cuales se encuentran presentes en el jugo de limón, estos ácidos son muy importantes para la preservación de los alimentos, lo cual es un factor que ayuda en la vida de anaquel del producto. Se realizó la determinación de acidez a lo largo de cuatro semanas, en las cuales se observó un aumento de la acidez total (Ver Cuadro 4), esto puede ser atribuido a la formación de compuestos como el hidroximetilfurfural, el cual provee un sabor amargo, que se desarrolla espontáneamente en pH ácido; el desarrollo de sabores y aromas impropios se debe a la oxidación y polimerización del ácido ascórbico y aldehídos. La temperatura de almacenamiento es un factor que determina la degradación de los ácidos presentes en el jugo de limón teniendo como producto la formación de compuestos intermedios inestables como furfural (Robertson & Gerschenson, 1990), por lo que para garantizar una mayor vida de anaquel estos deben ser almacenados a temperaturas de 0 a 7° C, por lo que la temperatura de almacenamiento del jugo realizado fue de 6° C lo cual garantizó una estabilidad en la degradación de ácidos presentes. (Murillo, O., 2000)

El conocimiento de la viscosidad tiene una importancia primordial en la industria de jugos de frutas ya que esta es una de las propiedades que presenta cambios significativos durante las diferentes etapas de producción de los jugos de frutas. La

viscosidad en el jugo de limón analizado, fue aumentando en el transcurso de su almacenamiento, esta se determinó por medio de la relación de grados Bostwick, que determinan la distancia que recorre el líquido en un tiempo de 30 segundos, la distancia recorrida por el jugo de limón fue disminuyendo semana tras semana (Ver Cuadro 4) lo cual indicó que la viscosidad del mismo fue aumentando, esto puede ser debido a la presencia y desarrollo de enzimas como lo son: la poligalacturonasa y la pectinesterasa. Es importante resaltar que debido a los diferentes cambios de temperaturas y concentraciones a los que son sometidos los jugos de fruta durante su procesamiento, almacenamiento, transporte, comercialización y consumo, sus propiedades físicas como la viscosidad se ven afectadas, lo cual ha sido comprobado en diferentes estudios en los cuales se ha determinado el efecto que tiene la temperatura y el tiempo en el aumento de la viscosidad. Otro factor importante en los efectos en la viscosidad es la concentración de azúcares, debido a que a mayor concentración de azúcares ocurrirá un mayor cambio en la viscosidad, este factor fue favorable en el caso del jugo de limón realizado ya que la concentración del mismo era baja (~8° Brix) por lo que no ocurrió un cambio significativamente apreciable en la viscosidad del jugo. Al igual se ha determinado en diferentes estudios que la temperatura es un factor que tiene un efecto determinante en la viscosidad durante el tiempo, ya que los cambios de viscosidad son menores a temperaturas bajas de almacenamiento, por lo que el efecto de la temperatura (6° C) fue favorable durante el almacenamiento de jugo de limón. (Murillo, O., 2000)

La presencia de enzimas es causa de pérdida de calidad durante la vida de anaquel del producto como oscurecimiento enzimático, pérdida de nube o turbidez, degradación en color, aroma y sabor entre otros atributos por lo que es necesario inactivarlas. (Murillo, O., 2000) La actividad de la pectinesterasa se midió durante cuatro semanas, esta actividad mostró un aumento de la primera semana a la cuarta, este aumento fue de aproximadamente un 1% (Ver Cuadro 4); la medición de pectinesterasa es muy importante en la industria de jugos ya que su actividad provoca uno de los principales problemas en la industria de jugos de fruta: la pérdida de turbidez y formación de sedimentos. Esta pérdida se inicia por la reacción enzimática de la pectinesterasa afectando la calidad del jugo en cuanto a su apariencia, color, olor, sabor y textura, al igual la acción de la pectinesterasa, aumenta la susceptibilidad de la pectina presente en el jugo, lo que genera una reducción en la viscosidad del mismo. (Murillo, O., 2000) En el caso del jugo de limón presentó sedimentación, sin embargo no se observó cambios de color y olor, provocados por la actividad de esta enzima; así mismo, no ocurrió disminución en la

viscosidad del jugo, esto indica que la inactivación de esta enzima se realizó correctamente, ya que durante el proceso de elaboración del jugo pasteurizado se sometió a temperaturas en un intervalo de 75 – 95° C, las cuales según lo indican estudios realizados son temperaturas de inactivación de esta enzima, al igual la actividad de la pectinesterasa se ve reducida notablemente a un pH de 2.5 (Eagerman & Rouse, 1976) lo cual se observó en los resultados obtenidos. Se ha demostrado que la inactivación de la pectinesterasa depende del pH del jugo, se ha observado un incremento en su inactivación a condiciones de pH bajo, condiciones en las cuales se encontraba el jugo realizado.

La pectinesterasa es importante en la industria cítrica porque es el agente causante de la clarificación de jugos y gelación de concentrados congelados, por lo cual para prevenir cambios no deseados durante la vida de anaquel por enzimas, los jugos de frutas deben ser sometidos a tratamientos térmicos en los cuales se dé la inactivación enzimática y esto también asegurará la destrucción de microorganismos.

Durante el procesamiento del jugo de limón se sometió a temperaturas de 74° C por un tiempo de 15 segundos, para realizar el proceso de pasteurización con el objetivo tanto de la inactivación enzimática como para destrucción de microorganismos. En la destrucción de enzimas por calor, influyen la temperatura y el tiempo de tratamiento. A temperaturas bajas la destrucción enzimática es mayor que la de los microorganismos, en cambio a temperaturas altas sucede lo inverso y se inactivan de manera más rápida los microorganismos. (Murillo, O., 2000) Luego de cuatro semanas de almacenamiento se realizó un conteo microbiológico de mohos y levaduras ya que estos microorganismos podrían estar presentes debido a la actividad de agua del producto a analizar, en la dilución de 1×10^{-1} y en la dilución de 1×10^{-2} se observó presencia de 50UFC/g y 30UFC/g respectivamente (Ver Cuadro 5) lo cual se consideró aceptable según lo indica la Norma COGUANOR 34 009 para jugo de limón, en la que se indica un recuento de mohos y levaduras máximo recomendado de 10^2 UFC/mL y número máximo permitido de 10^3 UFC/mL. El pH del jugo de limón es un factor que ayuda a disminuir el crecimiento de microorganismo ya que posee un pH muy bajo.

La refrigeración inmediata de jugos o zumos pasteurizados inhibe el crecimiento de microorganismos que hayan sobrevivido al tratamiento térmico realizado, y también reduce la velocidad de las reacciones de oxidación. Los zumos no concentrados deben mantenerse a temperaturas próximas a 0° C (Murillo, O., 2000) con lo cual se produce una reducción sistemática de la flora microbiana con el

tiempo. Es importante tomar en cuenta que las condiciones a las cuales se encontraba el jugo de limón pasteurizado realizado eran condiciones de laboratorio, factor que puede influir en un conteo bajo de microorganismos.

Cuadro 4
Caracterización de jugo de limón pasteurizado

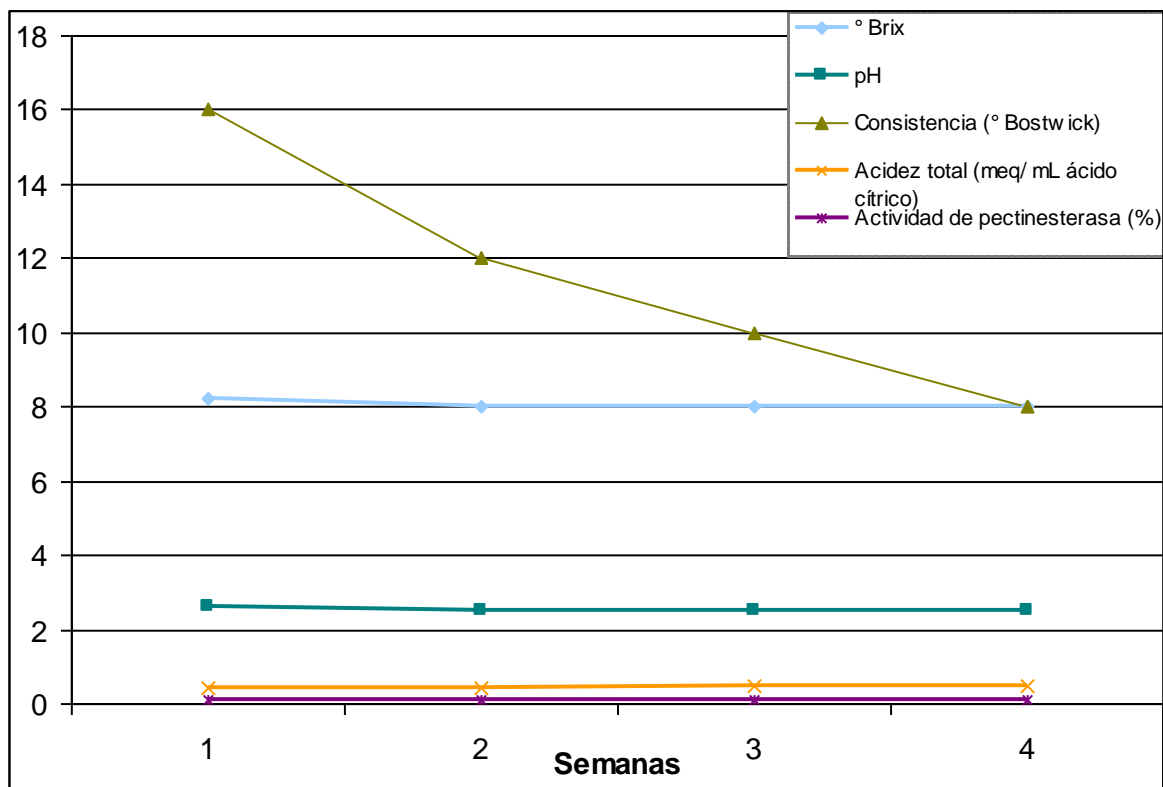
Semana	° Brix	SD	pH	SD	Consistencia (°Bostwick)	SD	Acidez total (meq/mL ácido cítrico)	SD	Actividad de pectinesterasa (**UPE/mL)	SD
1	8.2	0.6	2.6	0.5	16	0.9	0.42	0.4	0.128	0.5
2	8		2.5		12		0.45		0.129	
3	8		2.5		10		0.46		0.130	
4	8		2.5		8		0.47		0.132	

*SD: desviación estándar, 95% de confianza; $p < 0.05$ existe diferencia significativa.

