

# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



*Excelencia que trasciende*

**DEL VALLE**  
GRUPO EDUCATIVO

Diseño y Proceso de un Sistema de Microfiltración de Agua de Coco.

Trabajo de Graduación presentado por Noé Alejandro Rivera Salguero para optar el  
Grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencias de Alimentos

Guatemala,  
2014



# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



*Excelencia que trasciende*

**DEL VALLE**  
GRUPO EDUCATIVO

Diseño y Proceso de un Sistema de Microfiltración de Agua de Coco.

Trabajo de Graduación presentado por Noé Alejandro Rivera Salguero para optar el  
Grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencias de Alimentos

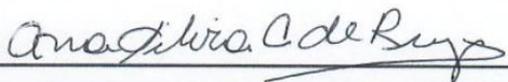
Guatemala,  
2014

**Vo. Bo:**

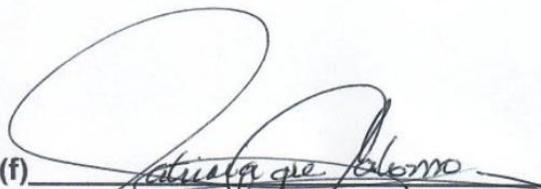
X  
(f) 

Ingeniero Henry Daniel Cukier Alcahe

**Tribunal Examinador:**

(f) 

Licenciada Ana Silvia Colmenares de Ruiz

(f) 

Licenciada Patricia Palacios de Palomo

X  
(f) 

Ingeniero Henry Daniel Cukier Alcahe

Fecha de aprobación: Guatemala, 13 de Enero de 2014

# ÍNDICE

Resumen.....	v
Abstract.....	vi
I Introducción.....	1
II Antecedentes .....	2
2.1    Bebida Isotónica.....	2
2.2    Agua de coco como bebida Isotónica.....	2
2.3    Esterilización por membranas .....	3
2.4    Paquete de membranas .....	4
2.5    Bebida deportiva FAO .....	5
III Marco teórico.....	6
3.1    La planta de coco.....	6
3.2    Agua de coco.....	6
3.3    Beneficios del agua de coco .....	7
3.4    El coco como alimento para la vida. ....	9
3.5    Características del agua de coco.....	11
3.6    Buenas prácticas de manufactura .....	12
3.7    Factores que determinan la calidad del agua de coco .....	12
3.7.1    Factores previos a la recolección .....	12
3.7.2    Factores posteriores a la recolección .....	13
3.8    Agua de coco embotellada.....	13
3.9    Consideraciones básicas .....	13
3.10    Especificaciones de calidad para el agua de coco embotellada.....	14
IV Justificación.....	16
V Objetivos.....	17
5.1    Objetivo general .....	17
5.2    Objetivos específicos.....	17
VI Metodología.....	18
6.1    Obtención de materia prima .....	18
6.2    Diseño y operación del equipo de microfiltración. ....	20
6.3    Determinación de pH en el producto final .....	21
6.4    Determinación de grados Brix en producto final. ....	21

6.5	Determinación de proteína en el producto final .....	22
6.6	Preparación de la muestra y determinación del contenido de proteína. ....	23
6.7	Determinación de sales en el producto final. ....	23
6.8	Recuento total de coliformes totales y fecales; y bacterias anaerobias. ....	24
6.9	Preparación de la muestra y recuento total.....	24
6.10	Determinación de caída de presión en membranas .....	25
6.11	Determinación de caída de presión en el sistema.....	25
6.12	Análisis sensorial.....	25
VII	Resultados y discusión .....	27
7.1	Diseño de equipo de microfiltración. ....	27
7.2	Recepción de materia prima .....	27
7.3	Bombeo y traslado de la materia prima hacia las membranas .....	30
7.4	Tubería de traslado de materia prima a membranas.....	31
7.5	Proceso de microfiltración .....	34
7.6	Membranas de microfiltración .....	35
7.7	Tubería de descarga de producto final .....	38
7.8	Sistema de microfiltración integrado .....	38
7.9	Operación del equipo de microfiltración.....	41
7.10	Limpieza y ensamblaje de carcasas y membranas de microfiltración.....	41
7.11	Recepción de materia prima, traslado hacia membranas, microfiltración y descarga de producto final.....	43
7.12	Capacidad de flujo del sistema.....	48
7.13	Energía requerida para la operación del sistema .....	49
7.14	Caída de presión en el sistema .....	50
7.15	Costos de operación del sistema.....	54
7.16	Costo de energía eléctrica.....	54
7.17	Costos de insumos y de la operación final. ....	54
7.18	Operación y rendimiento del sistema de microfiltración .....	55
7.19	Características fisicoquímicas del producto final.....	57
7.20	PH del producto final. ....	58
7.21	Grados Brix del producto final. ....	59
7.22	Proteína en el producto final obtenido. ....	60
7.23	Contenido de sales en el producto final. ....	62

7.24	Contenido de Sodio .....	63
7.25	Producto final como bebida isotónica. ....	64
7.26	Análisis microbiológico en el producto final .....	65
7.27	Análisis sensorial del producto final. ....	66
VIII	Conclusiones .....	69
IX	Recomendaciones .....	70
X	Apéndice .....	71
10.1	Inlasa .....	71
10.2	Guía y boleta de análisis sensorial del producto final. ....	72
XI	Bibliografía .....	80

## CUADROS

Cuadro 1. Comparación entre bebida para deportistas y agua de coco.....	3
Cuadro 2. Composición del agua de coco.....	8
Cuadro 3. Composición de agua y leche de coco .....	9
Cuadro 4. Características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de coco envasada.	15
Cuadro 5. Características químicas de agua de coco (Cocus nucifera sp. Malayo).....	19
Cuadro 6. Características físicas de agua de coco (Cocus nucifera sp. Malayo).....	20
Cuadro 7. Dimensiones y recepción de materia prima. ....	29
Cuadro 8. Dimensión de la bomba.....	30
Cuadro 9. Dimensiones y características de la tubería de traslado. ....	32
Cuadro 10. Dimensiones y características de la carcasa de membranas.....	34
Cuadro 11. Partes del sistema de microfiltración .....	41
Cuadro 12. Flujo del sistema de microfiltración.....	47
Cuadro 13. Caudal del sistema de microfiltración.....	48
Cuadro 14. Consumo de energía por volumen filtrado.....	49
Cuadro 15. Caída de presión en el sistema. ....	51
Cuadro 16. Caída de presión teórica en las membranas. ....	52
Cuadro 17. Costo de energía eléctrica en la operación. ....	54
Cuadro 18. Costos de insumos y de operación final.....	55
Cuadro 19. Rendimiento del agua de coco microfiltrada.....	56
Cuadro 20. Comparación de bebida para deportistas y producto final. ....	65
Cuadro 21. Análisis microbiológico del producto final.....	65
Cuadro 22. Perfil sensorial del producto final. ....	67
Cuadro 23. Material necesario para la prueba dúo-trío.....	73
Cuadro 24. Equipo necesario para la prueba dúo-trío.....	73
Cuadro 25. Orden de presentación de las muestras. ....	76
Cuadro 26. Orden de presentación de las muestras .....	77
Cuadro 27. Significación para test pareados ( $p=1/2$ ).....	78

## GRÁFICA

Gráfica 1. Caudal del sistema de microfiltración.....	48
Gráfica 2. Consumo de energía por volumen filtrado.....	50
Gráfica 3. Caída de presión en el sistema. ....	52
Gráfica 4. Caída de presión en las membranas .....	53
Gráfica 5. Rendimiento de agua de coco microfiltrada. ....	56
Gráfica 6. Resultado de pH de agua de coco. ....	58
Gráfica 7. Resultados de los grados Brix en el producto final.....	59
Gráfica 8. Porcentaje de proteína en el producto final.....	61
Gráfica 9. Contenido de potasio en el producto final. ....	63
Gráfica 10. Contenido de sodio en el producto final. ....	64
Gráfica 11. Diferenciación entre una muestra comercial y una muestra producto. ....	66
Gráfica 12. Preferencia entre muestra comercial y muestra de producto final. ....	67

## DIAGRAMAS

Diagrama 1. Vista de planta, recepción de materia prima. ....	28
Diagrama 2. Vista frontal, recepción de materia prima. ....	28
Diagrama 3. Bomba del sistema .....	30
Diagrama 4. Tubería de traslado de materia prima hacia la membrana.....	33
Diagrama 5. Dimensiones de membranas de microfiltración. ....	37
Diagrama 6. Tubería de descarga de producto final. ....	38
Diagrama 7. Sistema de microfiltración integrado. ....	39

## ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Micromembranas .....	5
Ilustración 2. Cocus nucifera sp. Malayo.....	10
Ilustración 3. Volumen de agua de coco en diferentes fases de maduración.....	11
Ilustración 4. Cambios de pH y grados Brix en agua de coco embotellada.....	14
Ilustración 5. Cocus nucifera sp. Malayo.....	18
Ilustración 6. Corte de coco (Cocus nucifera sp. Malayo).....	19
Ilustración 7. Equipo de recepción de agua de coco. ....	29
Ilustración 8. Bomba del sistema. ....	31
Ilustración 9. Tubería de carga.....	33
Ilustración 10. Diagrama de carcasa.....	34
Ilustración 11. Carcasa de membrana de filtración. ....	35
Ilustración 12. Membranas de microfiltración. ....	37
Ilustración 13. Sistema de microfiltración de agua de coco. ....	40
Ilustración 14. Cartucho con membrana limpia. ....	42
Ilustración 15. Colocación de las membranas en la carcasa. ....	42
Ilustración 16. Colocación del cartucho en el sistema. ....	43
Ilustración 17. Forma correcta de cerrar tuberías. ....	44
Ilustración 18. Operación de encendido de la bomba .....	44
Ilustración 19. Recepción del producto final. ....	45
Ilustración 20. Operación de apagado de la bomba. ....	45
Ilustración 21. Ubicación de manómetros en el sistema.....	51
Ilustración 22. Agua de coco envasada.....	57
Ilustración 23. Coloración rosa en el producto final.....	58

## Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo la utilización del Coco (*Cocus nucifera sp. malayo*) como materia prima para la obtención de un producto alimenticio inocuo con atributos aceptados para el consumidor y aprovechando las características funcionales propias del agua de coco, por medio del diseño y proceso de un sistema de microfiltración de fácil uso y costo económico.

Para ello se realizaron diagramas de flujo, proceso y diseño del equipo de microfiltración; se analizó el contenido de sales, proteínas y propiedades fisicoquímicas del producto final, como pH, grados Brix; análisis microbiológico por medio de recuento de coliformes totales, fecales y aerobias.

Se encontró que el sistema de microfiltración es de fácil ensamblado y operación, con un rendimiento mayor a 95% si se trabaja en volúmenes de materia prima de 35 a 40L en cada corrida.

El producto final cumple con los requerimientos microbiológicos establecidos por FAO para el agua de coco embotellada a pequeña escala, se obtuvo un pH de 5, grados Brix de 5, 3000mg/100mL en contenido de sales, 1,28 y 0.69 % de proteína en producto final de 9 y 9.2 meses de cocos (*Cocus nucifera sp. malayo*) de materia prima; 5,500 mg/100 mil en contenido de azúcares y electrolitos.

El producto final es considerado como una bebida isotónica, al contener más de 4g/100mL (5.5g/100mL) en contenido de azúcares y electrolitos.

## Abstract

The objective of this work was to use Coconut (*Cocos nucifera* sp. malayo) as raw material to obtain a safe food product with attributes accepted by the consumer and taking advantage of the functional characteristics of coconut water, through the design and process of a microfiltration system that is easy to use and inexpensive.

For this, flow diagrams, process and design of the microfiltration equipment were made; The content of salts, proteins and physicochemical properties of the final product were analyzed, such as pH, Brix degrees; microbiological analysis by counting total, fecal and aerobic coliforms.

It was found that the microfiltration system is easy to assemble and operate, with a yield greater than 95% if working with volumes of raw material from 35 to 40L in each run.

The final product complies with the microbiological requirements established by FAO for small-scale bottled coconut water, a pH of 5, Brix degrees of 5, 3000mg/100mL in salt content, 1.28 and 0.69% of Protein in final product of 9 and 9.2 months of raw material coconuts (*Cocos nucifera* sp. malayo); 5,500 mg/100 mL in sugar and electrolyte content.

The final product is considered an isotonic drink, as it contains more than 4g/100mL (5.5g/100mL) in sugar and electrolyte content.

# I Introducción

La palma de Coco tiene su origen en la región del Sudeste Asiático; los navegantes antiguos y modernos han distribuido esta fruta tropical a lo largo de los años; sin embargo, no fue hasta principios del siglo XX y durante el desarrollo de la guerra del pacífico (Segunda Guerra Mundial), que se dio a luz las características funcionales de este fruto, ya sea de la carnaza o el jugo de la nuez, más conocido como agua de coco.

En el mundo, existe una pequeña industria que desarrolla productos en base a agua de coco, centralizada en Brasil. En este país los métodos de conservación van desde la pasteurización, cadena de frío hasta nuevas tendencias como la microfiltración.

Esta técnica basa sus principios en la separación de bacterias y microorganismos dañinos que pueden estar presentes en el agua de coco luego de ser extraída de la nuez, así como la inactivación de enzimas que contribuyen a la descomposición y fermentación de la misma.

El sistema de microfiltración es sencillo y fácil de usar, pero requiere una serie de conocimientos en flujo de fluidos, transferencia de masa y microbiología para su ensamblaje y posterior producción de agua de coco envasada.

Se pudo diseñar un sistema de microfiltración, utilizando como materia prima de agua de Coco (*Cocus nucifera*) de la variedad malayo, cosechado en el municipio de Champerico, departamento de Retalhuleu en la Costa Sur de la República de Guatemala.

Es de fácil operación, solo se necesita una persona para la limpieza, ensamblaje y control, el costo de operación es bajo a partir de la microfiltración de 40 Litros en volumen.

Obteniendo como resultado un producto inocuo con un recuento de coliformes totales, fecales y anaerobias dentro del rango establecido por FAO, y también una bebida isotónica natural, con un contenido arriba de los 4g/100mL de azúcares y electrolitos; pH 5, grados Brix 5 y un contenido de proteína en un rango de 0.68 – 1.25 % caracterizando la funcionalidad de la bebida.

## II Antecedentes

### 2.1 Bebida Isotónica

Para Hernández (1990), una bebida isotónica contiene los azúcares y electrolitos a la misma presión osmótica que la sangre (330 millonesmol/ litro-mmolml/l-).

Cuando dos soluciones cuentan con la misma presión osmótica se dice que estas son isomóticas o isotónicas, esta es la razón por la cual al consumir una bebida de esta índole esta pasa por el estómago, hacia el intestino donde es absorbido y luego al torrente sanguíneo sin dificultad. (A. Hernández, 1990)

Al momento de realizar ejercicio y transpirar, reponer estos elementos perdidos con agua no se considera como una solución eficiente debido a que el organismo no la puede utilizar debidamente y se eliminan rápidamente arrastrando con ella nuevas pérdidas de electrolitos; esto puede producir calambres musculares. (Instituto de Salud Publica de Chile, 2010), por lo cual es necesario reponer las sales y agua perdida con una bebida isotónica.

### 2.2 Agua de coco como bebida Isotónica

Según Tietze (2006), en los últimos años las organizaciones mundiales de ayuda benéfica se han dado cuenta de la importancia de tener alternativas al consumo de productos artificiales, el mundo cada vez tiene más problemas con enfermedades crónicas que muchas veces se derivan de los perseverantes y la grasa acumulada en los alimentos procesados.

La FAO (organización mundial para la Agricultura y la alimentación) ha obtenido una patente por vez primera en su historia, de un proceso que permite embotellar el agua de coco naturalmente conservando sus características.

En el 2013 la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación –FAO- dan a conocer que un coco fresco que tiene entre seis y nueve meses, contiene alrededor de 750mL de agua, antes de que la misma se convierta en la pulpa del coco; esta bebida tiene el mismo equilibrio electrolítico de nuestra sangre.

Esto se demostró en la Segunda Guerra Mundial, donde en la guerra del Océano Pacífico, ambos bandos (japoneses y aliados) utilizaban el agua de coco, extraída naturalmente del fruto para aplicar transfusiones de sangre de emergencia. (FAO, 2013)

Se hace el siguiente comparativo para ver la funcionalidad del agua de coco como una bebida isotónica natural.

En el Cuadro 1, se observa que el contenido de Potasio, Cloruro, Magnesio es superior en el agua de Coco que en las bebidas para deportistas.

De la misma manera, observa que en el contenido de sodio y azúcares en las bebidas para deportistas es ligeramente superior al agua de coco; sin embargo los elementos contenidos para ser considerada una bebida isotónica están presentes de forma natural en el coco.

