



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS**

**OBTENCIÓN DE JUGO CLARIFICADO DE CARAMBOLA  
(*Averroha carambola L.*) MEDIANTE MICROFILTRACIÓN  
TANGENCIAL**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO EN ALIMENTOS**

**CAMILO ALEJANDRO MATHEUS CÁRDENAS**

**DIRECTOR: ING. ELENA BELTRÁN**

**Quito, Enero del 2012**

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2012  
Reservados todos los derechos de reproducción

## DECLARACIÓN

Yo Camilo Alejandro Matheus Cárdenas, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

(Firma)

---

Camilo Matheus

C.I. 1716969371

# CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “obtención de jugo clarificado de carambola (*Averrhoa carambola L.*) mediante microfiltración tangencial ”, que, para aspirar al título de Ingeniero en alimentos, fue desarrollado por Camilo Matheus, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

(Firma)

---

(Elena Beltrán)

**DIRECTOR DEL TRABAJO**

C.I.1710472125

# INDICE DE CONTENIDOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. PARTE TEÓRICA</b>	3
2.1 CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA DE LA CARAMBOLA	3
2.2 MORFOLOGÍA	3
2.3 VALOR NUTRITIVO	4
2.4 VARIEDADES	5
2.5 ORIGEN	5
2.6 DESCRIPCIÓN	6
2.7 USOS	6
2.8 CULTIVO	7
2.8.1 PROPAGACIÓN	7
2.8.2 SIEMBRA	7
2.8.3 CLIMA	7
2.8.4 SUELO	8
2.9 COSECHA Y MANEJO POST-COSECHA	8

2.10 PRODUCCIÓN	8
2.11 OPERACIONES DE SEPARACIÓN MEDIANTE MEMBRANAS	9
2.12 FUNDAMENTO DE LAS OPERACIONES DE SEPARACIÓN MEDIANTE MEMBRANAS	9
2.13 MEMBRANA	11
2.14 POROSIDAD	11
2.15 PERMEADO	12
2.16 RETENIDO	12
2.17 COLMATACIÓN DE LA MEMBRANA	12
2.18 FLUJO DE REDUCCIÓN VOLUMÉTRICO (FRV)	12
2.19 PRESIÓN TRANSMEMBRANARIA (PTM)	13
2.20 MATERIALES	13
2.20.1 ACETATO DE CELULOSA	13
2.20.2 POLÍMEROS	14
2.20.3 MEMBRANAS DE CERÁMICA	14
2.20.4 MEMBRANA DE ACERO INOXIDABLE	15
2.21 POLARIZACIÓN DE CONCENTRACIÓN	15

2.22 OBSTRUCCIÓN DE LA MEMBRANA	17
2.23 EQUIPOS PARA SEPARACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS	17
2.23.1 MÓDULO EN ESPIRAL	17
2.23.2 MÓDULO TUBULAR	18
2.23.3 MÓDULO DE FIBRA HUECA	19
2.24 TÉCNICAS DE SEPARACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS	19
2.25 APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS EN LA INDUSTRIA DE LOS ALIMENTOS	21
2.26 MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL	22
2.26.1 VENTAJAS DE LA MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL	24
2.26.2 DESVENTAJAS DE LA MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL	25
2.27 ENZIMAS	25
2.27.1 ALGUNOS ALIMENTOS EN LOS QUE SE EMPLEAN ENZIMAS	26
2.27.2 FUENTES DE OBTENCIÓN DE ENZIMAS	28

2.27.2.1	Animales	28
2.27.2.2	Vegetales	28
2.27.2.3	Microbianas	28
<b>3.</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>29</b>
3.1	MATERIA PRIMA	29
3.2	PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE LA PULPA DE CARAMBOLA	29
3.3	SELECCIÓN DE LA TEMPERATURA DE ENZIMACIÓN	30
3.4	SELECCIÓN DEL COCTEL ENZIMÁTICO COMERCIAL	31
3.5	SELECCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL COCTEL ENZIMÁTICO	31
3.6	HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA A ESCALA DE LABORATORIO	32
3.7	OBTENCIÓN DE JUGO CLARIFICADO DE CARAMBOLA	33
3.8	ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS Y DE VITAMINA C, REALIZADOS EN PULPA FRESCA, ENZIMADA Y JUGO CLARIFICADO	34
3.8.1	SÓLIDOS SOLUBLES	34
3.8.2	pH	34



3.8.3 ACIDEZ TITULABLE	34
3.8.4 SÓLIDOS INSOLUBLES EN SUSPENSIÓN	35
3.8.5 MATERIA INSOLUBLE EN ALCOHOL (MIA)	36
3.8.6 ANÁLISIS DE VITAMINA C	36
3.9 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS REALIZADOS A PULPA FRESCA, JUGO CLARIFICADO Y RETENIDO	36
<b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>38</b>
4.1 RENDIMIENTOS DEL PROCESO DE MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL (MFT) APLICADO A LA PULPA DE CARAMBOLA VARIEDAD ARKING DULCE	38
4.2 DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA ÓPTIMA PARA LA ENZIMACIÓN	38
4.3 ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS REALIZADOS EN PULPA	39
4.4 FACTOR DE REDUCCIÓN VOLUMÉTRICO (FRV)	41
4.5 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE PULPA Y JUGO CLARIFICADO DE CARAMBOLA	42
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>44</b>
5.1 CONCLUSIONES	44
5.2 RECOMENDACIONES	45

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Tabla 1.</b> Características de las variedades de Carambola	4
<b>Tabla 2.</b> Uso de la tecnología de membranas en la industria de alimentos	5
<b>Tabla 3:</b> Tratamientos enzimáticos aplicados a la pulpa	21
<b>Tabla 4.</b> Métodos utilizados para análisis microbiológicos	31
<b>Tabla 5.</b> Valores de los análisis fisicoquímicos realizados	37
<b>Tabla 6.</b> Rendimientos de MIA y SIS	39
<b>Tabla 7.</b> Resultados de los análisis microbiológicos	40
<b>Tabla 8.</b> Rendimientos de MIA y SIS	41

# ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Figura 1.</b> Fruto de carambola	4
<b>Figura 2.</b> Membranas cerámica	15
<b>Figura 3.</b> Polarización de la concentración en operaciones de membrana	16
<b>Figura 4.</b> Módulo en espiral	18
<b>Figura 5.</b> Módulo tubular	18
<b>Figura 6.</b> Módulo de fibra hueca	19
<b>Figura 7.</b> Esquema de algunos procesos de separación	22
<b>Figura 8.</b> Esquema de filtración frontal y tangencial	23
<b>Figura 9.</b> Esquema de un módulo de microfiltración	24
<b>Figura 10.</b> Diagrama de flujo para la obtención de jugo clarificado de carambola	33

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>ANEXO 1</b>	
Estados de madurez de la carambola	50
<b>ANEXO 2</b>	
Formato de evaluación de preferencia para análisis sensorial	51
<b>ANEXO 3</b>	
Upper $\alpha$ probability of student's t distribution	52
<b>ANEXO 4</b>	
Prueba de preferencia, número crítico de respuestas correctas	53

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue la obtención de jugo clarificado de carambola mediante tecnología de membranas. el trabajo se dividió en dos fases, en la primera fase se selecciono la temperatura para la hidrólisis enzimática, la cual se utilizó como pre tratamiento con el coctel enzimático Tropical Cloud en dos concentraciones diferentes, las cuales fueron de 500 y 1000 partes por millón (ppm) con la finalidad de reducir los valores de materia insoluble en alcohol (MIA) y sólidos insolubles en suspensión (SIS).

en la segunda fase, se realizó la microfiltración tangencial y las condiciones de trabajo del equipo fueron con una presión de entrada de 2 y 3 bares y a una temperatura de 35°C.

Se realizaron análisis físico químicos: sólidos solubles totales (Brix), acidez titulable total (% de ácido oxálico), análisis microbiológicos y de vitamina C, de la pulpa fresca, pulpa enzimada a las dos diferentes concentraciones y del jugo clarificado.

Como resultado se obtuvo una reducción de los valores de MIA y SIS del 19.57% y 51.85% respectivamente, usando la hidrolisis enzimática con una concentración de 1000 ppm del coctel enzimático Tropical Cloud.

Mediante la microfiltración tangencial (MFT), se obtuvo jugo clarificado de carambola cuyo valor de flujo de reducción volumétrico (FRV) fue de 4 a los 45 minutos de operación del equipo, y así se llegó a alcanzar el 75 % de rendimiento de la cantidad alimentada el equipo.

## SUMMARY

The objective of this project was to obtain clarified juice of carambola by membrane technology. The work was divided into two phases, the first stage temperature was selected for the enzymatic hydrolysis, which was used as pre-treatment with the enzyme cocktail Tropical Cloud at two different concentrations, which were 500 and 1000 parts per million (ppm) in order to reduce the values of matter insoluble in alcohol (MIA) and insoluble solids in suspension (SIS).

In the second phase was held tangential microfiltration and conditions of the team were working with an inlet pressure of 2 and 3 bars and a temperature of 35 ° c.

Physical-chemical analyses were performed: total soluble solids (Brix), total titratable acidity (% oxalic acid), microbiological analysis and vitamin C, fresh pulp, pulp enzymes at two different concentrations and the clarified juice.

The result was a reduction in MIA and SIS values of 19.57% and 51.85% respectively, using enzymatic hydrolysis with a concentration of 1000 ppm enzyme cocktail Tropical Cloud.