** UPE/mL= meq/min-mL

Gráfica 1

Cambio de propiedades durante 4 semanas de jugo de limón Pasteurizado



En el proceso de elaboración de jugo de limón es importante tomar en cuenta la maduración del fruto ya que el grado de maduración del mismo tiene un efecto en el comportamiento y características del producto a lo largo de su procesamiento y almacenamiento. El grado de maduración, da lugar a una serie de características de calidad fisicoquímica de importancia tanto para la fruta fresca como para la procesada. Algunos de los efectos pueden causar problemas en la apariencia, color, olor, sabor y textura en los productos terminados, dando lugar a una calidad comercial defectuosa. (Murillo, O., 2000)

Cuadro 5
Análisis microbiológico de jugo de limón Pasteurizado

Dilución	Mohos y levaduras (\pm 20UFC/mL)
1×10^{-1}	50
1×10^{-2}	30
1×10^{-3}	10

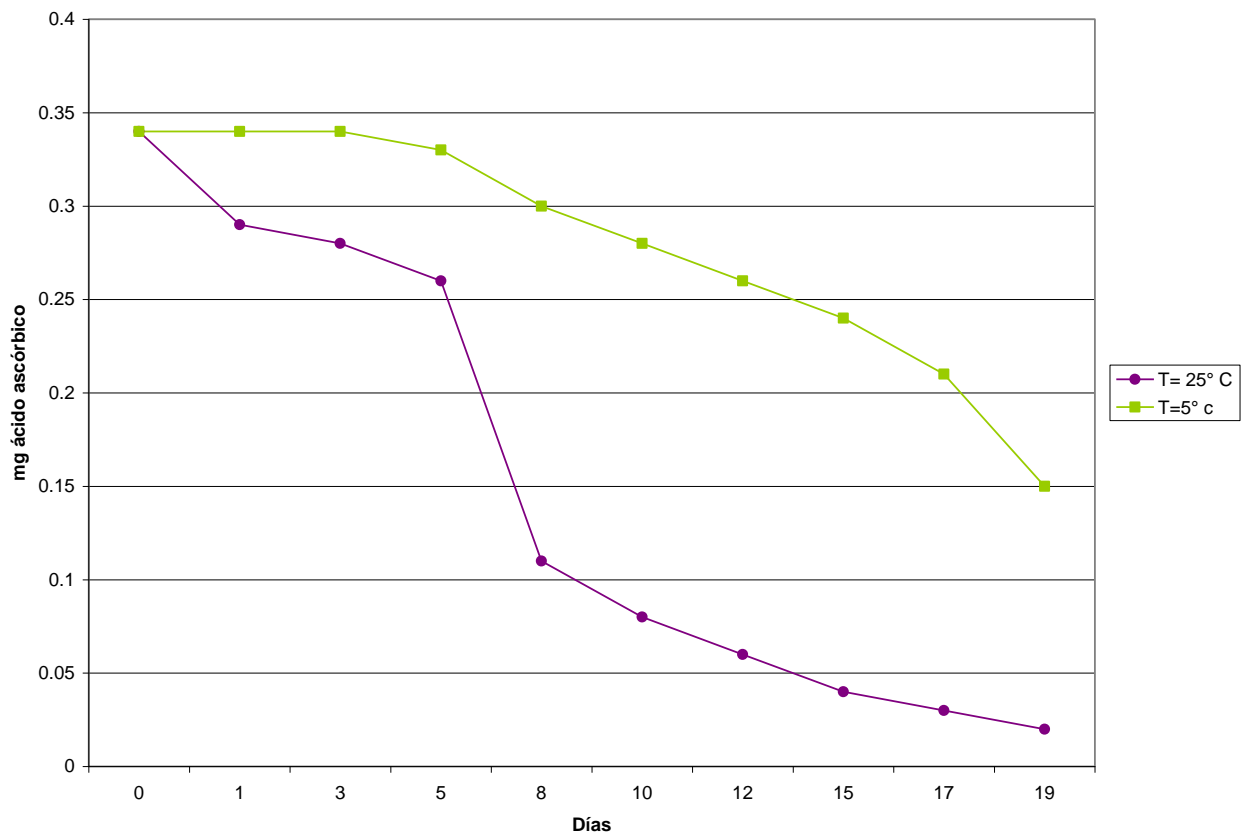
La degradación de ácido ascórbico es usualmente la responsable de importantes cambios en la calidad de diferentes productos durante su almacenamiento, lo cual limita su vida de anaquel, por la formación de compuestos intermedios inestables como furfural. (Robertson & Gerschenson, 1990). La degradación de ácido ascórbico se ha reportado que es mayor en reacciones que ocurren durante el almacenamiento de jugos cítricos. (Lee & Nagy, 1988) Por lo cual para determinar la vida útil del jugo de limón pasteurizado, se utilizó como parámetro la degradación de ácido ascórbico hasta un 50%. Se utilizó modelos de cinética de cero, primer y segundo orden para analizar los resultados obtenidos de la degradación de ácido ascórbico (AA) durante el almacenamiento (Ver Gráfica 2). Se observó que es notable el incremento en la tasa de degradación de ácido ascórbico por el incremento de temperatura (Ver Cuadro 15, Apéndice 12).

Estudios realizados por otros autores, sugieren que una temperatura relativamente baja puede reducir la degradación de ácido ascórbico durante el proceso. (Al-Zubaidy & Khalil, 2006) Esto puede observarse en la tasa de degradación de ácido ascórbico en el jugo almacenado a 5° C ya que ésta fue menor que a 25° C.

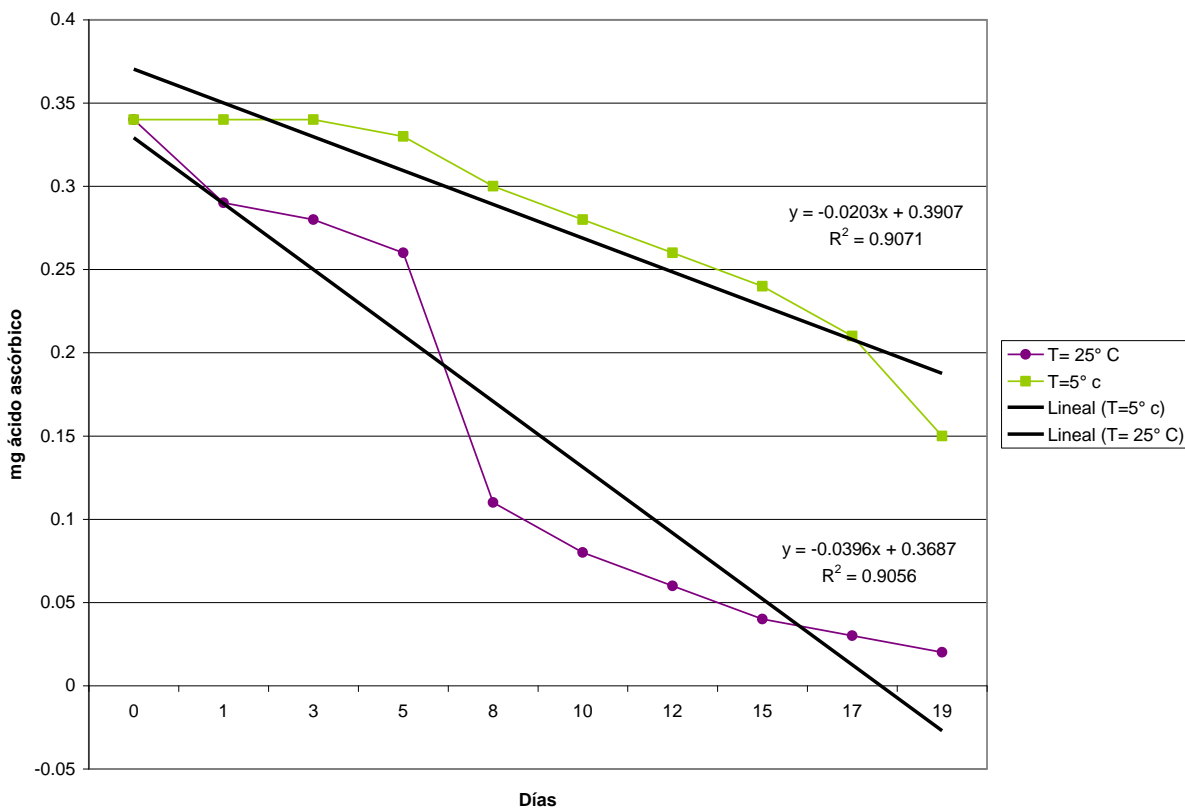
Para determinar el tiempo de vida útil del jugo de limón pasteurizado, se utilizó una ecuación de orden cero siguiendo un modelo cinético, obteniendo de la gráfica de degradación de ácido ascórbico las constantes de velocidad de reacción (Ver Gráfica 3 y 4) y utilizando la ecuación de Arrhenius se obtuvo una vida de anaquel de 15 días.