Cuadro 1. Comparación entre bebida para deportistas y agua de coco

Elemento	Bebida para deportista	Agua de coco
	mg/ 100 mil	mg/ 100 mil
Potasio	11.7	294
Sodio	41	25
Cloruro	39	118
Magnesio	7	10
Azúcares	6	5

*Fuente: Alimentarios Codex 1997*

### 2.3 Esterilización por membranas

La separación por membranas abarca desde partículas sólidas, inmiscibles que se encuentran en fases líquidas o gaseosas, hasta la separación de solutos disueltos en fase líquida, pasando por la separación de mezclas de gases, tratándose en muchos casos de procesos de separación de solutos disueltos en fases líquidas. (Chandrasekhara et al., 1964)

Para Chandrasekhara, et al.(1964), el papel de la membrana es actuar como una barrera selectiva, permitiendo el paso de ciertos componentes y reteniendo otros. La membrana es entonces una región que actúa como una barrera física entre dos fluidos permitiendo un determinado grado de comunicación entre ellos.

El objetivo de la esterilización en frío es disminuir los gérmenes patógenos, mediante la utilización de procedimientos físicos, mecánicos y químicos; el principio que se utiliza es la separación física por membranas, donde las sustancias de mayor tamaño que los poros de las membranas son retenidos totalmente, de esta manera las sustancias que en algún caso sean más pequeñas que los poros de la membrana, son retenidos parcialmente. (F.R. Morral, 1985)

En la microfiltración se utilizan membranas entre 0.1 – 1  $\mu\text{m}$  reteniendo bacterias con pesos moleculares de 300,000 – 500,000 MWCO, entre los cuales pueden estar emulsiones, pigmentos y levaduras. (F.R. Morral, 1985)

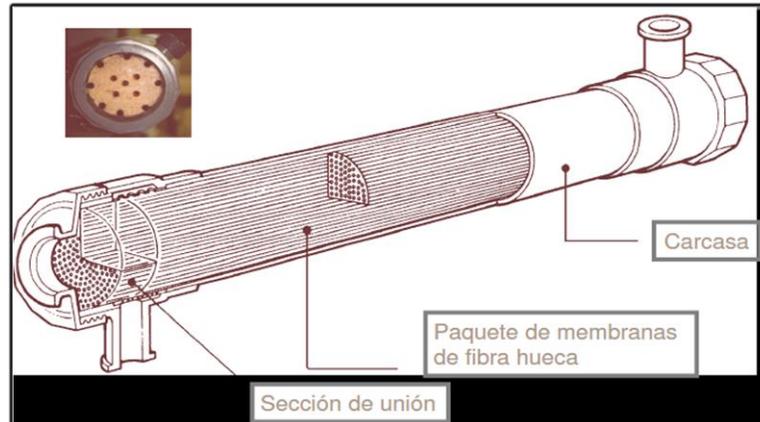
Se observan tres tipos de membranas comunes para la microfiltración, las cuales son las siguientes:

- a. Membrana celulósica: elaboradas a partir de acetato de celulosa, estas permiten membranas muy selectivas y de muy alta permeabilidad. Este producto es sensible a la hidrólisis química, sus temperaturas tolerables son de 30 a 50°C y su pH de 3 a 8.
- b. Membrana de polímeros orgánicos: las más destacadas en estos materiales son las polisulfonas y polisulfonas modificadas. Estas tienen un rango de resistencia a temperatura mayor entre los 60 – 75 °C y pH entre 1 – 13 dependiendo del material que se escoja.
- c. Membranas minerales: entre las principales se encuentra las membranas de óxido de circonio y membrana de alúmina.

#### 2.4 Paquete de membranas

Las membranas comúnmente se encuentran armadas en un módulo de fibra hueca. La longitud y diámetro depende muchas veces del proceso y del flujo del fluido que se va a microfiltrar. Generalmente las membranas se encuentran armadas de la siguiente forma:

## Ilustración 1. Micromembranas



*Fuente: F.R. Morral, 1985*

### 2.5 Bebida deportiva FAO

Luego de más de cinco años de investigación y experimentación, la FAO ha llegado a desarrollar una tecnología sencilla de conservación de agua de coco elaborada para pequeñas y medianas industrias, la cual consiste en la esterilización en frío o microfiltración. (Rolle, 2007)

El procedimiento de la FAO para este proceso es sencillo; consiste en colocar el agua de coco en tanques refrigerados entre 4 y 6°C para evitar la fermentación o descomposición por la acción de las enzimas; luego aclarar el agua de coco, agregando polivinilpirrolidona (10g/l), luego se retira la resina mediante filtración y el agua de coco pasa a un tanque presurizado, donde se utiliza nitrógeno para colar el agua de coco en microfiltros y colocarlo en un tanque estéril.

El nitrógeno sirve como un medio para pasar el agua a través de la membrana. Luego de estar esterilizada en frío, esta se puede envasar asépticamente, mediante la inyección de nitrógeno para presurizar el envase. Este método puede realizarse ya sea en envases tetra pack o PET. (Rolle, 2007)

### III Marco teórico

#### 3.1 La planta de coco

La planta de coco o cocotero, pertenece a la familia Arecaceae, y de nombre científico *Cocos nucifera* L., es una palmera, que se caracteriza por tener un tronco largo y elástico, cuenta con hojas pinnadas ubicadas solamente en la copa de la planta.

Una buena producción de coco necesita de mucho sol; se necesitan áreas con más de 3000 horas de luz solar, el fruto de esta palmera es el coco, una drupa de tamaño similar a la de un melón pequeño, cubierto de una capa gruesa y fibrosa.

La parte interna del fruto posee con un compartimiento cerrado de capa dura, llamado nuez de coco; dentro de esta, se descubre la semilla compuesta por una pulpa blanca comestible y un líquido ligeramente opaco, conocido comúnmente como agua de coco. Desde el tiempo de la flora, le toma al coco cerca de cinco o seis meses estar lleno con agua dulce de coco. (Rolle, 2007)

Ese es el tiempo ideal para una deliciosa, fresca y energizante bebida. Su origen se especula en las islas del pacífico y actualmente habita en todas las zonas del trópico incluyendo Centroamérica. En general, se distinguen tres tipos de cocos en función a su altura: gigante, enano e híbrido, cada uno con un gran número de variedades. (Rolle, 2007)

Las partes de la palmera tienen una gran variedad de usos. El fruto maduro es utilizado para extraer la copra o pulpa blanca, con ella se obtiene aceite y mantequilla, o también fabricar champús, cremas y bronceadores. La harina es utilizada como suplemento en la alimentación de animales; mientras que el fruto tierno del cocotero se aprovecha para extraer el líquido o leche y se emplea como bebida refrescante.

#### 3.2 Agua de coco

En agua de coco tierno, técnicamente el líquido del endosperma, es quizás la más pura, nutricional y saludable bebida que la naturaleza ha proveído, esta es uno de los empaques naturales más perfectos, mantiene el cuerpo fresco y prevé el calor en los fuertes veranos como parte de sus beneficios. disminuye las erupciones causadas por viruela, varicela y sarampión. (Alimentarius, 1997)

Según Alimentarius (1997), en la etapa inicial el líquido del endosperma contiene alrededor de 5% de azúcar, minerales, aminoácidos, y vitamina C, que van desde 2.2 a 3.7 mg/100 ml, el agua tiene un valor calórico de 17.4/100 g, se fermenta con facilidad, dando paso al alcohol y al vinagre, además, tiene propiedades que promueven el crecimiento auxínicos y además es utilizado en técnicas de tejidos.

Sus numerosos valores medicinales son sus propiedades laxantes, matando parásitos intestinales, gusanos intestinales, la presencia de sales y albuminas la hacen una buena bebida en los casos de cólera, cuando se utiliza para lavar la piel, ayuda a quitar las arrugas dando una complexión juvenil. (FAO, 2013)

### 3.3 Beneficios del agua de coco

El agua de coco es una bebida a la cual se le atribuyen muchas virtudes por su elevado contenido en sales minerales, vitaminas y carbohidratos. Esta fue utilizada en la segunda guerra mundial como un sustituto del suero flucosado

“Es una bebida isotónica natural con el mismo equilibrio electrolítico que la sangre humana, es el líquido de la vida, afirma Satin (2001), miembro del departamento de agricultura de la FAO.

El agua de coco es muchas veces confundida con la leche de coco, el líquido que se encuentra dentro de los cocos maduros. (Jasper, 1979)

Cuadro 2. Composición del agua de coco

Componente	%	Componente	mg/100 g
Agua	95.5	Hierro	0.5
Nitrógeno	0.05	solidos totales	4.71
Ácido Fosfórico	0.56	azúcares reductoras	0.8
Potasio	6.6	azúcares totales	2.08
Oxido de Calcio	0.69	cenizas	0.62
Oxido de Magnesio	0.59		

*Fuente: Instituto de Salud Pública de Chile, 2010*

Los porcentajes de alamina, arginina, cisteína y seria en las proteínas son tan altos como en la leche de vaca, por esta razón el agua de coco es usada para la alimentación de los bebes. Otros usos que se le dan son: adulterantes para la leche de coco, mezclas con aceite de castor; debido a su alto contenido de sales y albuminas, también se utiliza para atacar el cólera, destruir gusanos intestinales y aliviar problemas estomacales (Subrahmanyam y Swaminathan, 1959).

Cuadro 3. Composición de agua y leche de coco

Componente	Agua de coco (%)	Leche de coco (%)
Sólidos totales	4.71	10.29
Azúcar reductoras	0.08	0.35
Sacarosa	1.28	1.4
Azúcares totales	2.08	
Cenizas	0.62	
Sodio	1.5	
Potasio	3.12	
Calcio	2.9	
Magnesio	3	
Hierro	0.01	
Cobre	0.004	
Fosforo	3.7	3.3
Sulfuros	3.4	
Cloro	18.3	
Proteína		0.8
Grasa		7.1
Carbohidratos		1.75

*Fuente: Instituto de Salud Pública de Chile, 2010*

#### 3.4 El coco como alimento para la vida.

A través de la historia, los cocos fueron la comida básica para los nativos. Debajo de la dura corteza se encuentra el endosperma o kernel, cuando la fruta no está lo suficientemente madura se desarrolla dentro de la nuez agua y una sustancia gelatinosa, la cual es favorecida por su fácil digestibilidad. (Jasper, 1979).

Para Jasper (1979), con el desarrollo de la técnica de hidrogenación de aceite vegetal para producir grasas solidas hace 100 años, el coco se convirtió en la base de una nueva industria, la margarina.

Jasper (1979), manifiesta que en los países tropicales las personas generalmente no se preocupan por preservar los alimentos ya que siempre hay alimentos frescos disponibles en el jardín, arbustos y árboles de la producción local, durante todo el año, solamente se utilizan las frutas en las temporadas, el coco tiene una temporada que dura todo el año.

Al agua de coco comúnmente se le llama leche de coco. El agua de coco es el jugo que se encuentra dentro de este. La leche de coco es extraída de la carne de coco. La mejor agua de coco proviene del coco verde aun no maduro, cuando la carne está en la fase de una sustancia gelatinosa, en los países tropicales el coco verde es desconocido y con esto, el delicioso sabor.

Ilustración 2. *Cocus nucifera* sp. Malayo



*Fuente: Instituto de Salud Pública de Chile, 2010*

El agua de coco es fácil de digerir, lo cual la hace un alimento ideal para bebés. Se reportó que en la Segunda Guerra Mundial y en la guerra de Vietnam, se inyectó agua de coco cuando no había ningún suero sanguíneo disponible la inyección intravenosa del coco, fue investigada por un equipo de expertos en la India (Congress for inner medicine in Delhi, October 1970).

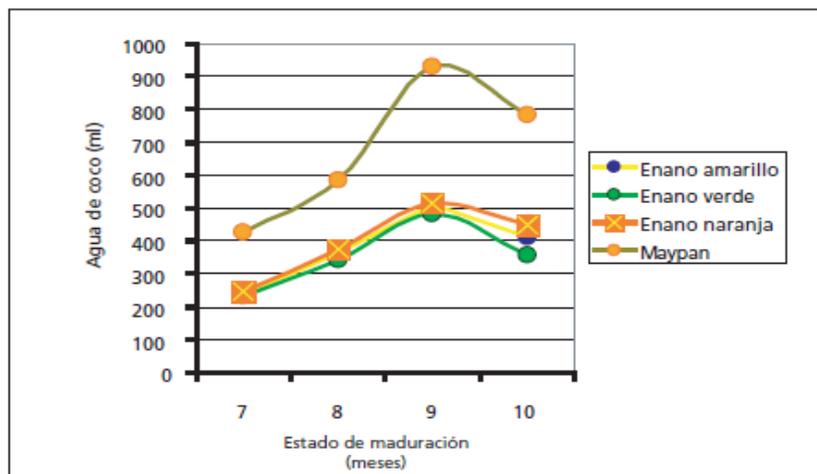
Congress for inner medicine in Delhi (October 1970), concluyó en que “el agua de coco es barata y fácilmente disponible en las zonas costeras. El hecho de que sea alto en potasio lo hace un líquido ideal para la rehidratación en inyección intravenosa en casos de gastroenteritis y diarrea”.

La razón principal por la cual el agua de coco es una bebida energética, es su contenido en minerales alcalinos, balanceada naturalmente con calcio, magnesio, potasio y sodio, el contenido proteico de agua de coco, es bajo pero directamente absorbible por el cuerpo.

### 3.5 Características del agua de coco

La cantidad de agua que se puede extraer de un coco depende de la variedad y el estado de maduración del mismo; por ejemplo, los cocos de la variedad Maypan producen una mayor cantidad de agua de coco que los de la variedad enano amarillo, los de enano verde o los de enano naranja. Los máximos rendimientos de agua de coco se obtienen de los cocos que tienen como mínimo nueve meses. (Jasper, 1979)

Ilustración 3. Volumen de agua de coco en diferentes fases de maduración.



*Fuente: Jasper 1979*

### 3.6 Buenas prácticas de manufactura

Dentro de las buenas prácticas de manufactura que se deben tomar en cuenta a la hora de extraer el agua de coco están las siguientes:

- Lavar los cocos con agua potable para quitar la suciedad, los restos o cualquier tipo de contaminación en la cáscara y en la nuez.
- Cepillar los cocos durante el lavado para eliminar completamente la suciedad.
- Examinar los cocos durante el lavado y desechar los cocos dañados o los que no están maduros.
- Cambiar frecuentemente el agua del lavado, por lo menos, una vez por hora o con mayor frecuencia si los cocos tuvieran un alto nivel de contaminación de la tierra.
- Colocar los cocos lavados con agua en una solución desinfectante durante 15 minutos, como mínimo.
- Colocar los cocos desinfectados en una superficie limpia, lejos del suelo, que permita pasar aire seco. (Rolle, 2007)

### 3.7 Factores que determinan la calidad del agua de coco

Los factores previos y factores posteriores a la recolección, así como las condiciones del almacenamiento, pueden afectar negativamente la calidad del agua de coco.

#### 3.7.1 Factores previos a la recolección

Dentro de estos factores podemos encontrar los siguientes aspectos:

- Contaminación por residuos de pesticida.
- Son el resultado del uso de pesticidas durante la producción del coco.
- Contaminación por metales pesados. Los metales pesados pueden entrar en contacto con el agua de coco a través de la tierra o por la contaminación del agua y pueden causar enfermedades.

### 3.7.2 Factores posteriores a la recolección

La contaminación por microorganismos podría generarse al entrar en contacto con el agua de coco a través de la manipulación irregular posterior a la recolección y por las técnicas del proceso.

Los microorganismos están comprendidos por mohos, levaduras, bacterias y virus, estos se encuentran en todos los ambientes: en el aire, en la suciedad, en nuestra piel. Algunos microorganismos que causan enfermedades son llamados patógenos, estos a la vez pueden secretar sustancias tóxicas.

Los microorganismos consumen los azúcares del agua de coco y producen ácido y gas, causando su fermentación, contribuyen a la descomposición de los lípidos presentes en el agua de coco causando su rancidez; también contribuyen a la descomposición de pequeñas cantidades de proteína en el agua de coco y es la causa de que tenga olor a azufre.