By cross flow microfiltration (MFT), the Carambola clarified juice obtained had a value of reduced volumetric flow (VRF) of 4, after 45 minutes of operation of the equipment, and so it was up to 75% yield of the amount powered equipment.

# 1. INTRODUCCIÓN

# 1. INTRODUCCIÓN

En 1748, se descubre la membrana con permeabilidad selectiva, que permite separar partículas según tamaño, lo que más adelante se conocerá como filtración tangencial. Sin embargo, hay que esperar a 1860 y luego a 1950 para ver desarrollarse las dos primeras aplicaciones de la filtración tangencial: la diálisis artificial y la desalinización de agua del mar (Vidal, 2006).

También se han realizado investigaciones y experimentos anteriores sobre la microfiltración tangencial en campos tanto enológicos como en la industria de la cervecería, en la medicina y también en estudios sobre la capacidad antioxidante de jugos de frutas tropicales.

La microfiltración es un proceso mediante el cual se puede alargar la vida útil de un alimento, en este caso del jugo de carambola, cuya fruta en estado fresco es muy perecible. Para esto, y mediante la investigación planteada, se pretende atacar este problema y así darle un mayor tiempo de vida útil al jugo de carambola (Palacios, 2001).

La técnica que se pretende utilizar, ha sido aplicada en otras áreas de la agroindustria como la industria del vino, cerveza y láctea, que hacen relación a la microfiltración tangencial, pero no se ha encontrado estudios acerca de la carambola y la microfiltración de su jugo y la vida útil del mismo.

La investigación es de importancia ya que se podrá dar una alternativa de procesamiento a los productores de esta fruta y mediante esto, dar un valor agregado y evitar así el desperdicio de la carambola.

Esta investigación se centra en conocer los efectos que tiene la microfiltración tangencial sobre las características físico-químicas y microbiológicas del jugo de carambola, por lo que el objetivo general de este trabajo es obtener jugo clarificado de carambola mediante microfiltración tangencial, mientras que los objetivos específicos son: evaluar la calidad microbiológica del jugo micro



filtrado y sin filtrar mediante el análisis de aerobios totales, mohos, levaduras y coliformes totales, evaluar la calidad físico-química del jugo micro filtrado y sin filtrar mediante el análisis de pH, sólidos solubles, acidez titulable y conductividad y finalmente evaluar el contenido de vitamina C de la pulpa y jugo microfiltrado.

## 2. PARTE TEÓRICA

## **2. PARTE TEÓRICA**

En este capítulo se abordan temas que hacen referencia a la carambola y a la microfiltración tangencial.

### **2.1 CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA DE LA CARAMBOLA**

Reino: Plantae

- Subreino: Tracheobionta
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Subclase: Rosidae
- Orden: Oxalidales
- Familia: Oxalidaceae
- Género: Averrhoa
- Especie: *A. carambola*
- Nombre binomial: *Averrhoa carambola* (Zedon, R. y Fuh, J. 1994)

### **2.2 MORFOLOGÍA**

El árbol de la carambola tiene una gran cantidad de ramas y hojas, de color verde intenso y que su altura puede llegar y superar los 6 metros de altura. Sus hojas poseen bordes lisos y las flores aparecen en forma de racimo cuyo color es lila, además de esto, el fruto maduro tiene un color amarillo o anaranjado con

5 bordes dispuestos en forma de estrella como se puede apreciar en la figura 1 (Zedon, 1994).



**Figura 1.** Fruto de carambola (Crane, 1999)

## 2.3 VALOR NUTRITIVO

Su componente mayoritario es el agua. Contiene pequeñas cantidades de hidratos de carbono simples y aún menores de proteínas y grasas, por lo que su valor calórico es muy bajo. El contenido por cada 100 gramos de fruta se puede a continuación en la tabla 1 (Zedon, 1994).

**Tabla 1.** Valor nutritivo de la carambola

Variable	Contenido		
	Verde	Pintón	Maduro
Estado de madurez	Verde	Pintón	Maduro
Materia seca (%bs)	4.76	4.87	4.81
Proteína cruda (%bs)	7.04	7.47	7.28
Extracto etéreo (%bs)	1.82	2.32	2.511
ENN (%bs)	56.39	48.33	54.84
Fibra (%bs)	31.07	38.3	31.88
Cenizas (%bs)	3.7	3.57	3.5
Calcio* (mg/100 g de pulpa)	31.8 – 22.15	40.05 – 26.80	33.95 – 0.08
Hierro* (mg/100 g de pulpa)	3.7 – 0.24	2.7 – 0.20	2.85 – 0.24
Magnesio* (mg/100 g de pulpa)	94.2 – 13.45	92.15 – 12.55	84.25 – 11.70
Sodio* (mg/100 g de pulpa)	0.6 – 0.15	0.25 – 0.20	0.65 – 0.34
Cobre* (mg/100 g de pulpa)	0.32 – 0.19	0.35 – 0.05	0.5 – 0.08
Potasio* (mg/100 g de pulpa)	1170 – 104.8	1165 – 114.8	1080 – 120.2

## 2.4 VARIEDADES

Según Zedon (1994), existen 2 variedades de esta fruta, sus características están detalladas en la tabla 2.

**Tabla 2.** Características de las variedades de Carambola

VARIEDAD	TEXTURA	COLOR	SABOR	RENDIMIENTO POR ÁRBOL kg	PESO (g)	USO	OTRAS CARACTERÍSTICAS
Arking	Blanda	Amarillo al madurar	Dulce	45.5-67.7	250- 400	Fresco para mesa	Soporta transporte
Er-ling	suave	Blanco amarillo al madurar	Dulce	22.7-45.5	+200	fresco	No soporta transporte

## 2.5 ORIGEN

La Carambola es originaria de Indonesia, la India y Sri Lanka y es popular en todo el sudeste de Asia, Malasia y partes de Asia oriental, y también en Colombia en la región del Valle del Cauca y en la Isla de San Andrés, México, Perú, Ecuador, Costa Rica y Bolivia (Villegas, 1998).

## **2.6 DESCRIPCIÓN**

La carambola es una fruta tropical, pertenece a la familia de las oxalidáceas. Sus frutos son característicos en forma de copa, en corte transversal tiene forma de una estrella de cinco puntas, son bayas gruesas de color anaranjado rojizo cuando está maduro, la fruta se presenta en racimos en las ramas, son bayas gruesas, ovoides o elipsoides, su pulpa es jugosa un poco fibrosa y ácida.

Las hojas se encuentran distribuidas a lo largo de las ramas, de 8-18 cm de longitud, se multiplica por semillas y acodos e injertos y es sensible a las heladas (Zedon, 1994).

## **2.7 USOS**

Como indica Calzada (1980), los usos de la carambola son los siguientes:

- A nivel agrícola: el árbol sirve como recuperación de ecosistemas degradados; A nivel agroindustrial: los frutos son materias primas para la industria vitivinícola y se usa en la industria de Vinagre. El fruto es empleado en la producción de jugos, néctares, pulpas y mermeladas. Además, el fruto se puede conservar en almíbar, cortado en secciones transversales. Se comen los frutos frescos o en ensaladas de frutas.
- A nivel medicinal: los frutos evitan el escorbuto, cura de hemorroides, alivia el malestar por exceso de licor, diurético, vermífugo, antídoto contra venenos, sedativo para asmáticos.

## **2.8 CULTIVO**

Para el cultivo de la carambola, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos.

### **2.8.1 PROPAGACIÓN**

La semilla sirve únicamente para la reproducción de patrones. La forma de reproducción más común es la asexual a través de injertos, el injerto se realiza cuando las plantas tienen una altura promedio de 10 cm y el diámetro del tronco supera el 1 cm (Tello, 2002).

### **2.8.2 SIEMBRA**

Si se tiene riego, no hay limitaciones y se puede sembrar en cualquier época del año; si no se tiene riego debe sembrarse al inicio de las lluvias. Se deben evitar los vientos directos y exceso de agua. Requiere hoyos de 40 x 40 x 40 cms, Las distancias de siembra: 5 a 8 metros entre plantas y surcos (Tello, 2002).

### **2.8.3 CLIMA**

Las condiciones climáticas para el correcto desarrollo del árbol de carambola según Zedon (1994) son las siguientes:

- Temperatura: De 18 a 34°C.
- Precipitación: 1800 mm de lluvia bien distribuidos en el año.
- Altitud: 0 - 1400 msnm.
- Requiere sol directo.

#### **2.8.4 SUELO**

Cualquier tipo de suelo, desde arenosos hasta arcillosos pero con buen drenaje, los ideales son los suelos profundos, fértiles, húmedos, fáciles de regar y protegidos del viento (Zedon, 1994).

#### **2.9 COSECHA Y MANEJO POST-COSECHA**

El árbol está en capacidad de producir sus frutos con fines comerciales a partir del año y medio, no antes de este tiempo, se deben evitar golpes, raspaduras y presiones al fruto durante la cosecha (Zedon, 1994).

La producción va desde 50 libras (22.7 kg) para el primer año, hasta 150 libras (68.2 kg) al 3er. Año.

Para un transporte eficaz los frutos deben cosecharse verdes con un ligero amarillamiento, y colocarse en cajas con el tallo hacia abajo en un ángulo de 45 grados; las alas o bordes de la fruta deben coincidir en media de la hendidura de la otra fruta (Fuh, 1994).

#### **2.10 PRODUCCIÓN**

En el Ecuador existen áreas aptas para el cultivo de la carambola, principalmente los bosques de tipo húmedo tropical como los que se puede encontrar en Quinindé, Santo Domingo, y extensas zonas de la provincia de Manabí.