Gráfica 2

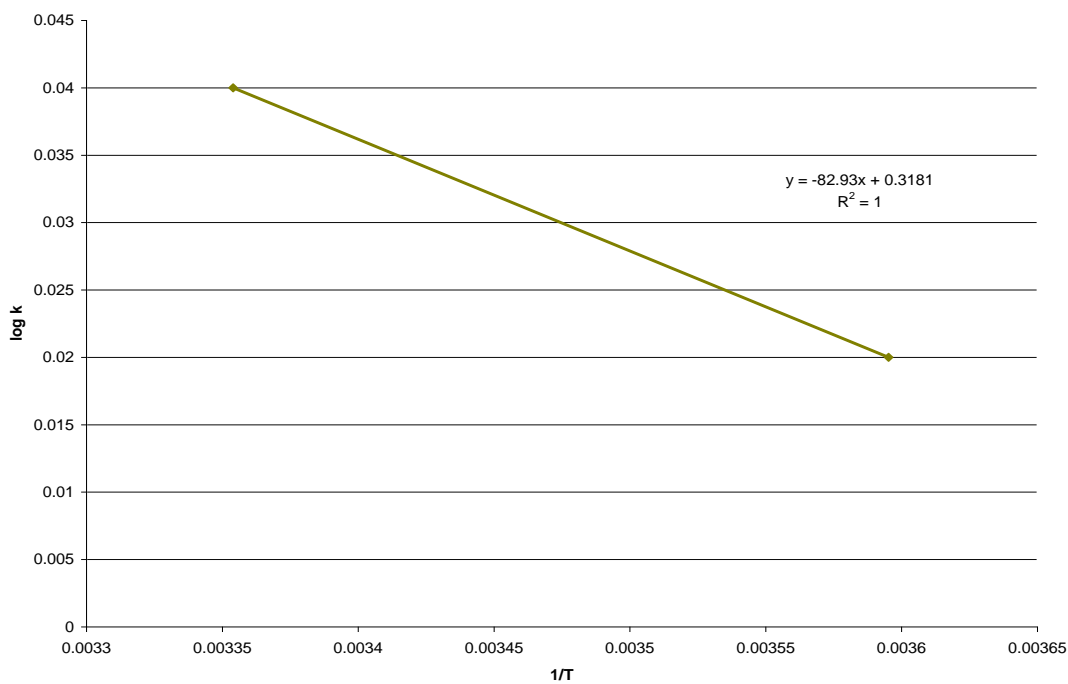
Degradación de ácido ascórbico de jugo en limón pasteurizado almacenado a $T=25^{\circ}\text{C}$ y $T=5^{\circ}\text{C}$



Gráfica 3
 Constante de velocidad de reacción de degradación de ácido ascórbico



Gráfica 4
 Log k vrs 1/T en degradación de ácido ascórbico



D. Fibra dietética

El porcentaje de humedad obtenido para la fibra dietética fue de un 5.2%, lo cual garantiza una mayor vida útil, ya que debido a la baja actividad de agua que posee existe un riesgo mínimo de crecimiento microbiológico si su manejo es adecuado. En la fibra dietética es muy importante el empaque o recipiente en el que se almacene, ya que al ser un polvo es muy susceptible a la ganancia de humedad del ambiente, por lo que puede darse la formación de grumos que puedan afectar en el uso que se le dé posteriormente a la misma.

Por otra parte, la fibra dietética obtenida de frutas cítricas tienen una mejor calidad debido a la presencia de sustancias bioactivas (flavonoides y vitamina C) con propiedades antioxidantes, que pueden ejercer efectos de promoción de la salud, prevención de enfermedades cardiovasculares y otras enfermedades. (Gorinstein, 2001) El contenido total de fibra dietética obtenido fue de 69.2%, lo cual indica una calidad de fibra dietética alta, con propiedades que la hacen adecuada tanto para funciones tecnológicas como alimentarias, por las características que se obtuvieron y se analizaron de las mismas. La cantidad de fibra dietética encontrada garantiza una fibra dietética apta como suplemento alimentario ya que esta juega un papel importante en la prevención de padecimientos como constipación, hemorroides e hipercolesterolemia. Así mismo, tecnológicamente la fibra dietética obtenida posee una capacidad de retención de agua adecuada para ser utilizada en procesos de elaboración de otros productos alimentarios, en los cuales sea necesario utilizar un producto que disminuya la actividad de agua.

La fibra de frutas tiene una buena calidad debido a su alto contenido de fibra soluble, su capacidad de retención de agua. (Larrauri, 1999), por lo que es importante determinar la capacidad de retención de agua de la misma.

La capacidad de retención de agua depende del proceso y también de la estructura química y física, y es también relacionada con el contenido de fibra dietética soluble presente. Debido al alto contenido de fibra soluble en fibras cítricas, la molienda en seco afecta su estructura rompiendo los poros y aumentando su densidad y disminuyendo su capacidad de retención de agua. Por lo que en el proceso de la fibra dietética realizada se lavó las cáscaras con agua caliente con el fin de producir una fibra dietética con alta capacidad de retención de agua, el lavado previo al secado aumenta la reducción de la actividad de agua, mejora la

preservación de la fibra, considerando que el pH y la materia seca no se ven afectados. El lavado aumenta considerablemente la capacidad de retención de agua en la fibra ya que se da la remoción de azúcares. (Laurrauri, 1999)

Otro factor que afecta en la capacidad de retención de agua es el tamaño de partícula, la capacidad de retención de agua es mayor en la fibra con un tamaño de partícula mayor a 0.9mm (Borroto, Laurrauri & Criterio, 1995), por lo que durante el tamizado se utilizó un tamiz para obtener este tamaño de partícula. Con las condiciones de procesamiento anteriormente descritas se obtuvo una fibra dietética con una capacidad de retención de agua del 10.9g agua/ g fibra, lo cual la hace adecuada para ser utilizada como un ingrediente funcional para reducir la sinéresis, modificar la textura y viscosidad y reducir calorías en los alimentos. La fibra que se obtiene de la cáscara de limón se caracteriza por poseer una buena calidad funcional y microbiológica, así como puede proveer características fisicoquímicas favorables para ser utilizada en formulaciones de alimentos como carne, lácteos y productos de panadería.

Cuadro 6

Caracterización de fibra dietética

Porcentaje de humedad ($\pm 0.1\%$)	Capacidad de retención de agua ($\pm 0.4\text{g agua/ } 15\text{g fibra}$)	Fibra dietética total ($\pm 0.5\%$)	Porcentaje de rendimiento ($\pm 0.1\%$)
5.2	10.9	69.20	29.01

La cantidad de residuos obtenidos de frutas cítricas es cerca de un 50% de la cantidad original de la fruta entera. (Cohn & Cohn, 1997) El residuo está principalmente constituido por la cáscara (albedo y flavelo) la cual constituye casi un cuarto de la fruta completa (Braddock, 1999) en el que existe un contenido alto de fibra dietética, por lo que se considera que la producción de fibra dietética a partir de limón es una alternativa de agroindustrialización importante. En el proceso de obtención de fibra dietética realizado se obtuvo un 29.01% de rendimiento. Éste es un porcentaje bajo de rendimiento sin embargo la calidad de fibra dietética extraída fue alta, lo cual indica que la funcionalidad de este producto puede cumplir con las necesidades tecnológicas y alimentarias, al igual el costo del procesamiento de obtención de fibra dietética es bajo y el tiempo requerido para el proceso es corto, los cuales son factores que compensan el rendimiento obtenido. Es importante tomar

en cuenta que la calidad de fibra dietética que se obtiene, depende del proceso que se realiza y no del tipo de fruto que se utilice, lo que indica que la obtención de fibra dietética es una buena alternativa de agroindustrialización para los frutos cítricos, fuente rica en fibra dietética en el 50% del fruto que se considera como desperdicio; al igual realizando esta alternativa de industrialización se estaría minimizando los residuos de cítricos que constituyen y aumentan el problema de contaminación ambiental.

E. Pectina cítrica

La pectina es una sustancia de origen vegetal, presente en las plantas, principalmente en sus frutos, su característica principal es ser un gelificante natural. El método más conocido para obtener pectina es la hidrólisis ácida, el cual consiste en someter a las cáscaras a una cocción en medio ácido, luego se somete a una filtración y purificación, con lo cual se logra separar la pectina presente del resto de compuestos de las cáscaras, para luego secarla y molerla hasta tener un fino polvo listo para comercializarlo.

Las propiedades físicas (tiempo de gelificación) y químicas (contenido de metoxilo, grado de esterificación y viscosidad) en la molécula de pectina son función de la naturaleza del fruto, estado de maduración y de la metodología de extracción, estableciéndose variaciones en cuanto al contenido y calidad de pectina. (Kimball, D., 1999)

La pectina se extrajo por medio de hidrólisis ácida, ya que por medio de este proceso se logra obtener una pectina que cumple con los requerimientos de mercado, los cuales son: porcentaje de metoxilos, grado de gelificación, peso equivalente, características que se evaluaron en la pectina obtenida; al igual estudios realizados indican que este proceso presenta un buen rendimiento económico (Kimball, D., 1999), lo cual hace que sea una alternativa para la agroindustrialización de los cítricos.

