

4079

664.81
A 278
2003

5514.

DESARROLLO DE NUEVA TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE PASTA DE LUCUMA PASTEURIZADA PARA LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS.

INFORME FINAL.

202-3375

PRESENTADO A : FONDO NACIONAL DE DESARROLLO TECNOLÓGICO Y PRODUCTIVO (FONTEC).

BIBLIOTECA FONTEC

REALIZADO POR: AGRÍCOLA EL ROBLE LTDA.

2003

664.81
A 278
2003

PRESENTACIÓN

En el último decenio, se constata que el país ha sabido enfrentar con éxito el desafío impuesto por la política de apertura en los mercados internacionales, alcanzando un crecimiento y desarrollo económico sustentable, con un sector empresarial dinámico, innovador y capaz de adaptarse rápidamente a las señales del mercado.

Sin embargo, nuestra estrategia de desarrollo, fundada en el mayor esfuerzo exportador y en un esquema que principalmente hace uso de las ventajas comparativas que dan los recursos naturales y la abundancia relativa de la mano de obra, tenderá a agotarse rápidamente como consecuencia del propio progreso nacional. Por consiguiente, resulta determinante afrontar una segunda fase exportadora que debe estar caracterizada por la incorporación de un mayor valor agregado de inteligencia, conocimientos y tecnologías a nuestros productos, a fin de hacerlos más competitivos.

Para abordar el proceso de modernización y reconversión de la estructura productiva del país, reviste vital importancia el papel que cumplen las innovaciones tecnológicas, toda vez que ellas confieren sustentación real a la competitividad de nuestra oferta exportable. Para ello, el Gobierno ofrece instrumentos financieros que promueven e incentivan la innovación y el desarrollo tecnológico de las empresas productoras de bienes y servicios.

El Fondo Nacional de Desarrollo Tecnológico y Productivo FONTEC, organismo creado por CORFO, cuenta con los recursos necesarios para financiar Proyectos de Innovación Tecnológica, formulados por las empresas del sector privado nacional para la introducción o adaptación y desarrollo de productos, procesos o de equipos.

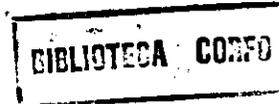
Las Líneas de financiamiento de este Fondo incluyen, además, el apoyo a la ejecución de proyectos de Inversión en Infraestructura Tecnológica y de Centros de Transferencia Tecnológica a objeto que las empresas dispongan de sus propias instalaciones de control de calidad y de investigación y desarrollo de nuevos productos o procesos.

De este modo se tiende a la incorporación del concepto "Empresa - País", en la comunidad nacional, donde no es sólo una empresa aislada la que compite con productos de calidad, sino que es la "Marca - País" la que se hace presente en los mercados internacionales.

El Proyecto que se presenta, constituye un valioso aporte al cumplimiento de los objetivos y metas anteriormente comentados.

FONTEC - CORFO

INDICE.



pg.

INDICE.....	2
1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES BÁSICOS.....	4
2. PARÁMETROS BÁSICOS DE LA MATERIA PRIMA Y EL PRODUCTO FINAL.....	6
2.1 Características mecánicas del fruto.....	9
2.2 Características físico-químicas.....	10
2.3 Requerimientos de los usuarios del producto final.....	
3. MADURACION FORZADA DEL FRUTO.....	15
3.1 Justificación y recopilación bibliográfica.....	15
3.2 Diseño de una cámara de maduración.....	18
3.3 Pruebas de maduración programada.....	19
4. PELADO Y CLASIFICACION POR MADUREZ DEL FRUTO.....	21
4.1 Pelado del fruto.....	21
4.1.1 Recopilación bibliográfica.....	21
4.1.2 Evaluación práctica de sistemas de pelado.....	24
4.1.3 Conclusiones y selección del sistema a utilizar.....	25
4.2 Clasificación por madurez.	25
4.2.1 Recopilación bibliográfica.....	25
4.2.2 Características elásticas del fruto.....	27
4.2.3 Diseño de rodillos de clasificación.....	30
4.2.4 Pruebas de clasificación.....	30
5. TAMIZADO DE LA PULPA.....	32
6. CONSISTENCIA DE LA PULPA.....	33
6.1 Justificación del manejo de la consistencia.....	33
6.2 Recopilación bibliográfica.....	33
6.3 Medición de la consistencia de la pulpa de lúcuma.....	35
6.4 Pruebas de acción enzimática sobre la pulpa.....	36
6.5 Pruebas de disminución de consistencia por tratam. Mecánico.....	37
7. PASTEURIZACION DE PULPA de lucuma.....	38
7.1 Recopilación bibliográfica.....	38
7.2 Procesamiento actual de pasteurización.....	38
7.3 Pruebas de pasteurización.....	39
7.3.1 Antecedentes teóricos.....	39
7.3.2 Resultados.....	39

7.4 Diseño de un sistema de pasteurización.....42

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....46

ANEXO 1. Medidor de consistencia de pulpa de lúcuma.....50

ANEXO 2. Esquema de sistema de maduración forzada..... 51

ANEXO 3. Medición de constante de restitución del fruto.....52

ANEXO 4. Sistema de clasificación por madurez..... 53

ANEXO 5. Propuesta de sistema de aplicación de enzima y de pasteurización..... 54

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES BÁSICOS.

El lúcumo es una especie de tipo subtropical que en la actualidad es sólo cultivada comercialmente en países andinos, destacándose Chile y Perú.

A diferencia de otras frutas, la lúcuma no se consume en forma fresca, sino que encuentra su aplicación en la agroindustria de transformación, en donde la parte comestible del fruto es reducida a pulpa o a mitades, siendo posteriormente congelada o preservada con azúcar y con un tratamiento térmico, a fin de ser usada por la industria de alimentos. También se conoce en Perú un producto deshidratado en forma natural y reducido a polvo, el cual es procesado a escala artesanal.

El fruto procesado es principalmente apreciado por su sabor y aroma exótico, constituyéndose en un saborizante natural para helados, productos de repostería y otras especialidades dulces. Cabe señalar que los productos de lúcuma son mayormente conocidos en los países en que esta se cultiva y procesa. En la mayoría de los países del hemisferio Norte, el sabor es desconocido, especialmente en su aplicación en la industria de la heladería, en donde, de acuerdo a sondeos de mercado, existe un potencial muy interesante para su incorporación en la oferta de sabores, tanto en el segmento de escala industrial, como en fábricas de helados menor tamaño como las existentes en algunos países de Europa.

La empresa patrocinante de este proyecto, es el productor más importante de lúcuma cultivada de Chile y cuenta con una planta de procesamiento que le permite obtener distintos productos derivados del fruto, tanto congelados como preservados por azúcar. En la actualidad abastece al segmento de heladería nacional, tanto industrial como artesanal; adicionalmente, ha realizado y realiza importantes esfuerzos de expansión de sus ventas hacia mercados externos, especialmente USA y Europa. La condición de productor y procesador de este fruto le ha permitido a la empresa constatar una serie de limitaciones del proceso agroindustrial y del producto final, las cuales han motivado la presentación del presente proyecto a Fontec y su ejecución. A continuación se reseñan los principales aspectos que se pretenden mejorar con la ejecución del proyecto.

- a) En primer lugar, la escala y sistema de producción comenzó en un nivel artesanal, y ha ido creciendo a medida que se desarrolla el mercado. La proyección actual y futura de la empresa indica que el procesamiento de tipo artesanal con uso importante de operaciones de tipo manual, especialmente en las etapas de preparación del fruto, debe ser modificado, tanto por capacidad de producción, como por estandarización del producto final.***

- b) Por el bajo contenido de humedad del fruto, en comparación con otras especies frutales, los productos industrializados de lúcuma, en particular la pulpa o pasta, presenta una consistencia extremadamente alta lo cual ocasiona algunos problemas de proceso, especialmente en su aplicación final en la industria de heladería. La solución, aplicada hasta ahora, ha sido la dilución parcial con agua de la pulpa, a fin de disminuir su consistencia. Se hace necesario por lo tanto, disponer de herramientas adicionales para manejar la consistencia de los productos sin recurrir a lo indicado.**
- c) La ausencia de parámetros simples de expresión de madurez, junto con una producción casi durante todo el año, hace difícil llegar a la línea de proceso con fruta en condición de madurez uniforme. La lúcuma presenta un patrón de maduración de tipo climactérico, por lo cual es posible manejar ésta, con los sistemas conocidos de maduración forzada. Sin embargo, a diferencia de otras especies, los parámetros para manejar la madurez, por elevación programada de temperatura e inyección de gases, no son conocidos.**

La solución de los problemas citados se considera indispensable para cumplir los planes de expansión de la empresa, razón por la cual se ha formulado el presente proyecto de investigación aplicada. Al término de su ejecución, se espera contar con nuevas herramientas de proceso que permitan enfrentar los requerimientos de capacidad instalada y de características del producto, que demandará la expansión de la demanda hacia el mercado externo.

BIBLIOTECA CORFO

Seguidamente se describe cada operación indicándose los parámetros del fruto que son importantes en cada una.

a) Maduración forzada de la fruta.

Es una condición importante para obtener una pulpa de características adecuadas, el disponer de una fruta con madurez uniforme a la entrada de la línea. La condición externa del fruto del lúcumo, hace, por otra parte difícil identificar un parámetro visual asociado a la madurez en el momento de la cosecha. Ni el color externo ni la dureza del fruto son una indicación precisa de la condición interna. Por esta razón, es indispensable realizar una cosecha en condición de madurez fisiológica, con una maduración post cosecha de la fruta. Dado que la lúcuma presenta un patrón de maduración de tipo climactérico, es posible y recomendable realizar una maduración forzada, utilizando uno de los gases de maduración conocidos (etileno o acetileno). Esta operación permite además uniformar la madurez de un lote.

Para esta etapa , es importante que la fruta esté en una condición que pueda seguir madurando una vez separada del árbol.

b) Clasificación por tamaño.

Esta etapa , es importante como antecesora del sistema de clasificación por madurez, que siendo del tipo mecánico, requiere que la fruta haya sido clasificada previamente.

Para esta operación interesan las dimensiones externas del fruto. Dada su forma, esférica achatada, se definen dos diámetros ecuatoriales del fruto perpendiculares, y su altura, como las dimensiones relevantes.

c) Sanitización superficial.

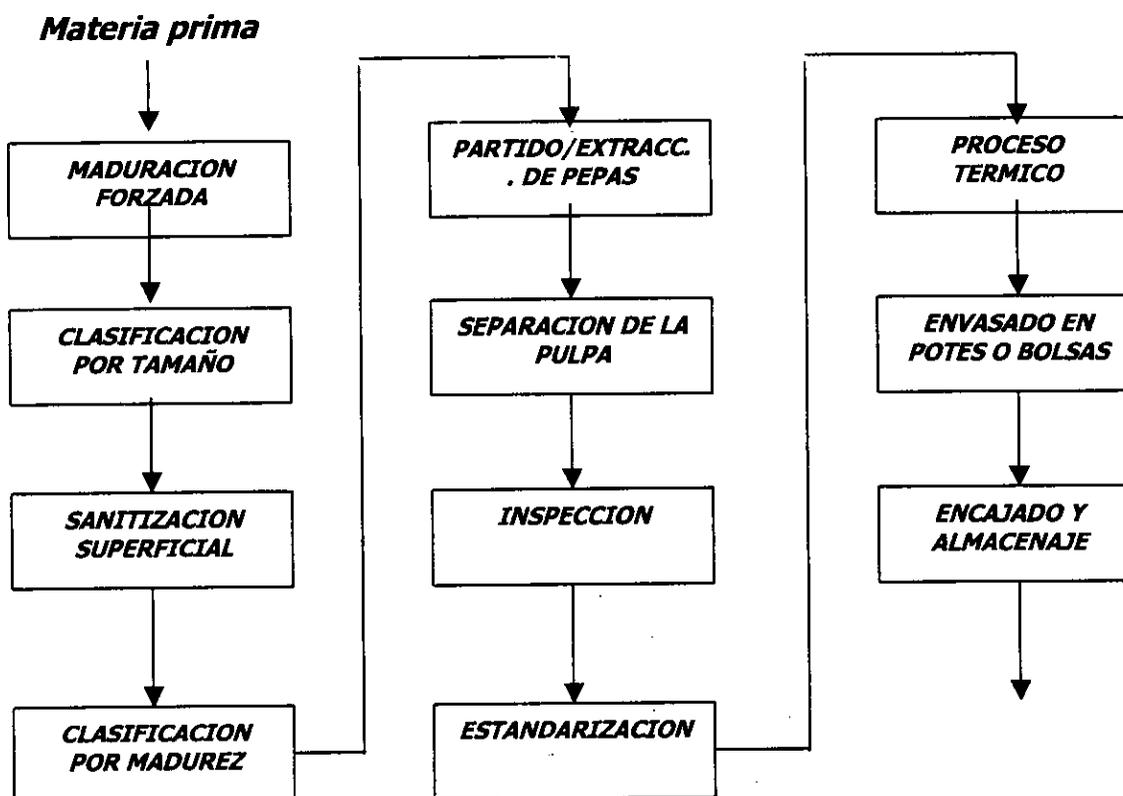
Esta etapa es importante para controlar el recuento de microorganismos de la pulpa, ya que en las etapas posteriores de remoción de la cáscara y pepas, hay un contacto estrecho entre la parte comestible y la cáscara. El lavado se hace con agua caliente a 60 °C, por dos minutos, agregándose al agua de lavado un sanitizante adecuado al tipo de flora microbiana que puede colonizar el fruto.