El rendimiento de producción promedio es de 1300-1500 kg/ha (SICA, 2001).



## **2.11 OPERACIONES DE SEPARACIÓN MEDIANTE MEMBRANAS**

La capacidad de diferentes tipos membranas de separar, concentrar y purificar determinadas sustancias en medios fluidos es un fenómeno conocido desde los siglos XVIII y XIX. Sin embargo, las aplicaciones de las membranas a escala industrial como agentes de separación se ha desarrollado fundamentalmente durante los últimos 30 años. En la actualidad, las operaciones de separación mediante membranas han reemplazado en numerosos procesos a operaciones convencionales como rectificación, evaporación, absorción, extracción. Entre sus aplicaciones más relevantes son de destacar la producción a gran escala de agua potable a partir del agua de mar, tratamiento de efluentes industriales y recuperación de componentes de los mismos, concentración y purificación de soluciones macromoleculares, eliminación de toxinas presentes en la sangre, mediante el riñón artificial, entre otros (Rodríguez,2002).

## **2.12 FUNDAMENTO DE LAS OPERACIONES DE SEPARACIÓN MEDIANTE MEMBRANAS.**

El principio es bastante simple: la membrana actúa como un filtro muy específico que dejará pasar el jugo clarificado mientras que retiene los sólidos suspendidos y otras sustancias (López et al, 2002).

Según López (2002), la filtración de membrana tiene varias ventajas frente a las técnicas existentes de purificación del agua, tales como:

- Es un proceso que puede ocurrir a baja temperatura. Esto es principalmente importante porque permite el tratamiento de los

materiales sensible al calor. Es por esto que se aplican ampliamente para la producción de alimentos.

- Es un proceso de bajo consumo energético. La mayor parte de la energía requerida es la necesaria para bombear los líquidos a través de la membrana. La cantidad total de energía utilizada es mínima comparada con las técnicas alternativas, tales como la pasteurización.
- Posibilidad de obtener altos niveles de selectividad, dependiendo de las características del tipo de membrana a usar.

“La principal desventaja tiene que ver con la sensibilidad de la membrana, ya que tiende a deteriorarse o ensuciarse con el paso del tiempo, siendo necesario reemplazarla con periodicidad” (Calles et al, 2002).

Las operaciones de separación con membranas pueden clasificarse en tres grupos:

- Operaciones de concentración de disoluciones:

Se elimina parte del disolvente presente, haciéndolo pasar a través de la membrana, el producto de interés en la separación es la disolución concentrada que queda retenida en la membrana

- Operaciones de purificación o clarificación

Tiene como objeto la separación de componentes no deseados que habitualmente son rechazados y retenidos por la membrana por lo que el producto con valor comercial suele ser la fase que atraviesa la membrana. Como ejemplos típicos de esta operación de procesamiento de alimentos son de destacar la clarificación de vinos y cervezas, la purificación de zumos de frutas y purificación de agua.

- Operaciones de fraccionamiento

Se pretende conseguir la separación de determinados componentes presentes en el medio, resultando de interés tanto los retenidos por la membrana como los que pueden atravesarla, en este grupo se encuentran las operaciones como el fraccionamiento de proteínas y enzimas (López et al, 2002).

### **2.13 MEMBRANA**

Una membrana se puede definir como la barrera que permite que pase el líquido, mientras retiene la mayor parte de las partículas en suspensión, las cuales se acumulan en una capa sobre la superficie de la membrana, por lo que el fluido pasará a través de los poros.

Los procesos de membranas según Rodríguez (2002), pueden clasificarse de acuerdo con la fuerza impulsora empleada, como es la presión y de acuerdo al tamaño del poro de la membrana, siendo así:

- Microfiltración: 0.1-1 micras
- Ultrafiltración: 0.001-0.1 micras
- Nano filtración: < 0.001 micras
- Ósmosis inversa: <0.0001 micras

### **2.14 POROSIDAD**

Es una medida de los espacios vacíos en un material, y se mide como fracción, entre 0-1, o como a porcentaje entre 0-100 (Glasbey, 1991).

## 2.15 PERMEADO

El filtrado, el líquido que pasa a través de la membrana (Cheryan, 1998).

## 2.16 RETENIDO

Fluido cuyo traspaso por la membrana es impedido (Cheryan, 1998).

## 2.17 COLMATACIÓN DE LA MEMBRANA

O también llamado ensuciamiento o “fouling” de la membrana, producido por el depósito y adsorción de partículas y diferentes tipos de moléculas en la membrana, bloqueando sus poros o reduciendo su tamaño, lo que provoca como consecuencia una disminución en la permeabilidad de ésta (Ortiz y Vélez, 2008).

## 2.18 FLUJO DE REDUCCIÓN VOLUMÉTRICO (FRV)

Parámetro relacionado con el rendimiento del proceso, es decir relaciona la cantidad de jugo pulposo que ingresa al circuito y la cantidad de permeado que se obtiene, para su cálculo se cuenta con la siguiente ecuación (Cheryan, 1998).

$$FRV = \frac{V_j}{(V_j - V_p)} \quad [1]$$

Donde:

$V_j$  : Volumen total jugo pulposo que ingresa al circuito

$V_p$  : Volumen total del permeado obtenido

## 2.19 PRESIÓN TRANSMEMBRANARIA (PTM)

La fuerza impulsora del flujo del filtrado a través de la membrana es la presión transmembranaria, que se define como la diferencia de presión entre el lado del retenido y el del permeado (Cheryan, 1998).

$$PTM = \frac{P_e + P_s}{2} - P_f \quad [2]$$

Donde:

$P_e$ : Presión de entrada

$P_s$ : Presión de salida

$P_f$  : Presión de filtrado

Puesto que se suele trabajar, con la válvula del permeado abierta y con presiones manométricas, se puede escribir.

$$PTM = \frac{P_e + P_s}{2} \quad [2.1]$$

## 2.20 MATERIALES

A continuación se describen los materiales de los cuales las membranas están construidas

### 2.20.1 ACETATO DE CELULOSA

Las primeras membranas comerciales para osmosis inversa (OI) y ultrafiltración (UF) eran de acetato de celulosa, estas membranas proporcionaban un alto

flujo de permeado y buen rechazo de sales y eran fáciles de comercializar. Sin embargo el acetato de celulosa se daña a: altas temperaturas, es sensible al pH ya que solo puede trabajar entre pH 3 y 6 y también por los iones de  $\text{Cl}^-$ , dado que los detergentes y sanitizantes de la industria alimentaria son a base de cloro, la sensibilidad de las membranas de este tipo al ion de cloro ha causado importantes problemas en la limpieza y desinfección en las operaciones de membranas (Casp, 2003).

### **2.20.2 POLÍMEROS:**

Las membranas de polímeros hechas de poliamidas y polisulfonas han ocupado el puesto del acetato de celulosa, al menos para ultrafiltración (UF) y microfiltración (MF).

Las poliamidas proporcionan una resistencia al pH ligeramente mejor que la del acetato de celulosa, pero son ligeramente más sensibles al cloro (Casp, 2003).

Las polisulfonas representan una buena alternativa, pueden resistir temperaturas altas (más de  $75^\circ\text{C}$ ), trabajan en un amplio rango de pH de entre 1 a 13 y presentan una resistencia razonable al cloro (más de 50 ppm), pero estas membranas no resisten altas presiones y se utilizan casi exclusivamente para UF (Casp, 2003).

### **2.20.3 MEMBRANAS DE CERÁMICA**

La composición de estas membranas es de carbón poroso (figura 2), óxido de circonio o de aluminio, aunque se puede utilizar una amplia gama de materiales. Debido a la naturaleza inerte de la cerámica, este tipo de membranas presentan un amplio rango de condiciones de operación (temperatura, pH). Son

también resistentes al ataque del cloro y se limpian con facilidad. Pero estas cerámicas son todavía bastante caras y su disponibilidad es aun limitada, sin embargo con el desarrollo de la tecnología pueden representar un importante impacto en el futuro de la separación de alimentos (Abril, 2003).



**Figura 2.** Membranas cerámicas

(GEA filtration, 2011)

#### **2.20.4 MEMBRANA DE ACERO INOXIDABLE**

Diseño rugoso, especialmente efectivo para aplicaciones que demanden condiciones de procesamiento extremas o productos con elevadas partículas sólidas y/o alta viscosidad.

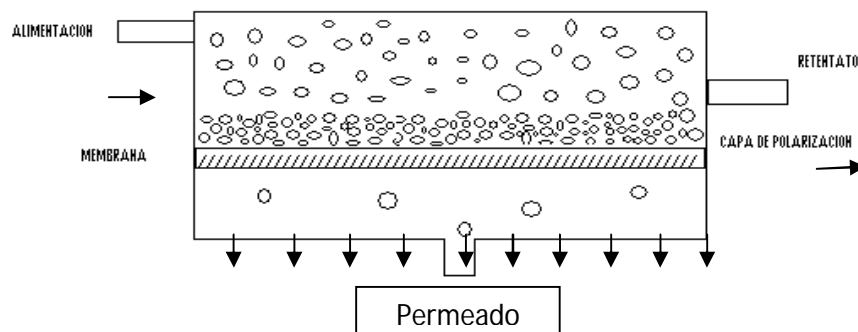
#### **2.21 POLARIZACIÓN DE CONCENTRACIÓN**

Se trata de un fenómeno con consecuencias negativas sobre la separación que se presenta en separación por membranas. Sus consecuencias son especialmente perjudiciales en el caso de la microfiltración (MF), ultrafiltración (UF) y ósmosis inversa (OI).