El peso molecular de la pectina fue de 104010.5g/mol, éste depende directamente de la longitud de la cadena molecular e influye en la solidez del gel producido, es decir del poder gelificante de la pectina. Es la característica más importante en cualquier biopolímero y es un factor importante en la viscosidad de la pectina por sus dispersiones coloidales. (Untiveros, G., 2003) La consistencia

obtenida fue de 4.50° Bostwick, la cual se relaciona con la viscosidad dependiendo de la distancia recorrida por el gel en 30s, la relación del resultado obtenido, nos indica que el gel posee una viscosidad adecuada, la viscosidad de la solución depende de la concentración y la temperatura, el peso molecular y el grado de esterificación de la pectina (Kimball, D., 1999), por lo que la viscosidad obtenida en la pectina fue acorde a estos factores. Estas dos características analizadas (peso molecular y viscosidad) son importantes en la caracterización de la pectina ya que determinan su comportamiento, así como indican el tipo de productos en los que puede utilizarse y obtener las características deseadas. Sin embargo no existen parámetros o rangos establecidos para determinar si es aceptable o no, solamente se puede hacer la relación que entre mayor peso molecular mayor será el grado de viscosidad y gelificación.

El contenido de metoxilo de la pectina obtenida es de 3.95%, lo cual clasifica la pectina obtenida como una pectina de bajo grado de metilación ya que poseen un grado menor al 7%, esto la provee de características específicas que determinan el uso de la misma.

Las pectinas son hidrocoloides, fuertemente hidratados, que se encuentran en solución; las moléculas de agua están unidas por enlaces de hidrógeno a los grupos hidroxilo de la cadena polimetilgalacturónica. Además, las moléculas pécticas tienen cargas eléctricas negativas que les permiten estirarse, aumentando la viscosidad de la solución, y rechazarse entre sí, manteniendo las moléculas en estado disperso. (Fennema, O., 1996), por lo que su grado de metilación es un factor que determina el comportamiento de la pectina bajo condiciones de pH, reactividad con cargas eléctricas de iones o partículas como el calcio. Una pectina con bajo grado de metilación actúa a un pH >1 y pH < 7, un contenido de sólidos solubles < 85% y requieren necesitan menor concentración de Ca^{+2} para obtener un buen gel. (Fennema, O.; 1996) La diferencia que existe entre las pectinas con bajo grado de metilación y alto grado de metilación es que las segundas se caracterizan por una gran plasticidad; característica que no presentó la pectina cítrica extraída durante su gelificación. Al igual, las pectinas de alto grado de metilación deben utilizarse a bajo pH, lo que puede provocar una gran inversión de la sacarosa que ha sido añadida, con peligro de cristalización de glucosa, gelificación demasiado rápida con formación de grumos, sabor excesivamente ácido y sinéresis (Fennema, O., 1996), ésta es una característica que no poseen las pectinas de bajo grado de metilación por lo que se tiene esta ventaja en su uso.

El tiempo de gelificación obtenido fue de 3.01 ± 0.05 min. Se observó que el tiempo de gelificación disminuye al aumentar la cantidad de pectina utilizada (Ver Gráfica 2). Al igual en un tiempo de 24h que se dejó gelificar la pectina, no se observó sinéresis luego de la gelificación, lo cual es un parámetro importante ya que este puede dar características no deseadas al producto final en el cual se utiliza la pectina y lo más importante es que determina la estabilidad de la pectina. El grado de gelificación es una de las características que se buscan en las pectinas ya que estas son hidrocoloides que en solución acuosa presentan propiedades espesantes, estabilizantes y sobre todo gelificantes que actúan satisfactoriamente en presencia de soluciones ricas en azúcares por lo que son altamente utilizadas en la industria de jaleas y mermeladas de frutas con las cuales se preparan a nivel industrial poseen un bajo contenido en pectinas. (Untiveros, G., 2003)

El empleo de la pectina como gelificante ha sido muy extenso; debido a las características de las pectinas de bajo metoxilo, de los pectatos y ácidos pépticos, para formar geles con calcio o iones equivalentes, sin o casi sin la presencia de azúcar. (Kimball, D., 1999) En muchos casos además, el empleo de las pectinas de bajo metoxilo es facilitado por la baja temperatura de fusión de los geles obtenidos y por su capacidad de retomar el aspecto original, después de la fusión. Las pectinas de bajo metoxilo y son utilizados en la industria alimentaría para la preparación de pudines de leche, geles de jugos de fruta o mezclas de frutas, geles para rellenos de pastelería, mermeladas para bizcochería y mermeladas. (Untiveros, G., 2003) Por lo que se puede determinar que la pectina juega un papel fundamental en el procesamiento de los alimentos como aditivo para la elaboración de productos en la industria alimentaria.

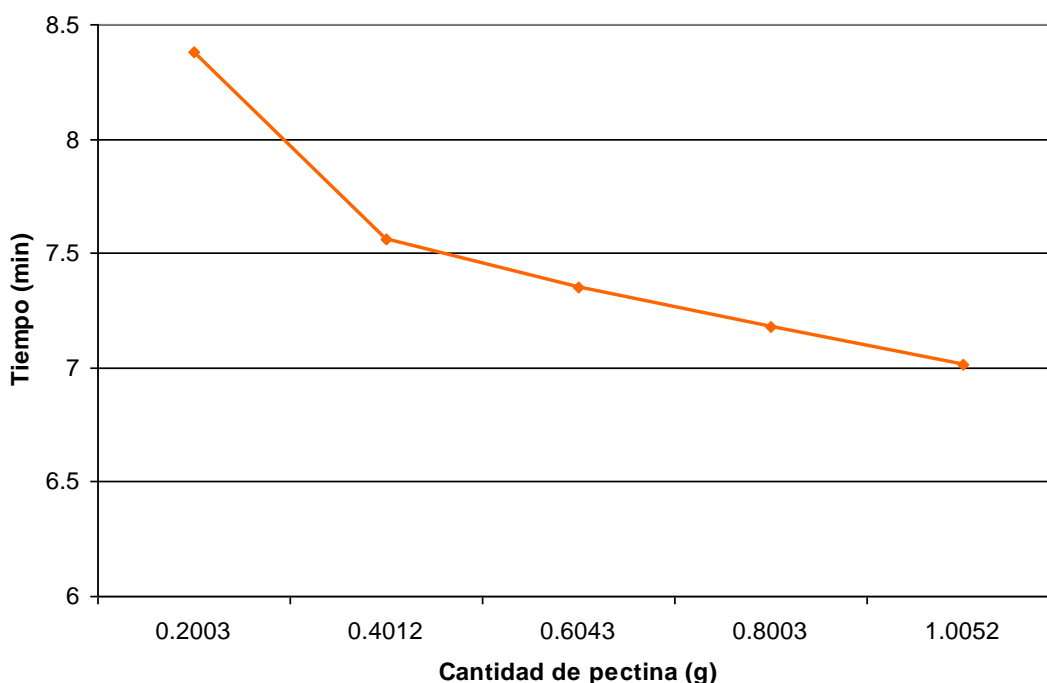
Cuadro 7
Caracterización de pectina cítrica

Porcentaje de humedad ($\pm 0.1\%$)	Contenido de cenizas ($\pm 0.5g$)	Peso molecular ($\pm 3175.7g/mol$)	Acidez libre ($\pm 0.1meq/g$ carboxilo)	%MeO ($\pm 0.35\%$)
3.9	0.33	104010.5	25.4	3.95

Cuadro 8
Caracterización de pectina cítrica

Cantidad de pectina ($\pm 0.0001\text{g}$)	Tiempo de gelificación ($\pm 0.05\text{min}$)	Consistencia ($\pm 0.25^\circ\text{Bostwick}$)
0.2003	8.38	8.80
0.4012	7.56	7.60
0.6043	7.35	6.40
0.8003	7.18	5.20
1.0052	7.01	4.50

Gráfica 5
Tiempo – Grado de gelificación



El porcentaje de rendimiento del proceso de extracción de pectina fue de $\sim 3.51\%$ el cual es sumamente bajo, este se atribuye a que al realizar el proceso de secado hubo pérdidas grandes del producto ya que la pectina se adhirió al papel en el cual se realizó el secado, por lo que fue difícil la remoción de esta del papel y solamente se recolectó una mínima parte de la pectina obtenida después de la precipitación. Aunque el porcentaje de rendimiento haya sido bajo, la calidad de la pectina obtenida a partir de la cáscara de limón puede determinarse que es alta debido a las características obtenidas de esta, lo que indica que puede ser utilizada para mejorar las características de un producto en la industria alimentaria.

Cuadro 9
Porcentaje de rendimiento del proceso de obtención de pectina.

Porcentaje de rendimiento ($\pm 0.15\%$)
3.51

IX. CONCLUSIONES

1. Las propiedades físicas como peso, forma, tamaño y cantidad de jugo por fruto, son importantes para determinar las características del proceso al que se somete al fruto y así obtener las características deseadas en el producto final; ya que el peso y tamaño son proporcionales a la cantidad de jugo que se obtiene y por lo tanto determinan el rendimiento obtenido en un proceso.
2. El tratamiento térmico realizado a 74° C por 15 segundos, así como la inactivación de la pectinesterasa, permitieron que el jugo de limón obtenido, presentara una estabilidad adecuada durante su almacenamiento de acuerdo a parámetros evaluados.
3. Las condiciones de pH del jugo de limón no permitieron el crecimiento de mohos y levaduras en el jugo de limón obtenido.
4. La temperatura de almacenamiento afecta significativamente la tasa de degradación de ácido ascórbico en jugo de limón pasteurizado; la cual conlleva a un cambio de sabor, que es asociado a la formación de hidroximetilfurfural.
5. Mediante la degradación del ácido ascórbico en el jugo de limón almacenado a 25° C y 5° C; se determinó que la vida de anaquel del jugo de limón es de 15 días.
6. El porcentaje de rendimiento obtenido en el proceso de fibra dietética fue de 29.01%, sin embargo la funcionalidad de fibra extraída fue alta, lo cual indica que este producto puede cumplir con las necesidades tecnológicas y alimentarias del mercado.
7. La pectina cítrica obtenida posee propiedades físicas (tiempo de gelificación) y químicas (contenido de metoxilo) que determinan una funcionalidad adecuada para su uso en la industria alimentaria; sin embargo se obtuvo un porcentaje de rendimiento de 3.51%.