2. PARÁMETROS BÁSICOS DE LA MATERIA PRIMA Y EL PRODUCTO FINAL.

En este capítulo, se cuantifican algunas características de la lúcuma como materia prima del proceso de obtención de pulpa o pasta, y adicionalmente, se comentan entrevistas con los usuarios finales del producto (heladerías industriales y artesanales) en relación a los parámetros del producto final que son importantes para cada aplicación de la pulpa.

En primer lugar, se considera el diagrama de flujo de la línea de obtención de pulpa, como referencia para los parámetros de interés del fruto . El diagrama de flujo se presenta a continuación y corresponde a la secuencia que se propone en el presente proyecto, es decir, incorporando las etapas y mejoramientos que se desarrollan en éste.

DIAGRAMA DE FLUJO SIMPLIFICADO DE LA LINEA DE PROCESO DE PULPA DE LÚCUMA.



d) Clasificación por madurez.

Esta etapa es complementaria a la maduración, para obtener un fruto maduro a la entrada de la línea de proceso. Su objetivo es rechazar la fruta que no cumpla la condición de madura, antes de partir el fruto.

La clasificación se realiza en forma mecánica, basada en la elasticidad de la superficie del fruto, la cual cambia con la maduración. Por lo tanto es importante la determinación y cuantificación de dichas características de elasticidad, las cuales deben medirse en forma instrumental.

e) Partido del fruto y eliminación de la o las pepas.

Esta etapa es de tipo manual, y aunque en el futuro podría mecanizarse, la posición irregular de las pepas en el fruto, plantea algunas dificultades prácticas a la mecanización. Siendo una operación manual, es prácticamente independiente de las características del fruto.

f) Separación de la pulpa.

La separación de la pulpa se realiza en una turbo pulpadora, con previo tratamiento de las mitades en un triturador de cuchillos. Para esta etapa es importante que la pulpa esté suficientemente blanda para que se separe de la cáscara, lo cual se logra con la madurez adecuada del fruto.

g) Inspección y estandarización.

En estas etapas, la pulpa se inspecciona y formula de acuerdo a las distintas aplicaciones como producto final. Para esta etapa y las posteriores, interesan las características fisico-químicas de la pulpa, especialmente el contenido de sólidos solubles, su pH y consistencia.

h) Proceso térmico.

La etapa de realización del proceso térmico que se le comunica a la pulpa ya formulada, está dirigida a controlar el recuento de microorganismos en el producto. Para esta etapa interesa fundamentalmente el pH de la pulpa y su contenido de sólidos solubles, naturales o adicionados, los cuales determinan la intensidad del proceso térmico.

Por su efecto en el color y sabor de la pulpa, es importante la velocidad de calentamiento de la misma, y por lo tanto, el tiempo de residencia del producto en contacto con la superficie caliente; estos parámetros están determinados por la consistencia de la pulpa y el tipo de equipo utilizado para esta etapa.

Por la consistencia de la pulpa de lúcuma, derivada de su bajo contenido de humedad y composición, debe utilizarse un equipo de calentamiento con ayuda mecánica (de superficie raspada), para lograr una transferencia de calor eficiente. Similar consideración se aplica al enfriamiento.

i) Envasado de la pulpa.

Inmediatamente la pulpa es tratada térmicamente, se procede a su envasado, y posterior enfriamiento en el envase. Existen varios tipos de envases que se pueden utilizar para el producto: bolsas flexibles de distintos formatos en polietileno o laminados que contengan polietileno, envases de plástico rígido de varias capacidades y tambores metálicos. El punto más crítico que depende del tamaño del envase, es la velocidad de enfriamiento de la pulpa, la cual disminuye en forma importante para los formatos de mayor tamaño. Una velocidad de enfriamiento reducida generalmente lleva al deterioro térmico del color y/o sabor de la pulpa.

Como una solución definitiva a este problema, se dispone de los sistemas de envasado aséptico, en los cuales la pulpa es enfriada previamente a su envasado, y éste se realiza en condiciones asépticas.

Una vez definidos los parámetros de importancia para el proceso, se reporta a continuación los avances en su determinación.

2.1 Características geométricas y mecánicas del fruto.

Se determinó las dimensiones geométricas, peso por unidad, espesor de la cáscara y resistencia a penetración de la cáscara en estado verde y maduro, para una muestra representativa de la fruta. Los resultados se muestran en la siguiente tabla expresados en forma de promedio y desviación standard.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y GEOMÉTRICAS DEL FRUTO DEL LUCUMO.

PARAMETRO	UNIDADES	PROMEDIO+/- DESV. STD
1. Peso del fruto	gr.	173 +/-20
2. Diámetros ecuatoriales (1)	mm.	(74 x 72) +/-0.4
3. Altura	mm.	63 +/- 0.2
4. Porcentaje (w/w) cáscara	%	16.4 +/-1.6
5. Porcentaje (w/w) pepas	%	17.1 +/-3.3
6. Porcentaje (w/w) pulpa	%	65.7 +/-5.0
7. Resistencia estado verde (2)	lb.	12.5 +/- 5.6
8. Resistencia estado maduro (2)	lb.	6.1 +/- 2.6

- (1) **El fruto presenta diámetros perpendiculares levemente diferentes. Se consignan los dos valores.**
- (2) **La resistencia se mide con un penetrómetro tipo Effegi, con resorte modificado y con punzón de 8 mm. Las mediciones son relativas una c/r a la otra.**

2.2 Características fisico-químicas de la pulpa de lúcuma.

De acuerdo a lo indicado, las siguientes son las características que son de interés para el proceso de la lúcuma: el pH, el contenido de sólidos solubles, el color, la consistencia y el sabor/ aroma, esta última es la más relevante, ya que da cuenta de la preferencia sensorial por el producto. A continuación se hacen algunas consideraciones sobre la medición de cada parámetro, el rango de valores, y su significación para el proceso.

a) pH de la pulpa.

Su medición se realiza con un peachímetro convencional, haciendo mención al problema del inusualmente bajo contenido de agua del producto (57-65 %, base húmeda), lo cual obliga a diluir en agua la pulpa para efectuar la medición.

Los valores medidos de pH de la pulpa están entre 5.5 y 6.0. Desde el punto de vista microbiológico, la implicancia de estos valores de pH para el proceso de pasteurización de la pulpa, son varias, y serán discutidas en el capítulo del proceso térmico.

b) Contenido de sólidos solubles.

Como se indicó, la lúcuma presenta características particulares en cuanto al contenido de sólidos, el cual es bastante más alto que el común de las frutas (35 a 43 %), y este hecho dificulta bastante algunos aspectos de proceso. La pulpa de lúcuma presenta un contenido de sólidos solubles en fruto maduro, de 18 a 20 % correspondiendo en forma mayoritaria a azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa).

La medición del contenido de sólidos solubles de la lúcuma también presenta dificultades prácticas por el bajo contenido de humedad del fruto. Para obtener medidas coherentes se requiere tratar mecánicamente la pulpa a fin de producir un rompimiento celular y así liberar los componentes solubles.

c) Color de la pulpa.

La pulpa de lúcuma presenta en estado maduro un intenso color anaranjado, debido a su contenido de compuestos carotenoides. La mantención de esta característica tiene importancia para algunas de las aplicaciones industriales de la pulpa de lúcuma, como es el caso de la heladería artesanal o la repostería, en donde se mantiene el color original de la pulpa sin la adición de ningún colorante . En el sector heladero industrial, el color de algunos helados, se refuerza con colorantes artificiales por lo cual el color natural de la pulpa tiene menos importancia.

La medición del color de la pulpa de lúcuma puede realizarse en forma instrumental, o por comparación visual con patrones de color. Este último método se prefiere en este caso, solamente por razones del alto costo de la medición instrumental.

Para la medición objetiva del color de la pulpa de lúcuma se dispone hoy en día de varios sistemas .

c1) Sistemas visuales comparativos.

En los sistemas comparativos como el Munsell (Macbeth Industries, USA), se proveen patrones de la escala Munsell de color, impresos en papel o plástico, contra los cuales se evalúa el color del producto en forma visual. Para ordenar los distintos colores se utiliza un sistema de tres coordenadas de color,

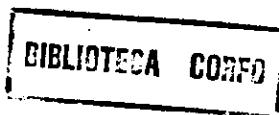
denominadas chroma, hue y value. Estas tres coordenadas definen cualquier color , en su luminosidad y cromaticidad.

La ventaja del sistema Munsell, es que al utilizar el ojo como sistema de comparación, se evita la interfase electrónica fotométrica que es en general de alto costo. Este sistema es ideal para pequeñas agroindustrias que desean acceder a un sistema de medición y clasificación por color de costo moderado.

c2) Sistemas instrumentales de medición de color.

En los sistemas instrumentales, la medición del color se realiza con sensores de tipo fotocélula. Algunas de las marcas más populares de instrumentos de medición del color son: Minolta Corporation de Japón y Gardner Color de USA.

Al igual que el sistema de comparación visual, la cromaticidad y luminosidad de los diferentes colores se ordena en este caso de acuerdo a una escala de tres coordenadas (L,a,b), en donde L representa la luminosidad, y las restantes dos coordenadas dan cuenta de la cromaticidad del color. El instrumento indica directamente las tres coordenadas de color de un producto, siendo la medición muy sencilla y rápida.



d) Consistencia de la pulpa.

Como ya se ha indicado, el bajo contenido de agua y el contenido de algunos polisacáridos de la lúcuma , produce una muy alta consistencia en la pulpa, al punto que, sin dilución con agua, es imposible la medición con los métodos convencionales aplicables a pulpas de otras frutas. Se probaron, el sistema de viscosímetro rotacional Brookfield, y el consistómetro de Bostwick, ambos utilizados en pulpas de fruta, pasta de tomate, y otros productos similares. En ambos casos, los resultados de medición fueron negativos, razón por la cual se desechó la adquisición de un consistómetro de Bostwick, originalmente incluido en el programa y presupuesto del proyecto.

Alternativamente, se determinó la factibilidad de medir la consistencia de la pulpa mediante la técnica de retro-extrusión (back-estrusion), para lo cual se construyó un instrumento simple basado en esta técnica para realizar la evaluación. Este instrumento reemplazará al consistómetro de Bostwick.

En esencia un instrumento de retro-extrusión consta de una celda cilíndrica cerrada en su parte inferior en la cual se coloca una muestra de pulpa, y un pistón de menor diámetro que el cilindro, el cual se va introduciendo en la pulpa, produciéndose la extrusión de ésta en el espacio anular que queda entre el pistón y cilindro. En los equipos más sofisticados de retro-extrusión, se mide mediante una celda de carga, la fuerza necesaria para la introducción del pistón. En este caso se realizó una adaptación sencilla del instrumento, en la cual se mide el tiempo de caída del pistón bajo su propio peso, en la pulpa de fruta. La medición de este tiempo proporciona una medida de la viscosidad o consistencia de la pulpa. En Anexo 1 se indica un esquema dimensional del instrumento construido.

e) Sabor y aroma de la pulpa.