Una de estas consecuencias es que las moléculas que no pasan a través de la membrana comienzan a acumularse en el lado de la alimentación. El soluto que es rechazado se acumula en una capa límite delgada, en la superficie de la membrana (Casp, 2003).

Según Casp (2003), la formación de una capa de depósito se puede explicar como sigue:

- Las grandes moléculas como proteína y grasa se transportan por convección hacia la membrana de forma perpendicular a la dirección del flujo.
- Un gradiente de concentración provoca una retrodifusión al flujo de permeado.
- Paralelamente a la membrana, las proteínas presentes en la capa cercana a la membrana se mueven a velocidades que varían con el incremento de velocidad de flujo. En la figura 3 se puede apreciar el fenómeno de polarización de la concentración.



**Figura 3.** Polarización de la concentración en operaciones de membrana (Casp, 2003).

- El efecto de la polarización no está uniformemente distribuido a lo largo de la membrana, especialmente cuando la pérdida de carga, da lugar a una presión transmembranaria diferente a lo largo de la superficie de la



membrana, por esta razón es que el extremo de entrada de la membrana se colmata antes. La polarización se extiende gradualmente sobre toda la superficie, reduciéndose la capacidad y eventualmente haciendo necesaria la parada y limpieza de la membrana (Rodríguez et al, 2002).

## **2.22 OBSTRUCCIÓN DE LA MEMBRANA**

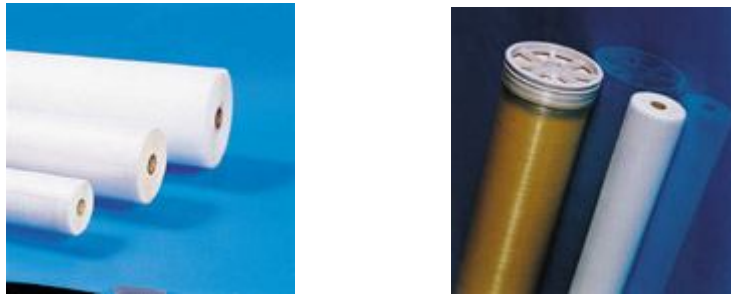
Durante los procesos de filtración de membrana, la obstrucción de los poros de la membrana es inevitable, incluso con un pre-tratamiento suficiente como hidrólisis enzimática o centrifugación para disminuir la cantidad de sólidos presentes. Como indica Rodríguez (2002), los tipos y las cantidades de suciedad dependen de muchos factores diferentes, tales como la calidad del jugo, tipo de membrana, material de la membrana y diseño y control de los procesos.

Partículas, biobstrucción y “scaling” son los tres tipos principales de suciedad en una membrana. Estos contaminantes hacen que se requiera una mayor carga de trabajo, para poder garantizar una capacidad continua de las membranas. Llegará el punto en el que la presión aumentará tanto que ya no será rentable ni económica ni técnicamente

## **2.23 EQUIPOS PARA SEPARACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS**

### **2.23.1 MÓDULO EN ESPIRAL**

A causa de su diseño compacto y su magnitud de área de membrana por elemento, los espirales (figura 4) se utilizan típicamente para aplicaciones de alto flujo con cantidades mínimas de sólidos en suspensión. Su ventaja reside en su bajo material y costo operativo (Casp, 2003).



**Figura 4.** Módulo en espiral

(GEA filtration, 2011)

### 2.23.2 MÓDULO TUBULAR

En este diseño, la membrana cilíndrica y su respectivo apoyo o soporte son colocadas dentro de un tubo más largo (figura 5). La alimentación se bombea hasta el centro del tubo por acción de la presión, el permeado para a través del sistema y es recogido fuera del tubo, mientras que el retenido pasa a través de la membrana y se elimina por el lado opuesto a la alimentación. Las membranas tubulares tienen un diámetro de 5 a 15 mm. Debido al tamaño de la superficie de la membrana, no es probable que las membranas tubulares se obstruyan al procesar corrientes con grandes cantidades de sólidos en suspensión o componentes fibrosos. Un inconveniente de las membranas tubulares es que la densidad del empaquetamiento es baja, lo que resulta en un mayor precio por módulo (Casp, 2003).



**Figura 5.** Módulo tubular

(GEA filtration, 2011)

### 2.23.3 MÓDULO DE FIBRA HUECA

Con densidad extremadamente alta de empaquetamiento (figura 6) y diseño de canales abiertos; ofrece la posibilidad de limpieza a contracorriente desde el permeado. Particularmente adecuada para flujos líquidos con bajos sólidos (Abril, 2003).



**Figura 6.** Módulo de fibra hueca

( GEA filtration, 2011)

## 2.24 TÉCNICAS DE SEPARACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS

Las técnicas de separación por membranas, según Casp (2003) se clasifican de la siguiente manera.

- Ósmosis inversa: La ósmosis Inversa consiste en separar un componente de otro en una solución, mediante las fuerzas ejercidas sobre una membrana semi-permeable, siendo así, separar las sales disueltas en el agua para obtener agua pura (Casp, 2003).
- Nanofiltración: como indica Casp (2003), la nanofiltración “es un proceso de filtración por membranas operadas bajo presión en la que solutos de bajo peso molecular son retenidos, pero las sales pasan, total o

parcialmente, a través de la membrana con el filtrado. Esto provee un rango de selectividad entre las membranas de Ultrafiltración y Osmosis Inversa, permitiendo simultáneamente concentración y desalado de solutos orgánicos. La membrana NF retiene solutos que la UF pasaría, y deja pasar sales que la OI retendría. En algunas aplicaciones, su selectividad entre moléculas de tamaños similares es la clave del éxito del proceso de separación con membrana”.

- Ultrafiltración: La ultrafiltración es el tipo de Filtración que utiliza membranas para separar diferentes tipos de sólidos y líquidos. El tamaño de poro no es tan fino como en la Nano filtración y tampoco requiere tanta energía para efectuar la separación, y es más pequeño que el de las membranas de microfiltración.

La membranas de Ultrafiltración están dispuestas en forma de capilares y están construidas con materiales plásticos que son porosos semipermeables.

La Ultrafiltración es capaz de concentrar sólidos suspendidos, bacterias, algunas proteínas, algunos colorantes (Abril, 2003).

- Microfiltración: El principio de la microfiltración es la separación física. Es el tamaño de poro de la membrana lo que determina hasta qué punto son eliminados los sólidos disueltos, la turbidez y los microorganismos. Las sustancias de mayor tamaño que los poros de la membrana son retenidas totalmente. Las sustancias que son más pequeñas que los poros de la membrana son retenidas parcialmente, dependiendo de la construcción de una capa de rechazo en la membrana (Abril, 2003).

## 2.25 APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS EN LA INDUSTRIA DE LOS ALIMENTOS

A continuación, se describen algunos usos de la tecnología de membranas en algunas ramas de la industria de alimentos; en la tabla 3 se muestran algunos procesos de separación y en la figura 7 se dan a conocer los usos de la tecnología de membranas, mediante un esquema.

**Tabla 3.** Uso de la tecnología de membranas en la industria de alimentos (Lara, 2002).

Rama de la industria	Operación
Clarificación de Jugos	MF, UF
Filtración estéril y clarificación de vinos, cerveza, vinagres, etc.	MF, UF
Concentración de leche y productos lácteos	UF
<b>Otras Aplicaciones</b>	
Recuperación de aromas	OI
Concentración de extractos de café, té	OI
Recuperación de proteínas del plasma sanguíneo	UF
Recuperación de proteínas del suero de la leche	UF
Pre-concentración de leche	OI

MF: microfiltración

UF: ultrafiltración

OI: ósmosis inversa

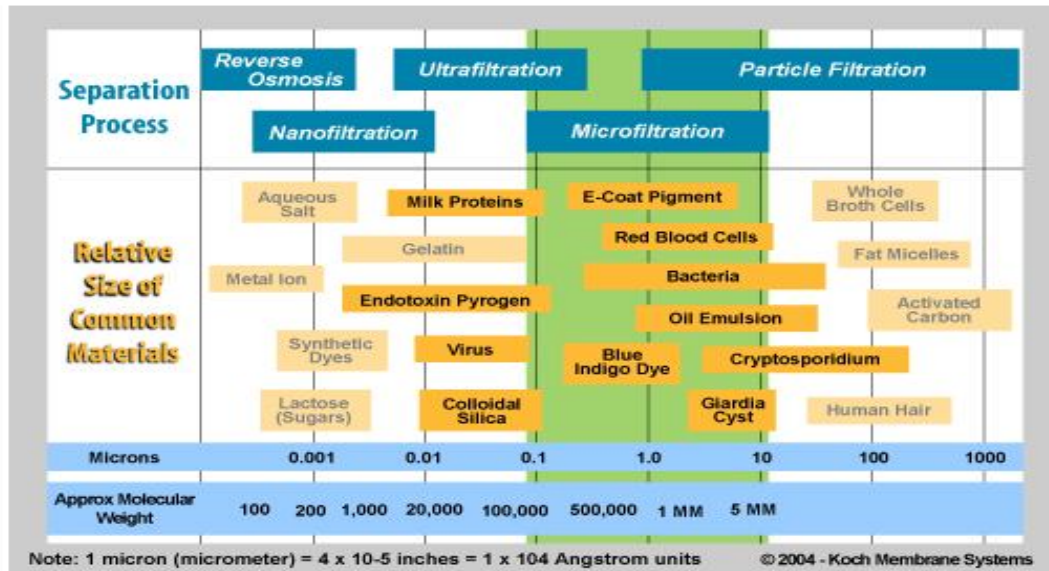


Figura 7. Esquema de algunos procesos de separación.