### 3.8 Agua de coco embotellada

El agua de coco dentro de la nuez es estéril, o sea que está libre de microorganismos. Siempre que se expone al aire o al ambiente externo, el producto está expuesto a la contaminación microbiológica y a su deterioro. La manipulación apropiada y el control de la temperatura, desde el momento de la recolección y durante el proceso de la cadena, son esenciales para que el agua de coco pueda conservar las cualidades inherentes que tenía antes del proceso; el control sanitario apropiado en la cadena también resulta esencial para garantizar la calidad, la inocuidad y el estado de conservación del producto embotellado. (A. Hernández, 1990)

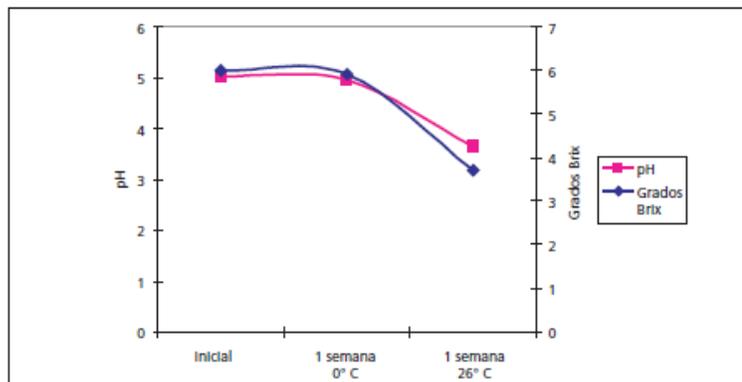
### 3.9 Consideraciones básicas

Se debe evitar a toda costa la contaminación humana y ambiental del agua de coco, todos los individuos que tienen que ver con el corte de cocos y con el proceso de embotellado del agua de coco deben tener buena salud y deben cumplir las Buenas Prácticas Higiénicas (BPH) para no contaminar el producto durante la recolección y el embotellado del agua de coco, en el lugar donde se embotella el agua de coco debe estar limpio y sin animales, insectos, polvo ni basura. (Instituto de Salud Pública de Chile, 2010)

El control de la temperatura durante la elaboración del envasado es muy importante, Enfriar inmediatamente el agua de coco a 4 °C, después de su extracción, para detener el inicio de los procesos de deterioro, cuando se tienen que embotellar grandes cantidades de agua de coco, se recomienda usar un depósito de enfriamiento refrigerado para enfriar con rapidez. (Alimentarius, 1997)

El agua de coco mantiene sus características de calidad cuando se almacena en condiciones de baja temperatura (0° a 4° C) Sin embargo, el producto se descompone a altas temperaturas, como lo demuestra la disminución del pH y del grado Brix al almacenarse a 26 °C, después de una semana.

Ilustración 4. Cambios de pH y grados Brix en agua de coco embotellada.



Fuente: Alimentarius 1997

### 3.10 Especificaciones de calidad para el agua de coco embotellada.

El agua de coco de buena calidad para beber es incolora y de aspecto claro. Para que este sea considerado como un producto aceptable y apto para el consumo humano debe de cumplir con las siguientes características que se indican en el siguiente cuadro.

Cuadro 4. Características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de coco envasada.

Aspecto	Rango
pH	5 - 5.4
Grados Brix	5 - 6.5
Límites microbiológicos	
Aspecto	Rango
Conteo total de bacterias aeróbicas /mil	< 5,000
Coliformes/ mil	< 5,000
Coliformes fecales/mil	ausentes

*Fuente: Alimentarius 1997*

## IV Justificación

Guatemala es un país agrícola, donde aproximadamente el 14% del área total de la tierra es cultivable: grandes extensiones de tierra se dedican actualmente a monocultivos como el café, azúcar o la palma africana; sin embargo existen también otros cultivos que de acuerdo a las características climáticas y territoriales podrían cosecharse en el país, uno de ellos es el coco. (FAO, 2013)

Este es un árbol tropical que se cultiva en las costas de Guatemala, se limita a la explotación agrícola y la exportación de materia prima a otros países, dejando a la industria de alimentos con un gran campo por explotar, por lo que generar una bebida funcional natural en base a este producto es un reto; aún más cuando se tiene la materia prima al alcance y en cantidades considerables.

La razón principal por la cual el agua de coco es una bebida energética, es su contenido en minerales alcalinos, balanceada naturalmente con calcio, magnesio, potasio y sodio; el contenido proteico del agua de coco es bajo pero directamente absorbible por el cuerpo. (Tietze, 2006)

Las tecnologías aplicables en el proceso de conservación de coco tienen un costo alto y/o conllevan a la generación de CO<sub>2</sub> y el incremento en la huella de carbono, la pasteurización o conservación en frío tienen estas características, por lo que la prueba de un nuevo método eficiente de conservación sería una buena propuesta: la microfiltración. (Warren L. McCabe, 1991)

Un actor importante en la cadena de valor del coco es la población productora de la materia prima, este cultivo lleva poco manejo y puede combinarse con otros cultivos para generar un mayor ingreso económico a las familias del área de los trópicos de Guatemala.

Combinado todo, se obtiene agua de coco envasada como un producto final aún no explotado en masa, el cual es posible, producirlo a bajo costo y con rapidez, mediante una técnica innovadora en el país como lo es la microfiltración.

## V Objetivos

### 5.1 Objetivo general

1. Utilización del agua de coco (*Cocus nucifera* sp. malayo) como materia prima para la elaboración de una bebida lista para consumir.
2. Diseño de un sistema de Microfiltración para obtener un producto inocuo.

### 5.2 Objetivos específicos

1. Obtener un producto envasado de agua de coco inocuo con atributos aceptados por el consumidor.
2. Diseñar un sistema de microfiltración de fácil utilización y costo económico.

## VI Metodología

### 6.1 Obtención de materia prima

La materia prima utilizada para el presente trabajo fue agua de Coco (*Cocus nucifera* sp. malayo), cosechados en el municipio de Champerico, departamento de Retalhuleu de la costa sur de la República de Guatemala. Se analizó y caracterizó la materia prima, para poder obtener un parámetro de comparación de cómo entraba y salía el producto final.

Ilustración 5. *Cocus nucifera* sp. Malayo



*Fuente: FAO 2013*

Para la extracción de la materia prima primero, se desinfectó y esterilizo un machete de 20 pulgadas, el cual se utilizó para cortar la carcasa del Coco (*Cocus nucifera* sp. malayo)

Ilustración 6. Corte de coco (Cocos nucifera sp. Malayo)



*Fuente: Investigación de campo 2013*

Posteriormente al corte del coco, el agua extraída se vertió en un recipiente limpio de acero inoxidable y se almaceno en un cuarto frío 4°C para evitar la degradación enzimática y la oxidación, se analizaron las características físicas, químicas, pH, grados Brix, porcentajes de sodio y potasio, viscosidad, densidad.

Los datos obtenidos que se observan a en el siguiente cuadro, fueron considerados para la realización de cálculos posteriores.

Cuadro 5. Características químicas de agua de coco (Cocos nucifera sp. Malayo)

Materia prima	Ph	Grados Brix	Contenido de sodio (mg/l)	Contenido de potasio (mg/l)	Porcentaje de proteína (%)
Agua de coco 7 meses (15°C)	5	5			3.30
Agua de coco 9 meses (15°C)	5	5	99.95	3,300.05	0.69

*Fuente: Investigación de campo 2013*

Cuadro 6. Características físicas de agua de coco (*Cocus nucifera* sp. Malayo)

Materia prima	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad (Pa*s)
Agua de coco 7 meses (15°C)	1090	0.0010025
Agua de coco 9 meses (15°C)	1092	0.0010025

*Fuente: Investigación de campo 2013*

## 6.2 Diseño y operación del equipo de microfiltración.

Para realizar la microfiltración, se utilizaron como base los lineamientos utilizados por FAO, los cuales hacen referencia en cosechar los cocos (*Cocus nucifera* sp. malayo) a los 7 y 9 meses.

Para el presente trabajo se utilizó la variedad *Cocus nucifera* sp. *Malayo*, cosechados en el municipio de Champerico, departamento de Retalhuleu de la costa sur de la República de Guatemala, en las pruebas realizadas, se utilizó coco (*Cocus nucifera* sp. malayo) proveniente de la misma parcela para evitar algún tipo de error de mezcla de variedades.

El agua de coco (*Cocus nucifera* sp. malayo) fue vertida en recipientes para luego ser almacenada dentro de un tanque para su posterior microfiltración, con temperatura controlada para evitar la fermentación y el deterioro enzimático, para lo cual se utilizó un tanque a una temperaturas promedio de 4 a 8 °C.

Puede clarificarse el agua de coco (*Cocus nucifera* sp. malayo) disminuyendo el contenido de polifenoles y taninos y hacer más estable el producto final, agregando PVPP, esta resina será removida posteriormente.

Sin embargo dentro del sistema de la metodología no se realizó la estabilización del agua de Coco (*Cocus nucifera* sp. malayo) por medio de la utilización de la resina PVPP (Polivinil-poli-pirrolidona), la cual tiene como función reducir el número de taninos y polifenoles en el producto final.

Se realizaron algunas modificaciones a los mismos, no fue necesario la construcción de un equipo nuevo de microfiltración, se utilizó el equipo de filtración existente en la Planta Piloto de la Universidad del Valle de Guatemala, con algunas modificaciones.

La modificación principal fue la utilización de membranas de bicomponentes polipropileno/ polietileno con una porosidad de 1 y 0.5µm respectivamente, esto aseguró la retención de bacterias con pesos moleculares de 300,000 a 500,000 MWCO, entre los cuales se encuentra emulsiones, pigmentos y levaduras, además de la retención de gérmenes patógenos.

### 6.3 Determinación de pH en el producto final

Para la determinación de pH en el producto final obtenido, se utilizó un total de tres muestras las cuales consistieron en tres distintos resultados de microfiltraciones en distintas corridas.

#### Materiales:

1. Solución Buffer pH 4, 8
2. Agua destilada pH 7
3. Agua de coco (*Cocus nucifera sp. malayo*) (*Cocus nucifera sp. malayo*) procesada por microfiltración.

#### Equipo:

1. Electrodo y conductímetro
2. Papel pH

La metodología utilizada para la obtención de pH fue por medio de un electrodo debidamente calibrado con soluciones Buffer de pH 4 y 8, y agua destilada a pH 7 (neutro). Al mismo tiempo se realizó una segunda medición de pH utilizando para esto papel pH rango de 1-14, con lo cual el cambio de color en el papel se toma como indicador y en base a este se determina el pH final.

### 6.4 Determinación de grados Brix en producto final.

#### Materiales:

1. Agua de coco (*Cocus nucifera sp. malayo*) (*Cocus nucifera sp. malayo*) procesada por microfiltración.

Equipo:

1. Refractómetro automatizado

Para la determinación de los grados Brix en el producto final obtenido, se utilizó un medidor de grados Brix o refractómetro automatizado. Antes de realizar la medición el Brixómetro se calibró con agua destilada y se limpió para evitar tener restos de alguna otra partícula que impidiera una medición exacta.

El Brixómetro utilizado no funciona como un refractómetro común en donde la medición e incertidumbre dependía de la persona que lo utilizaba, este da una medición automática. La incertidumbre de este aparato es pequeña con tan solo  $\pm 0.05^\circ\text{Brix}$ .

#### 6.5 Determinación de proteína en el producto final

Materiales:

1. Balanza Analítica sensibilidad 0.0001 g
2. Equipo Kjeldahl
3. Manto Calefactor
4. pH metro
5. Beaker
6. Probeta
7. Agua de Coco (*Cocus nucifera* sp. malayo) (*Cocus nucifera* sp. malayo) procesada por microfiltración

Reactivos:

1. Ácido sulfúrico concentrado
2. Sulfato de Potasio
3. Sulfato Cúprico
4. Hidróxido de sodio al 15% en peso
5. Hidróxido de Sodio al 30% en peso
6. Rojo de Metilo

## 6.6 Preparación de la muestra y determinación del contenido de proteína.

La determinación del porcentaje de proteína obtenido en el agua de Coco (*Cocus nucifera* sp. malayo) embotellada, se realizó mediante el método Kjeldahl.

Esta técnica digiere las proteínas y otros compuestos orgánicos, que se encuentran presentes en el agua de coco, en una mezcla con ácido sulfúrico concentrado, y sulfato de potasio y de amonio como catalizadores.

El nitrógeno orgánico total (presente en las proteínas) es convertido en sulfato de amonio; la mezcla luego pasa por un proceso de digestión, esta se neutraliza con una base, que para este caso fue el hidróxido de sodio al 15%, y luego se destiló en una solución de ácido bórico al 3%.

Posteriormente los aniones del borato se titulan con HCl (0.1 N) estandarizado, lo cual se convierte en el nitrógeno de la muestra el cual se multiplica por un factor, en este caso fue 6.25, para posteriormente expresarlo como porcentaje (%) de proteína; la ecuación utilizada fue la siguiente:

$$\% \text{ Proteína} = \frac{14 \times N \times V \times 100 \times \text{factor}}{m \times 1000}$$

En donde

V es: mil de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) – gasto de HCl 0.1N

m: masa de la muestra en gramos (g)

Factor de 6.25, para proteínas en general. Esto debido a que no se encontró con factor específico para el agua de coco (*Cocus nucifera* sp. malayo). ( Instituto de Salud Publica de Chile, 2010)

## 6.7 Determinación de sales en el producto final.

Encontrar el porcentaje de sales presentes en una bebida como el agua de coco resulta ser un poco difícil, para esto se analizaron tres muestras de una misma corrida, la muestra No. 1 y No. 2 pertenecen a un mismo lote de agua de, la tercer muestra fue una muestra de agua de coco previo a la microfiltración.

Las muestras fueron enviadas al laboratorio INLASA, el cual es acreditado ISO 17025: 2005, donde la metodología utilizada para encontrar el contenido de cloruro de sodio y de potasio fue Espectrometría de Absorción Atómica por llama, con una digestión ácida en horno microondas utilizando ácido nítrico, debido al costo del análisis solamente se realizó para agua de coco (cosechada a los 9 meses).

#### 6.8 Recuento total de coliformes totales y fecales; y bacterias anaerobias.

Materiales:

1. Agua de coco (*Cocos nucifera* sp. malayo) procesada por microfiltración
2. Agar MacConkey
3. Tubos de Ensayo
4. Pipetas
5. Placas de Petri
6. Mechero Bunsen
7. Baño de María
8. Estufa
9. Vórtex

#### 6.9 Preparación de la muestra y recuento total

Se prepararon diluciones 10<sup>-3</sup>, 3 tubos por cada dilución. Posteriormente la muestra se colocó en el Vortex durante 60 segundos, para homogenizar; el agar se colocó en las cajas de Petri, asegurándose de estar a 1/3 de la capacidad, se dejó secando y posteriormente se cultivó la muestra en las cajas de Petri. Estas se almacenaron y se leyeron el día siguiente.

Se realizó un análisis en la muestra almacenada en frío durante 1,2 y 3 semanas respectivamente, utilizando para cada una de ellas el mismo método.

## 6.10 Determinación de caída de presión en membranas

Determinación de la caída de presión ocasionada por las membranas. Según el manual de las membranas. (Incorporated, CUNO, 2004)

Ejemplo:

Fluido= Agua de coco (*Cocus nucifera sp. malayo*) = 0.0010025 Pa\*s = 1.0025 CentiPoise

Flujo = 3.60 gal/min

Flujo por 10 pulgadas de membrana = 3.60/2 = 1.8013 gal/min

Constante específica de caída de presión para una membrana de 20 pulgadas = 0.29

0.29 x 1.8013 = 0.5223 psi

## 6.11 Determinación de caída de presión en el sistema

El sistema de Microfiltración incorpora 4 manómetros. Para realizar la caída de presión en cada punto, se toma la lectura en cada manómetro y se resta la presión del punto 2 menos la presión del punto 1.

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

$$\Delta P_{total} = P_{final} - P_{inicial}$$

$$\Delta P_{total} = 0.4 - 7 \text{ psi}$$

$$\Delta P_{total} = -6.9 \text{ psi}$$

El cambio entre la presión final e inicial se conoce como caída de presión, al ser un valor negativo es la presión que el sistema tuvo que ejercer para que el proceso se diera a cabo, en otras palabras, es la presión que la bomba ejerció en el empuje del fluido y en la microfiltración. (Warren L. McCabe, 1991)

## 6.12 Análisis sensorial

Un análisis importante a tomar en cuenta es la aceptabilidad y diferenciación del producto final. Para esto se realizó un análisis sensorial con 19 panelistas entrenados los cuales cursaban el curso de análisis sensorial en la Universidad del Valle de Guatemala.

Se evaluó la diferenciación entre un producto comercial de agua de coco envasado y el producto final obtenido a partir del proceso de microfiltración, así como también la

preferencia del producto y el perfil sensorial del agua de coco (*Cocus nucifera* sp. malayo)  
. (B.M. Watts, 1992)

## VII Resultados y discusión

Dentro de los objetivos del presente trabajo se encontraba la elaboración de un sistema de microfiltración que fuera fácil, económico de utilizar y del cual se obtenga un producto inocuo al consumidor.

La microfiltración es un proceso por el cual un líquido pasa, a presión, a través de una o varias membranas con una porosidad menor o igual a  $1\mu\text{m}$ , esto para eliminar partículas no deseadas dentro del contenido, como bacterias u organismos patógenos dañinos al consumidor final por lo que se utilizó un equipo de filtración por micro membranas de 1 y  $0.5\mu\text{m}$  respectivamente, existente en la Universidad del Valle de Guatemala, al equipo se del realizó la modificación de utilizar membranas de microfiltración en lugar de utilizar membranas comunes de filtración y de solamente utilizar la vía de filtración por membranas, ya que el equipo contiene diversas utilidades.

### 7.1 Diseño de equipo de microfiltración.

Se caracterizó al equipo y se dividió en secciones, para realizar el respectivo análisis del proceso de microfiltración. La división del equipo da además un mejor entendimiento de cada sección del mismo y una comprensión más fácil de la funcionalidad; en cada una de las secciones, se colocó el respectivo diagrama y al final el diagrama del diseño final.