Esta es la característica más apreciada y especial por la cual se distingue la pulpa de lúcuma. La evaluación del sabor y aroma por métodos instrumentales está fuera del alcance de una agroindustria de tamaño mediano, por la complejidad y costo de los análisis involucrados. Alternativamente, se dispone de un panel sensorial entrenado, que realiza la evaluación de la pulpa.

2.3 Requerimientos de los usuarios del producto final.

A fin de determinar, en forma cualitativa o cuantitativa, cuales son los requerimientos de los usuarios finales de la pulpa de lúcuma, se realizaron entrevistas con técnicos de las empresas nacionales usuarias del producto. Por su importancia, se seleccionó al sector heladero para las entrevistas. Dentro de éste, se consideró la heladería industrial y la artesanal, por ser diferentes los requerimientos de cada una. Seguidamente, se indican las principales conclusiones en relación a las características del producto requerido en ambos casos.

a) Heladería industrial.

En este caso, se elaboran helados corrientes y premium usando la pulpa como saborizante, en un nivel de inclusión que no supera el 20 %. Desde el punto de vista de proceso, es importante que el

producto no contenga partículas mayores a 0.5 mm., para evitar obstrucciones en los equipos de pasteurización. También está especificado el % de sólidos solubles de la pulpa, el cual se estandariza en la planta de elaboración de pulpa.

Indudablemente, la característica más importante de la pulpa es el sabor y aroma, siendo menos importante el color para el segmento industrial de la heladería, ya que este parámetro se estandariza con productos artificiales.

b) Heladería artesanal.

En este caso, y por el sistema de elaboración de helados, es menos importante el tema de tamaño de partícula, ya que la elaboración es de carácter más manual, aun cuando los niveles de inclusión de la pulpa son similares en orden de magnitud al sector industrial. Por tratarse de productos de alta calidad en general, el tema del color y sabor de la pulpa reviste mucho mayor importancia que en el caso de la heladería industrial.

Particularmente, no se acepta la pulpa con alteraciones de color producida por pardeamiento o uso de fruta sobre-madura.

Estas observaciones y consideraciones, la mayoría de carácter cualitativo, deben ser proyectadas a los futuros mercados de exportación que la empresa desea abastecer. Para estos mercados, el color y sabor del helado deberá provenir mayoritariamente del aporte de la fruta, razón por la cual deberá seleccionarse en forma cuidadosa la madurez de la fruta procesada, así como el equipamiento usado en las etapas del proceso que pueden producir cambio de color (obscurecimiento) de la pulpa, como es la pasteurización.

3. MADURACION FORZADA DEL FRUTO.

El requerimiento de control de madurez en la fruta que entra a proceso, y que ya ha sido indicado en el capítulo anterior, demanda de algún grado de manipulación de las variables del entorno de la fruta durante la post cosecha previa al proceso, a fin de uniformar y acelerar la maduración.

El sistema de maduración forzada manejando temperatura, humedad relativa y composición gaseosa del entorno de la fruta, es bien conocido y cuenta con aplicaciones comerciales en otras especies, siendo el caso más masivo, el del plátano, aplicándose también en cítricos, palta y chirimoya y algunas especies tropicales. En el caso de la lúcuma, no existe evidencia experimental reportada, y por lo tanto se consideró necesario generar la información pertinente construyendo un prototipo de cámara de maduración y realizando experiencias prácticas. El avance en estas actividades es reportado en este capítulo.

3.1 Justificación y recopilación bibliográfica.

La maduración de la lúcuma sigue un patrón de tipo climactérico, aumentando su tasa respiratoria tres a cuatro veces en un período de cinco días a temperatura ambiente. La resistencia de la pulpa se reduce unas 10 a 15 veces en el mismo período, y los sólidos solubles aumentan de alrededor de 9 a un 16 %. Durante el periodo de inmadurez, la fruta produce un látex, el cual desaparece al madurar. El color interno de la pulpa cambia de un amarillo claro a un anaranjado intenso, característico de la lúcuma madura. Este color se debe a pigmentos carotenoides de tipo xantofila principalmente (3). La madurez produce por otra parte la síntesis de compuestos de aroma y sabor que le dan la nota distintiva y apreciada al fruto.

Los cambios que ocurren durante el período de maduración, han sido caracterizados (1), resumiéndose en el siguiente cuadro.

MADURACION DE LA LUCUMA. EVOLUCION DE PARÁMETROS.

PARAMETRO	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	ETAPA 5
Color de cáscara	Verde oscuro	Verde Claro	Verde amarillento	Amarillo Verdoso	Amarillo verdoso
Color de pulpa	Amarillo crema	Amarillo crema	Amarillo	Amarillo intenso	Anaranjado fuerte
Sólidos solubles (%)	9-11	11-13	13-14.5	14.5-16	16-18
Tasa respiratoria (mg CO₂/Kgxhr)	140-160	160-320	320-350-240	240-120	120-80
Resistencia de pulpa (lb). *	30-27	27-22	22-5	5-3	Menor a 3
Días a Temperat. ambiente	3	2	2	2	2

*** Medida con penetrómetro de 1.1 mm de diámetro, sin cáscara.**

Varias conclusiones de interés para el desarrollo del proyecto, pueden extraerse del cuadro anterior.

En primer lugar el parámetro que presenta cambios más notables durante las etapas dos y tres, es la resistencia de la pulpa de acuerdo a lo cual, un sistema de selección por madurez, debería considerar las propiedades mecánicas superficiales del fruto.

En relación a la tasa respiratoria, la característica climactérica, permite considerar una maduración programada, utilizando etileno. Este sistema tiende a uniformar las características de la materia prima para proceso, y adicionalmente disminuye las pérdidas.

La maduración se logra mediante un corto período de acondicionamiento del fruto a una temperatura y humedad definidas, seguida de un tratamiento con etileno o acetileno durante un período de tiempo determinado. La fuente de etileno puede ser gas comprimido en una bombona, o bien un producto que por reacción química produce el gas. Para realizar la maduración, se requiere de una cámara hermética aislada térmicamente con una capacidad acorde al flujo de fruta a procesar, y que cuente con los siguientes elementos (10),(11).

- a) *Un sistema de mantención de la temperatura de la fruta, en el entorno de 20 – 25 grados Celsius.*
- b) *Un sistema de humidificación del ambiente de la cámara, de operación manual o automática, que permita fijar la humedad en un valor entre 90 y 95 %.*
- c) *Un sistema de movimiento y extracción de gases que mantiene el contenido de CO2 en valores reducidos, y que además uniforma el contenido de etileno en el interior de la cámara, y lo evacua al final del proceso.*
- d) *Un sistema de inyección de etileno o acetileno y su correspondiente monitoreo.*

De acuerdo a la práctica habitual en otras especies, es común disponer de cámaras (una o varias) de maduración con capacidad para un día de proceso, realizando el proceso de maduración para luego almacenar la fruta por un periodo de tiempo hasta su procesamiento (8). El uso de este sistema permite regular en mejor forma el suministro de fruta madura, y controlar el grado de madurez dentro de límites más precisos.

En relación al control de las variables durante el proceso de maduración, como se indicó, no existe información referente a la especie lúcumo, por lo que a modo de referencia puede citarse los rangos utilizados para otras especies, en particular plátano, palto y melón, indicados a continuación (10).

PARÁMETROS DE MADURACION.

ESPECIE	CONCENTRACIÓN DE ETILENO (ppm)	RANGO DE TEMPERATURA (Grados Celsius)	TIEMPO DE EXPOSICIÓN (horas)
<i>Palto</i>	<i>10 - 100</i>	<i>15 - 18</i>	<i>12 - 48</i>
<i>Plátano</i>	<i>100 - 150</i>	<i>15 - 18</i>	<i>24</i>
<i>Melón</i>	<i>100 - 150</i>	<i>20 - 25</i>	<i>18 - 24</i>

El manejo de la humedad relativa debe realizarse manteniendo un nivel dentro de la cámara de al menos 85 % y preferiblemente en el entorno de 90 a 95%. Lo anterior debido a que una mantención de la fruta a temperatura de 20 grados por espacio de hasta 48 horas, puede producir un grado de deshidratación, aun cuando se anticipa que en el caso de la lúcumo, por su menor nivel de humedad, este problema debería ser de menor importancia.

La capacidad de ventilación externa de la cámara debe ser tal que permita evacuar el CO2 producido por la fruta cada cierto tiempo.

Siendo el nivel normal de CO₂ en el aire de 0.3 % (3 000 ppm), una concentración de 5 000 ppm , puede producir retardo en la maduración de tal manera que el control de esta variable debe ser cuidadoso. Recordar que cuando se trata de frutas con patrón de respiración climactérico, la tasa de producción de CO₂ aumenta en forma exponencial al acercarse al máximo del climacterio. Se recomienda , para el caso de cámaras de maduración de gran tamaño, evacuar cada dos o tres horas el aire de la cámara. Para el caso del prototipo a construir, la evacuación se realiza por abertura de la puerta de la cámara, por un corto período.

A modo de ejemplo se indica un protocolo de maduración rápida (cuatro días totales), para plátano.

- **Calentamiento de la fruta hasta 17 grados, durante 12 horas.**
- **Mantención de la temperatura y aplicación de etileno (100 ppm) por espacio de 24 horas.**
- **Venteo de la cámara para eliminar etileno e incremento de la temperatura a 18 grados por unas 30 horas.**
- **Disminución de la temperatura , por 30 horas.**

Durante la tercera y cuarta etapas se debe mantener un control de la concentración de CO₂ mediante venteos periódicos de la cámara.

3.2 Diseño de una cámara de maduración.

Para la realización de las pruebas de maduración forzada de lúcuma , se utiliza un contenedor de 40 pies , el cual provee un entorno aislado y hermético. Las dimensiones de la sección transversal del contenedor son de 2.2 x 2.2 m (ancho x altura) , y dentro del mismo, se separó un área de 2.3 m. de longitud, mediante paneles aislantes. Esto permite disponer de un volumen de 11 m³ en donde se coloca un pallet de 30 cajas cosecheras de plástico de fruta totalizando 500 kg., el cual es la unidad de trabajo en los ensayos de maduración.

La elevación de la temperatura del módulo se realiza mediante calentamiento por resistencias eléctricas, controladas por un termostato, con el cual se fija la temperatura de trabajo entre 20 y 22 grados Celsius.

La inyección de gas corresponde a acetileno, adicionado desde un balón de gas presurizado. Para llenar el módulo con una concentración de 100 ppm, se requiere de 1.1 lt. de gas.

La cantidad de gas inyectado se regula mediante la válvula del regulador de presión del balón de acetileno. Se instaló un medidor de burbuja en forma paralela a la inyección, como se muestra en la figura del anexo 2. Este medidor permite determinar el flujo de gas acetileno, de tal manera que, aplicando este flujo por un tiempo determinado, se completa la concentración de gas requerida en la cámara.

Ejemplo : aplicar 100 ppm de gas a la cámara.

Volumen de la cámara : 11 m³

Concentración de gas : 100 ppm

Volumen de gas puro : $11 \times 100 \times 10^{-6} = 1.1 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 1.1 \text{ lt.}$

Este volumen de gas puro se puede lograr aplicando por ejemplo un flujo de 110 cm³/min, por un lapso de 10 minutos.

El control de la humedad relativa se realiza colocando un recipiente con agua en el interior de la cámara o bien por aspersion fina de agua. En este caso se utilizó el primer método.

El control de la concentración de CO₂ se realiza por aberturas periódicas de la puerta del contenedor.