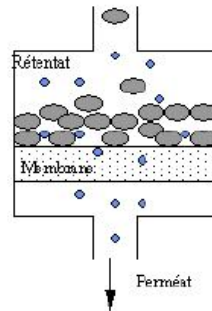
(Koch membrane system, 2011)

## 2.26 MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL

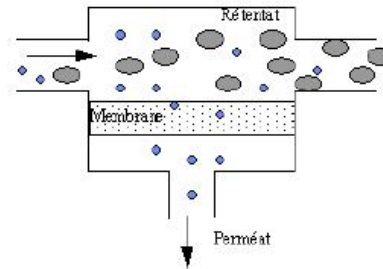
“La microfiltración tangencial es un procedimiento de separación que utiliza membranas semipermeables para la concentración, purificación o separación de partículas finas, microorganismos y gotas de emulsión en procesos biotecnológicos, en la industria de alimentos. La separación es debida a la presión. Tangencialmente a la superficie de filtración fluye el permeado y paralelo a este, fluye el retenido” (Vaillant et al, 2004). En la figura 8 se puede apreciar la diferencia de la filtración frontal y la tangencial.

## MODOS DE FILTRACIÓN

### Filtración Frontal



### Filtración tangencial



**Figura 8.** Esquema de filtración frontal y tangencial

(Instituto de tecnología cerámica, 2009)

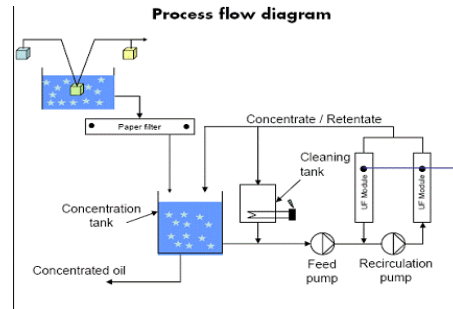
De acuerdo con el Instituto de tecnología cerámica, es una operación básica en la obtención de máxima calidad y limpidez de los jugos que se obtienen mediante este tipo de proceso.

La finalidad del microfiltrado es eliminar las sustancias en suspensión, material fino en dispersión y obtener una limpidez estable. La microfiltración tangencial sirve para separar suspensiones, retener las partículas cuyo tamaño varía entre 0,1 y 10 micras, lo que corresponde a coloides, levaduras, bacterias, emulsiones.

La microfiltración sirve para filtrar un efluente, extrayendo un filtrado estéril y libre de sólidos suspendidos.

Las membranas usadas para la microfiltración tienen un tamaño de poro de 0.1 – 10  $\mu\text{m}$ , retienen todas las bacterias. Parte de la contaminación viral es atrapada en el proceso, a pesar de que los virus son más pequeños que los poros de la membrana de microfiltración, esto es porque los virus se pueden acoplar a las bacterias.

La microfiltración puede ser aplicada a muchos tipos diferentes de tratamientos de líquidos cuando se necesita retirar de un líquido las partículas de un diámetro superior a 0.1 mm. La figura 9 muestra el esquema de un módulo de microfiltración



**Figura 9.**Esquema de un módulo de microfiltración

(Profilta, 2011)

Según Abril (2003), algunos ejemplos de aplicaciones de la microfiltración son:

- Esterilización en frío de bebidas y productos farmacéuticos
- Clarificación de zumos de frutas, vinos y cerveza
- Separación de bacterias del agua
- Separación de emulsiones de agua y aceite
- Pre-tratamiento del agua para nano filtración y ósmosis inversa
- Separación sólido-líquido para farmacias e industrias alimentarias.

## 2.26. 1 VENTAJAS DE LA MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL

Las principales ventajas de la microfiltración tangencial según Vilavella (1997) son:



- Respeto por el medio ambiente, ya que no produce desechos contaminantes
- Total automatización de su funcionamiento
- Mínima merma
- Equipo modular, es decir, el tamaño y capacidad del equipo puede aumentar si los requerimientos de la empresa son crecientes.

### **2.26.2 DESVENTAJAS DE LA MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL**

La principal desventaja, es el costo inicial del equipo, ya que es más costoso que los equipos que utilizan filtros de tierra, placas o cartuchos (Vilavella, 1997).

## **2.27 ENZIMAS**

Las enzimas se encuentran en todos los seres vivos y son piezas esenciales en su funcionamiento. Desde el punto de vista bioquímico son proteínas que actúan como aceleradores de las reacciones químicas, de síntesis y degradación de compuestos. Una de las características más sobresalientes de las enzimas es su elevada especificidad. Esto quiere decir que cada tipo de enzima se une a un único tipo de sustancia, el sustrato, sobre el que actúa (Yufero, 1998),

Como todos los catalizadores, las enzimas funcionan disminuyendo la energía de activación de una reacción, de forma que se acelera sustancialmente la tasa de reacción. Las enzimas no alteran el balance energético de las reacciones en que intervienen, ni modifican, por lo tanto, el equilibrio de la reacción, pero consiguen acelerar el proceso incluso millones de veces. Una reacción que se

produce bajo el control de una enzima, o de un catalizador en general, alcanza el equilibrio mucho más deprisa que la correspondiente reacción no catalizada. (Schmidt, 2001).

Las enzimas tienen muchas aplicaciones en diversos tipos de industrias, entre las que se destaca la alimenticia. En algunos casos, como la obtención de yogurt, o la producción de cerveza o de vino, el proceso de fermentación se debe a las enzimas presentes en los microorganismos que intervienen en el proceso de producción. Sin embargo, otros procesos de producción de alimentos, pueden realizarse mediante la acción de las enzimas aisladas, sin incluir a los microorganismos que las producen (Yufera, 1998).

Desde hace unas décadas se dispone de enzimas relativamente puras extraídas industrialmente de bacterias y hongos, y algunas de ellas de las plantas y los animales y con una gran variedad de actividades para ser utilizadas en la elaboración de alimentos (Yufera, 1998).

### **2.27.1 ALGUNOS ALIMENTOS EN LOS QUE SE EMPLEAN ENZIMAS**

Según Rebollar (1991), algunos alimentos que emplean enzimas son:

- Gaseosas, conservas de frutas, repostería. Estos alimentos se endulzan con jarabes de glucosa y fructosa que antiguamente se obtenían por la ruptura del almidón de maíz al tratarlo con ácido. Actualmente esta práctica ha sido casi totalmente desplazada por la acción enzimática, que permite obtener un jarabe de glucosa de mayor calidad y a menor costo. Los enzimas utilizados son las alfa-amilasas y las amiloglucosidasas. La glucosa obtenida puede transformarse luego en fructosa, otro azúcar más dulce, utilizando la enzima glucosa-isomerasa.”
- Leche y derivados. , el cuajo del estómago de los rumiantes es un componente esencial en la elaboración de quesos ya que contiene dos

enzimas digestivas tales como quimosina y pepsina, que aumentan la velocidad de la coagulación de la caseína, que es una de las proteínas de la leche. Otra enzima utilizada es la lactasa cuya función es degradar la lactosa. La lactasa, también es utilizada en la fabricación de dulce de leche, leche concentrada y helados al impedir que cristalice la lactosa durante el proceso.

- Pan. En la industria del pan la enzima que se utiliza es la lipoxidasa, una enzima que actúa como blanqueador de la harina y contribuye a formar una masa más blanda, mejorando su comportamiento durante el proceso del amasado. También otra enzima utilizada es la amilasa que degrada el almidón en azúcares más simples que pueden ser utilizados por las levaduras en la fabricación del pan.
- Cerveza. “Al igual que en la fabricación del pan el uso de amilasas que degradan el almidón, presentes en la malta, es fundamental en la fabricación de la cerveza. También se emplea la enzima papaína para fragmentar las proteínas presentes en la cerveza y evitar que ésta se enturbie durante el almacenamiento o la refrigeración”.
- Vinos. Uno de los inconvenientes que se pueden presentar durante la fabricación de vinos es la presencia del hongo llamado *Botrytis cinerea* que produce beta-glucanos, el beta glucano es un polímero de glucosa que pasa al vino y entorpece su proceso de clarificación y filtrado. Este problema se soluciona añadiendo enzimas con actividad beta-glucanasa que lo degradan.
- Jugos concentrados. Muchas veces, por la naturaleza propia de la fruta, la pulpa de las frutas y restos de semillas hacen que los jugos concentrados sean turbios y de elevada viscosidad, lo que ocasiona problemas en la extracción y la concentración. Esto se debe a la

presencia de pectinas, que pueden degradarse por la acción de enzimas pectinasas presentes en el propio jugo o bien obtenidas y añadidas de fuentes externas.

## **2.27.2 FUENTES DE OBTENCIÓN DE ENZIMAS**

Las fuentes principales de producción de enzimas para empleo industrial según Schmidt (2001) son:

**2.27.2.1 Animales:** La industria empacadora de carnes es la fuente principal de las enzimas derivada del páncreas, estómago e hígado de los animales, tales como la tripsina, lipasas y cuajos (quimosina y renina).