8. El contenido total de fibra dietética obtenido fue de 69.2%, lo cual indica una calidad de fibra dietética alta, con propiedades que la hacen adecuada tanto para funciones tecnológicas como alimentarias.
9. Se obtuvo un porcentaje de rendimiento de 29.01% en el proceso de obtención de fibra dietética, sin embargo la calidad de fibra dietética extraída fue alto lo cual nos indica que la funcionalidad de este producto puede cumplir con las necesidades tecnológicas y alimentarias.
10. El peso molecular de la pectina fue de 14010.5g/ mol, este depende directamente de la longitud de la cadena molecular e influye en la solidez del gel producido, es decir del poder gelificante de la pectina. La consistencia obtenida fue de 4.50° Bostwick, lo cual indica que el gel obtenido posee una viscosidad adecuada.
11. El contenido de metoxilo de la pectina obtenida es de 30.95%, lo cual clasifica la pectina obtenida como una pectina de bajo grado de metilación, este grado provee características específicas que determinan el uso de la misma.
12. El tiempo de gelificación obtenido fue de 3.01 ± 0.05 min, se observó que el tiempo de gelificación disminuye al aumentar la cantidad de pectina utilizada. En un tiempo de gelificación de 24h, no se observó sinéresis luego de la gelificación lo cual es una característica no deseada en productos finales en el cual se utiliza la pectina.
13. El porcentaje de rendimiento del proceso de extracción de pectina fue de ~2.26% el cual es sumamente bajo, esto se atribuye al proceso de secado utilizado.

X. RECOMENDACIONES

1. Una de las propiedades importantes en los jugos de frutas es su fuente de nutrientes, por lo que es importante conocer la cinética de destrucción y el orden de reacción para determinar las condiciones del proceso necesarias para minimizar el efecto de destrucción de nutrientes y vitaminas durante el tratamiento térmico que se aplica durante la pasteurización ya que esto reduce el valor nutricional del producto.
2. Realizar estudios sobre alternativas de los métodos de pasteurización no térmicos como el tratamiento a alta presión, la exposición a la luz ultravioleta (UV), luz pulsada, campos eléctricos pulsantes, radiación gamma y filtración de alta eficiencia (Ultra-high Filtration, UHF).
3. Realizar estudios sobre métodos no térmicos, para inactivar la actividad de la pectinesterasa en jugos de frutas sensibles al calor. Así como evaluar el costo-beneficio de los mismos.
4. Analizar el jugo de limón obtenido, en relación a su valor nutricional y el desarrollo de sus propiedades durante una vida de anaquel más prolongada o acelerada.
5. Determinar empaque adecuado para jugo de limón pasteurizado, teniendo como principal objetivo minimizar o eliminar la necesidad de almacenamiento con refrigeración. Aunque en zumos de cítricos procesados con tratamiento aséptico la actividad microbiana es nula, se ha observado que es necesario la refrigeración para impedir el desarrollo de sabores y colores no deseables debidos a la oxidación de aminoácidos, ácido ascórbico y azúcares.
6. Realizar análisis sobre la capacidad de retención de aceites, la cual es una propiedad que posee la fibra dietética y puede ser una característica de interés tecnológico para ser utilizada en la industria alimentaria.

7. Realizar análisis de la cantidad de polifenoles presentes en la fibra dietética de limón ya que hay estudios que indican que puede ser una buena fuente de estos compuestos. Al igual que la determinación de sus propiedades antioxidantes por medio de la determinación de vitamina C, así como determinación de fibra soluble y fibra insoluble.
8. La mayor ventaja de la fibra dietética obtenida de frutas cítricas, comparada con otras alternativas de fuentes de esta, como cereales, es su gran proporción de fibra dietética soluble. Por lo que es importante realizar estudios comparativos sobre la cantidad de fibra dietética soluble presente en la fibra dietética obtenida a partir de limón con la obtenida de otras fuentes.
9. Realizar pruebas o análisis de fibra dietética como aditivo alimentario.
10. Realizar estudios comparativos de las alternativas de agroindustrialización presentadas en este trabajo, en diferentes clases de limón cosechados en Guatemala.
11. Los procesos esenciales para producir pectina de calidad, son: control de calidad de la materia prima, hidrólisis ácida, evaporación, secado y molienda, los cuales se realizaron según lo indicado en la literatura; pero aunque se obtuvo la calidad deseada en la pectina obtenida, el porcentaje de rendimiento fue bajo, por lo que se recomienda utilizar otro método de secado durante este proceso.
12. Realizar análisis comparativos de propiedades obtenidas en diferentes pectinas, según su proceso de extracción utilizado diferentes ácidos para realizar la hidrólisis ácida utilizando HCl, H_3PO_4 , $H_3PO_4 - (NaPO_3)_6$.

XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Al-Zubaidy, M. I.; Khalil, R. A. 2006. *Kinetic and prediction studies of ascorbic acid degradation in normal and concentrate local lemon juice during storage*. Food Chemistry, 101, 254-259.
2. AOAC 1995. *Official Methods of Analysis*. 15th ed. Washington, DC. Association of Official Analytical Chemist.
3. Asociación Gremial de Exportadores de Productos no Tradicionales de Guatemala. 2003. *Manual técnico de producción comercial de limón criollo (Citrus aurantifolia Swingle)*. AGEXPRONT. Guatemala.
4. Borroto, B.; Larrauri, J. A.; Cribeiro, A. 1995. *Influencia del Tamaño de partículas sobre la capacidad de retención de agua de la fibra obtenida a partir de cítricos y piña*. Alimentaria, 12, 89-90
5. Braddock, R. J. 1999. *Handbook of citrus by products and processing technology*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
6. Carbonell, E.; E. Costell; L. Durán. 1990. *Determinación del Contenido de Pectinas en Productos Vegetales*. Rev. Agroquím. Tecnol. Alim. 30(1):1-9.
7. Ciba-Geigy Agroquímicos. 1975. *Los Cítricos*. España.
8. Citrus latifolia, Citrus aurantifolia y Citrus limón. 2007. *Programa de Apoyo a los Agronegocios. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. MAGA*. Guatemala.
9. Cohn, R.; Cohn, A. L. 1997. *Subproductos del procesado de las frutas*. In D. Arthey, P.R Ashurst, Procesado de frutas. Zaragoza: Acribia.
10. *Comisión Institucional para el Desarrollo y Fortalecimiento de la Propiedad de la Tierra. Legislación agraria, ambiental y conexas en Guatemala*. UTJ/PROTIERRA. 2002. Guatemala.
11. De la Cruz, Jorge René. 1982. *Clasificación de Zonas de Vida de Guatemala a Nivel de Reconocimiento, INAFOR-MAGA*. Guatemala. Editorial MAGA.
12. Fennema, O. 1996. *Food Chemistry*. New York. Marcel Dekker. 171-173.
13. Foda, Y., A. Abd y A. Ahmed. 1983. *Rheological characteristics of pectin and sodium carboxymethyl cellulose*. Food engineering. 35(4): 133-139.

14. *Frutales y bosques*, Biblioteca Práctica Agrícola y Ganadera. 1995. Madrid, España. Editorial Océano.
15. Gierselmer K. 1997. *Pectin and pectin enzymes in fruit*. Vegetables technology. Número 118: 171-185.
16. Gorinstein, S.; Martín-Belloso, O.; Park, Y.; Haruenkit, R.; Lojek, A.; Ciz, M.; Caspi, A.; Libman, I.; Trakhtenberg, S. 2001. *Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits*. Food Chemistry, 74, 309-315.
17. Haddad, O.; M. Millán. 1975. *La Parchita Maracuyá (passiflora edulis F. Flavicarpa Degener)*. Publicación del fondo de desarrollo frutícola. Boletín Técnico Nº 2. Caracas, Venezuela. 63 p.
18. Harper, Boyd. 1996. *Investigación de Mercados*. México. Editorial UTEHA.
19. Hart, F.; H. Fisher. 1984. *Análisis moderno de los alimentos*. Zaragoza. España. Editorial Acribia. 34 p.
20. Inga. Guzmán M., María. 2007. *Proyecto Establecimiento de un Centro de Acopio y Planta Clasificadora y Empacadora de limón Criollo*. FECINOQUA. Guatemala.
21. Instituto Nacional de Estadística, INE. 1999. X, CENSO DE POBLACIÓN Y V DE HABITACIÓN. Guatemala. Editorial Pedro Pineda Ibarra.
22. Kabasakalis, V.; Siopidou, D.; Moshatou, E. 2000. *Ascorbic acid content of commercial fruit juices and its rate of loss upon storage*. Food Chemistry, 70, 325-328.
23. Kimball, Dan A. 1999. *Procesado de Cítricos*. España. Editorial Acribia S.A.
24. Kuldiloke, J.; Eshtiaghi, M.; Zenker, M.; Knorr, D. 2007. *Inactivation of Lemon Pectinesterase by Thermosonication*. International Journal of Food Engineering, 3.
25. Laurrauri, J. A. 1999. *New approaches in the preparation of high dietary fiber powders from fruit by-products*. Trends in Food Science and Technology, 10, 3-8.
26. Lee, H., & Naggy, S. 1988. *Quality changes and nonenzymatic browning intermediate in grapefruit juice during storage*. Journal of Food Science, 53, 168-172.