3.3 Pruebas de maduración forzada.

BIBLIOTECA CORFO

Las pruebas se realizaron con la fruta entre 20 y 30 ° C. La humedad relativa se mantuvo entre 90 y 95 % mediante una bandeja de agua colocada en el interior de la cámara. Se inyectaron distintas concentraciones de acetileno, determinadas en la forma indicada anteriormente, para observar el efecto sobre la madurez. La cámara de maduración fue abierta cada 12 horas para evitar la acumulación de CO₂, producto de la respiración de la fruta. Aprovechando las aberturas, se muestreó 2 kg. de fruta por vez y se determinó la resistencia de la pulpa con penetrometro de 11 mm.de diámetro, sin cáscara.

Los resultados que se muestran en la tabla siguiente, indican que, a una concentración de 100 a 120 ppm de acetileno, se logra reducir el tiempo de maduración de 11 a 4 días. Un aspecto importante adicional es que se logra uniformar la maduración de la fruta, lo cual es especialmente significativo para disponer de materia prima de características constantes para proceso, sin tener que recurrir a selección manual.

**MADURACION FORZADA DE LUCUMA. RESISTENCIA DE LA PULPA A
DISTINTAS CONCENTRACIONES DE ACETILENO ADICIONADO.
(Valores de resistencia en lb).**

TIEMPO (hr)	CONCENTRACIÓN DE ACETILENO (ppm)		
	50	100	150
0	30	30	30
12	30	29	27
24	28	26	22
36	25	21	18
48	21	12	12
60	14	7	7
72	10	5	4
84	8	3	3
96	6	<3	<3

Se concluye entonces que, en un período de 96 horas, se logra reducir la resistencia de la pulpa a un décimo de su valor inicial, siendo 3 lb, una resistencia adecuada para procesamiento.

4. PELADO Y CLASIFICACION POR MADUREZ DEL FRUTO.

Esta etapa del proceso tradicionalmente ha sido la limitante de la capacidad de la línea de proceso de la empresa, y por lo tanto, poder incrementar el volumen procesado diario mediante un sistema más automatizado es una de las metas de este proyecto.

En la actualidad, y con el sistema de pelado manual disponible, se puede procesar unos 70 – 80 kg. de producto por operaria - jornada (8 horas), por lo cual en la práctica , la capacidad de proceso con 10 operarias es de unos 700 kg. diarios.

Por otra parte, ha sido demostrada la importancia de la madurez del fruto , a la entrada de la línea, y las dificultades para tener una adecuada clasificación por madurez en el momento de la cosecha, por las características propias de la especie. La maduración forzada, descrita en el punto anterior, apunta también a solucionar este problema. Sin embargo se plantea como una hipótesis del proyecto, la necesidad de contar con un sistema de clasificación por madurez al comienzo de la línea. Este sistema es complementario al trabajo de maduración forzada.

En este capítulo se abordan los dos temas en forma separada y se reportan los resultados obtenidos en el pelado del fruto, y en la adquisición de información para el diseño de un sistema de clasificación por madurez

4.1 Pelado del fruto.

4.1.1 Antecedentes bibliográficos.

El tema de la separación eficiente de la cáscara de las frutas es uno de los problemas técnicos más complejos que debe enfrentar la agroindustria y que en algunos casos consume una fracción importante de la energía del proceso, y genera difíciles problemas ambientales de disposición de residuos.

Diversas soluciones se han desarrollado, muy específicas algunas, de acuerdo a la, morfología de la cáscara, forma del fruto y sensibilidad frente a temperatura y otros factores.

A continuación se indican los principales sistemas conocidos , con algunos comentarios y ejemplos de aplicación.

a) Sistema mecánico.

Se basa en reproducir en forma mecánica y automática, las operaciones realizadas al pelar manualmente una fruta.

Un cabezal de pelado mecánico consta de un receptáculo en el que se posiciona manual o mecánicamente y se fija cada fruto, se hace girar en torno a un eje en tanto un cuchillo mecánico se apoya sobre la superficie del fruto y lo recorre.

Se utiliza en frutas que tengan simetría, y que presenten concavidad en un solo sentido.

La principal ventaja de este sistema es que es un pelado en frío, en el cual no se somete a la fruta a un stress térmico, y por lo tanto el pardeamiento por efecto de este factor es mínimo.

Entre sus desventajas se cuenta la complejidad de los mecanismos del sistema y la pérdida de pulpa relativamente elevada. Respecto de otros.

Este sistema ha sido popular en su aplicación en productos estructurados de manzana.

b) Sistema químico.

Es uno de los sistemas más antiguos conocidos y se basa en atacar químicamente la cáscara de la fruta controlando el tiempo, la temperatura y la concentración del agente químico usado, deteniendo el ataque una vez que se ha eliminado la cáscara. Como agente de pelado se usa tradicionalmente el hidróxido de sodio o soda cáustica. En algunos casos se utilizan coadyuvantes que actúan como detergentes para mejorar la penetración de la soda en la capa cerosa que cubre las frutas.

Este sistema permite el tratamiento de grandes flujos de fruta, pero es consumidor de energía, generador de contaminación por residuos, y puede producir daño térmico en la pulpa. El sistema químico de pelado se utiliza en la agroindustria del durazno, para enlatado.

c) Sistema abrasivo.

Como su nombre lo indica, consiste en remover la cáscara por fricción contra una superficie abrasiva dura. Se utiliza solamente en algunos productos de forma redondeada; en general produce pérdidas altas y pelado disperejo, por lo cual es necesario repasar manualmente.

d) Pulpado, llamado también turbo pulpado.

En este sistema, la cáscara se separa presionando la fruta, convenientemente acondicionada contra un cilindro perforado ; la pulpa más blanda pasa a través de las perforaciones en tanto la cáscara con un tejido más lignificado, es retenida en el cilindro.

El acondicionamiento puede ser térmico, para reblandecer la pulpa, o bien mecánico, por ejemplo una reducción de tamaño previa al pulpado.

Este es un sistema que típicamente se utiliza en frutas que son reducidas a pulpa, por ejemplo manzana, frutos de carozo...etc.

El pulpado es relativamente poco consumidor de energía y genera un residuo sólido con poco agua, minimizando los problemas ambientales.

e) Sistema termofísico.

El sistema termofísico se utiliza en frutos con cáscara delgada y alto contenido de agua. Consiste en calentar la superficie del fruto y someterla a un vacío súbito, con lo cual la cáscara se desprende por efecto de la expansión violenta del agua que está inmediatamente bajo ella. Posteriormente, se elimina la cáscara suelta en forma mecánica o con chorros de agua, siendo este último sistema muy contaminante por lo cual se ha abandonado.

El sistema termofísico se utiliza en tomate y en algunas otras frutas con destino a enlatado. Requiere de una alta inversión y costo operativo, por lo cual es adecuado para líneas de alta capacidad.

Dentro de la información de la literatura técnica de pelado, no aparece ninguna mención al caso de la lúcuma, por lo cual se planteó dentro de los objetivos del proyecto, el realizar ensayos de pelado de lúcuma, con algunos de los sistemas mencionados. Dichos ensayos fueron realizados en la ciudad de Mendoza, Argentina, básicamente por la posibilidad de disponer de varios de estos sistemas en el mismo lugar. En el punto que sigue, se reportan los resultados y conclusiones de estos ensayos.

4.1.2 Evaluación práctica de sistemas de pelado.

Dada las características de la cáscara y la forma de la lúcuma, se descartó el sistema mecánico ; éste es muy difícil de aplicar ya que la fruta no presenta una simetría central, requerida para aplicar este sistema. Consecuentemente, se probó los sistemas de abrasión, químico , termofísico y de pulpación.

a) Sistema por abrasión.

Se peló una cantidad de fruta en un sistema abrasivo con superficie de carborundum. La fruta se sometió a temperatura de congelación antes de pelar para mejorar la eficiencia. El proceso se observó visualmente.

El resultado fue una fruta pelada en forma muy dispareja, y con un porcentaje alto de pérdida de pulpa.

b) Sistema químico (pelado con soda).

Se utilizó una solución de 20 % de hidróxido de sodio, a temperatura de 95 grados Celsius, con un coadyuvante de pelado. Se utilizó un pelador de trommel rotativo, a distintos tiempos de contacto, entre 1 y 5 minutos.

No se obtuvo desprendimiento de cáscara, y se produjo un daño térmico general en la pulpa superficial de la fruta, con decoloración, por lo cual no se recomienda el uso de este sistema para la lúcuma.

c) Sistema de pulpado.

Se realizaron ensayos de pulpado de la fruta para separar la cáscara en mitades desprovistas de pepas. Es necesario la separación previa de las pepas por la contaminación que se produce al triturarse parte de éstas y mezclarse con la pulpa.

Se utilizó una pulpadora turbo-centrífuga, operando a velocidad de 700 rpm, con paletas de acero inoxidable. Y malla de abertura circular de 1 mm. de diámetro. Después de los primeros ensayos se determinó que se requería un proceso de trituración previa del fruto, para mejorar la eficiencia de la separación. De esta manera se acopló un molino tipo cutter con cuchillos de acero inoxidable y

mallas de 20 mm. de abertura, como etapa previa a la pulpadora. De esta forma se obtuvo una pulpa con una buena calidad, con un tamaño de partícula adecuado, y alta capacidad por unidad de superficie de la malla.

Adicionalmente, y por estar ya la pulpa separada en su tamaño final, se eliminó la etapa de tamizado posterior al pelador, haciendo el proceso más expedito y simple.

4.1.3 Conclusiones y selección del sistema de pelado.

Como resultado de los ensayos de pelado de lúcuma se determinó que el sistema de turbo pulpadora precedido por una trituración gruesa en molino de cuchillo, permite separar la pulpa con un tamaño de partícula adecuado para su aplicación en productos alimenticios. La eficiencia de separación de cáscara es de un 98 % con respecto a un sistema ideal.

Las condiciones del proceso, son las indicadas :

- a) Primera etapa : partido del fruto y separación de pepas , realizado en forma manual.**
- b) Segunda etapa : trituración en molino de cuchillo, con abertura de malla de 20 mm.**
- c) Tercera etapa en turbo pulpadora a velocidad de 700 rpm , con paletas de acero inoxidable, y malla circular de 1 mm. de abertura.**

El rendimiento de esta operación es de 550 kg/ hra x m² de malla.

El rendimiento por operario en la primera operación es de 30 a 40 Kg/ hra por operario.

4.2 Clasificación por madurez.

4.2.1 Recopilación bibliográfica.

El problema de clasificar por madurez la materia prima que entra a proceso, es común a todos los procesos agroindustriales que utilizan frutas, sin embargo es más crítico en el caso de las especies que presentan una maduración climactérica ya que el advenimiento de la madurez se produce en forma acelerada, y la tasa de cambio de los parámetros relevantes es muy pronunciada en un corto tiempo. En el

caso de la lúcuma ya se ha indicado que la firmeza de la pulpa y los sólidos solubles cambian en forma radical en un corto periodo de tiempo. Por esta razón se hace necesario aparte del control de la maduración a través del uso de etileno, el disponer de un sistema de clasificación en línea para la fruta que está siendo alimentada al proceso.

Los sistemas que se utilizan en forma comercial para clasificar por madurez de la fruta, basados en propiedades mecánicas superficiales son los siguientes (4), (5).

a) Separación por propiedades elásticas del fruto. Generalmente éste se hace rebotar sobre una superficie adecuada siendo la trayectoria dependiente del grado de elasticidad de la superficie del mismo y aprovechando esto para separar la fracción madura de la más verde. Lo anterior requiere primeramente singular la alimentación y luego alinear cada fruto, para que el rebote se produzca siempre en una zona determinada del mismo (4).