### **2.27.2.2 Vegetales:**

La industria de la malta de cebada es la fuente principal de enzimas de cereales. Las enzimas proteolíticas (que degradan proteínas) tales como la papaína y la bromelina se obtienen de la papaya y del ananá, respectivamente.

### **2.27.2.3 Microbianas:**

Principalmente se extraen de bacterias, hongos y levaduras que se desarrollan en la industria de la fermentación. La ventaja de la obtención de enzimas microbianas es que los microorganismos se reproducen a ritmo acelerado, son fáciles de manipular genéticamente, crecen en un amplio rango de condiciones

ambientales y tienen una gran variedad de vías metabólicas, haciendo que las enzimas obtenidas sean más económicas.

### 3. METODOLOGÍA

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 MATERIA PRIMA**

En este estudio se utilizó carambola de la variedad Arking dulce que es la variedad disponible en el país, la fruta fue adquirida en el mercado mayorista de la ciudad de Quito a comerciantes provenientes de la provincia de Manabí, la fruta fue almacenada en refrigeración a 8°C hasta que alcanzo su grado 5 de maduración y se procedió al despulpado.

#### **3.2 PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE LA PULPA DE CARAMBOLA**

Para obtener la pulpa de carambola, se siguieron los siguientes pasos:

1. Pesado de la materia prima
2. Selección manual de los frutos con la finalidad de desechar los frutos en mal estado.
3. Lavado por inmersión de la materia prima con agua potable.
4. Desinfección de la materia prima con un microbicida natural, no tóxico cuyo nombre comercial es STAR BAC DOMESTIC en la concentración que recomienda el fabricante, aproximadamente 3ml/lit de agua, posterior a esto, se procedió a retirar el pedúnculo de los frutos.
5. Troceado de la fruta.
6. Despulpado de la fruta que se hizo con un despulpador horizontal con una capacidad de 250 kg/h con un tamiz de 0.05 mm de diámetro de orificio.

7. Almacenamiento de la pulpa en recipientes de 10 litros de capacidad a una temperatura de -18°C.

### 3.3 SELECCIÓN DE LA TEMPERATURA DE ENZIMACIÓN

Se calentó la pulpa de carambola a 3 diferentes temperaturas (30, 35 y 40°C), las cuales fueron comparadas con una muestra patrón que se encontraba a una temperatura de 18 °C por un panel entrenado de 20 jueces, para el análisis de los datos, se utilizaron la ecuación 3 (Meilgaard, 1990) y el formato de prueba de preferencia ( anexo 2).

Probabilidad máxima de semejanza en análisis sensorial

$$P_{max} = \left[ 2 \left( \frac{x}{n} \right) - 1 \right] + (2)Z_{\beta} \sqrt{\frac{nx-x^2}{n^3}} \quad [3]$$

Donde:

Pmax : Probabilidad de semejanza

x : Número de panelistas que no percibieron cambios

n : Población muestral

Z $\beta$  : Factor de probabilidad de acierto general

Los valores de Z $\beta$  y de pmax, se calculan en base a las tablas del anexo 3 y anexo 4



### 3.4 SELECCIÓN DEL COCTEL ENZIMÁTICO COMERCIAL

Se utilizó un coctel enzimático comercial específico para frutas tropicales, TROPICAL CLOUD, este coctel fue utilizado durante el tiempo de una hora (Fontagro, 2008), ya que en investigaciones anteriores del proyecto FONTAGRO, se determinó que es el tiempo en el cual los valores de materia insoluble en alcohol (MIA) y sólidos insolubles en suspensión (SIS) disminuyen considerablemente, este estudio se realizó en mango, mora, arazá y naranjilla.

### 3.5 SELECCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL COCTEL ENZIMÁTICO

En la pulpa de carambola, se aplicaron 2 tratamientos enzimáticos en baño María sobre muestras de 500 ml de pulpa, a la temperatura que fue determinada en el análisis sensorial realizado previamente, durante una hora.

Los tratamientos enzimáticos aplicados sobre el jugo pulposo de carambola se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 4:** Tratamientos enzimáticos aplicados a la pulpa

Tratamiento	Concentración del coctel enzimático (ppm)
T1	500
2	1000

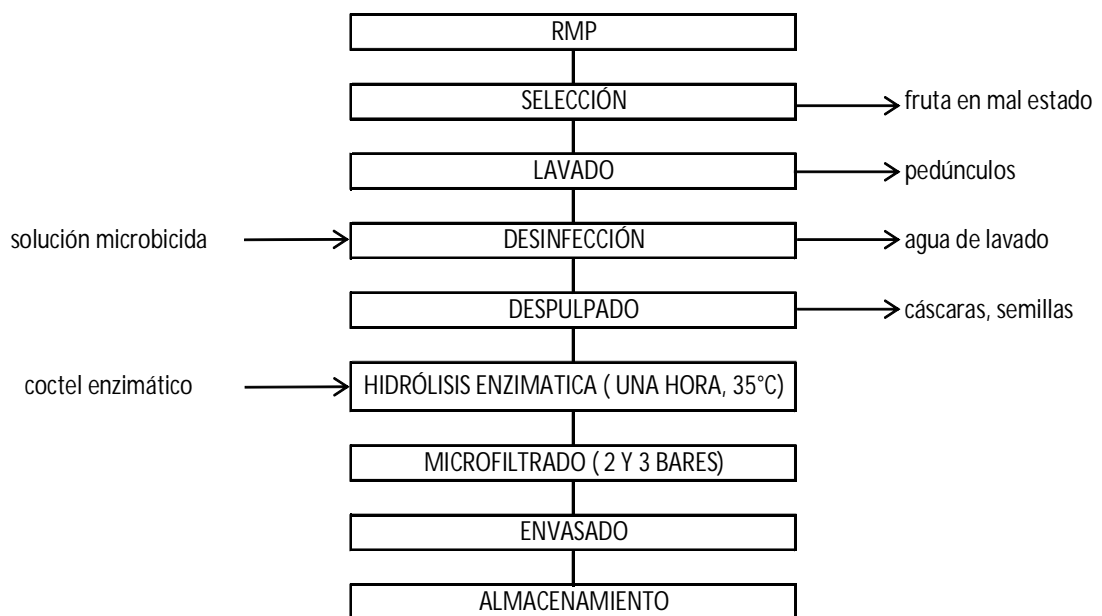
### **3.6 HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA A ESCALA DE LABORATORIO**

Para el enzimación se trabajo con dos concentraciones de coctel enzimático “TROPICAL CLOUD” 500 y 1000 ppm. A continuación se detalla el procedimiento de la enzimación a escala de laboratorio:

1. Se miden 500 ml de pulpa en 2 vasos de precipitación de 1000 ml de capacidad.
2. En un baño térmico, se calienta la pulpa a la temperatura determinada en el análisis sensorial.
3. Se añade el coctel enzimático a la concentración deseada (500 y 1000 ppm).
4. Se homogeniza la muestra con varillas de agitación de vidrio.
5. Se mantiene el baño térmico a la temperatura obtenida del análisis sensorial durante 1 hora.
6. Después de que ha transcurrido el tiempo de una hora, se procede a sumergir las muestras enzimadas en un baño de agua helada a 4 °C por un tiempo de 15 minutos, con la finalidad de inactivar la acción de las enzimas añadidas.

### 3.7 OBTENCIÓN DE JUGO CLARIFICADO DE CARAMBOLA

Para la obtención del jugo clarificado de carambola, se alimentó la pulpa enzimada a una temperatura de de 35°C durante una hora al equipo piloto de microfiltración tangencial que poseía una membrana cerámica marca Membralox de 0,22 m<sup>2</sup> de superficie filtrante, con una permeabilidad máxima de 250 l/h y 0,2 micras de diámetro de poro, a una presión de entrada de 2 y 3 bares, el jugo clarificado fue envasado el recipientes PET de medio litro de capacidad. En la figura 10, se puede observar el proceso para la obtención de jugo clarificado de carambola.



**Figura 10.** Diagrama de flujo para la obtención de jugo clarificado de carambola

### **3.8 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS Y DE VITAMINA C, REALIZADOS EN PULPA FRESCA, ENZIMADA Y JUGO CLARIFICADO**

En la pulpa fresca, enzimada y jugo clarificado se realizaron los siguientes análisis físicos, químicos, microbiológicos y de vitamina C

#### **3.8.1 SÓLIDOS SOLUBLES**

Los sólidos solubles fueron medidos utilizando un refractómetro manual con una escala de 0 hasta 32° brix de marca ERMA de acuerdo con el método 932.12 descrito por la AOAC (AOAC, 1975).

#### **3.8.2 pH.**

El pH fue medido con un pH-metro HANNA INSTRUMENTS 8520, siguiendo el método 942.15 de la AOAC (AOAC, 1975).

#### **3.8.3 ACIDEZ TITULABLE**

Para la medición de este parámetro de control, se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se pesó 30 g de pulpa y se la llevó a una solución con agua destilada hasta los 200 ml.
2. Se toma una alícuota de 20 ml de esta solución
3. Se introdujo el electrodo del equipo de medición de pH (*pH-meter HANNA INSTRUMENTS 8520*) y poco a poco se le agrega NaOH 0.1 N, hasta que la lectura del equipo de medición de pH sea de 8.2.

### 3.8.4 SÓLIDOS INSOLUBLES EN SUSPENSIÓN (SIS)

Se midió por diferencia de peso, luego de un proceso de centrifugación a 3.500 rpm durante 15 minutos.