27. MacDonald, H. M.; Evans, R.; Spencer, W. J. 1993. *Purification and properties of the major pectinesterases in lemon fruits (citrus lemon)*. J. Sci. Food Agric., 62, 163.
28. Marín, F. R.; Martínez, M.; Uribealzo, T.; Castillo, S., Frutos, M. J. 2002. *Changes in nutraceutical composition of lemon juices according to different industrial extraction systems*. Food Chemistry, 78, 319-324.
29. Marshall, M. R.; Marcy, J. E.; Braddock, R. J. 1985. *Effect of total solids level on heat inactivation of pectinesterase in orange juice*. Journal of Food Science, 50, 220.
30. McCready, R.; H. Owens. 1952. *Methods used at Western Regional Research Laboratory for extractions and analysis of pectin materials*. Anal. chem. 24:54-59.
31. Miyamoto, A. 1992. *Extraction and Physicochemical Characterization of Pectin from sunflower Head Residues*. J. Food Sci. 57(3): 19-23.
32. Murillo, Olga. 2000. *Ficha Técnica Limón Ácido (citrus limon)*. Dirección de Mercadeo y Agroindustria Area Desarrollo de Producto. Costa Rica.
33. Nagy, S.; Shaw, P.; Veldhuis, M. 1977. *Citrus Science and Technology*. Volume 1 Nutrition, Anatomy, Chemical Composition and Bioregulation. The Avi Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut.
34. Nwanekezi, E, O.; Alawuba; C. Mkpolulu. 1994. *Characterization of pectic substances from select tropical fruits*. J. Sci. Technol. 31(2): 159-161.
35. Robertson, G. L.; Saminego-Esguera, C. M. 1990. *Effect of soluble solids and temperature on ascorbic acid degradation in lemon juice stored in glass bottles*. Journal of Quality, 13, 361-364.
36. Royo, J. 1980. *Preparación de corteza seca de mandarina para la obtención de pectina a partir de variedades cultivadas en España*. Rev. Agroquím. Tecnol. Alim. 20(3):399-402.
37. Sangnark, A.; Noomhorm, A. 2003. *Effect of particle sizes on functional properties of dietary fiber prepared from sugarcane bagasse*. Food Chemistry, 80, 221-229.
38. Sendra, E.; García-Pérez, J.; Fuentes, C.; Sayas-Barberá, E.; Fernández López, J.; Pérez-Alvarez, J. 2003. *Preparation of high dietary fiber powder*

- from lemon juice by-products*. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 113-117.
39. Simmonds, N. 1980. *Bioquímica de la fruta*. Colección Agricultura Tropical. Barcelona. Editorial Blume. 240 p.
40. Sinkler, T.; J. Radler. 2001. *Effect of oxidative browning of apple pulp on the enzymatic extraction*. Food Sci. Technol. 11(3):113-116.
41. Srinrangarajan, A.; A. Shrikhande. 1979. *Technical note: Comparative aspects of pectin extracted from the peels of different varieties of mango*. J. Food Technol. 14: 567-569.
42. Timmer. L. W.; Garnsey, S. M.; Graham. J. 2002. *Plagas y Enfermedades de los cítricos*. 2da. ed. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa.
43. Untiveros B., Graciela S. 2003. *Obtención y Caracterización de Pectinas de Alto y Bajo Metoxilo de la Manzana Variedad Pachacamac*. Departamento de Química. Facultad de Ciencias y Filosofía de la Universidad Peruana Cayetano Heredia. Perú.
44. Versteeg, C. 1979. *Pectinesterases from oranges fruit-their purification, general characteristics and juice cloud destabilizing properties*. Agricultural Univ., The Netherlands.
45. Vercet, A.; Lopez, P.; Burgos, J. 1999. *Inactivation of heat-resistant pectinmethylesterase from orange by manothermosonication*. J. Agric. Food Chem., 47, 432.
46. Willis, R.; MacGlasson, B.; Graham. D.; Joyce, D. 1998. *Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales*. 2da. ed. Zaragoza, España. Editorial Acribia, S. A.

XII. APÉNDICE

APÉNDICE 1

Cuadro 10
Formas de comercialización de los productores

Forma de comercialización	Número de productores	%
Venden directo	7	19
Intermediarios	19	53
Venden directo e intermediarios	10	28
Total	36	100

Fuente: PROFRUTA. Elaboración estudio 2006.

APÉNDICE 2

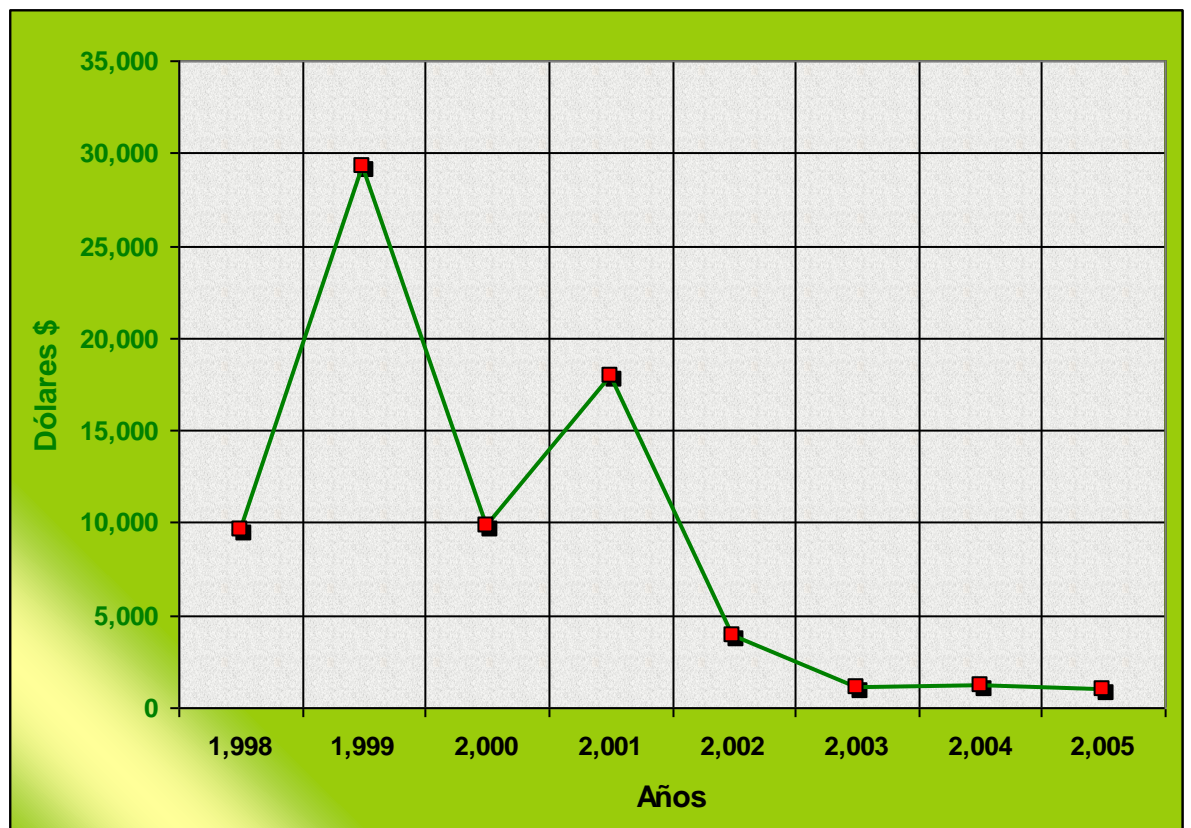
Cuadro 11
Establecimiento de hectáreas de plantaciones de
limón Criollo según año
(Período 1998-2005)

Años	Hectáreas plantadas
1,998	20.8
1,999	219.6
2,000	23.8
2,001	23.4
2,002	33.3
2,003	43.0
2,004	57.3
2,005	70.8

Fuente: PROFRUTA. Elaboración propia de estudio 2006.

APÉNDICE 3

Gráfico 6
Comportamiento de las importaciones de limón al país
Período 1998-2005



Fuente: PROFRUTA. Elaboración estudio 2006.

APÉNDICE 4

Cuadro 12
Consumo aparente del limón Criollo
Período 1998-2005

Años	Producción en quintales	Producción toneladas	Importación en toneladas	Exportación en toneladas	Consumo aparente en toneladas
1,998	1,797.68	81.71	49.0	83.9	46.8
1,999	1,850.85	84.13	285.4	416.4	1,518.6
2,000	1,961.70	89.17	74.8	442.1	1,608.8
2,001	2,574.00	117.00	223.8	631.1	2,059.9
2,002	3,286.45	149.38	23.0	153.3	3,282.5
2,003	4,606.55	209.39	0.3	770.6	4,045.3
2,004	5,965.20	271.15	4.5	1,186.8	5,049.6
2,005	6,391.85	290.54	0.0	1,219.5	5,462.8

Fuente: PROFRUTA. Elaboración estudio 2006.