Sistemas comerciales y semi-comerciales basados en este principio, han sido probados para frutos cítricos y en arándanos (22). Generalmente consisten en una cinta dividida en pistas, que alinea y singula los frutos, un plano inclinado por donde éstos caen y en la parte inferior, un cilindro que gira a velocidad reducida (30 a 130 rpm), contra el cual choca la fruta rebotando y desplazándose lateralmente hacia un sistema de dos o más cintas colocadas una a continuación de la otra, paralelas al eje del cilindro. El camino recorrido por el fruto después del rebote que es función del coeficiente de restitución de la superficie, determina en que cinta queda. El coeficiente de restitución depende de la madurez.

b) Separación por vibración mecánica. En este caso se aprovecha el hecho que la frecuencia natural de vibración de un fruto verde es en general mayor que la correspondiente al mismo maduro. La fruta convenientemente singulada y alineada se somete a vibración mecánica y la resonancia con la frecuencia natural produce movimiento de cada fruto que lo desplazan, por ejemplo de una cinta a otra, o de una canal de flujo a otra, pudiéndose separar físicamente la fruta con distintos grados de madurez.

c) Otros sistemas basados en diferentes propiedades son bastante conocidos en la práctica comercial tanto de fruta como de hortalizas, frescas como procesadas. Tal es el caso por ejemplo de la clasificación por color y peso, usadas en la industria de la manzana, clasificaciones por tamaño, presentes prácticamente en todas las

líneas de proceso de frutas, clasificación por densidad, en soluciones salinas como es el caso de la arveja para enlatado.

Cabe señalar que ninguno de estos sistemas ha sido probado en el caso de la lúcuma, especie que por ser de tipo exótico y de comercialización en volúmenes reducidos, y procesamiento a nivel artesanal, no ha sido objeto de interés en desarrollar sistemas de proceso y de manejo industrial.

4.2.2. Característica elásticas del fruto.

Se decidió diseñar un prototipo de clasificación de fruta basado en el principio de restitución o rebote, antes indicado. Las razones para esta elección son básicamente, la simplicidad del sistema, el hecho que funcione adecuadamente en otras especies, como es el caso de cítricos y arándanos, y observaciones preliminares de los cambios en la elasticidad de la cáscara de la lúcuma a medida que procede la madurez, que permiten estimar previamente una buena separación basada en este método.

La primera etapa en el diseño fue determinar si las propiedades elásticas de la cáscara cambiaban en forma significativa con la madurez. Para este efecto se construyó un instrumento que permitió medir la elasticidad de la cáscara en forma objetiva. Este instrumento permite aplicar una fuerza (que es medida), a la superficie del fruto, y determinar el desplazamiento por pandeo que se produce en la superficie. De esta forma se estima una constante elástica de restitución de la fruta, pudiendo de esta manera predecirse cuanto avanzará la fruta después del rebote. Esta información es básica para el diseño geométrico del sistema de separación.

El esquema y las características más importantes de la medición de la constante de restitución de la lúcuma se presentan en el anexo 3.

Se realizaron mediciones de las características de elasticidad de la superficie ecuatorial del fruto, en varios estados de madurez sensorial, con el propósito de determinar un parámetro mecánico que se pueda correlacionar con dicha madurez, y que además sea representativo de la situación física del sistema de clasificación elegido.

Algunos de los resultados de mediciones en frutos verdes y maduros, de acuerdo al instrumento descrito en el anexo 3, se indican en le cuadro

siguiente. En la primera columna se indica la fuerza de deformación en gr., seguida de la deformación superficial del fruto en mm. . El coeficiente de restitución es el cociente de ambas cantidades.

COEFICIENTES DE RESTITUCIÓN DE FRUTOS DE LUCUMO

CARACTERÍSTICA	FUERZA DE (F) COMPRESIÓN (gr)	DESPLAZAMIENTO SUPERFICIE h (mm)	COEFICIENTE RESTITUCION
Fruto verde	312	0.31	1006
	688	0.39	1764
	771	0.53	1454
	667	0.56	1191
	527	0.46	1145
	396	0.26	1523
	667	0.53	1258
	542	0.43	1260
		Prom. / desv. std.	1326 / 240
Fruto maduro	62	0.47	131
	83	0.47	177
	91	0.43	211
	83	0.43	193
		Prom / desv. std.	178 / 34
Fruto maduro	146	0.63	231
	187	0.63	296
	208	0.58	358
	221	0.58	381
		Prom / desv. std.	247 / 89
Fruto sobre-madu	108	1.1	98
	100	1.1	91
		Prom. / desv. std.	94 / -
Fruto maduro	304	0.92	330
	279	0.92	303
	250	0.92	271
	291	0.92	316
		Prom. / desv.std.	305 / 25
Fruto maduro	138	0.66	208
	125	0.66	189
	179	0.71	252
	158	0.71	222
		Prom. / desv. std.	217 / 26

CARACTERISTICA	FUERZA DE (F) COMPRESIÓN (gr).	DESPLAZAMIENTO SUPERFICIE h (m)	COEFICIENTE D RESTITUCION
Fruto verde	425	0.81	524
	408	0.9	453
	417	1.11	375
	571	0.74	771
	458	1.11	412
	479	0.74	647
		Prom. / desv std.	530 / 152
Fruto maduro	146	0.55	265
	170	0.55	309
	146	0.85	171
	179	0.85	210
		Prom / desv. std.	238 / 61
Fruto maduro	241	0.68	354
	271	0.68	398
	229	0.77	297
	291	0.77	377
		Prom / desv. std.	356 / 43
Fruto maduro	133	0.74	179
	125	0.68	183
	250	1.2	208
	291	1.02	285
		Prom. / desv.std.	214 / 49
Fruto maduro	216	0.83	260
	208	0.83	250
	175	0.82	213
	241	0.82	293
		Prom. / desv. std.	254 / 33

BIBLIOTECA CORFO

Puede observarse de los resultados del cuadro anterior que el coeficiente de restitución definido en la forma que se indica, es una buena medida de la madurez del fruto, y en principio podría utilizarse para una separación mecánica basada en las propiedades elásticas del fruto. Los rangos aproximados de esta variable son:

- *Fruto sobre-maduro : coeficiente menor a 100.*
- *Fruto con madurez adecuada para proceso : coeficiente entre 100 y 250.*
- *Fruto ligeramente verde para proceso : coeficiente entre 250 y 500.*
- *Fruto verde : coeficiente entre 500 y 2000.*

4.2.3 Diseño de rodillo clasificador.

De acuerdo a los resultados de las pruebas de elasticidad del fruto y a información de literatura (4), (22), se diseñó un prototipo para clasificación por rebote. Un diagrama explicativo de este prototipo se muestra en anexo 4. Las partes del equipo son las siguientes.

a) Estructura soportante.

El rodillo y sistema motriz está soportado por un marco estructural en perfil cuadrado de 40 x 3 mm, soldado.

b) Rodillo clasificador.

Diámetro externo 500 mm. longitud 600 mm. , fabricado de un trozo de tubo de acero 20 " Schedule 10 S , con espesor de pared de 6 mm. Con flanges en ambas caras, y eje de 38 mm.

c) Reductor de velocidad.

A través de un sistema de dos poleas, con transmisión de correa en V con razón de reducción de 1.75 : 1, y un moto-reductor de piñón y corona marca Bonfiglioli modelo MVF 44, con motor de 0.25 HP, 1450 rpm y salida de 140 rpm. Velocidad de giro del cilindro 80 rpm.

4.2.4 Pruebas de clasificación de fruta.

Utilizando el equipo descrito anteriormente, se realizaron experiencias exploratorias de clasificación del fruto, con un sistema de singulación manual. Se utilizó fruta con grado de madurez mezclado, madurado naturalmente, en condiciones ambiente y previamente clasificado por tamaño. Las pruebas se realizaron en dos oportunidades, y como variables de operación se modificó la altura de alimentación (0.5 y 1.0 m.),

y el ángulo de impacto (entre 20 y 40 grados). La disposición geométrica del sistema se indica en el anexo 4.

Los resultados obtenidos en estas pruebas exploratorias no fueron positivos, por cuanto no fue posible obtener una separación nítida por grado de madurez; específicamente, se detectaron las siguientes dificultades:

- a) Por la forma relativamente irregular de una fracción de los frutos, la alimentación al rodillo de manera que el impacto se produzca en la zona ecuatorial de los frutos es dificultoso. No se logra un impacto nítido, y esto repercute en la eficiencia de la clasificación.**
- b) Se produce una zona de producto de madurez mezclada, en el segundo compartimento de fruta clasificada, que comprende aproximadamente el 30 % del total de la fruta, la cual no es posible separar posteriormente.**

Los resultados obtenidos en esta etapa del proyecto, han llevado a la conclusión que el sistema de clasificación por madurez probado no se adecua al fruto del lúcumo.

5 TAMIZADO DE LA PULPA.

Tal como se indicó en el punto anterior, el nuevo diseño del sistema de pelado de la fruta incluye el tamizado al tamaño de partícula final (0.5 mm).

En base a la información obtenida de las pruebas en equipo turbo tamizador, se determinó un tamaño adecuado para la operación de la línea. Seguidamente, se indican lo principales parámetros de diseño de este equipo.

- ***Sistema de tamizado: tipo turbo tamizador centrífugo.***
- ***Geometría del canastillo : cilíndrica con longitud 660 mm., diámetro 400 mm. , área total de tamiz : 0.83 m².***
- ***Velocidad de rotación de paletas : 700 rpm, ángulo de paso de la paleta : 4 grados, número de paletas : dos.***
- ***Distancia entre paletas y cilindro : 1.5 a 2 mm.***
- ***Tamaño y detalle del troquelado : perforaciones cilíndricas de 1 mm. de diámetro en arreglo triangular, con 30 % de área abierta.***

Con los referidos parámetros, el equipo tiene una capacidad de 500 kg/hra; ésta se considera suficiente para satisfacer los requerimientos de mediano plazo de la empresa, en cuanto a volumen potencial a procesar.

6 CONSISTENCIA DE LA PULPA.

6.1 Justificación del manejo de la consistencia.

Ha sido indicado ya que la consistencia de la pulpa de lúcumas es mucho mayor que la de la mayoría de las frutas con las que se elabora pulpa. Hasta el momento no ha sido posible determinar cuantitativamente la consistencia, ya que los instrumentos de uso habitual para este fin no han funcionado con la lúcumas. Como parte de este proyecto se ha desarrollado un medidor por retro extrusión que es el sistema más simple que puede dar una indicación cuantitativa y comparativa de la consistencia.

La alta consistencia de la pulpa ocasiona una serie de dificultades, tanto en el proceso como en el usuario final.

a) A nivel de proceso, la etapa de pasteurización, que en la actualidad se realiza en una paila abierta raspada, es muy lento por la baja velocidad de transferencia de calor. Esto causa un oscurecimiento de la pulpa. En el futuro, la pasteurización debería realizarse en un equipo de superficie raspada, sin embargo, se estima que la actual consistencia de la pulpa cruda, es demasiado alta para obtener una buena eficiencia del equipo.

b) Asimismo a nivel de usuario final, la pulpa debe entregarse diluida, con el propósito de disminuir la consistencia.

Es importante entonces disponer de una herramienta para manejar (dentro de ciertos límites), la consistencia de la pulpa. Como parte del proyecto, se programó realizar ensayos de tratamiento de la pulpa mediante un sistema de homogenización fina, y mediante aplicación de complejos enzimáticos al producto.

A la fecha, se han realizado ensayos cualitativos de tratamiento enzimático y mecánico, lo cual se reporta más adelante.

6.2 Recopilación bibliográfica.

Existe un gran caudal de información en la literatura sobre la aplicación de preparados enzimáticos a pulpas de fruta, con el fin de disminuir su viscosidad. En la gran mayoría de los casos se trata de procesos "a finish" que pretenden licuar casi completamente la pulpa, con el propósito final de extraer un jugo (15), (18), (19). En otros casos se

pretende actuar sobre pulpas muy consistentes para ayudar en la separación de partes no comestibles (17).

Las enzimas que mejor resultados han dado para los fines antes indicados, son las denominadas pectinasas, que degradan las pectinas que son una suerte de polímeros naturales de estructura muy compleja, que tienen la función de mantener adheridas las células del tejido vegetal entre ellas. Una vez despegadas las células, el tejido se convierte prácticamente en un líquido.

Habitualmente los preparados enzimáticos para disminuir viscosidad de pulpas contienen pectinasas y también celulasas y hemi-celulasas. Estas dos últimas enzimas son capaces de degradar la membrana que cubre la célula vegetal, de manera que la acción concertada de las enzimas que contienen estos preparados, es capaz de lograr una licuación total de la pulpa, si se aplica en condiciones que permitan lo anterior.