El proceso para la determinación de los sólidos insolubles en suspensión (SIS) fue el siguiente:

- Pesar los tubos para centrífuga
- Pesar en los tubos para centrifuga 50 gramos de la muestra
- Colocarlos dentro de la centrifuga
- Colocar la tapa de la centrifuga
- Centrifugar a 3500 RPM durante 15 minutos
- Escurrir el sobrenadante
- Pesar el tubo con el residuo

Se utiliza la ecuación 4 para los cálculos:

$$\%SIS = \frac{Pp - Pv}{Pm} \times 100 \quad [4]$$

Donde:

SIS: Sólidos insolubles en suspensión

Pp:       Peso del tubo que incluye el precipitado  
Pv:       Peso tubo vacío  
Pm:       Peso de la muestra

El rendimiento se expresa como la relación que existe entre el porcentaje final e inicial de SIS.

### **3.8.5 MATERIA INSOLUBLE EN ALCOHOL (MIA)**

Para la determinación de MIA se utilizó el método descrito por Voragen y colaboradores (1983).

El rendimiento se expresa como la relación que existe entre el porcentaje final e inicial de MIA.

### **3.8.6 ANÁLISIS DE VITAMINA C**

Para la determinación de la cantidad de vitamina C presente en la pulpa fresca, enzimada y jugo clarificado, se utilizó el método reflectométrico 116981 para Test Ácido ascórbico de MERCK, donde el ácido ascórbico reduce el ácido molibdo-fósforico presente en las tirillas de análisis a azul de fosfomolibdeno.

## **3.9 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS REALIZADOS A PULPA FRESCA, JUGO CLARIFICADO Y RETENIDO**

Para el análisis microbiológico de la pulpa fresca, jugo clarificado y retenido, se utilizaron los métodos descritos en la tabla 5.

**Tabla 5.** Métodos utilizados para análisis microbiológicos

<b>Microorganismo</b>	<b>Método</b>	<b>Unidad</b>
Mohos y levaduras	INEN 1529-10	UFC/g
Coliformes	AOAC 991.14	UFC/g
Aerobios mesófilos	AOAC 23	UFC/g

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS



## **4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **4.1 RENDIMIENTOS DEL PROCESO DE MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL (MFT) APLICADO A LA PULPA DE CARAMBOLA VARIEDAD ARKING DULCE**

El rendimiento de fruta a pulpa fue del 66.4%, el cual es cercano a los valores expuestos por Avilan y Rengifo en 1988 los cuales fueron de 65.56%, además se puede comparar el valor de rendimiento con los rendimientos del babaco, ya que sus características son similares a las de la carambola, ya que no tiene un proceso de pelado antes del despulpado, el rendimiento del babaco es aproximadamente 75%.

### **4.2 DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA ÓPTIMA PARA LA ENZIMACIÓN**

Después de haber realizado la prueba sensorial de preferencia (anexo 2) y su posterior análisis utilizando la fórmula expuesta por Meilgaard (ecuación 3) en 1990.

La temperatura óptima de enzimación fue de 35 °C ya que los datos indicaron que de un panel de 20 jueces, 13 no encontraron diferencias organolépticas significativas entre la muestra de pulpa de carambola calentada a 35°C, comparada con una muestra testigo de pulpa de carambola a temperatura ambiente (18°C), como se puede apreciar en la siguiente tabla

**Tabla 6.** Resultados del análisis sensorial.

<b>Temperatura °C</b>	<b># de respuestas</b>	<b>Probabilidad máxima</b>
30	3	-43,31%
35	13	65,60%
40	4	-30,10%

Con estos datos se obtiene una probabilidad máxima de semejanza del 65.60%, con una confiabilidad del 95%, esto quiere decir que 7 de cada 10 personas que realizaron la prueba sensorial, no encontraron diferencias entre la pulpa calentada a 35°C y la muestra testigo que se encontraba a 18°C.

#### **4.3 ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS REALIZADOS EN PULPA.**

Se realizaron análisis físicos químicos, microbiológicos y medición de vitamina C para pulpa fresca, enzimada a 500 ppm, 1000 ppm y jugo clarificado de 500 y 1000 ppm. Los valores de cada análisis son los siguientes:

**Tabla 7.** Valores de los análisis fisicoquímicos realizados.

Concentración de la enzima	pH	sol.solubles (°Brix)	Acidez (% ácido oxálico)	Materia insoluble en alcohol (MIA)	Sólidos insolubles en suspensión (SIS)	VIT C(mg/l)
<b>Pulpa fresca</b>	3.73 ± 0.10 <sup>a</sup>	10.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	0.38 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.00 <sup>a</sup>	22,07 ± 1.64 <sup>a</sup>	47,65 ± 0.71 <sup>a</sup>
<b>Pulpa enzimada 500 ppm</b>	3.66 ± 0.02 <sup>a</sup>	8 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.44 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.36 ± 0.02 <sup>a</sup>	20,27 ± 0.14 <sup>b</sup>	NR
<b>Pulpa enzimada 1000 ppm</b>	3.58 ± 0.03 <sup>a</sup>	8.17 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.46 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.209 ± 0.05 <sup>b</sup>	17.75 ± 0.46 <sup>a</sup>	NR
<b>clarificado 500 ppm</b>	3.59 ± 0.02 <sup>a</sup>	8,00 ± 0.00 <sup>b</sup>	0,39 ± 0.01 <sup>a</sup>	NR	NR	13.70 ± 1.14 <sup>a</sup>
<b>clarificado 1000 ppm</b>	3.61 ± 0.02 <sup>a</sup>	8.17 ± 0.29 <sup>b</sup>	0.34 ± 0.03 <sup>a</sup>	NR	NR	13.75 ± 0.07 <sup>a</sup>

Valores en la misma columna, seguidos por letras diferentes (a-b), son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) NR: no realizado

El valor de pH de la fruta es 3.73, similar al valor reportado por Medina (2006) el cual fue de 3,74 para su estudio de la uvilla y granadilla.

El valor de sólidos solubles de la fruta fue de 10.67 ° Brix, el cual es 2,6% más alto que el que indica Medina (2006) en su estudio para la uvilla y granadilla.

El valor de la acidez fue de 0.38 % de ácido oxálico, es cercano a los valores antes publicados por Barrera (2001), el cual fue de 0.35% para el estudio de Carambola.

La concentración de vitamina C inicial fue de 47,65 mg/l, la cual es similar a la reportada por Bernal (1999) la cual fue de 47 mg/l en su estudio de la carambola ácida de Colombia.

Los valores de materia insoluble en alcohol (MIA) obtenidos en este análisis que fueron de 0,43 % de MIA, son 40,20 % menores que los reportados por Flores Pardo (2007), el cual fue de 0.72% de MIA en pulpa de maracuyá, en la siguiente tabla se pueden apreciar los valores de rendimiento de los parámetros MIA y SIS.

**Tabla 8.** Rendimientos de MIA y SIS

<b>Parámetro</b>	<b>Pulpa enzimada 500ppm</b>	<b>Pulpa enzimada 1000 ppm</b>
<b>Rendimiento enzimación % SIS</b>	<b>8.02</b>	<b>19.57</b>
<b>Rendimiento enzimación % MIA</b>	<b>16.40</b>	<b>51.85</b>

En la tabla 8 se evidencia el rendimiento del proceso enzimático al que fue sometida la pulpa. Como se puede ver, con una concentración de 1000 ppm se obtiene una disminución en el valor de MIA de 51.85%, valor menor que el reportado por Flores (2007) el cual fue de de 64% en su estudio realizado en maracuyá

#### **4.4 FACTOR DE REDUCCIÓN VOLUMÉTRICO (FRV)**

Una vez aplicada la formula de FRV, el resultado es el siguiente para el jugo clarificado de 1000 ppm obtenido a una presión constante de 3 bares

$$FRV=4$$

Para el jugo clarificado de 500 ppm obtenido a 2 bares de presión de entrada, el resultado es el siguiente:

$$FRV=1.33$$

El valor obtenido de FRV fue menor que el reportado por Badillo (2008) el cual fue de 4,6, pero al obtener un FRV de 4, quiere decir que el valor que se reduce lo que fue alimentado, es de 4 veces, es por esto que obtuvimos 7.5 litros de clarificado y tan solo 2.5 litros de retenido lo cual es considerado como merma, en el caso del jugo clarificado de 500 ppm obtenido a una presión de 2 bares, el FRV es de 1.33, esto quiere decir que el interior del microfiltro, se quedaron alrededor de 7.51 litros de jugo sin ser microfiltrado.

#### 4.5 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE PULPA Y JUGO CLARIFICADO DE CARAMBOLA

**Tabla 9.** Resultados de los análisis microbiológicos

<b>Análisis microbiológico</b>	<b>Coliformes</b>	<b>Mohos y levaduras</b>	<b>Aerobios totales</b>
<b>Pulpa</b>	<10	<10	<10
<b>Retenido</b>	<10	<10	<10
<b>Jugo clarificado</b>	<10	<10	<10

Como se puede apreciar en la tabla 9, la presencia de microorganismos (mohos, coliformes y levaduras) en la pulpa de carambola es mínima ya que su

carga microbiana inicial es disminuida gracias al lavado por inmersión y la desinfección de la fruta.

En el retenido, no se aprecia una acumulación representativa de microorganismos.