El equipo se compone de las siguientes secciones:

### 7.2 Recepción de materia prima

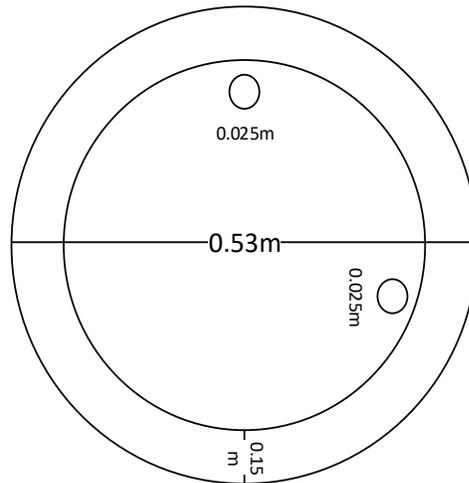
La recepción consiste en un recipiente con dimensiones 40cm de alto x 50 cm de diámetro interno; elaborado de acero inoxidable, grado alimenticio, es importante tomar en cuenta que el agua de coco se compone de una cantidad considerable de sales, por lo cual el material con el cual se debe trabajar para evitar la corrosión es el acero inoxidable.

Esto también asegura una mayor inocuidad, debido a la mayor facilidad de limpieza del equipo, debido a que los aceros inoxidables son aleaciones base hierro que contienen, como mínimo 12% de cromo bajo contenido de carbono y porcentajes variables de níquel, molibdeno, titanio, vanadio y otros metales.

En las superficies del acero inoxidable, que se expone a un ambiente oxidable como el caso de trabajar con agua de coco, crece una capa de óxido crómico. Esta capa de óxido convierte la aleación de activa a pasiva, siendo así una capa adherente,

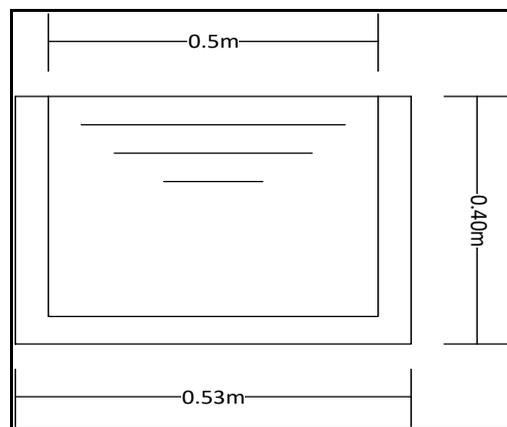
impermeable, transparente y autorregenerable, la capa deja pasar la luz pero no los agentes corrosivos como el agua y el oxígeno, y si por alguna causa mecánica se rompe, este se vuelve a regenerar automáticamente. (Solà, 1990). Como se observa en los siguientes diagramas:

Diagrama 1. Vista de planta, recepción de materia prima.



*Fuente: Solà, 1990*

Diagrama 2. Vista frontal, recepción de materia prima.



*Fuente: Solà Peres Molera. 1990*

El diámetro interior es de 0.5m y la altura del recipiente de 0.40m.

Cuenta con dos orificios, uno es la salida hacia la bomba y el otro es un orificio de limpieza.

El volumen del recipiente y por lo tanto volumen máximo de recepción del equipo microfiltración es de 0.07854m<sup>3</sup> o 78.54L.

Cuadro 7. Dimensiones y recepción de materia prima.

Equipo	Material	Altura (m)	Diámetro (m)	Volumen Máximo (L)
Recepción	Acero inoxidable	0.5	0.4	78.54

*Fuente: Investigación de campo realizada por el autor 2013*

La siguiente Ilustración muestra el equipo de recepción en su lugar instalado:

Ilustración 7. Equipo de recepción de agua de coco.



*Fuente: Investigación de campo realizado por el autor 2013.*

### 7.3 Bombeo y traslado de la materia prima hacia las membranas

Posterior a la recepción, es necesario que el sistema de microfiltración cuente con un equipo de bombeo y traslado hacia las membranas. El principio de microfiltración requiere del paso a presión del líquido a través de las membranas, por lo cual una bomba se hace necesaria para mantener la presión del sistema y lograr que este sea de una forma rápida y que pase de una manera eficiente.

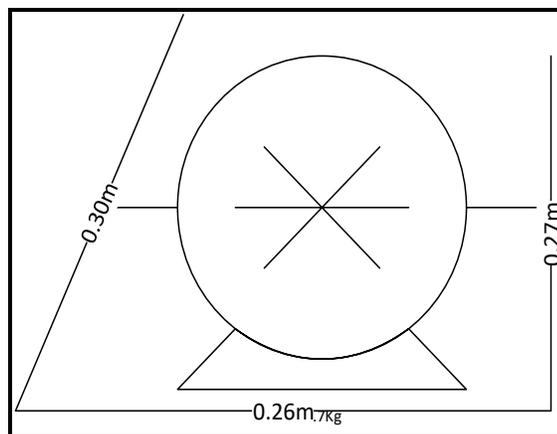
La capacidad de la bomba depende del volumen y sobre todo del caudal requerido. Para el presente trabajo, solamente era una prueba piloto, no se requería de una bomba con una potencia grande. La bomba utilizada muestra las siguientes características:

Cuadro 8. Dimensión de la bomba.

Modelo	Altura externa (m)	Ancho externo (m)	Longitud externa (m)	Peso (Kg)	Volumen (m3)
Carcasa 80 WEG w22	0.27	0.26	0.30	0.7	0.02

*Fuente: Motores Grupo WEG Unidad, 2013*

Diagrama 3. Bomba del sistema



*Fuente: Motores Grupo WEG Unidad, 2013*

Ilustración 8. Bomba del sistema.



Fuente: Motores Grupo WEG Unidad, 2013

### Características mecánicas

Potencia			Par nominal (kgfm)	Par máximo Tb/Tn	Momento de Inercia J(kgm <sup>2</sup> )	Tiempo máximo con rotos trabado (s)		Nivel de ruido dB(A)	RPM	380 V						Corriente nominal In(A)
Kw	HP	Carcasa				%				Factor de Potencia						
						caliente	frio			50	75	100	50	75	100	
1,1	1,5	80	0,311	3,8	0,0009	19	42	62	3445	81	84	84,6	0,64	0,76	0,83	2,38

Fuente: Motores Grupo WEG Unidad, 2013

Estas características determinan el valor de la potencia nominal, los cuales se utilizan para el cálculo de la energía requerida. Además también proporciona un valor del porcentaje de rendimiento que tiene la bomba al ser utilizada, generando un parámetro de cuál es la capacidad máxima de bombeo antes que la misma se ahogue o deje de funcionar.

#### 7.4 Tubería de traslado de materia prima a membranas

La tubería de transporte hacia las membranas de microfiltración, son de acero galvanizado este material tiene, al igual que el acero inoxidable, la característica de ser resistente a la corrosión. Sin embargo no cuenta con la misma aleación del acero inoxidable, variando en los porcentajes y metales utilizados, por lo cual se hace más susceptible al deterioro y a la corrosión galvánica, la cual depende siempre de la concentración, temperatura, pH, agitación, aireación. (F.R. Morral, 1985)

Para el caso del presente sistema, hay que tomar en cuenta las concentraciones de sales presentes en el agua de coco ya que estas pueden influir en la corrosión del acero galvanizado o la corrosión galvánica; la limpieza es fundamental para evitar que restos de sales queden presentes, por lo cual pasar agua con jabón antes y después de iniciar el proceso de filtración es necesario.

Esto podría recircularse durante algún tiempo no definido o hasta que el operador considere que ya está lo suficientemente limpio como para trabajar.

Debido a que la microfiltración es un proceso que necesita realizarse bajo presión, es necesario colocar las membranas en un lugar en donde la presión sea influida por la bomba, para este caso también se toma en cuenta el espacio a ser utilizado y el volumen a pasar, el espacio es optimizado lo más que se pueda, por lo que la tubería no tiene una dirección horizontal en todo su trayecto, esta tiene partes verticales que hacen al final un tipo de cuadro.

En el presente trabajo, ya que el sistema de tubería ya existía, se tuvo que acoplar al mismo y utilizar el volumen de materia prima necesario para poder realizar la microfiltración, el diámetro de tubería utilizado para la microfiltración es de ½ pulgada o 0.127m, las características de longitud y volumen se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro 9. Dimensiones y características de la tubería de traslado.

Equipo	Material	Longitud (m)	Diámetro (m)	Volumen Máximo (L)
Tubería de traslado a membranas	Acero Galvanizado	3.295	0.0127	0.4174

*Fuente: Investigación de campo realizada por el autor 2013*

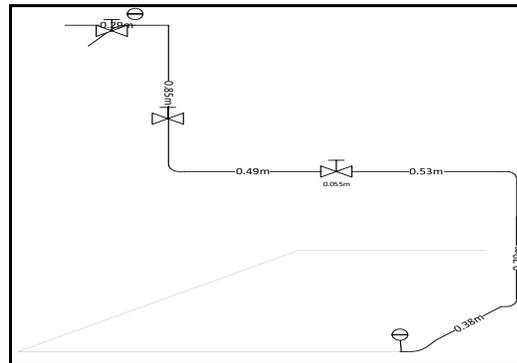
Como se observa son solamente 0.42 litros aproximadamente para llenar la tubería de traslado, por lo cual no es un volumen muy alto para poder llegar a las membranas. El diámetro se mantiene en todo el trayecto desde la salida del recipiente de entrada hasta la descarga en las membranas de microfiltración.

Debido a que el diámetro de tubería no es pequeño y tomando en cuenta la ecuación de velocidad de fluidos,

$$v = \frac{Q}{A}$$

Entre más pequeña sea el área de la tubería, y si el caudal se mantiene igual, la velocidad del fluido será mayor. Esto es fundamental para la llegada a las membranas de microfiltración. La velocidad es analizada posteriormente.

**Diagrama 4.** Tubería de traslado de materia prima hacia la membrana



*Fuente: Elaborado por el autor 2013*

**Ilustración 9.** Tubería de carga.



*Fuente: Elaborado por el autor 2013*

La tubería se marca en color naranja.

## 7.5 Proceso de microfiltración

El siguiente paso en el sistema es el más importante de la microfiltración; este proceso se lleva a cabo cuando el agua de coco pasa a presión a través de las membranas, es importante mantener la presión en todo el trayecto.

Esta viene dada por la bomba quien es la que impulsa el fluido, por lo cual es necesario tenerla prendida hasta que este salga del sistema.

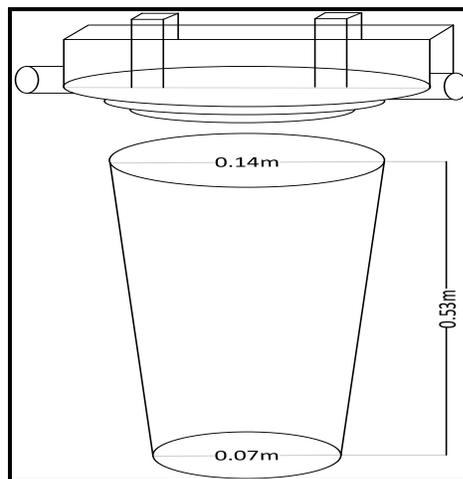
Para la colocación de las membranas fue necesario el tener los carcacas de suspensión, los cuales sostienen a las membranas y hacen posible el paso del fluido a través de las mismas. Estos Carcacas son de PVC, y tienen las siguientes dimensiones que se presentan en el siguiente cuadro

Cuadro 10. Dimensiones y características de la carcaca de membranas.

Equipo	Material	Longitud (m)	Diámetro (m)	Volumen Máximo(L)
Carcacas	PVC	0.53m	0.14m	7.08 L

*Fuente: Elaborado por el autor 2013*

Ilustración 10. Diagrama de carcacas



Fuente: Elaborado por el autor 2013

*Ilustración 11. Carcasa de membrana de filtración.*



*Fuente: Investigación de campo 2013*

El volumen contenido en la carcasa llega a ser de 7.08L por cada una, haciendo un volumen total entre las dos de 14.16L. Sin embargo hay que tomar en cuenta que dentro de la carcasa va la membrana de filtración, la cual tiene un volumen considerable.

#### 7.6 Membranas de microfiltración

La parte más importante del sistema son las membranas de microfiltración, ya que es aquí donde se lleva a cabo el proceso de retención de partículas y moléculas no deseadas en el producto final, tales como bacterias patógenas.

Las membranas utilizadas para el proceso de microfiltración fueron de 1 y 0.5 $\mu$ m respectivamente, ambas son de la marca comercial 3M®, de la línea BETAPURE®, modelo AU20Z3NG050Ñ se utilizó esta porosidad de membranas debido a que según la teoría encontrada las partículas no deseadas se quedan retenidas en este rango (0.5 – 1 micrómetro).

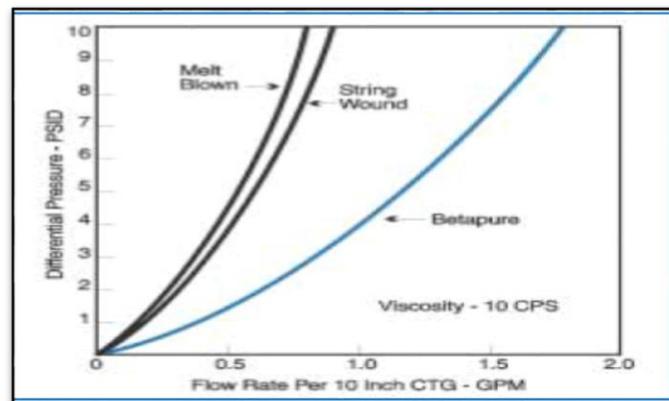
La matriz de las membranas se compone de varias fibras de biocomponentes, cada fibra contiene un núcleo interno y una vaina externa. Estos filtros están disponibles en dos estructuras de biocomponentes, para el presente trabajo se utilizó la estructura de polipropileno/ polietileno; las fibras de biocomponentes de la matriz de la membrana están termalmente unidas, las membranas aseguran que las partículas no deseadas serán removidas debido que la estructura rígida que mantiene la porosidad a través de toda la vida útil de la membrana.

Una de las características importantes es la de fluido, debido a que este estará circulando constantemente a través de la membrana. El proceso de microfiltración se da gracias al paso a presión de un fluido a través de las micromembranas.

Por esto es importante mantener la presión y evitar su caída, en la siguiente gráfica muestra el diferencial de presión por el flujo dado, que ocurre en la membrana. Los beneficios de una caída de presión menor son:

1. Mayor vida útil de la membrana.
2. Mayores rendimientos,
3. Menores requerimientos de equipo.
4. Menores costos

Imagen 1. Gráfico de presión Vis. Flujo en la membrana.



Fuente: Elaborado por el autor 2013

Como se observa en la gráfica la relación entre el diferencial de presión y la tasa de flujo de las membranas BETAPURE son menores al resto de tecnologías de membranas, lo que indica que la caída de presión es menor cuando el flujo incrementa, representa una ventaja debido a los beneficios dados anteriormente, las caídas de presión se midieron en las distintas corridas realizadas, los datos y resultados se muestran posteriormente.

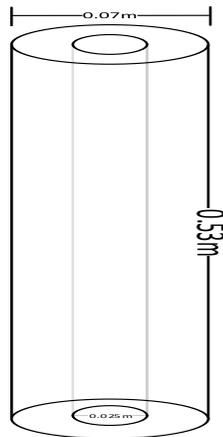
La compatibilidad química con el agua de coco, es un factor importante que tuvo que corroborarse a lo largo de la experimentación, debido a que el producto entra en contacto directo con la membrana, debido a la teoría encontrada, las membranas son de una fibra de biocomponentes con estructura de polipropileno/ polietileno, estos

componentes son inertes, aunque siempre depende del tiempo de exposición, temperatura de operación y concentraciones.

Durante las corridas realizadas no se observó ninguna incompatibilidad o alguna reacción con la membrana que diera como resultado un cambio físico, químico u organoléptico del producto: las membranas cumplen con las regulaciones de la FDA, CRF 21, para aplicaciones en alimentos y bebidas. (Incorporated, CUNO, 2004)

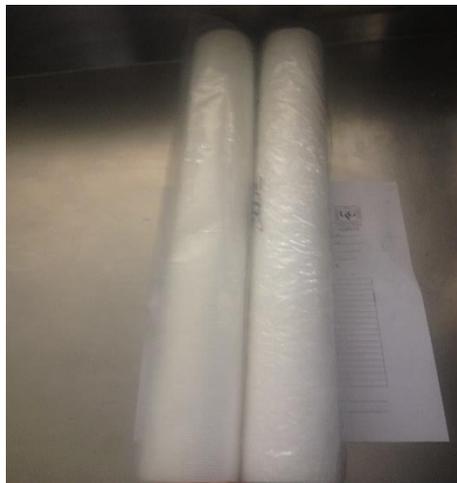
El diagrama de las membranas de filtración se muestra de la siguiente forma:

Diagrama 5. Dimensiones de membranas de microfiltración.



Fuente: Investigación de campo realizado por el autor.

Ilustración 12. Membranas de microfiltración.