Para realizar esta función, las condiciones de trabajo son bastante extremas, es decir tiempos de acción de varias horas, o alternativamente operar a una temperatura mayor a la temperatura ambiente, típicamente de alrededor de 50 grados.

Para el caso de la pulpa de lúcuma, lo que se requiere es una disminución parcial de la consistencia, lo cual se lograría con condiciones bastante más suaves, ya sea en temperatura y/ o en tiempo de acción .

Es importante la selección de la enzima en cuanto a su pH óptimo de acción. La mayoría de las enzimas están diseñadas para los pH típicos de las frutas, es decir entre 3.8 y 4.5. El caso de la lúcuma es especial ya que su pH está en el rango de 5.5 a 6.0, razón por la cual requiere de una enzima con un rango de actividad de pH más extendido o desplazado hacia el rango que se requiere.

Otro aspecto que es importante al implementar el sistema de tratamiento enzimático, es la mezcla de la enzima y la pulpa , ya que la segunda es una pasta consistente, que debe mezclarse con una solución líquida, que además se adiciona en una pequeña cantidad de agua.

Para manejar esta operación se prevé que será necesario utilizar equipos de superficie raspada, sean de tipo tubular o estanques agitados.

6.3 *Medición de la consistencia en la pulpa de lúcuma.*

Como se indicó antes, los métodos tradicionales de medición de consistencia, es decir viscosímetro rotacional y consistómetro no pudieron medir la consistencia de la pulpa de lúcuma, por su alto valor. Esto obligó a suspender la compra de un consistómetro, programada desde el inicio del proyecto. Se comenzó entonces la búsqueda de un sistema de control adecuado a pastas de alta viscosidad. Seleccionando finalmente un método denominado de retro extrusión (back-extrusion) que ha sido utilizado para medir consistencias de pastas alimenticias muy viscosas, como es el caso de las pastas de tomate hot break de alta consistencia.

El principio del sistema está descrito (20), y consiste en un pistón que extruye la pulpa en un molde cilíndrico, registrándose la fuerza para mover el pistón. Se diseñó y construyó una versión de bajo costo del instrumento el cual fue aplicado a la evaluación de la consistencia de la pasta de lúcuma, y el efecto del tratamiento enzimático en la misma. El instrumento construido está descrito en el anexo 1.

Con el objeto de disponer de una referencia para las pruebas de tratamiento enzimático, se determinó la curva de caída del pistón del instrumento en el tiempo. Esta experiencia se realizó con pulpa de lúcuma cruda a las temperaturas de 20 y 40 ° C. Los resultados se muestran en la tabla siguiente.

CURVA DE CAIDA DEL PISTON DEL INSTRUMENTO.

CAIDA DEL PISTON (mm).	TEMPERATURA : 20 ° C.	TEMPERATURA : 40 ° C.
	Tiempo de caída (seg).	Tiempo de caída (seg).
12	5	3.5
17	7	5.0
22	9.5	7.2
27	13	10.1

A fin de determinar parámetros simples y representativos de la curva de caída del pistón, se eligió la pendiente promedio entre los 12 y 22 m. Esta cantidad da cuenta de la velocidad de caída, que es proporcional a la consistencia de la pulpa. Dicha consistencia se afecta directamente por el empleo de enzimas.

Para la tabla anterior, las pendientes son las siguientes.

Pendiente a 20 ° C. = 2.2 mm/seg.

Pendiente a 40 ° C. = 2.7 mm/seg.

Puede observarse entonces que la pendiente definida aumenta, al disminuir la viscosidad aparente de la pulpa. La determinación del efecto es solamente relativa, ya que no se dispone de una correlación entre la consistencia y los parámetros del instrumento.

El paso siguiente consistió en determinar el efecto de dos complejos enzimáticos en la consistencia de la pulpa. Esta determinación se realizó mezclando una dosis de enzima con la pulpa, permitiendo un tiempo de contacto y midiendo luego la velocidad de caída del pistón en cada muestra

6.4. Pruebas de acción enzimática sobre la pulpa.

Las pruebas se realizaron a escala laboratorio con dos enzimas seleccionadas, Las pruebas se realizaron con enzimas de las empresa Novozymes de Dinamarca, y DSM, tratándose de enzimas de origen fungal, las cuales se aplicaron sobre pulpa recién extraída, en una dosis de 0.3 % sobre la fracción sólida de la pulpa. El tiempo de aplicación se varió entre 15 y 30 minutos a temperaturas de 20 y de 40 ° C.

Se realizaron tres repeticiones de la prueba, y se estimó la pendiente de la curva de caída en cada una de ellas. Los resultados de las pruebas se indican en el cuadro siguiente.

RESULTADOS DE APLICACIÓN DE ENZIMAS A PULPA DE LUCUMA

INGREDIENTE UTILIZADO Y TIEMPO	TEMPERATURA : 20 ° C.	TEMPERATURA : 40 ° C.
	Pendiente (mm/seg).	Pendiente (mm/ seg).
Novozyme 100G		
@ los 15 min.	2.80	3.41
@ los 30 min	3.15	3.65
Cytolase de DSM		
@ los 15 min.	2.56	3.13
@ los 30 min.	2.75	s/m

s/m : sin medición

Los resultados de la experiencia de aplicación de enzima permiten afirmar que, a temperatura ambiente, se produce una modesta disminución de un la consistencia expresada por el parámetro medido (caída del pistón), y que se estima en un 25 %. A temperatura de 40 °C. La disminución de consistencia es más pronunciada ya que la actividad de la enzima crece con la temperatura. Siendo la acción de la enzima proporcional al tiempo, podría esperarse una disminución mayor de la consistencia a tiempos de contacto mayores.

Puede observarse además que el comportamiento de las dos enzimas probadas es diferente, probablemente por su distinta actividad y pH de operación óptimo, siendo la enzima Ultrazym 100G de Novozymes la que da mejores resultados.

En relación al modo de aplicación y homogenización de la enzima y la pulpa, se estima que el equipo más adecuado para esta operación sería un equipo de superficie raspada que podría operar con calentamiento hasta unos 40 o 50 °C., con inyección en línea de una solución de enzima disuelt en una pequeña cantidad de agua, en la forma indicada en el esquema del anexo 5. En dicho esquema se muestra una unidad de adición de enzima , con su respectivo estanque de contacto; con posterioridad, la pulpa es pasteurizada en línea, produciéndose además la inactivación de la enzima en forma simultánea.

6.5. Pruebas de disminución de consistencia por tratamiento mecánico.

De acuerdo a los términos de referencia, se probó un sistema mecánico, basado en un tratamiento en molino coloidal, para adelgazar la pulpa. Existe información en la literatura, que se utilizan los tratamientos mecánicos de alto esfuerzo de corte (molinos coloidales, homogenizadores), para disminuir la consistencia de jugos y pulpas. El sistema ha sido probado con éxito en jugos cítricos por ejemplo.

De acuerdo a lo anterior, se realizaron varias pruebas en un molino coloidal tamaño piloto (Fryma-Koruma mod. MK-95), en el cual se realizaron pruebas con mezclas pulpa/ agua, y fracciones de pulpa cruda entre 100 y 70 %. Se realizaron cuatro experiencias , las cuales no tuvieron éxito por cuenta el producto no fluye a través del molino por su alta consistencia. Aún con adición de un 30 % de agua, el movimiento de la pulpa es bastante limitado. Por la razón anterior se discontinuaron las experiencias, no recomendándose el sistema para pulpas muy consistentes.

7. PASTEURIZACION DE PULPA DE LUCUMA.

7.1 Recopilación bibliográfica (16).

Los procesos de pasteurización en pulpas de fruta en general, están dirigidos a la destrucción de hongos y levaduras, que son los únicos microorganismos que pueden desarrollarse en productos de pH bajo 4.5

El caso de la pulpa de lúcuma es algo diferente, ya que presenta un pH de hasta 6.0. En este caso, la pulpa podría ser un medio adecuado para el crecimiento de algunas bacterias patógenas, y el factor de estabilización más importante sería su baja humedad. De acuerdo al nivel de agua de la pulpa se ha estimado una actividad de agua de 0.93. A esta A_w , los tipos de microorganismos relevantes, son levaduras, hongos y eventualmente esporulados aeróbicos. En forma adicional, el contenido de azúcar de la pulpa es un segundo factor de estabilización microbiológica.

De acuerdo a las observaciones prácticas de producto deteriorado, los microorganismos que crecen en el producto son hongos y levaduras. No se ha detectado actividad microbiológica de bacterias en la pulpa. Este hecho práctico es corroborado por el valor de la actividad de agua estimada del producto, de acuerdo a su humedad y contenido de azúcares.

Para el caso de deterioro por hongos y levaduras, un proceso térmico equivalente a algunos minutos a 85 grados C. es suficiente para producir una letalidad de seis ciclos logarítmicos, que es el valor comercial requerido para asegurar una vida útil adecuada al producto.

7.2 Procedimiento actual de pasteurización.

El producto se pasteuriza en la actualidad mediante un proceso térmico en paila abierta de capacidad 400 lt. con chaqueta de vapor, y raspador de pared que gira a 30 rpm. La pulpa que se pasteuriza está ya formulada hasta 25 grados Brix, con lo cual su viscosidad es menor a la pulpa cruda. Aún así, la consistencia del producto es alta, y la velocidad de transferencia de calor baja, por lo cual el tiempo de contacto con la superficie caliente de la paila es alto, produciendo un incipiente daño térmico al producto lo cual se manifiesta como un oscurecimiento del mismo.

7.3 Pruebas de pasteurización

7.3.1 Antecedentes teóricos.

De acuerdo a la actividad de agua de la pulpa, se estima que un proceso térmico teórico de 0.2 segundos a 80 ° C, es suficiente para la pasteurización del producto, es decir la disminución en unos 5 órdenes de magnitud de la carga de las especies de hongos y levaduras más termo-resistentes. En relación a bacterias esporuladas, si bien el pH y la actividad de agua permitirían su crecimiento, éstas no se han observado en la práctica. Muchos productos contienen compuestos antibacterianos naturales que refuerzan la acción pasteurizadora del calor y permiten procesos térmicos más suaves.

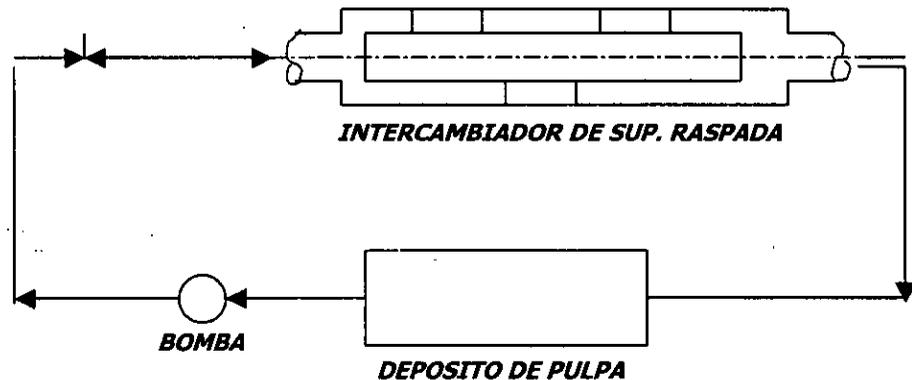
El problema más importante de la pasteurización de la pulpa de lúcumo es de tipo físico, ya que debido a su alta consistencia, la velocidad de calentamiento es muy lenta. Esto fue corroborado en pruebas experimentales de pasteurización. Incluso en un intercambiador de calor de superficie raspada en el cual la agitación mecánica ayuda al calentamiento, la velocidad de aumento de temperatura de la pulpa es lenta.

7.3.2 Resultados.

En primer término se realizó una constatación previa con fabricantes de equipos de proceso, respecto del tipo de intercambiador recomendado para la pulpa. Dada la consistencia de la misma, los sistemas de intercambiador de tubo/tubo y de placas fueron descartados a priori, quedando sólo seleccionado en forma previa, el sistema de intercambiador de calor de superficie raspada.

De acuerdo a lo anterior, se realizaron cuatro experiencias de pasteurización, en un intercambiador de superficie raspada tamaño industrial, con sucesivas diluciones de la pulpa, para observar el efecto de la consistencia de ésta en el funcionamiento del proceso. En la figura que sigue, se presenta un diagrama explicativo del sistema utilizado para las experiencias de pasteurización.