En el jugo clarificado, la carga microbiana es ausente, ya que la microfiltración tangencial es considerada como una pasteurización en frío y estos resultados son reportados como  $<10$ , además al ser valores  $<10$ , se cumple con la norma técnica Colombiana NTC 3549 para refrescos de frutas, la cual indica que los valores de mohos, coliformes y levaduras deben ser de 10 o menores.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- Al realizar en análisis microbiológico, se evidencia que la carga microbiana inicial en la pulpa fresca fue de 4 UFC/g, y después de ser microfiltrada, esta carga es disminuida a cero, cumpliendo así con la norma técnica para refrescos de frutas.
- El proceso de microfiltración tangencial no afecta el pH y la acidez titulable del jugo, manteniendo valores similares a los de la pulpa.
- El porcentaje de sólidos solubles (°Brix), disminuye después de la microfiltración del jugo que fue enzimado a 1000 ppm, constituyendo una diferencia estadísticamente significativa.
- El proceso de hidrólisis enzimática es altamente efectivo ya que el porcentaje de materia insoluble en alcohol (MIA) se ve reducido en un 51% del valor inicial.
- La cantidad de vitamina C presente inicialmente en la fruta fue de 47,65 mg/l mientras que el jugo clarificado de 1000 ppm contiene 13.75 mg/l, esto se debe a los cambios de temperatura propias del proceso, procesos de congelamiento y descongelamiento, además la exposición a la luz a la que fue sometida la pulpa antes de ser microfiltrada.



## 5.2 RECOMENDACIONES

- Evaluar el uso de otras enzimas para la hidrólisis enzimática que permitan una mayor reducción de materia insoluble en alcohol (MIA) y de sólidos insolubles en suspensión (SIS) para evitar una colmatación temprana de la membrana
- Someter la pulpa a un proceso de centrifugado antes de iniciar con el proceso de microfiltración tangencial y de esta manera lograr obtener un rendimiento mayor del obtenido en este estudio expresado en FRV.

## BIBLIOGRAFÍA

Avilán, L. y Rengifo, C. (1988). Los cítricos. Primera edición. Editorial América S.A. Caracas. Pág. 102-113 y 420-431.

Barrera, J. Hernández, P. y Oviedo, E. (2001). Tecnologías para el aprovechamiento integral de frutas nativas en la región amazónica Colombiana.

BERNAL, J. (1999). Frutales de clima cálido. Colombia.

Calles, J. y López, B. (2002). Ingeniería de la industria alimentaria. España.

Calzada, B. (1980). Frutales nativos. Librería El Estudiante. Lima. Perú.

Casp, A. y Abril, J. (2003). Segunda edición. Procesos de conservación de alimentos. Madrid.

Cheryan, M. (1998). Ultrafiltration and Microfiltration. Handbook. Lancaster. Pennsylvania.

Columbia Electronic Encyclopedia, t. E. (2009). Carambola.

Crane, J.(1993). Commercialization of carambola, atemoya, and other tropical fruits in south Florida. New York.

Cubillos (1999). Aspectos generales de la Carambola. Colombia.

Eroski, C. (2010). Las frutas una a una, carambola.  
<http://frutas.consumer.es/documentos/tropicales/carambola/intro.php>.

Flanzy, C. (2003). Enología: fundamentos científicos y tecnológicos 2.

Flores, P. (2003). Hidrólisis enzimática de los sólidos insolubles de la pulpa de Maracuyá. Universidad del valle, Colombia

Glasbey, C. (1991). Análisis de imagen y el modelar tridimensional de poros en suelo.

Instituto de tecnología de cerámica. Consultado el 16 de Abril del 2011.

Lara, J. (2002). Eliminación de nutrientes mediante procesos de membrana.

Meilgaard, M. Civille, G. y Carr, B. (1990). Sensory Evaluation Techniques. Florida.

Montoya, H. (2005). Estudio preliminar del efecto de la microfiltración tangencial sobre la capacidad antioxidante en jugos de fruta clarificados.

Oficina Española de patentes y marcas, publicación # 2 135 536, consultado el 4 de marzo del 2011.

Ortiz, J. y Vélez, P. (2008). Modelos matemáticos de la colmatación de membranas en microfiltración tangencial.

Palacios, C. y Rodríguez, E. (2001). Evaluación de la aplicación de atmósfera modificada en la conservación de la carambola (*Averrhoa carambola* L.). Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas 'SINCHI'. Bogotá.

Pérez, A. Interés de la aplicación de las tecnologías de membranas en la industria de alimentos, consultado el 15 de marzo del 2011.

Procesos de filtración tangencial (Profilta). Consultado el 22 Junio del 2011.

Rebollar, M. (1991). Aditivos Alimentarios. Propiedades, aplicaciones y efectos sobre la salud. Zaragoza.

Rodríguez, F. (2002). Ingeniería de la industria alimentaria, España.

Schmidt, H. (2001). Las enzimas en los alimentos. Chile.

Selles, S. (2007). Pardeamiento enzimático del fruto de níspero, Universidad de Alicante, 2007.

SICA (Sistema de Información del Censo Agropecuario, EC). Carambola, Consultado 14 de mayo del 2011.

Sierra, S. (2010) cultivo de la carambola.

Tello, O. (2002). conservación de averrhoa carambola por azúcar y calor. Perú

Unitek. (2009). Microfiltración ,Filtración, microfiltración y ultrafiltración.

Vaillant, F. y Millan, P. (1999). Crossflow microfiltration of passion fruit juice after partial enzymatic liquefaction.

Vidal-Asiaín, L. (2006). Las técnicas de filtración tangencial y el medio ambiente.

Vilavella, M. (1997). Microfiltración tangencial de vinos.

Villegas, B. (1998). El Carambolo (Averrhoa carambola). Medellín.

Warnes, M. (2010). Carambola. from • <http://plantas-comestibles.idoneos.com/index.php/Carambola>.

Yufera, E.(1998). 2da edición, Química de los alimentos, Madrid.

Zedon, R y Fuh, J. (1994). Cultivo de la Carambola.

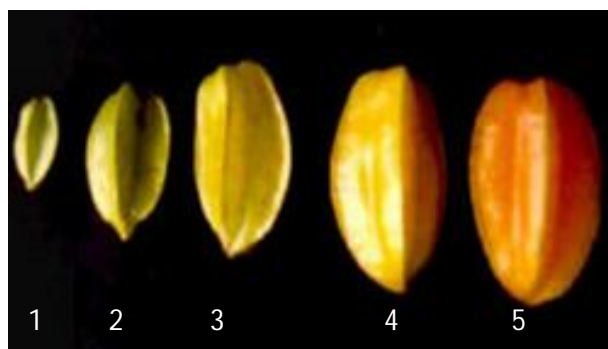
Instituto de Desarrollo Agrario, Misión Técnica Agrícola de la República de China. Consultado el 5 de Junio del 2011.

ANEXOS

# ANEXOS

## ANEXO 1

Estados de madurez de la carambola



( Rengifo, 1988)

## ANEXO 2

### Formato de evaluación de preferencia para análisis sensorial

Nombre: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Producto: **pulpa de carambola**

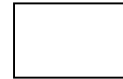
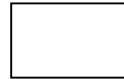
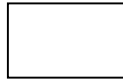
Instrucciones: dentro de los productos que se están presentando, tiene usted una muestra de control, rotulada con "R" y 3 muestras codificadas de diferente manera. )¿Cuál de las muestras codificadas es similar de "R" (marque con una X)?

Referencia ®

código 1

código 2

código 3



Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Gracias por su colaboración.



### ANEXO 3

#### Probabilidad superior $\alpha$ de la distribución t de Student (Meilgaard, 1990)

Instrucciones: (1) ingresar a la fila de la tabla que corresponde al número de grados de libertad ( $\nu$ ) para el error. (2) escoja el valor del error correspondiente a  $\alpha$ .

<b>A</b>					
<b>V</b>	<b>0.25</b>	<b>0.10</b>	<b>0.05</b>	<b>0.025</b>	<b>0.01</b>
<b>1</b>	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821
<b>2</b>	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965
<b>3</b>	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541
<b>4</b>	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747
<b>5</b>	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365
<b>6</b>	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143
<b>7</b>	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998
<b>8</b>	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896
<b>9</b>	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821
<b>10</b>	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764
<b>11</b>	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718
<b>12</b>	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681
<b>13</b>	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650
<b>14</b>	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624
<b>15</b>	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602
<b>16</b>	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583
<b>17</b>	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567
<b>18</b>	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552
<b>19</b>	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539
<b>20</b>	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528
<b>30</b>	0.681	1.310	1.697	2.042	2.457
<b>40</b>	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423
<b>60</b>	0.679	1.296	1.671	2.000	2.390
<b>120</b>	0.677	1.289	1.658	1.980	2.358
$\infty$	0.674	1.282	1.645	1.960	2.326

## ANEXO 4

**Prueba de preferencia, numero crítico de respuestas correctas (Meilgaard, 1990)**

n	$\beta$	$P_a$				
		0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
	0.05	-	-	-	-	-
	0.10	-	-	-	-	12
28	0.001	-	-	-	-	-
	0.01	-	-	-	-	-
	0.05	-	-	-	-	-
	0.10	-	-	-	-	14
32	0.001	-	-	-	-	-
	0.01	-	-	-	-	-
	0.05	-	-	-	-	-
	0.10	-	-	-	-	16
36	0.001	-	-	-	-	-
	0.01	-	-	-	-	-
	0.05	-	-	-	-	18
	0.10	-	-	-	18	19
40	0.001	-	-	-	-	-
	0.01	-	-	-	-	-
	0.05	-	-	-	-	20
	0.10	-	-	-	20	21