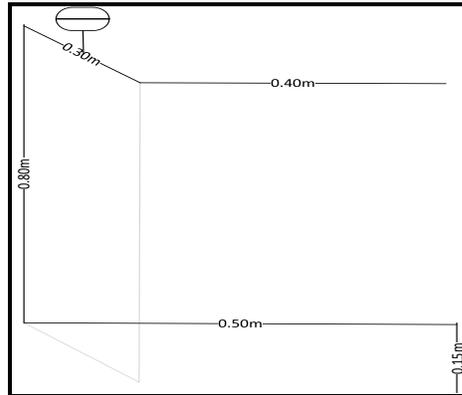


Fuente: Investigación de campo realizado por el autor.

## 7.7 Tubería de descarga de producto final

El último paso en el sistema de microfiltración es la tubería de salida o descarga, al igual que toda la tubería de carga es de acero galvanizado, con las mismas características y especificaciones. Como se observa en el siguiente diagrama:

**Diagrama 6. Tubería de descarga de producto final.**



*Fuente: Investigación de campo realizado por el autor 2013.*

## 7.8 Sistema de microfiltración integrado

Luego de la vista de cada una de las secciones que componen al sistema y de la funcionalidad de las mismas, se estudia el sistema en general. Este, al mismo tiempo tiene fases de operación, las cuales incluyen la limpieza, ensamblado y operación del mismo, los cuales se ven a continuación.

Es importante también la evaluación del producto final obtenido por lo cual se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos, además de un análisis sensorial para determinar la preferencia y perfil sensorial del producto.

A continuación se detalla el diagrama general del sistema de microfiltración:

Diagrama 7. Sistema de microfiltración integrado.

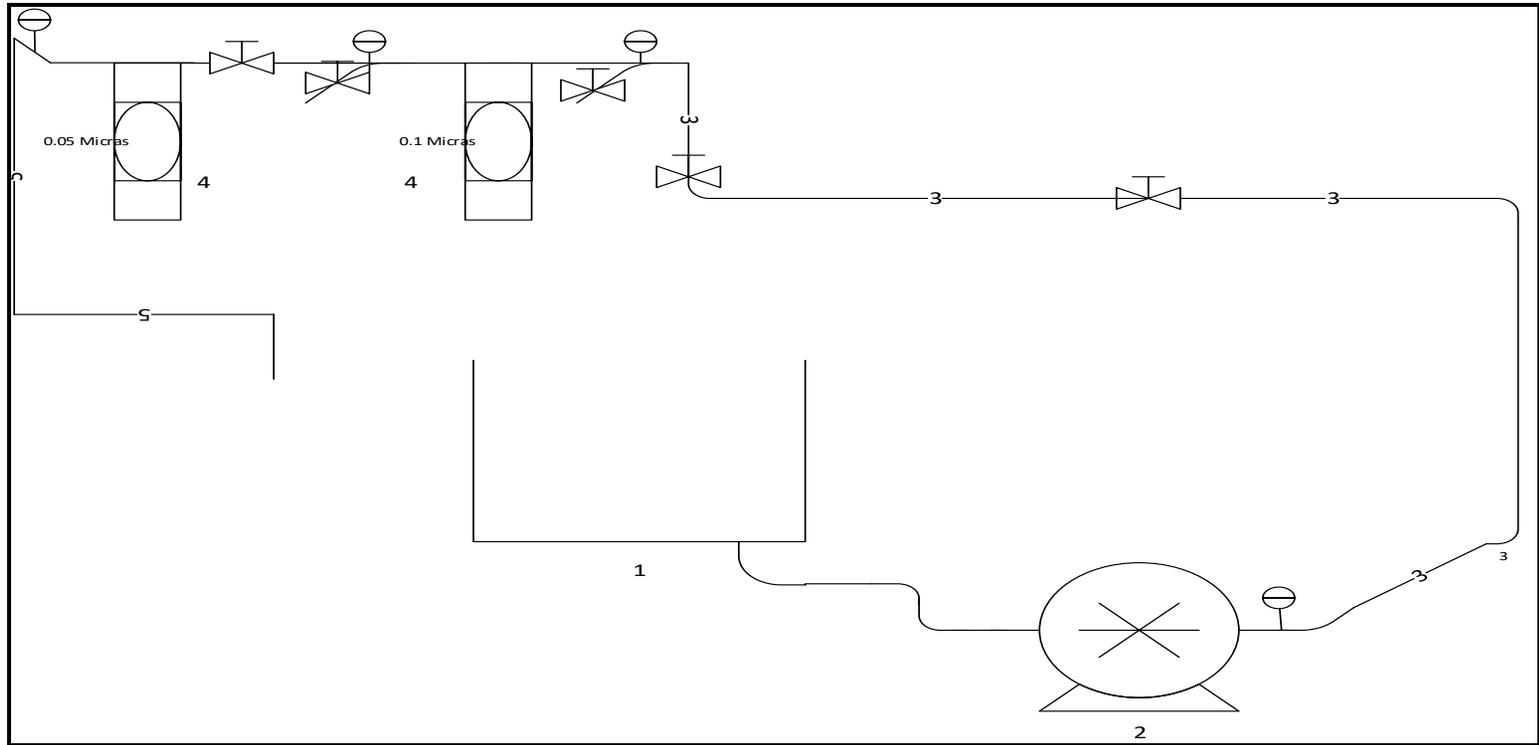


Ilustración 13. Sistema de microfiltración de agua de coco.



Cuadro 11. Partes del sistema de microfiltración

No.	Equipo
1	Recepción
2	Bomba
3	Tubería de traslado
4	Membranas de microfiltración
5	Tubería de descarga

*Fuente: Investigación de campo realizado por el autor 2013.*

### 7.9 Operación del equipo de microfiltración

La operación del equipo es muy sencilla, hay que verificar antes de operar que se haya realizado correctamente la limpieza correspondiente, para lo cual es necesario lavar con agua y jabón, colocarlo en el recipiente de recepción y luego de limpiarlo, encender la bomba y recircular por al menos 10 minutos.

Nuevamente con agua recircular hasta que ninguna partícula de jabón salga por la tubería de descarga, si algún resto de jabón quedara dentro de la tubería, influiría directamente en las propiedades organolépticas del producto, dando un sabor distinto y desagradable, siendo esta parte un punto crítico a tomar en cuenta.

### 7.10 Limpieza y ensamblaje de carcasas y membranas de microfiltración.

Las carcasas en donde se contienen las membranas de microfiltración son de PVC y pueden lavarse con agua y jabón al igual que el resto del equipo.

Ilustración 14. Cartucho con membrana limpia.



*Fuente: Investigación de campo realizado por el autor 2013.*

Seguido de esto es necesario utilizar agua a 5°C para circular en el equipo, esto para que el sistema completo se encuentre frío al momento de pasar el agua de coco y evitar una posible fermentación de la misma debido a la temperatura de la tubería y/o cualquier parte del sistema.

Circular el agua por 5 minutos hasta que esta haya absorbido la mayor cantidad posible de calor del sistema; posteriormente a la limpieza es necesario colocar las membranas de micro filtración en los carcasa de PVC, este es un proceso simple y sencillo, solamente se necesitan membranas de 1 y 0.5µm, en donde la membrana de 1µm se coloca antes de la membrana de 0.5µm.

*Ilustración 15. Colocación de las membranas en la carcasa.*



*Fuente: Investigación de campo realizado por el autor 2013.*

Las carcasas son colocadas en su lugar asegurándose de cerrarlos adecuadamente, para evitar la salida de agua de coco durante el proceso de micro filtración. Estos simplemente deben enroscarse en la base colocada, asegurándose que el hueco interno de la membrana quede exactamente sobre el orificio de la base, en donde el fluido entrara.

Si no se coloca de esta forma, la bomba deberá trabajar más para pasar a una mayor presión el flujo debido a que tiene que traspasar más área de superficie de la membrana, influyendo además en el tiempo de micro filtración.

Ilustración 16. Colocación del cartucho en el sistema.

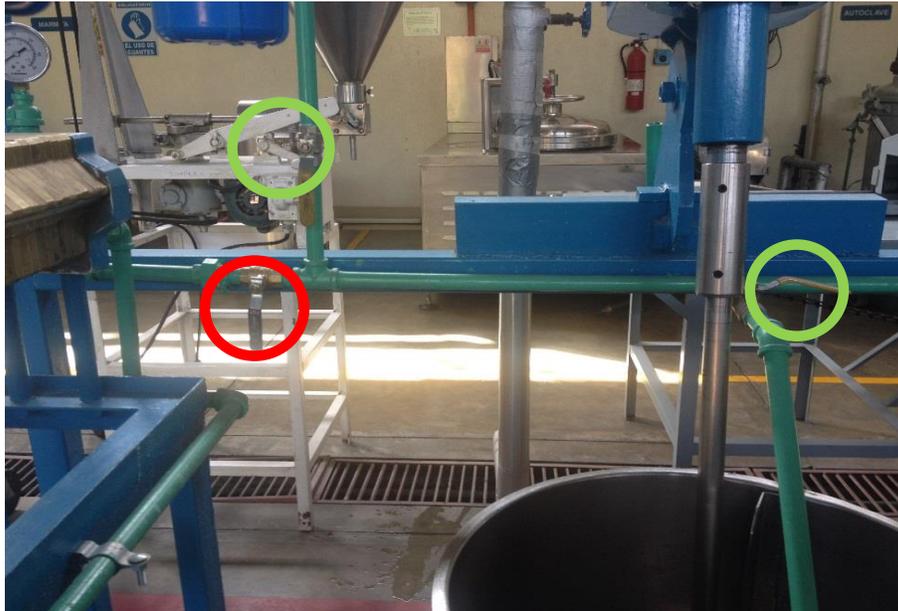


*Fuente: Investigación de campo realizado por el autor 2013.*

7.11 Recepción de materia prima, traslado hacia membranas, microfiltración y descarga de producto final.

Posteriormente se coloca la materia prima en el recipiente de recepción, asegurándose de tener las llaves de la tubería abierta hacia las membranas de micro filtración y hacia la tubería de descarga, y de tener las llaves de las tuberías restantes cerradas.

**Ilustración 17. Forma correcta de cerrar tuberías.**

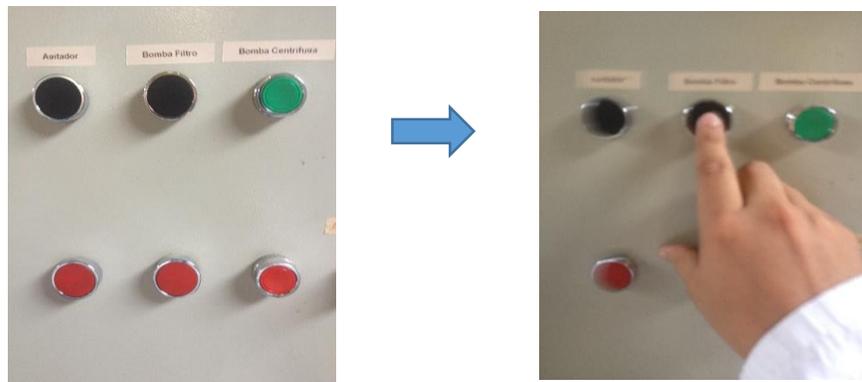


*Fuente: Investigación de campo realizado por el autor 2013.*

Rojo muestra la forma incorrecta, verde la forma correcta

Se enciende la bomba y la carga de agua de coco (*Cocus nucifera* sp. malayo) hacia las membranas inicia, es un proceso rápido, ya que las membranas no hacen que el sistema tenga una pérdida de presión considerable.

**Ilustración 18. Operación de encendido de la bomba**



*Fuente: Investigación de campo realizado por el autor 2013.*

Se recibe el producto ya micro filtrado en un recipiente limpio y seco, para almacenarse inmediatamente en un cuarto frío a 4 o 5°C para su posterior envasado.

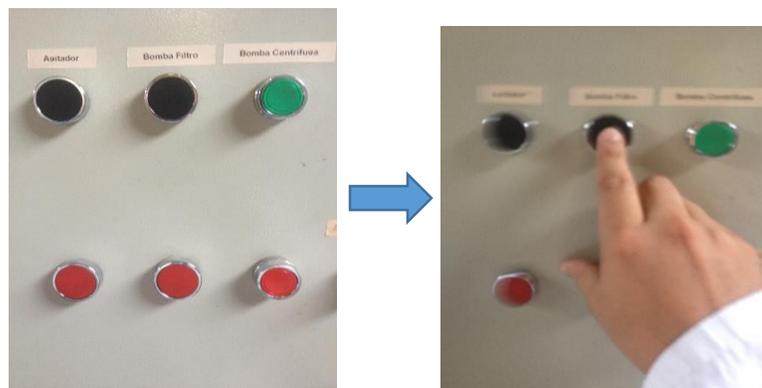
Ilustración 19. Recepción del producto final.



*Fuente: Investigación de campo realizado por el autor 2013.*

Finalmente, luego de la recepción del producto final, se apaga la bomba realizando la misma operación para encenderla, con la única diferencia de que ahora se presiona el botón de apagado y no el botón de encendido del panel.

Ilustración 20. Operación de apagado de la bomba.

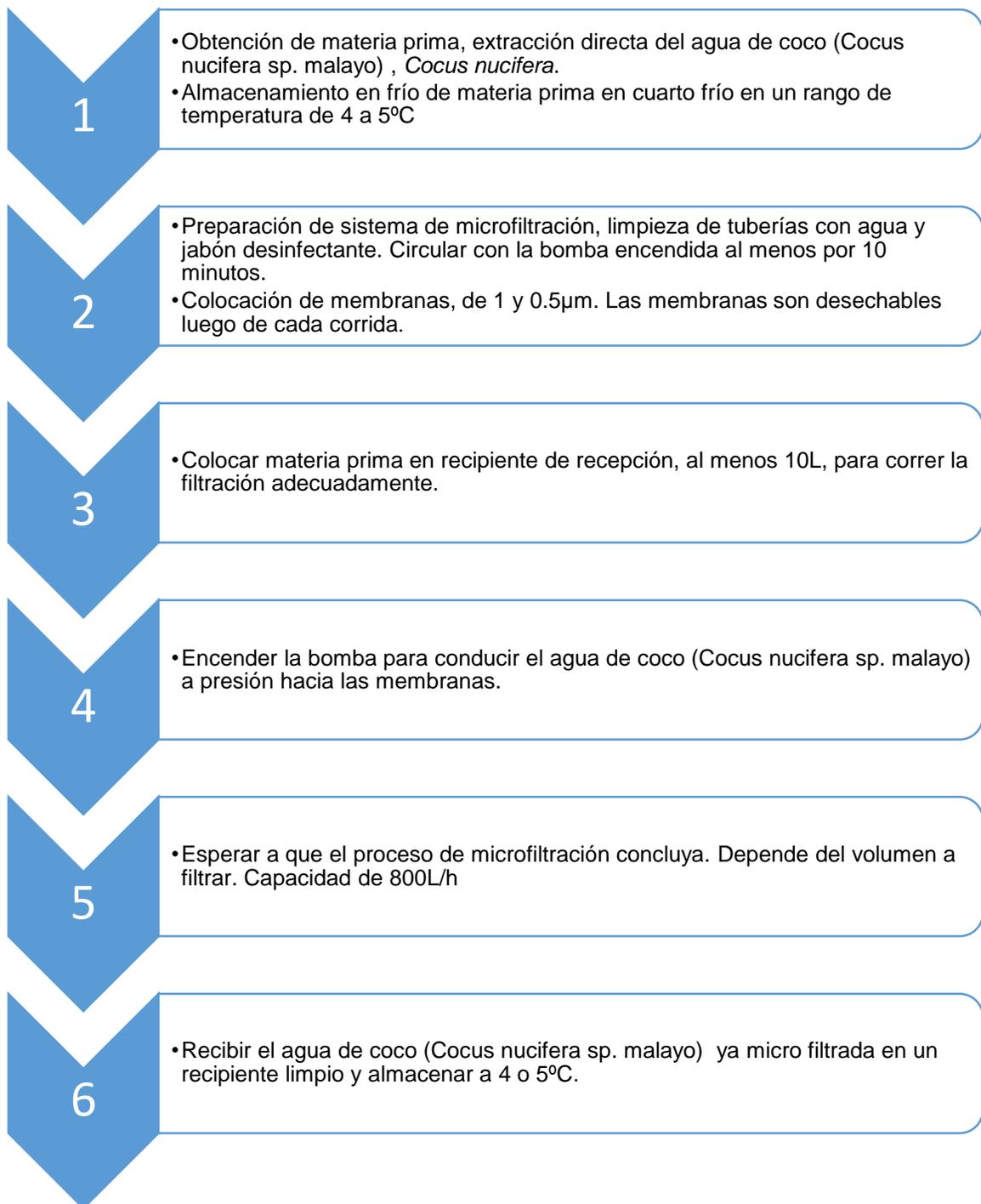


*Fuente: Investigación de campo realizado por el autor 2013.*

Durante todo el proceso, la persona encargada de operar el sistema debe seguir los lineamientos de Buenas Prácticas de Manufactura en el envasado de agua de coco a pequeña escala dado por FAO. (Rolle, 2007).

Debido a que el agua de coco, no es pasteurizada y/o esterilizada a bajas temperaturas es necesario mantener la cadena de frío durante todos los pasos. El envasado del producto debe realizarse asépticamente, utilizando Nitrógeno líquido para sustituir al oxígeno presente en el envase. Para este proceso solamente es necesario contar con una persona para operarlo.