APÉNDICE 5

Cuadro 13

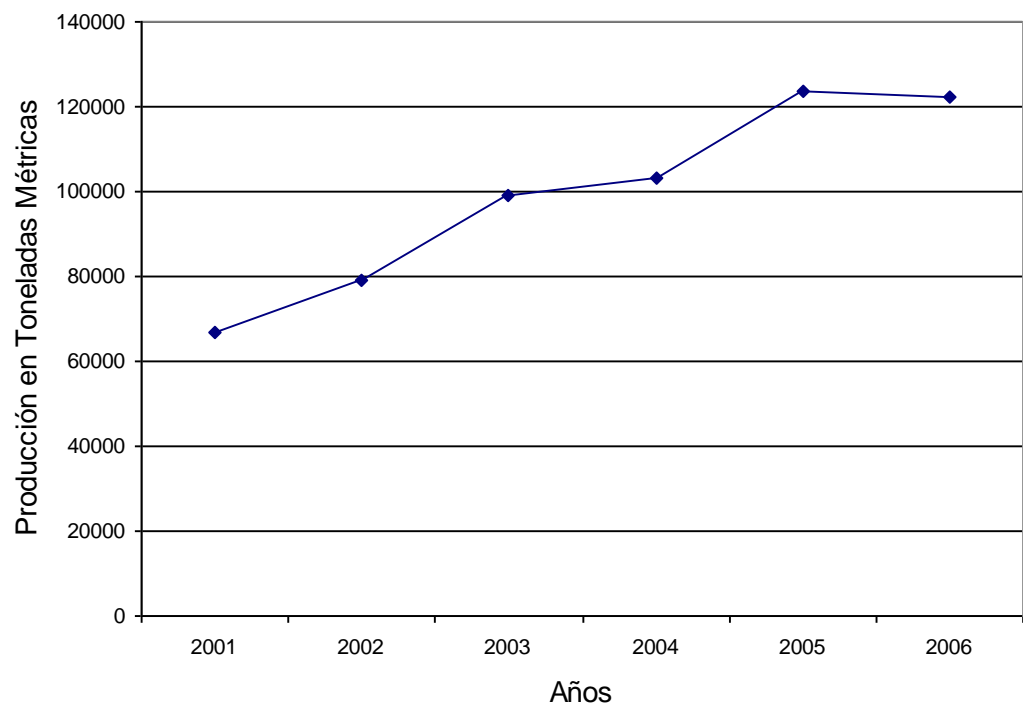
Condiciones de clima y suelo optimas para establecer plantaciones de limón
Criollo

CÍTRICO	TEMPERATURA (°C)		PRECIPITACIÓN (mm)	ALTITUD (msnm)	pH	MATERIA ORGÁNICA (%)
	Máxima	Mínima				
Limón	30	12	900 a 1,200	50 – 1,500	6 – 7	2- 4

Fuente: Raymunt Lousert, Los Agrios 1992.

APÉNDICE 6

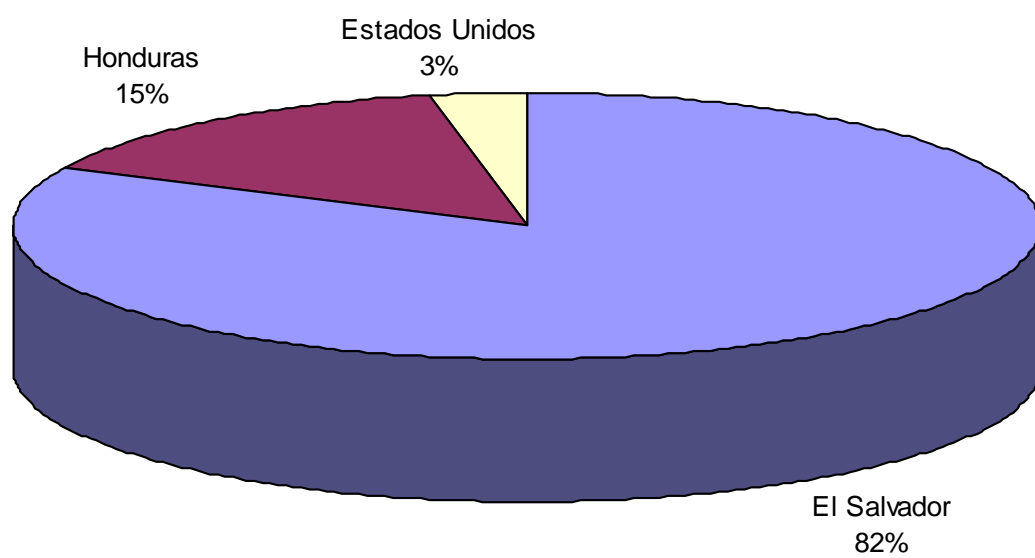
Gráfico 7
Producción de limón en Guatemala



Fuente: Base de datos BANGUAT

APÉNDICE 7

Gráfico 8
Importaciones de limón en Guatemala
Período 2002 – 2005

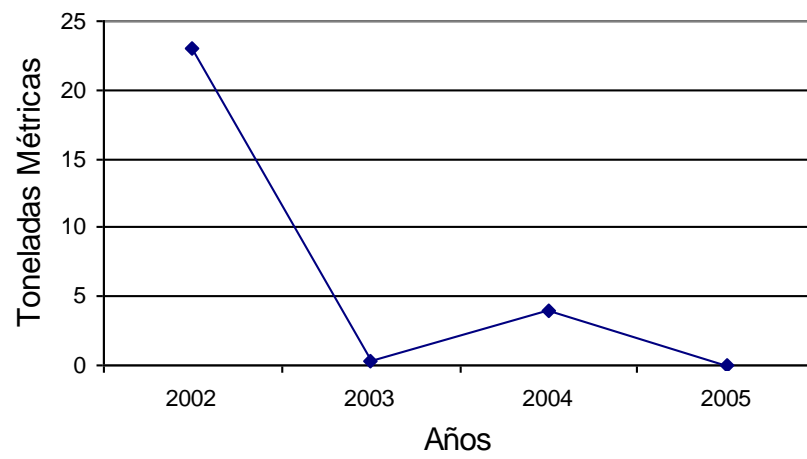


Fuente: Base de datos BANGUAT

APÉNDICE 8

Gráfico 9

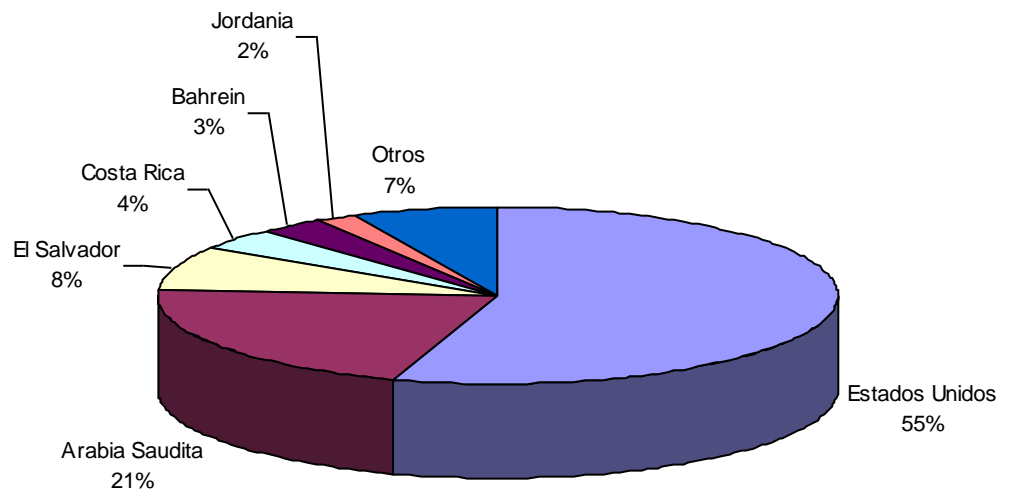
Importaciones de limón Criollo en Guatemala



Fuente: Base de datos BANGUAT

APÉNDICE 9

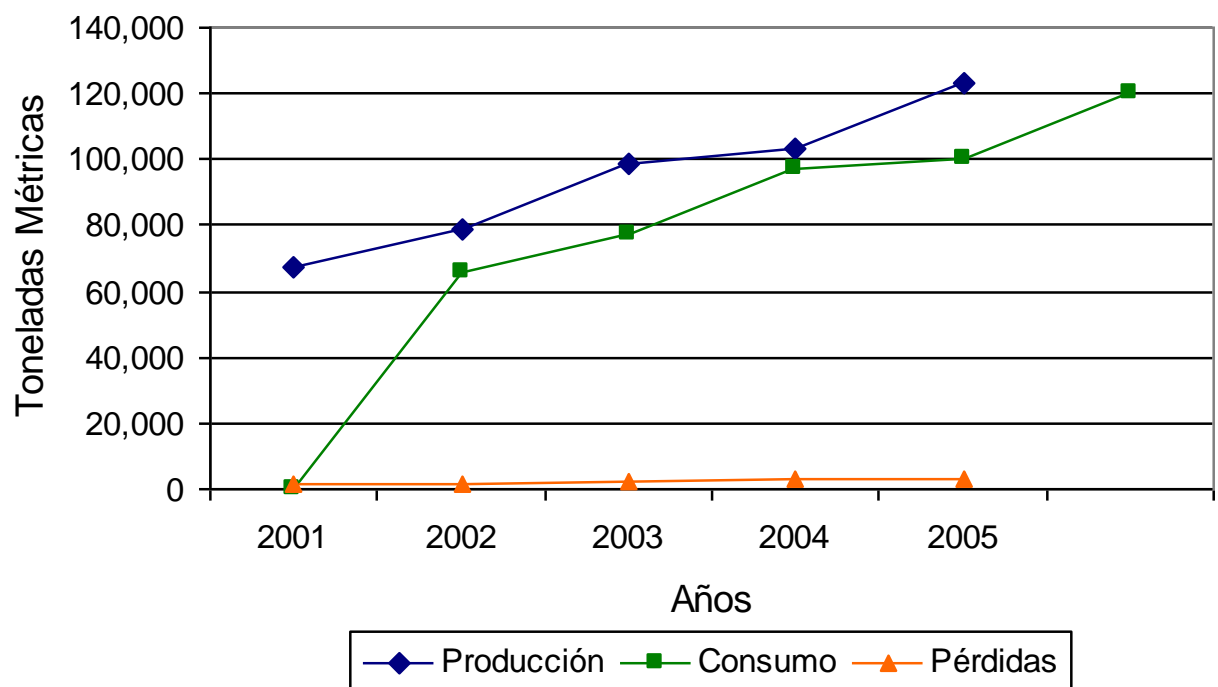
Gráfica 10
Exportaciones de limón en Guatemala