ESQUEMA DEL SISTEMA UTILIZADO EN LAS EXPERIENCIAS DE PASTEURIZACION.



***La descripción de las experiencias realizadas es la siguiente.
Se utilizaron lotes de 400 kg de pulpa, y una temperatura de vapor de calefacción de 100 °C.***

a) Experiencia 1.

Se realizó con pulpa de lúcuma sin diluir, con un contenido de humedad estimado de 65 %. No fue posible hacer fluir la pulpa debido a su alta consistencia.

b) Experiencia 2.

Se diluyó la pulpa con 10 % de agua, lográndose una humedad estimada de 68.5%. La pulpa se adhiere a las paredes del depósito, y fluye con dificultad.

c) Experiencia 3.

La pulpa se diluyó con 20 % de agua hasta una humedad estimada de 72 %, y se impulsó a través del sistema con un caudal de 4 800 kg/hr. Se determinó el coeficiente de intercambio de calor de la pulpa en el intercambiador, resultando un $U \times A$ de 1 150 Kcal/hr °C.

Una vez procesada se envasó parte del producto en bolsas de polietileno, se sellaron y se guardaron a temperatura ambiente para análisis posterior.

d) Experiencia 4.

En esta experiencia se diluyó la pulpa hasta una humedad estimada de 75 %, y se impulsó a través del equipo de intercambio de calor a un caudal de 5 300 kg/hr. El valor del coeficiente de transferencia de calor obtenido fue de $U \times A = 1\ 250\ \text{Kcal/hr } ^\circ\text{C}$.

Se realizó una evaluación organoléptica y microbiológica de las muestras obtenidas en las experiencias 3 y 4, obteniéndose los siguientes resultados.

El sabor de las muestras pasteurizadas es menos intenso que el de la pulpa fresca. Asimismo se produce un leve obscurecimiento del producto, aún cuando éste no pierde su calidad comercial. La textura se torno algo más gruesa y arenosa por efecto de la pasteurización, probablemente por efecto de la temperatura sobre algunas proteínas de la pulpa.

La evaluación microbiológica del producto envasado herméticamente y guardado a temperatura ambiente, dio crecimiento negativo hasta los 60 días.

En resumen, las pruebas de pasteurización demostraron los siguientes hechos experimentales y empíricos.

- a) Por la consistencia de la pulpa, el equipo adecuado para pasteurizar este producto es el intercambiador de superficie raspada.**
- b) Es necesario diluir la pulpa o adoptar otra solución para disminuir la consistencia antes de su pasteurización (ver capítulo de tratamiento de la pulpa con enzima).**
- c) Los resultados organolépticos indican que es necesario limitar la temperatura del medio de calentamiento, para disminuir los efectos sobre el sabor, color y textura dela pulpa.**
- d) Se demostró que los grupos de microorganismos objetivo del proceso de pasteurización son hongos y levaduras. Para la evaluación del proceso térmico se sugiere adoptar como referencia la levadura *Saccharomyces cereviciae* que es uno de los más termo-resistentes dentro del grupo de**

las levaduras y hongos, de la misma forma que se hace en otros productos de fruta.

- e) *Se determinó el parámetro de transferencia de calor típico del equipo de superficie raspada en pulpa de lúcuma (valor U_{xA}), resultando cifras en el entorno de 1 200 Kcal/hr °C. Este parámetro es necesario para el diseño del proceso de pasteurización en cualquier equipo similar a los utilizados para las pruebas experimentales.*



7.4 Diseño de un sistema de pasteurización.

En este punto se calcula un sistema de pasteurización adecuado a la capacidad de procesamiento proyectada de la planta, basado en los resultados de este proyecto. Este sistema aún no está en operación, ya que involucra inversiones importantes, sin embargo se considera que debería ser uno de los pasos lógicos dentro de las mejoras futuras de la planta de proceso.

En primer término deben considerarse las alternativas tecnológicas para el tratamiento de pasteurización, las cuales son las siguientes.

a) Pasteurización y envasado en caliente.

En este sistema la pulpa se pasteuriza e inmediatamente se coloca en su envase, se sella y se enfría. Por el hecho de enfriarse en el envase, y dependiendo del tamaño de éste, el proceso de enfriamiento puede no ser rápido y esto generalmente produce un efecto sensorial (color, sabor) en la pulpa.

Cronológicamente, el proceso de envasado en caliente es el más antiguo, habiendo sido reemplazado en muchos casos por el envasado aséptico, por las ventajas de este último en cuanto a la calidad del producto.

b) Pasteurización y envasado aséptico.

En el sistema de envasado aséptico, la pulpa se pasteuriza, se enfría en línea y se envasa en condiciones asépticas. La principal ventaja sobre el envasado en caliente es el tiempo de enfriamiento más reducido, y en general el mayor control sobre el proceso térmico, y por lo tanto el menor daño térmico sobre el producto.

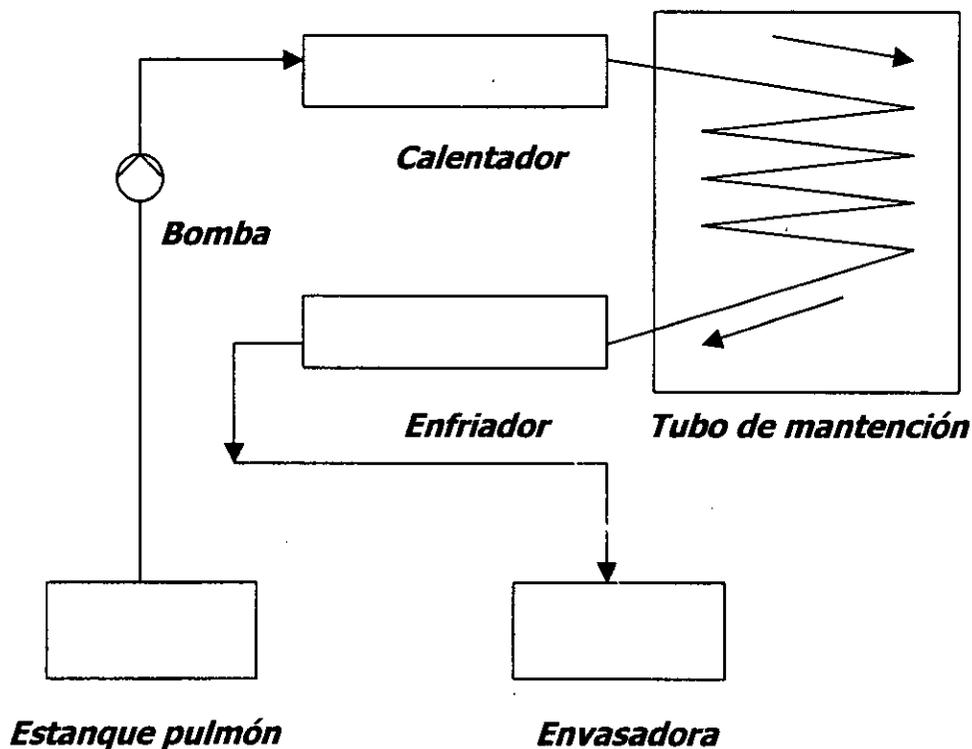
Diseño del sistema.

Se considera un sistema de envasado aséptico, y se determina las características de las distintas partes del equipo. Como referencia se utiliza un flujo de 450 kg/hr de pulpa, que está determinado por la etapa de pelado y tamizado de la fruta, de acuerdo al equipo existente en la actualidad.

En la figura siguiente se indica un esquema del equipo de pasteurización y enfriamiento, el cual consta de tres secciones:

- a) Calentamiento de la pulpa en un intercambiador de superficie raspada, utilizando agua caliente o vapor como medio de calefacción***
- b) Mantenión a la temperatura alcanzada en el equipo anterior por un tiempo predeterminado.***
- c) Enfriamiento con agua en un equipo similar al de calentamiento.***

SISTEMA DE ENVASADO ASÉPTICO DE PULPA DE LUCUMA.



de residencia de 1.12 min y la velocidad de 0.5 m/seg, se determina una longitud del tubo de mantención de 34 m.

En un cálculo más detallado, si la pérdida de carga en el tubo determinado resulta demasiado alta, debe considerarse un tubo de mayor diámetro.

Enfriamiento.

Temperatura de entrada del producto : 72 ° C.

Temperatura del agua de enfriamiento : 15 ° C.

Area de intercambio : 0.61 m².

Coefficiente intercambio : 1 000 Kcal/hr x m² x ° C.

Temperatura de salida calculada : 29 ° C.

El sistema indicado, que es similar a los de envasado aséptico, puede usarse con una envasadora no aséptica, por ejemplo con medidas de ultralimpieza en la zona de envasado. Con esto, se evitaría el alto costo de una envasadora de tipo aséptico.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- 1. Nagy S., Shaw P.E., Wardowski W.F. (1990).
Fruits of Tropical and Subtropical Origin.
AVI Publishing Co.**
- 2. National Academy Press (1989).
*Last Crops of the Incas. Little Known Plants of the Andes
With Promise for Worldwide Cultivation,***
- 3. Erazo Sonia et al (1999).
*Determinación Proximal y Carotenoides Totales de Frutos
de Seis Selecciones de Lúcumá.*
*Alimentos Vol 24 , 1 pg 67.***
- 4. Peleg Kalman.
Produce Handling, Packaging and Distribution.
AVI Publishing Co.**
- 5. Delwiche M. (1987).
Theory of Fruit Firmness Sorting by Impact Forces.
*Transactions of the ASAE Vol 30 , 4, pg 1160.***
- 6. Mc. Glone A., Schaare P.N. (1998).*Design and Performance of
a Fruit Firmness Grader.*
*Acta Horticulturae, Núm. 464, pg 417.***
- 7. Clin F.H.
*Method and Apparatus for Sorting Mixtures of Materials by
Ballistic Effect and Differential Adherence.***

U. S. Patent 4,141,450.

8. *Giddins P., Robe K. (1984).*

***Controlled Ethylene Ripening Increases Fruit Recovery 42%.
Food Processing August 1984, pg 38.***

9. *Eksteen. M.(1996).*

***Ripening and Post Harvest Treatment.
Food Industries of South Africa, July 1996, pg 16.***

10. *Cooperative Extension, University of California., Publ 3311.*

***Post Harvest Technology of Horticultural Crops.
Chapter 13 . Ethylene in Post Harvest Treatment.***

11. *Catalytic Generators Inc.*

Ripening Tips.

12. *Smith D.A. (1984).*

***Peeled Yield and Quality of Delicious Apples Peeled by
Superheated Steam, Saturated Steam and Caustic Peeling
Journal OfThe American Society of Agric. Science Vol 109,# 3,
pg. 364.***

13. *Smith D.A. (1988).*

***Thermal Blast Peeling of Tomatoes.
HortScience Vol 23, # 1, pg. 185.***

14. Stipp G.K. (1990).

***Low Viscosity Orange Juice Concentrates Useful for High Brix Products having Lower Pseudoplasticity.....
United States Patent 4 946 702. (August 7 1990).***

15. Hermosilla J. et al. (1991).

***Hidrólisis Enzimática de Pulpa de Papaya.
Alimentos Vol. 16, #4, pg. 5***

16. Campden Food and Drink Research Association.

***Food Pasteurization Manual.
Technical Manual # 27. (1992).***

17. Loaiza (2002).

***Use of Enzymes to Reduce the Viscosity of Red Pitahaya Pulp and Facilitate its Use as Food Colorant.
Paper 86-6 IFT Meeting 2002.***

18. Schreier P. et al. (1985).

***Enzymic Liquefaction of Tropical Fruit Pulps.
Flussiges-Obst Vol 52, Núm. 7, pp 365-370.***

19. Sreenath H.K. (1995).

***Enzymic Liquefaction of some Varieties of Mango Pulp.
Lebensm. Wiss. und Technol. Vol 28, Núm 2, pp196.***

20. Steffe J.F. et al (1987).

***Back Extrusion of non Newtonian Foods.
Food Technology March 1997 pp 72 – 77.***

21. Kaletunc G. et al (1991).

Degree of Elasticity Determination in Solid Foods.