Cuadro 12. Flujo del sistema de microfiltración



## 7.12 Capacidad de flujo del sistema.

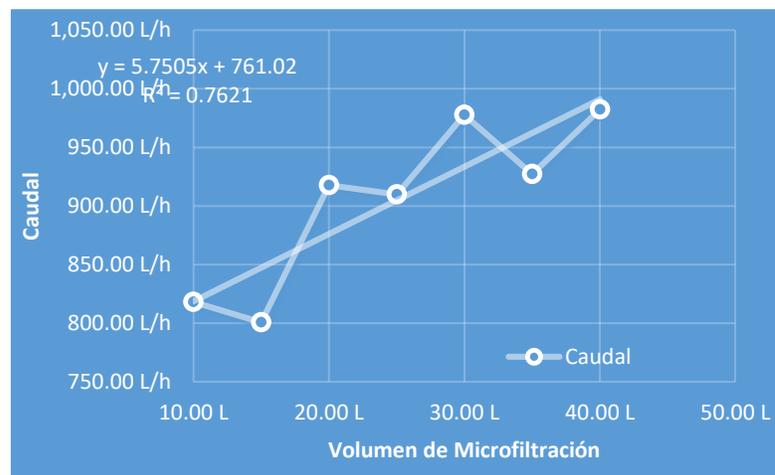
Para la medición del caudal del sistema se realizaron varias corridas, en un inicio con agua suave y posteriormente con agua de coco (*Cocus nucifera sp. malayo*). Dado a que la densidad del agua de coco (*Cocus nucifera sp. malayo*) *Cocus nucifera sp Malayo* ( $1090\text{kg/m}^3$ ) es muy parecida a la del agua suave a  $15^\circ\text{C}$  ( $999,19\text{ kg/m}^3$ ), no hay una diferencia significativa en relación a los caudales y cargas soportadas por el sistema de microfiltración entre ambos líquidos. Se calculó el caudal del sistema, dado por el volumen micro filtrado y el tiempo requerido, dando los siguientes resultados:

Cuadro 13. Caudal del sistema de microfiltración

Volumen	Tiempo	Caudal
10,00 L	44,00s	818,18 L/h
15,00 L	67,45s	800,59 L/h
20,00 L	78,45s	917,78 L/h
25,00 L	98,92s	909,83 L/h
30,00 L	110,45s	977,82 L/h
35,00 L	135,91s	927,08 L/h
40,00 L	146,61s	982,20 L/h

Fuente: Investigación de campo realizado por el autor 2013.

Gráfica 1. Caudal del sistema de microfiltración.



Fuente: Elaborado por el autor 2013.

Como se observa en la Gráfica 1, el rango del sistema se encuentra entre 800 y 982 L/h, dependiendo del volumen a filtrar, de la misma manera se observa que el caudal no sigue una tendencia lineal, debida a que la regresión lineal muestra un  $R^2$  de 0.7621, debido a que la bomba no puede regularse, esta trabaja siempre a la misma potencia por lo cual se esperaba una tendencia lineal en el caudal, sin embargo esto no se dio; puede deberse al ahogamiento que sufre la bomba en algunos puntos, como a los 25L y a los 35L.

Es importante entonces trabajar en volúmenes de 40L, para obtener el mayor caudal y evitar los ahogamientos.

### 7.13 Energía requerida para la operación del sistema

Debido a que el equipo funciona a presión, es necesario la utilización de una bomba para esto, por lo cual también es indispensable la utilización de energía eléctrica para este proceso. No se requiere de ningún otro tipo de energía dentro del sistema de microfiltración además del antes mencionado.

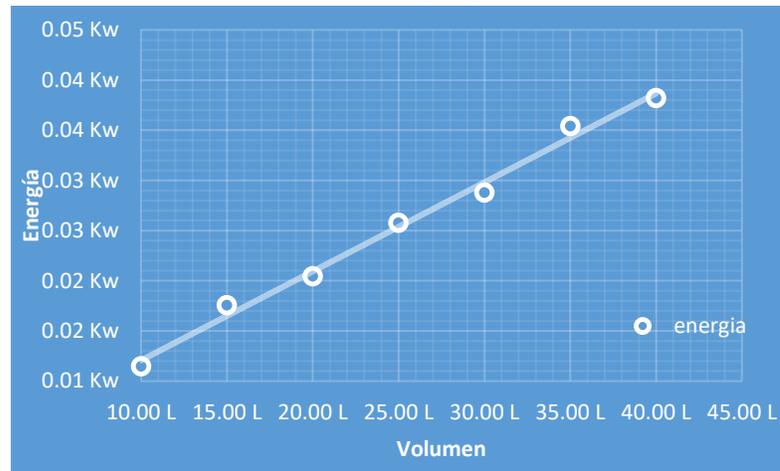
Según los datos observados en el siguiente cuadro, la bomba es de 1.1HP, con un factor de potencia de 0.85. Con base a estos datos se calculó la energía necesaria para filtrar distintos volúmenes de líquido, el precio por KW dado por la Empresa Eléctrica de Guatemala pudo calcularse también el costo energético en la micro filtración por volumen.

Cuadro 14. Consumo de energía por volumen filtrado.

Volumen	Energía	Factor de Potencia
10,00 L	0,01 KW	0,8500
15,00 L	0,02 KW	0,8500
20,00 L	0,02 KW	0,8500
25,00 L	0,03 KW	0,8500
30,00 L	0,03 KW	0,8500
35,00 L	0,04 KW	0,8500
40,00 L	0,04 KW	0,8500

*Fuente: Elaborado por el autor 2013*

Gráfica 2. Consumo de energía por volumen filtrado.



Fuente: Elaborado por el autor 2013.

A diferencia del caudal, el  $R^2$  es de 0.9918, dando una tendencia lineal en la energía consumida, esto se debe a que la bomba no tiene un regulador de potencia y esta mientras este encendida consume la misma cantidad de energía, por lo que la única variable que se da en el consumo de energía es el volumen a microfiltrar.

Se observa que no hay una diferencia significativa en la energía utilizada para la microfiltración de 10L y la microfiltración de 40L, lo que genera un parámetro de utilizar siempre el mayor volumen de microfiltración posible, 40L, para así tener un ahorro en la energía utilizada por litro microfiltrado.

#### 7.14 Caída de presión en el sistema

Un factor muy importante en el sistema es la caída de presión ocasionada principalmente por las membranas de microfiltración y por la tubería del sistema, dentro del sistema existen cuatro manómetros, uno ubicado en la salida de la bomba, otro antes de entrar a la primera membrana, otro antes de entrar a la segunda membrana y el último en la tubería de descarga, como se muestra en la siguiente ilustración:

Ilustración 21. Ubicación de manómetros en el sistema.



Fuente: Elaborado por el autor 2013.

Los manómetros permiten monitorear la caída de presión del sistema, y determinar si hay algún problema de bombeo o en la saturación de las membranas.

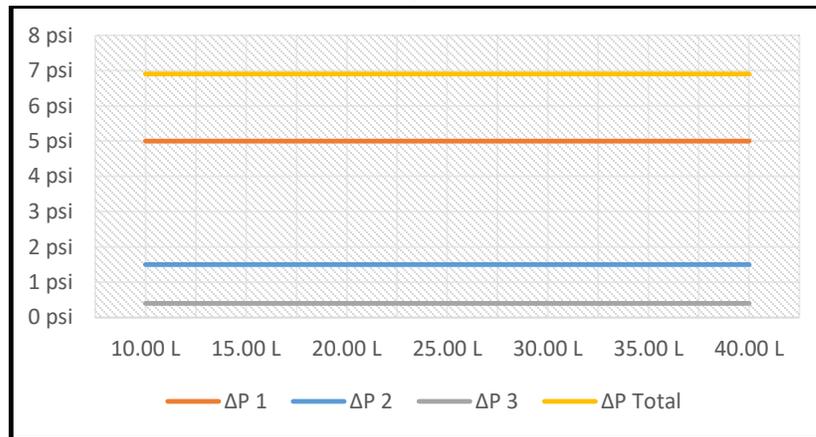
Para los distintos volúmenes microfiltrados, se obtuvieron valores de caída de presión en los distintos puntos del sistema. Así mismo también se calculó el valor teórico para la caída de presión en las membranas, de acuerdo al manual de uso de las mismas. Estos se pueden observar en el siguiente cuadro.

Cuadro 15. Caída de presión en el sistema.

Corrida	Presión Inicial	Presión 1	$\Delta P$ 1	Presión 2	$\Delta P$ 2	Presión 3	$\Delta P$ 3	$\Delta P$ Total
1	7 psi	2 psi	5 psi	1 psi	2 psi	0,1 psi	0,4 psi	6,9 psi
2	7 psi	2 psi	5 psi	1 psi	2 psi	0,1 psi	0,4 psi	6,9 psi
3	7 psi	2 psi	5 psi	1 psi	2 psi	0,1 psi	0,4 psi	6,9 psi
4	7 psi	2 psi	5 psi	1 psi	2 psi	0,1 psi	0,4 psi	6,9 psi
5	7 psi	2 psi	5 psi	1 psi	2 psi	0,1 psi	0,4 psi	6,9 psi
6	7 psi	2 psi	5 psi	1 psi	2 psi	0,1 psi	0,4 psi	6,9 psi
7	7 psi	2 psi	5 psi	1 psi	2 psi	0,1 psi	0,4 psi	6,9 psi

Fuente: Elaborado por el autor 2013.

Gráfica 3. Caída de presión en el sistema.



Fuente: Elaborado por el autor 2013.

Se observa que la presión se va perdiendo a medida que el flujo realiza su traslado hacia la microfiltración y luego hacia la descarga final. Esto es lo esperado, debido a que la microfiltración y el paso del fluido, en este caso el agua se realiza gracias al cambio de presiones en el sistema, es correcto el observar un mayor cambio de presión en el punto 1 que en el punto 3, debido a que el punto 1 es el que necesita un mayor delta de presión para poder trasladar el fluido hacia las micro membranas.

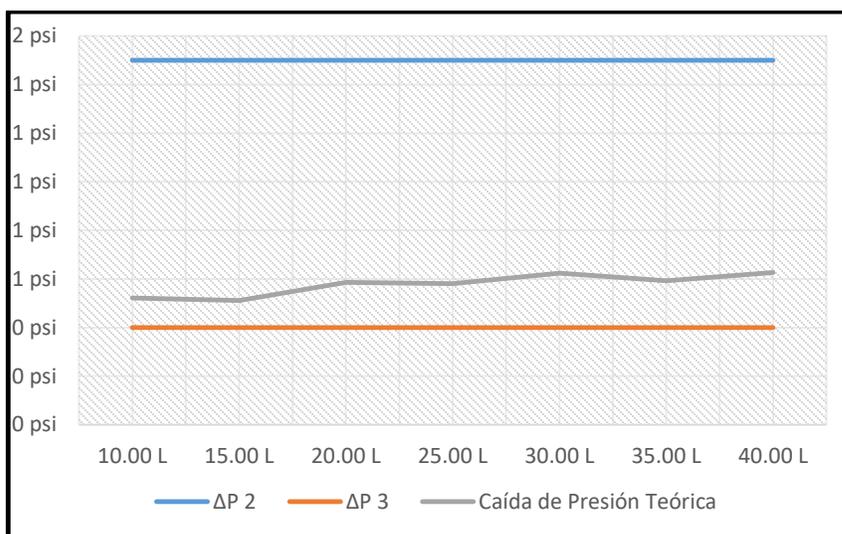
Al final el delta de presión total es casi el mismo a la presión inicial, esto indica que el sistema está trabajando sin un mayor esfuerzo y la bomba es la ideal para el traslado del fluido hacia las micro membranas.

Cuadro 16. Caída de presión teórica en las membranas.

Volumen	Caída de Presión Teórica (psi)
10,00 L	0,522397022
15,00 L	0,511166841
20,00 L	0,585990286
25,00 L	0,580910558
30,00 L	0,62432238
35,00 L	0,591929522
40,00 L	0,627118722

Fuente: Elaborado por el autor 2013.

Gráfica 4. Caída de presión en las membranas



Fuente: Elaborado por el autor 2013.

Como se observa en el Cuadro 16, la caída de presión esperada para  $\Delta P_2$  no fue la esperada, estas fueron mucho mayores. Esto se debe a que la caída de presión en la membrana no toma en cuenta la fricción de la tubería ni tampoco que el sistema se encuentra por arriba de la bomba y no horizontalmente o por debajo, haciendo trabajar aún más a la misma y necesitando una mayor presión para mantener el sistema.

Sin embargo la caída de presión para  $\Delta P_3$  estuvo muy cerca de la esperada, debido a que en este caso solamente se está tomando como punto de referencia la membrana de microfiltración y no otra parte del sistema; se observa que la mayor caída de presión se da cuando se filtra un volumen de 40L, sin embargo la diferencia entre la caída dada al menor volumen, 10L, no es significativa, por lo cual trabajar al mayor volumen posible daría un mejor trabajo de la bomba.

También se observa que la caída de presión fue la misma para cualquier volumen, por lo que se mantiene constante durante toda la operación. No se observó ninguna variación, ni siquiera cuando la bomba tuvo los ahogamientos en los volúmenes 25 y 35L.

#### 7.15 Costos de operación del sistema.

Los costos de la Operación del sistema de microfiltración son importantes para la rentabilidad del sistema. Para evaluarlos se tomó lo indispensable para que esta se lleve a cabo. Para el presente proyecto, el sistema estaba casi completo, por lo cual solamente se tomarán en cuenta los costos de los materiales y los insumos incluidos posteriormente.

#### 7.16 Costo de energía eléctrica.

Como se observa en el siguiente cuadro el costo de la energía para la microfiltración es bajo. Debido a que la bomba no es de una potencia grande, el costo por litro también va disminuyendo conforme el volumen sea mayor, a diferencia del costo presentado a los 30L el cual es el mismo del costo a los 40L., por lo que es importante operar el sistema al mayor volumen posible, que en este caso es 40L.

Cuadro 17. Costo de energía eléctrica en la operación.

Volumen	Energía	Factor de Potencia	Costo Energía
10,00 L	0,01 KW	0,8500	Q. 0,02
15,00 L	0,02 KW	0,8500	Q. 0,03
20,00 L	0,02 KW	0,8500	Q. 0,03
25,00 L	0,03 KW	0,8500	Q. 0,04
30,00 L	0,03 KW	0,8500	Q. 0,05
35,00 L	0,04 KW	0,8500	Q. 0,06
40,00 L	0,04 KW	0,8500	Q. 0,06

*Fuente: Elaborado por el autor 2013.*

#### 7.17 Costos de insumos y de la operación final.

Dentro de los insumos utilizados para la extracción de la materia, el procesamiento y la obtención del producto final se encuentran los siguientes con su respectivo costo por Batch de 40l.

Cuadro 18. Costos de insumos y de operación final.

Insumos	Cantidad	Operación	Costo unitario	Costo total
Cocus nucifera sp malayo	45	Materia Prima	Q.0,50	Q.22,50
Cuchilla tipo Machete	1	Extracción Materia Prima	Q.74,00	Q.74,00
Energía eléctrica	0,04	Microfiltración	Q.1,92	Q.0,08
Membrana 1µm	1	Microfiltración	Q.84,00	
Membrana 0.5 µm	1	Microfiltración	Q.260,00	Q.260,00
Total				Q 356.00

*Fuente: Elaborado por el autor 2013.*

El costo total por Batch de 40L es de Q.356.58, esto solamente es la operación de microfiltración, al producto final habría que sumarle el costo de almacenamiento en frío de materia prima, envasado, almacenamiento en frío de producto final.

En cuanto a las membranas de microfiltración, son los insumos más caros, sin embargo, estas pueden utilizarse por un día entero, logrando a retener una gran cantidad de sólidos y pasando a través de ellos hasta 20 o 25 Batch de 40L.

Su saturación depende de las condiciones en las cuales llega la materia prima, luego de saturarse las membranas deberán reemplazarse y no pueden utilizarse nuevamente, debido a que son desechables; en su interior guardan bacterias, enzimas y proteínas que las degradan.

#### 7.18 Operación y rendimiento del sistema de microfiltración

Para la prueba del sistema de microfiltración se realizaron 3 corridas de microfiltración, utilizando como materia prima agua de coco; en cada una de las corridas

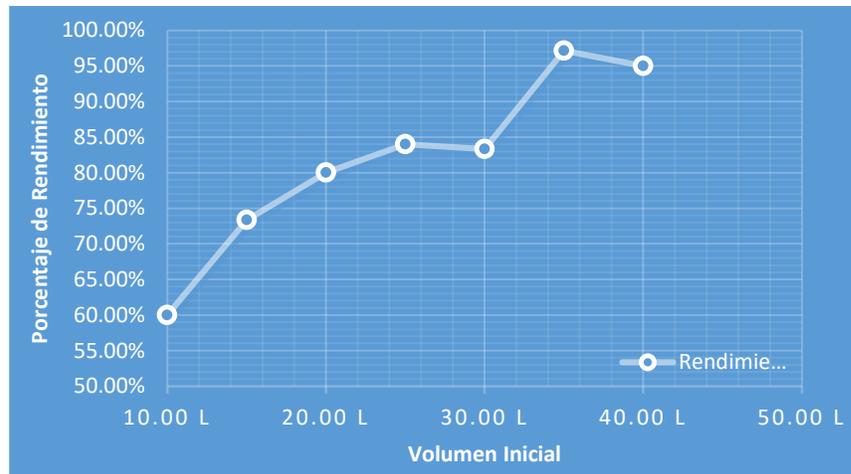
se realizaron filtraciones a volúmenes de 10 a 40L, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 19. Rendimiento del agua de coco microfiltrada.