Fuente: Base de datos BANGUAT

APÉNDICE 10

Gráfico 11
Consumo nacional aparente



Fuente: Base de datos BANGUAT

APÉNDICE 11

Cuadro 14

Caracterización física del limón

No. de muestra	Peso ($\pm 0.0001\text{g}$)	Ancho ($\pm 0.01\text{cm}$)	Largo ($\pm 0.01\text{cm}$)	Volumen de jugo ($\pm 0.05\text{mL}$)
1	25.6814	12	6	8
2	28.1362	13	6	7
3	29.6929	13	6	9
4	25.6375	12.5	6.5	9
5	31.4428	13	6	12
6	42.3774	14.5	7	16
7	31.5806	13	7	11
8	35.0625	13	6.5	13
9	27.2490	12	6	10
10	37.3732	14	6.5	12
11	25.5433	13.5	6	10
12	36.0527	14	6.5	14
13	27.3985	13.5	6	9
14	26.5973	12	6.5	10
15	31.1856	13	6.5	12
16	24.5779	12	6	8
17	28.0972	13	6.5	11
18	24.1762	12	7.5	8
19	27.7114	13	6.5	10
20	30.4712	13	6	9
Promedio	29.65224	12.95	6.375	10.4

APÉNDICE 12

Cuadro 15

Degradación de ácido ascórbico en jugo de limón pasteurizado almacenado a diferentes temperaturas

Día	Almacenado a T = 25° C (mg ácido ascórbico)	Almacenado a T = 5° C (mg ácido ascórbico)
0	0.34	0.34
1	0.29	0.34
2	0.28	0.34
3	0.26	0.33
4	0.11	0.30
5	0.08	0.28
6	0.06	0.26
7	0.04	0.24
8	0.03	0.21
9	0.02	0.15
10	0.34	0.34
11	0.29	0.34
12	0.28	0.34
13	0.26	0.33
14	0.11	0.3
15	0.08	0.28
16	0.06	0.26
17	0.04	0.24
18	0.03	0.21
19	0.02	0.15

APÉNDICE 13

Análisis de varianza en datos obtenidos

Análisis de varianza para ° Brix en jugo de limón pasteurizado medido durante 4 semanas

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
°Brix	2.215	3	0.73833333	0.78685613	0.57575827	9.27662815
Tiempo	61.605	1	61.605	65.6536412	0.00392886	10.1279645
Error	2.815	3	0.93833333			
Total	66.635	7				

Debido a que la probabilidad obtenida es >0.05 , no existe una diferencia significativa en el cambio de ° Brix medidos entre cada semana.

Análisis de varianza para pH en jugo de limón pasteurizado medido durante 4 semanas

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
pH	2.35375	3	0.78458333	0.88695243	0.53811715	9.27662815
Tiempo	0.00125	1	0.00125	0.00141309	0.97237522	10.1279645
Error	2.65375	3	0.88458333			
Total	5.00875	7				

Debido a que la probabilidad obtenida es >0.05 , no existe una diferencia significativa en el cambio de pH medido entre cada semana.

Análisis de varianza para consistencia en jugo de limón pasteurizado medido durante 4 semanas

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Consistencia			2.333333	0.2121212	0.8824625	9.2766281
a	7	3	33	14.727272	0.0311996	10.127964
Tiempo	162	1	162	7	7	5
Error	33	3	11			
Total	202	7				

Debido a que la probabilidad obtenida es >0.05 , no existe una diferencia significativa en el cambio de consistencia medido entre cada semana.

Análisis de varianza para acidez en jugo de limón pasteurizado medido durante 4 semanas

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Acidez	0.935	3	0.31166667	0.18208374	0.90224956	9.27662815
Tiempo	14.045	1	14.045	8.20545278	0.06433846	10.1279645
Error	5.135	3	1.71166667			
Total	20.115	7				

Debido a que la probabilidad obtenida es >0.05 , no existe una diferencia significativa en el cambio de acidez medida entre cada semana.

**Análisis de varianza para actividad de Pectinesterasa en jugo de limón
pasteurizado medido durante 4 semanas**

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Actividad pectinesterasa	2.506504	3	0.835501	1.0052135	0.4983447	9.2766281
Tiempo	11.23617	1	11.23617	13.518528	0.0348358	10.127964
Error	2.493504	38	0.831168			5
Total	16.23617	89				

Debido a que la probabilidad obtenida es >0.05 , no existe una diferencia significativa en el cambio de la actividad de pectinesterasa medida entre cada semana.

XIII. ILUSTRACIONES

Ilustración 1

Materia prima utilizada: limón Criollo



Fibra dietética

Ilustración 2

Proceso de extracción de fibra dietética: Cáscaras después de secado en secador de bandejas



Ilustración 3

Fibra dietética obtenida a partir de limón Criollo



Ilustración 4

Determinación de fibra dietética por medio de Kit Sigma



Pectina cítrica

Ilustración 5

Proceso de hidrólisis ácida para obtención de pectina cítrica



Ilustración 6

Proceso de precipitación con Etanol al 95% de pectina cítrica



Ilustración 7

Proceso de filtración para obtención de pectina cítrica

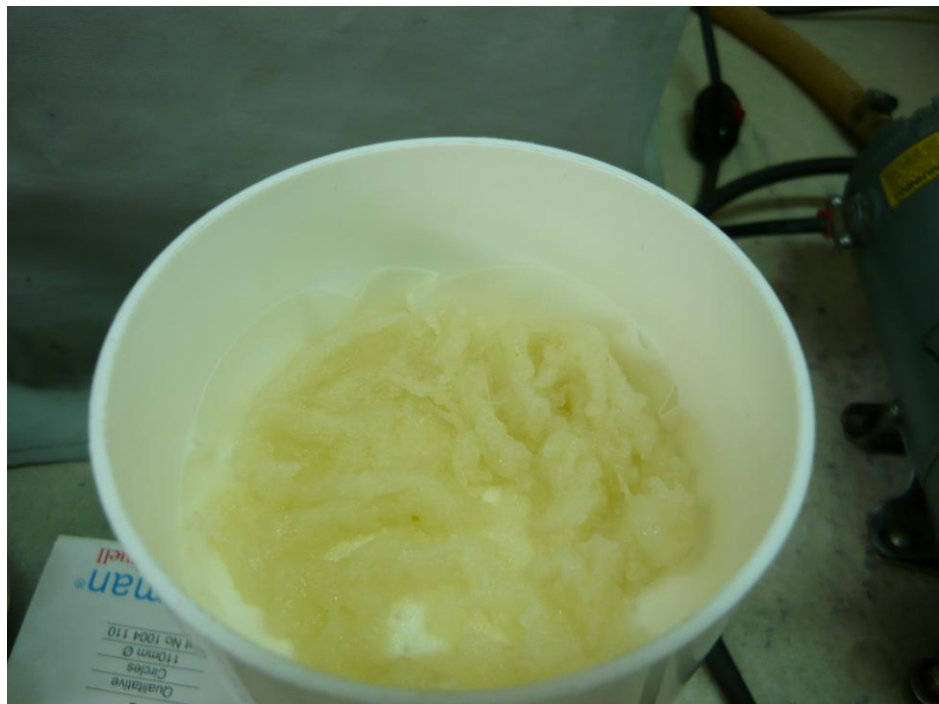


Ilustración 8
Pectina cítrica después de filtrado



Ilustración 9
Secado de pectina cítrica en secador de bandejas



Ilustración 10
Pectina cítrica después de secado

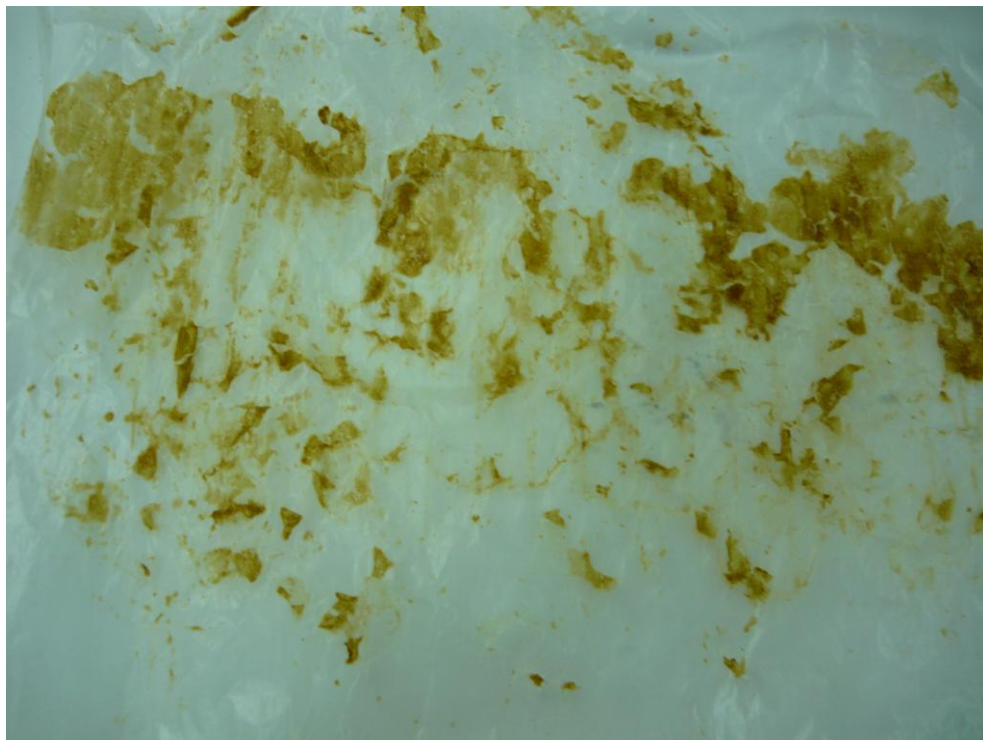


Ilustración 11
Pectina cítrica obtenida antes de tamizado



Ilustración 12

Producto final obtenido: Pectina cítrica de bajo metoxilo