Journal of Food Science Vol. 56, Núm. 4, pp 950 – 953.

22. Bryan W.L. et al (1978).

Mechanically Assisted Grading of Oranges for Processing.

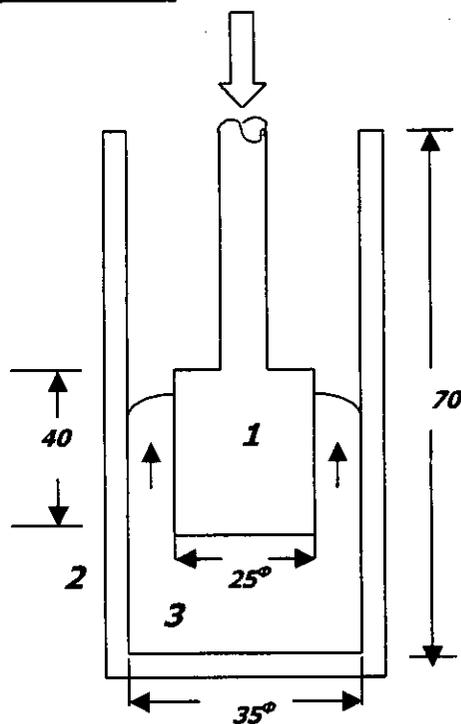
Transactions of the ASAE Vol. 21, Núm 6, pp 1226.

ANEXO 1. MEDIDOR DE CONSISTENCIA DE PULPA DE LUCUMA.

PRINCIPIO.

Se determina el tiempo de demora en caer una distancia determinada un pistón metálico en una muestra de pulpa. El pistón y la pulpa están colocados dentro de una celda de forma cilíndrica con un diámetro un poco mayor que el pistón de tal manera que al ir desplazándose éste, comprime y fuerza a la pulpa a desplazarse en forma vertical en el espacio anular que queda entre el pistón y la celda.

ESQUEMA Y DIMENSIONES.



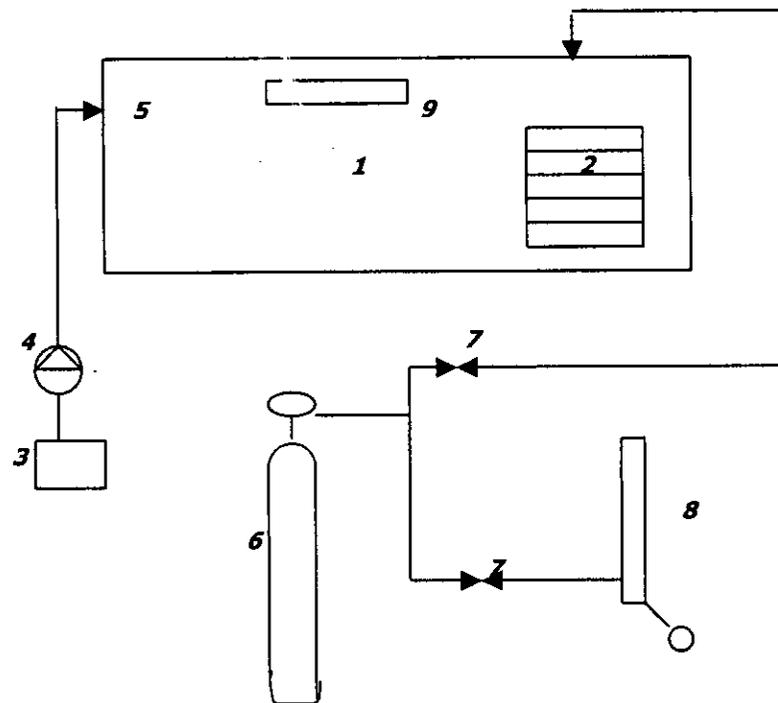
1. Pistón de acero inoxidable.
2. Celda cilíndrica en acero inoxidable.
3. Producto (pulpa).

Todas las dimensiones de la figura en mm.

MEDICION.

Se mide el tiempo que tarda el pistón para caer una determinada distancia (10 mm.).

ANEXO 2. ESQUEMA DEL SISTEMA DE MADURACION FORZADA.



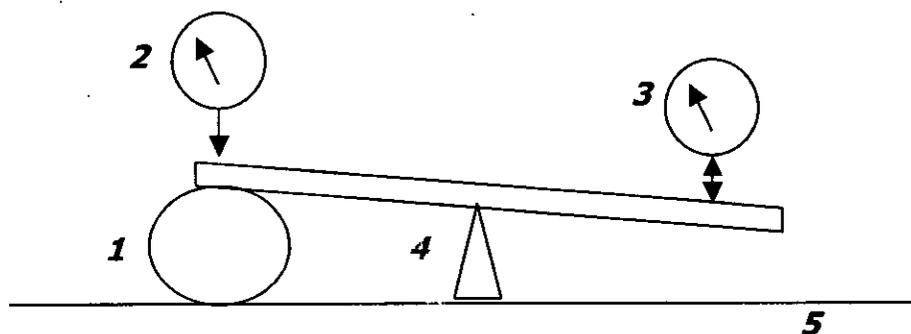
- 1. Contenedor cerrado.**
- 2. Cajas con fruta.**
- 3. Depósito de agua.**
- 4. Bomba de inyección de agua.**
- 5. Aspersor de agua.**
- 6. Balón de etileno o acetileno.**
- 7. Válvulas de bola.**
- 8. Medidor de caudal.**
- 9. Calefactor eléctrico termostataado.**

ANEXO 3. MEDICION DE LA CONSTANTE DE RESTITUCIÓN DEL FRUTO.

1. PRINCIPIO.

Someter a un fruto a una fuerza medida, y determinar el desplazamiento lineal de la superficie.

2. ESQUEMA.



3. EXPLICACIÓN.

Se coloca un fruto individual (1), sobre la superficie horizontal del instrumento (5), y se comprime mediante un presionómetro calibrado (2). A través de una barra rígida instalada sobre un pivote (4), se transmite el desplazamiento de la superficie del fruto a un medidor micrométrico (precisión 0.01 mm), el cual indica la deflección superficial del fruto.

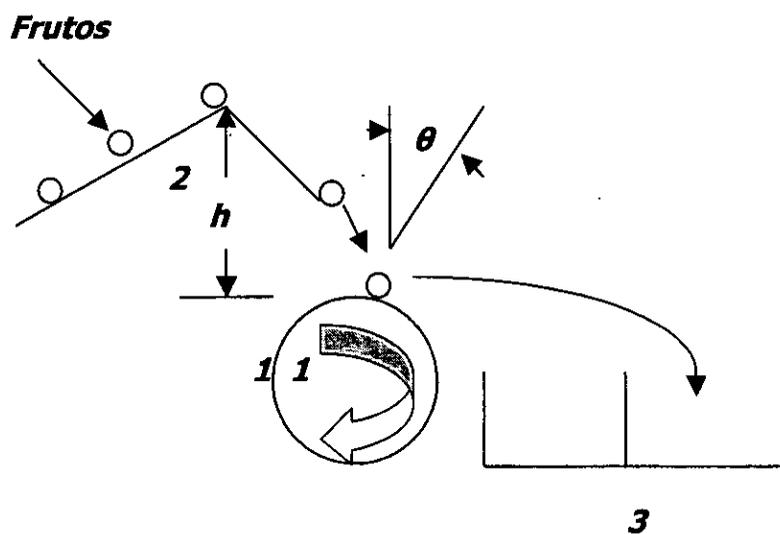
4. DETERMINACIÓN.

Se mide la fuerza (gr) aplicada sobre la superficie, y el desplazamiento en mm. de la superficie del fruto.

Se determina el coeficiente de restitución como.

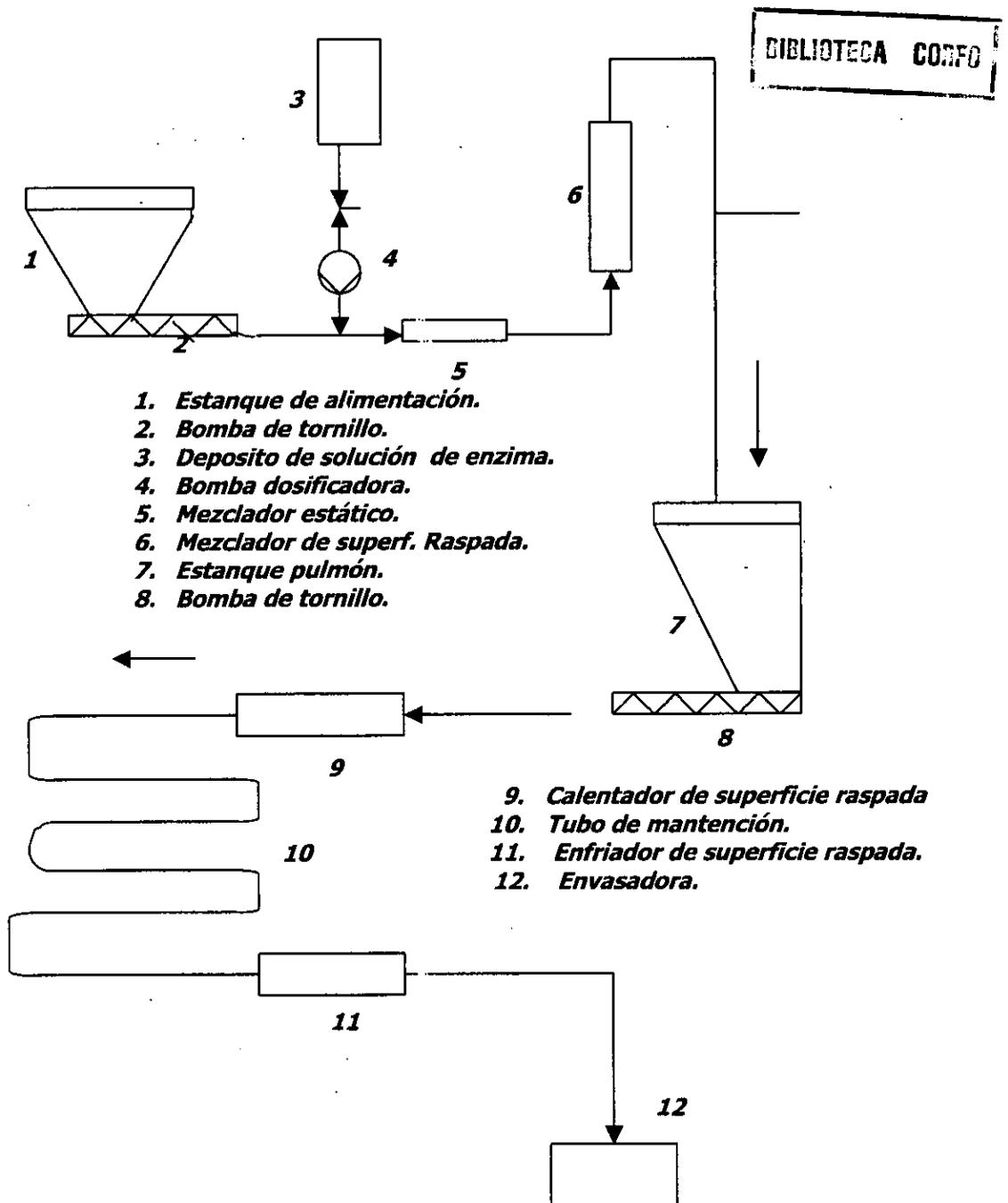
Coeficiente de restitución = Fuerza / desplazamiento.

ANEXO4 . DIAGRAMA ESQUEMATICO DE PROTOTIPO DE CLASIFICACION POR MADUREZ.



1	Rodillo clasificador 70 rpm, diámetro 500 mm.
2	Rampla de alimentación.
3	Depósitos de fruta clasificada.
4	h = altura de alimentación
5	θ = angulo de impacto.

ANEXO 5. PROPUESTA DE SISTEMA DE APLICACIÓN DE ENZIMA Y PASTEURIZACIÓN.



11

12