Volumen inicial	Caudal	Volumen final	Rendimiento
10,00 L	818,18 L/h	6,00 L	60,00%
15,00 L	800,59 L/h	11,00 L	73,33%
20,00 L	917,78 L/h	16,00 L	80,00%
25,00 L	909,83 L/h	21,00 L	84,00%
30,00 L	977,82 L/h	25,00 L	83,33%
35,00 L	927,08 L/h	34,00 L	97,14%
40,00 L	982,20 L/h	38,00 L	95,00%

Fuente: Elaborado por el autor 2013

Gráfica 5. Rendimiento de agua de coco microfiltrada.



Fuente: Elaborado por el autor 2013.

Se observa que el mayor rendimiento se da a mayores volúmenes y el menor rendimiento a volúmenes menores, esto debido a que el sistema retiene un aproximado de 4L por cada corrida que se da, ya que las carcassas donde se encuentran las membranas no pueden extraer todo el líquido al finalizar la operación.

Por lo que para asegurarse un buen rendimiento, arriba de 95%, debe trabajarse con corridas desde 35L hasta el máximo de la capacidad del recipiente de entrada, que en este caso es 40L; trabajar a volúmenes iniciales bajos tiene un rendimiento muy pobre, por lo cual el sistema no resulta eficiente en estas condiciones, por lo visto anteriormente

tanto el costo de energía, costo de insumos y rendimiento mejora a volúmenes a partir de los 35L.

Para el análisis y almacenamiento del producto se envaso en botellas PET de 300mL, como se observa en la siguiente ilustración:

Ilustración 22. Agua de coco envasada



*Fuente: trabajo de campo realizado por el autor 2013*

#### 7.19 Características fisicoquímicas del producto final

Se observó que conforme iban pasando los días, el agua de coco se tomaba una coloración rosa. Esto se debe a que la materia prima no se estabilizó con la resina PVPP (Polivinil-poli-pirrolidona), la cual tiene como función reducir el número de taninos y polifenoles en el producto final.

Sin embargo, esto no afectó las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas como se observa en la siguiente ilustración.

Ilustración 23. Coloración rosa en el producto final.

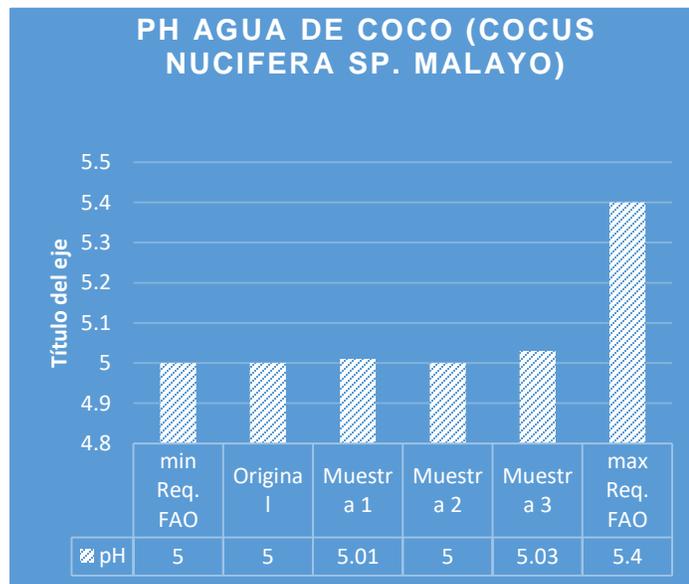


Fuente: trabajo de campo realizado por el autor 2013

#### 7.20 PH del producto final.

En la medición de pH se obtuvieron los siguientes resultados:

Gráfica 6. Resultado de pH de agua de coco.



Fuente: Elaborado por el autor 2013.

Se observa que dentro de las tres muestras analizadas no hubo un cambio significativo en el pH, obteniendo 5.01, 5.00 y 5.03 respectivamente. La muestra original tuvo un pH de 5. Por lo cual el agua de al pasar por el sistema de microfiltración no tiene un cambio de pH, esto indica que no existe un cambio en la concentración de iones H<sup>+</sup> libres en el producto.

Esto es un factor favorable, debido a que cambios bruscos de pH pueden indicar alguna reacción entre la membrana utilizada y el agua de coco.

Según los datos presentados por FAO dentro de las características fisicoquímicas que debe tener el agua de coco embotellada, el pH debe encontrarse dentro de un rango de 5 – 5.4; por lo cual el pH obtenido en las tres muestras analizadas cumplen con estos requerimientos

El pH en este producto es un indicador de calidad, si este disminuye a lo largo del tiempo indica una pérdida de calidad del producto y deterioro del mismo, por lo cual es importante su control, la vida de anaquel no era parte del alcance del presente trabajo esto no se analizó. (Rolle, 2007).

#### 7.21 Grados Brix del producto final.

Los resultados obtenidos para los Grados Brix del producto final fueron los siguientes:

Gráfica 7. Resultados de los grados Brix en el producto final.



Fuente: Elaborado por el autor 2013.

Se observa que dentro de las tres muestras analizadas que no hubo un cambio significativo en la medición de grados Brix, obteniendo un resultado de 5.00, 5.00 y 5.03

respectivamente para cada una de ellas, la muestra original (antes de la microfiltración) tuvo un valor de Grados Brix de 5.

La medición de los grados Brix indica el cociente total de sacarosa o incluso sal disuelta en un líquido, dándose como una concentración de sólidos solubles. Por lo que en el caso del agua de coco, se tiene un total de 5g de sólidos por cada 100g de agua.

Estos sólidos están compuestos por las azúcares que se encuentran en el agua de coco y también por las sales que están disueltas.

Como puede observarse en el gráfico el valor obtenido, 5°Brix, se encuentra dentro del rango establecido por FAO. Sin embargo este se encuentra dentro del mínimo declarado para agua de coco embotellada y también dentro del valor que establece el CODEX Alimentarius para agua de coco extraída directamente del coco sin contar la carne de coco. (Rolle, 2007)

Al igual que el pH, los grados Brix, disminuyen conforme su degradación va incrementando, esto se debe a que los azúcares disponibles son utilizados en el proceso de fermentación, dando como resultado una disminución de los mismos y por lo tanto un valor menor de grados Brix.

El valor de los grados Brix es un indicador importante de calidad, y depende también del nivel de madurez del agua de coco en el cual fue extraído; en este caso el coco se encontraba en su séptimo mes de crecimiento.

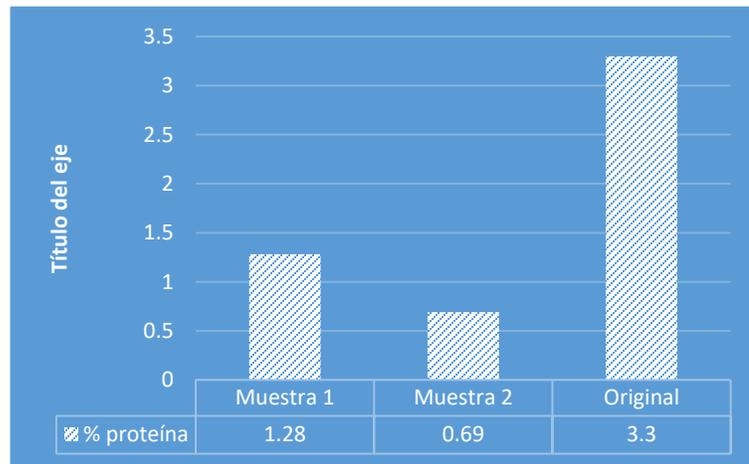
La medición de grados Brix es una práctica común para determinar la calidad del producto, debe de monitorearse constantemente y también determina la vida de anaquel del mismo; esto no se encuentra bajo el alcance del presente trabajo por lo cual no fue analizado.

#### 7.22 Proteína en el producto final obtenido.

El contenido de proteína encontrado en una muestra de agua de coco, extraída directamente de la nuez y sin pasar por ningún proceso, de la variedad *Cocus nucifera* sp. Malayos fue de 3.30%. Se observó que el coco de la variedad indicada anteriormente poseía un color blanco con turbidez, y algunos pedazos de la carnaza del coco flotando sobre el agua., la carnaza se va formando por la misma agua y su contenido de proteínas es mayor que el encontrado en el agua.

Posterior al proceso de microfiltración por membranas, se observó que el agua de coco perdió la turbidez y se tornó de un color transparente (en los primeros 3 días) y posteriormente se tornó de un color rosado transparente. La pérdida de turbidez, llevo a la pérdida de moléculas mayores a  $0.5\mu\text{m}$  el cual era el tamaño de partícula que la membrana ya no permitía pasar, los resultados obtenidos para las dos muestras analizadas por el método Khjeldal están expresados por el siguiente gráfico:

Gráfica 8. Porcentaje de proteína en el producto final.



Fuente: Elaborado por el autor 2013

Se observa una diferencia de aproximadamente el doble en el contenido de proteína del agua de coco, la muestra 1 fue obtenida a partir de agua de coco de 9 meses de fructificación, mientras la muestra 2 fue obtenido a partir de agua de coco con 9.2 meses de fructificación.

Esto indica que conforme va pasando el tiempo y la nuez tierno a un coco con madurez plena, el agua de coco va perdiendo sus proteínas y las va cediendo en la formación de la carnaza; para la extracción de agua de coco se debe de utilizar un coco con un tiempo de fructificación de 7 a 9 meses.

También se observa que el porcentaje de proteína contenido en las muestras que pasaron por el proceso de microfiltración es significativamente menor al porcentaje contenido en la muestra original; esto se debe al tamaño de partícula de las proteínas, ya que algunas suelen ser de una cadena muy grande, con un gran contenido de aminoácidos, sin embargo dentro del alcance del presente trabajo no se encontraba la caracterización de las proteínas, por lo cual no podemos concluir en cuales permanecen en el agua de coco microfiltrada y cuales se pierden en el proceso.

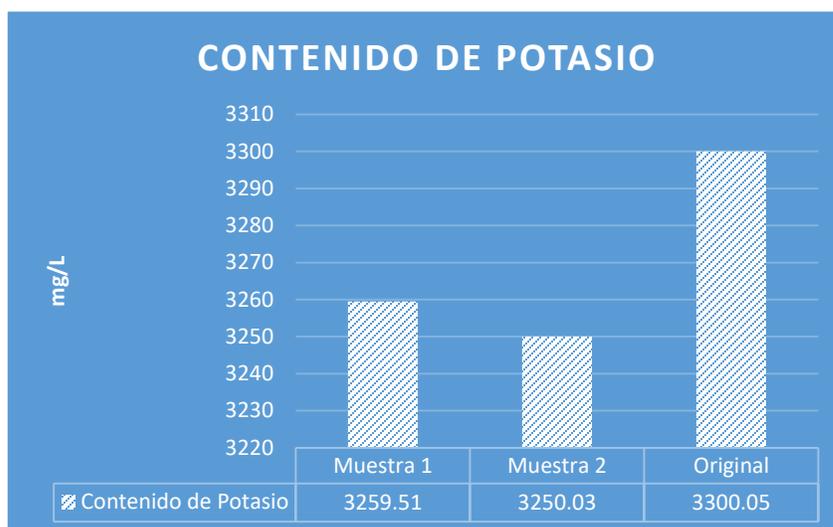
El proceso de microfiltración deja atrapadas en las membranas de 1 y 0.5  $\mu\text{m}$  a las moléculas que sean mayores a este tamaño, estas membranas no son selectivas esto quiere decir que no son específicas para algún tipo de partículas, por lo que todas las partículas que se encuentren arriba del rango mencionado, quedan en las membranas.

Para la muestra No. 1 se perdió un total de 2.02% de proteínas las cuales fueron retenidas por la membrana, mientras que para la muestra No. 2 se perdió un total de 2.61% de proteínas, esto con relación a la muestra original de agua de coco analizada, la cual para ambos casos (muestra No. 1 y muestra No. 2) contenía un total de 3.3% de proteínas.

### 7.23 Contenido de sales en el producto final.

Un aspecto muy importante dentro del agua de coco es el contenido de sales, ya que a partir de esta se determina la funcionalidad del producto como una bebida isotónica o rehidratante: las dos sales principales encontradas en el agua de coco son el sodio y el potasio, por lo tanto se realizaron análisis de contenido de estas sales en tres muestras de agua de coco, la muestra antes de microfiltrar y la muestra posterior a la microfiltración. En ambos casos se utilizó muestras de una misma corrida.

Gráfica 9. Contenido de potasio en el producto final.



Fuente: Elaborado por el autor 2013.

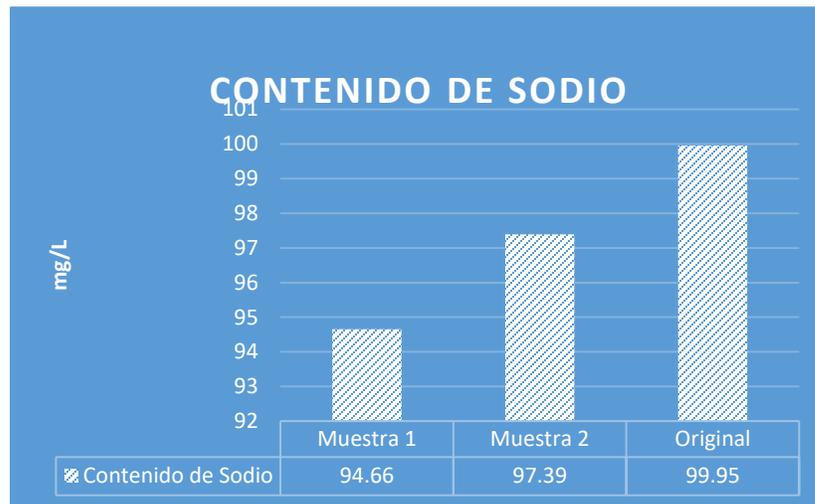
De acuerdo con el gráfico presentado, el porcentaje de potasio se mantuvo casi en su totalidad, divergiendo en un 1.21% para la muestra 1 y en un 1.51% para la muestra 2, es decir el potasio no quedo retenido en las membranas, y estas a su vez permitieron el paso del mismo.

Esto se debe a que el potasio se encuentra disuelto en el agua de coco, por lo que las partículas tienen un tamaño menor a  $0.5\mu\text{m}$ , por lo cual pueden pasar a través de la porosidad de la membrana más pequeña.

#### 7.24 Contenido de Sodio

Las características del contenido de sales proporcionan una referencia sobre si la bebida es o no una bebida isotónica, lo cual es parte de los objetivos del presente trabajo.

Gráfica 10. *Contenido de sodio en el producto final.*



*Fuente: Elaborado por el autor 2013.*

Como se observa en la anterior gráfica, el contenido de sodio con respecto a la muestra original, o la muestra antes de realizarse la microfiltración tampoco tuvo un cambio significativo. Esto se debe a que el sodio al igual que el potasio se encuentra disuelto en el agua de coco, la divergencia con respecto a la original se encuentra en 5.29% y 2,56% para la muestra 1 y 2 respectivamente. Aunque se observa un porcentaje de divergencia un poco arriba de 5% en la muestra 1 esto no es significativo.

#### 7.25 Producto final como bebida isotónica.

Una bebida isotónica es descrita como aquella que tiene el mismo número de partículas (azúcares y electrolitos) por 100mL que los fluidos corporales, siendo absorbidos tanto o más rápido que el agua, entre 4 y 5 g por cada 100mL.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo, muestran que el contenido de sales en el agua de coco luego del proceso de microfiltración están alrededor de 3,300mg/100mL, es decir se aproxima al valor de una bebida isotónica, sin embargo aún no es considerada como tal por lo tanto es una bebida hipotónica, ya que su valor se encuentra por debajo de los 4g/100mL.

A este valor hay que sumarle el valor de los azúcares reductores totales presentes en el agua de coco, aproximadamente 2000mg/100mL, con esto el valor total llega a los 5.5g/100mL en el contenido de azúcares y electrolitos, por lo cual se considera una bebida isotónica. En el siguiente cuadro se hace una comparación de agua de coco procesada a través de la microfiltración y una bebida para deportistas.

Cuadro 20. Comparación de bebida para deportistas y producto final.

Elemento	Bebida para deportista mg/ 100 mil	Agua de coco) mg/ 100 mil
Potasio	11.7	3300
Sodio	41	95
Azúcares	6	5

*Fuente: Elaborado por el autor 2013.*

Por lo cual el agua de supera en contenido de sales a las bebidas para deportistas, pero es inferior en azúcares totales a las mismas.

#### 7.26 Análisis microbiológico en el producto final

La retención de moléculas no deseadas como bacterias y patógenos es una función del micro membranas, posteriormente de 1, 2 y 3 semanas de almacenamiento se realizó un recuento total de coliformes totales, fecales y aeróbicos a una muestra de agua de coco procesada en microfiltración. Los resultados se observan en el siguiente cuadro.

Cuadro 21. Análisis microbiológico del producto final.

Muestra	Recuento Coliformes Total	Recuento Aerobico Total	Recuento Coliformes Fecales
1	<200 UFC/g	< 1,100 UFC/g	< 2 NMP/g
2	<200 UFC/g	< 1,100 UFC/g	< 2 NMP/g
3	<200 UFC/g	< 1,100 UFC/g	< 2 NMP/g

*Fuente: Elaborado por el autor 2013.*

Se observa que en las tres muestras analizadas en las tres semanas posteriores, los recuentos de coliformes total, fecal y aeróbicos fueron satisfactorios y se encuentran dentro de los mismos rangos, además de encontrarse también por debajo de los rangos establecidos por FAO para el agua de coco embotellada; donde se especifica <5,000 UFC/g para coliformes totales y aerobias y ausencia de coliformes fecales. (Rolle, 2007)

Estos mismos rangos son los definidos por el Codex Alimentarius en el CAC/GL 21-1997 para los principios y lineamientos para el establecimiento y aplicación de criterios microbiológicos relacionados a los alimentos. (Alimentarius, 1997)

Por lo que el producto final cumple con las especificaciones microbiológicas para ser considerado un producto inocuo apto para el consumidor.

#### 7.27 Análisis sensorial del producto final.

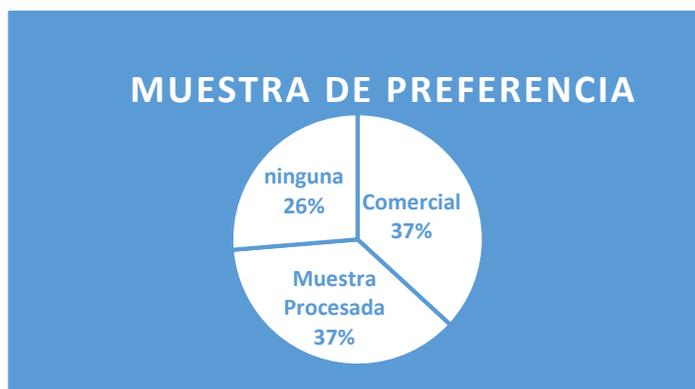
En el análisis sensorial se obtuvieron los siguientes resultados:

Gráfica 11. Diferenciación entre una muestra comercial y una muestra producto.



*Fuente: Elaborado por el autor 2013,*

Gráfica 12. Preferencia entre muestra comercial y muestra de producto final.



Fuente: Elaborado por el autor 2013

Cuadro 22. Perfil sensorial del producto final.

Descriptor	Frecuencia
Incoloro	1
No viscoso	1
Piel de coco (Cocus nucifera sp. malayo)	5
Salado	1
Amargo	2
Dulce	12
ácido	2
Liviano/suave	6
Aroma dulce	5
Fresco	5
Galletosa	1
Sabor artificial	1
Olor a Coco (Cocus nucifera sp. malayo)	4
Espesa	2
Color transparente	4
Sabor fresco	2
Liquido	1
Sabor natural	5
Sabor a Coco (Cocus nucifera sp. malayo)	4
Aroma fuerte	1
No astringente	2
No tan dulce	3
Sabor neutro	1

Fuente: Elaborado por el autor 2013.

Se observa que el 100% de los panelistas diferenciaron la muestra comercial de la muestra procesada por microfiltración. Esto indica que el producto final tiene un sabor, olor y características distintas a los demás.

En cuanto a la preferencia del producto, se observó que 7 de 19 panelistas prefirieron la muestra procesada por microfiltración. De acuerdo con la tabla de prueba Binominal de Dos Extremos. (B.M. Watts, 1992)

Con  $x = 7$  y  $n = 19$ , se encontró que la probabilidad es de 0. Para que haya una probabilidad significativa  $x$  debe encontrarse en 11, por lo cual no hubo una preferencia por ninguna de las dos muestras.

Dentro de los descriptores se observa que las personas incluyeron las características de dulce, liviano/suave, aroma dulce, natural y fresco como las principales. Entre los comentarios encontrados las personas sintieron el sabor natural del agua de coco (*Cocus nucifera* sp. malayo) procesada por microfiltración.

## VIII Conclusiones

1. Se diseñó un sistema de microfiltración de agua de coco, el cual puede ser replicado a cualquier escala, es de fácil ensamblado y operación, necesitando solamente una persona para su funcionamiento.
2. El rendimiento del sistema de microfiltración de agua de coco es mayor a 95%, trabajando en volúmenes de materia prima de 35 a 40L por corrida, siendo un sistema económico trabajando a los mismos volúmenes.
3. Se caracterizó el producto final obteniendo un pH de 5, grados Brix de 5; 3,300 mg/100mL en contenido de sales, 1,28 y 0.69 % de proteína en producto final de 9 y 9.2 meses de cocos (*Cocus nucifera* sp. Malayo) de materia prima; 5,500 mg/100 mil en contenido de azúcares y electrolitos.
4. El producto final obtenido es Inocuo al consumidor y cumple con los requerimientos establecidos por FAO para el agua de coco envasada a pequeña escala. < 200 UFC/g en recuento de coliformes totales, < 1,100 UFC/g de coliformes aerobias, <2NMP/g en coliformes fecales.
5. En el análisis sensorial no hubo preferencia entre el producto final obtenido y una muestra comercial.
6. El producto final puede ser considerado como una bebida isotónica, al contener más de 4g/100mL (5.5g/100mL) en contenido de azúcares y electrolitos.

## IX Recomendaciones

1. Se recomienda aplicar la resina PVPP (Polivinil – poli – pirrolidona) para evitar la coloración rosa en el producto final, debido a la presencia de taninos y polifenoles.
2. Se recomienda utilizar distintas variedades de coco como materia prima, para obtener un parámetro por cada variedad del país.
3. Se recomienda realizar un análisis de vida de anaquel al producto final, analizando el cambio de sus propiedades fisicoquímicas.

# X Apéndice

## 10.1 Inlasa



INLASA, S.A.  
29 calle 19-11 Zona 12  
Teléfonos: 24761795, 24760337 Fax: 24769349  
E-Mail: [servicioalcliente@inlasa.com](mailto:servicioalcliente@inlasa.com)  
[www.inlasa.com](http://www.inlasa.com)

### INFORME DE RESULTADOS

Número:  
**4-2013**  
Hoja 1 de 1

Cliente: (0203) MAYACERT, S.A.  
Dirección: 18 calle 7-25 zona 11 col. Mariscal

Fecha de ingreso: 12/Ago/2013  
Hora de ingreso: 16:30  
Orden de Ingreso: 2013004009  
Responsable de muestreo: Daniel Lara

Fecha de Emisión: 26/08/2013  
Hora de Emisión: 09:57

Muestra: (74395) MUESTRA # 1  
Descripción:

ANÁLISIS	RESULTADO	LIMITE DE DETECCIÓN	METODOLOGIA	FECHA DE ANÁLISIS
Grados Brx	5.0 °	N/A *	INLASA	16/08/2013
Cloruro de Sodio	94.66 mg/L	0.003 mg/L	Metales AA PC-FQ-022	22/08/2013
Cloruro de potasio	3259.51 mg/L	0.003 mg/L	Metales AA PC-FQ-022	26/08/2013
pH	5.00	N/A	INLASA	16/08/2013
Proteína	0.69 %	0.15 %	Proteína PC-FQ-021	16/08/2013
Recuento Coliformes Fecales	<2 NMP/g	<2 NMP/g	Compendium Methods APHA Cap.8	12/08/2013
Recuento Coliformes Totales	>200 UFC/g	<10 UFC/g	AOAC 991.14	12/08/2013
Recuento Aerobico Total	>1,100 UFC/g	<10 UFC/g	FDA BAM cap 3	12/08/2013

Observaciones:

Comentarios: Esta es una reimpresión del 14 de junio del año 2023 a solicitud del cliente, el informe físico fue entregado a Noe Riv Noe Rivera el 06 de septiembre 2013.

Estos resultados corresponden únicamente a las muestras recibidas por el personal del Laboratorio.  
Se prohíbe la reproducción total o parcial de éste informe sin la autorización del Director Técnico.

Lic. Raúl Pantoja Piloña  
Químico Biólogo, Colegiado 1347  
Director Técnico INLASA, S.A.

Supervisado por:

## 10.2 Guía y boleta de análisis sensorial del producto final.

Universidad del Valle de Guatemala  
Facultad de Ciencias y Humanidades  
Departamento de Nutrición

### Guía 4

Pruebas dirigidas al producto  
Prueba Duo-Trio de agua de coco

## Introducción

Como parte del trabajo de graduación de un estudiante de Quinto año de ingeniería en alimentos, se está trabajando en la microfiltración de agua de coco para esterilizar el producto y que se prolongue su vida se anaquel. Esto consiste en pasar el agua por dos membranas de 0.5 y 1 micrómetro respectivamente, dando como resultado la retención de patógenos y otras bacterias, en las membranas. Sin embargo, esto puede afectar también en su sabor, olor y apariencia.

El principal propósito del estudiante está interesado en evaluar dos muestras de agua de coco, una comercial y el producto final que está obteniendo; por lo cual se solicitó la realización de un análisis sensorial del producto, por lo que se tomó la decisión de planificar una prueba Dúo-trio para determinar si el panel sensorial entrenado podía entrar diferencia entre la muestra de agua de coco comercial y el nuevo producto elaborado por el estudiante, además de dar la preferencia en alguno de los productos y dar alguna opinión del mismo.

## Objetivos

1. Determinar si existe diferencia perceptible entre una marca comercial y el agua de coco elaborado por el estudiante.
2. Establecer las características que los panelistas identificaron como diferentes para cada agua de coco.
3. Recomendar a la empresa las acciones que debe tomar según el problema planteado y los resultados obtenidos en el análisis.
4. Comparar los resultados obtenidos por el grupo de panelistas.

## Material y equipo

Cuadro 23. Material necesario para la prueba dúo-trío

Descripción	Cantidad
Agua de coco comercial	3 L
Agua de coco Elaborada por el alumno	3 L

*Fuente: Trabajo de campo realizado por el autor 2013.*

Cuadro 24. Equipo necesario para la prueba dúo-trío

Descripción	Cantidad
Vasos desechables pequeños	150
Vasos de duroport	25
Bandejas	20
Picheles	10
Servilletas	150
Rollo de masking tape	1
Marcador permanente	1
Lápices	20

*Fuente: Trabajo de campo realizado por el autor 2013.*

## Metodología

Para realizar las primeras prácticas de laboratorio donde se trabajará con alimentos, se eligió la prueba dúo-trío ya que tiene nivel bajo de dificultad y los panelistas la comprenden fácilmente.

Los resultados de esta prueba únicamente indican si los panelistas detectan o no si existe diferencia entre un producto de referencia y la muestra, pero no indica la magnitud de las diferencias entre ambos.

1. Para la evaluación se servirán muestras de aproximadamente 20ml de cada tipo de agua de coco. Se prepararán 38 muestras de agua de coco elaborado por el estudiante y 19 muestras de agua de coco comercial.

2. El agua de coco fue microfiltrada por el estudiante con anterioridad a la prueba; el agua de coco de una marca comercial se comprará un día antes de la prueba.
3. Durante la evaluación, a cada panelista se le entregará tres muestras, una de referencia o estándar que estará marcada con la letra **R**. Las otras dos muestras serán codificadas con números aleatorios de tres dígitos, entre ellas habrá una idéntica a la de referencia y otra será una muestra de agua de coco elaborada por el estudiante.
4. Los panelistas deberán seleccionar aquella que por sus características sensoriales sea igual a la de referencia, indicando las diferencias que encontró en relación a la otra muestra y que lo llevaron a hacer su elección.
5. Las tres muestras se presentarán al mismo tiempo ya que la evaluación no provoca fatiga. Se usará agua caliente para enjuague de manera que los residuos de pastel, para dejar el paladar limpio fácilmente.
6. Para evitar errores por posición, el orden de presentación de las muestras que se utilizará será balanceado (ver cuadro 3 y 4), de manera que las dos muestras que se comprarán contra la de referencia se presentarán en diferentes posiciones cada 10 panelistas, siguiendo el orden que muestra el cuadro.
7. Antes de presentar al panelista las muestras se les dará un tiempo para que lean las instrucciones que aparecen en la boleta. La prueba se realizará guiada con la ayuda del auxiliar o de líder del panel.
8. Un ejemplo de la boleta con la evaluación de los dos productos que aparece adjunta.

## Análisis de resultados

Al finalizar la evaluación, cada panelista entregará su boleta para analizar los datos siguiendo procedimiento que se detalla a continuación:

Se compararán los resultados con los del líder del panel, para verificar quienes dieron las respuestas correctas. Se sumará el número de panelistas que identificaron correctamente la muestra que era igual a la de referencia y el total se someterá a la prueba de significancia.

El número de panelistas que dieron la respuesta correcta se comparará con los datos que aparecen en el cuadro correspondiente donde se indica la significancia para los test pareados ( $P=1/2$ ) que se adjunta, para determinar si existe una diferencia significativa entre las dos muestras.

Se utilizarán los datos para una cola ya que sólo hay una posibilidad de respuesta correcta, para tener significancia se exige una probabilidad de 0.05 o menos; en este tipo de pruebas tanto la confiabilidad como la sensibilidad aumentan a medida que participan más panelistas.

Se hará un cuadro de frecuencias con los resultados obtenidos en la parte de la boleta donde los panelistas indicaron las diferencias que encontraron en la otra muestra y que lo llevaron a hacer su elección. Se usara la información en el análisis y en el reporte es importante hacer las recomendaciones con el fin de que se realicen las acciones pertinentes para mejorar la calidad sensorial de los productos nuevos.

## Bibliografía

- Atts, B, M. et al Métodos Sensoriales Básicos: Para la evaluación de alimentos. International development research Centre. Ottawa, Canada. 1989.
- Witting, Emma. Evaluación Sensorial: un método actual para tecnología de alimentos.

Cuadro 25.Orden de presentación de las muestras.

#	Muestra	#	Muestra
1	771	1	284
2	599	2	591
3	793	3	787
4	135	4	787
5	784	5	598
6	300	6	604
7	753	7	182
8	277	8	975
9	231	9	206
10	450	10	681
11	247	11	881
12	985	12	825
13	342	13	250
14	988	14	266
15	251	15	907
16	126	16	324
17	933	17	179
18	977	18	678
19	657	19	515
20	827	20	755
21	118	21	902
22	274	22	188
23	129	23	836
24	876	24	853
25	876	25	342

Muestra 1: Diferente a la referencia  
Muestra 2: Igual a la de referencia

Fuente: Informe de laboratorio INLASA 26/8/2013

Cuadro 26. Orden de presentación de las muestras

#	Muestra	#	Muestra
1	820	1	445
2	763	2	819
3	962	3	572
4	401	4	933
5	551	5	523
6	400	6	667
7	601	7	851
8	304	8	404
9	662	9	587
10	419	10	969
11	669	11	389
12	781	12	616
13	387	13	946
14	547	14	978
15	908	15	686
16	378	16	180
17	138	17	680
18	433	18	878
19	225	19	876
20	819	20	968
21	286	21	616
22	981	22	644
23	589	23	552
24	1000	24	186
25	483	25	545

Muestra 1: igual a la de referencia  
Muestra 2: diferente a la de referencia

Fuente: Informe de laboratorio INLASA 26/8/2013

Cuadro 27. Significación para test pareados ( $p=1/2$ )

Número de Juicios (Jueces x set)	Mínimo de juicios correctos para establecer diferencias. (Una cola)			Mínimo de juicios correctos para establecer diferencias. (Dos cola)		
	Nivel de probabilidad					
	.05	.01	.001	.05	.01	.001
7	7	7	---	7	---	---
8	7	8	---	8	8	---
9	8	9	---	8	9	---
10	9	10	10	9	10	---
11	9	10	11	10	11	11
12	10	11	12	10	11	12
13	10	12	13	11	12	13
14	11	12	13	12	13	14
15	12	13	14	12	13	14
16	12	14	15	13	14	15
17	13	14	16	13	15	16
18	13	15	16	14	15	17
19	14	15	17	15	16	17
20	15	16	18	15	17	18
21	15	17	18	16	17	19
22	16	17	19	17	18	19
23	17	18	20	17	19	20
24	17	19	20	18	19	21
25	18	19	21	18	20	21
30	20	22	24	21	23	24
35	23	25	27	24	26	28
40	26	28	31	27	29	31
45	29	31	34	30	32	34
50	32	34	37	33	35	37
60	37	40	43	39	41	44
70	43	46	49	44	47	50
80	48	51	55	50	52	56
90	54	57	61	55	58	61
100	59	63	66	61	64	67

Fuente: El Cuadro es una adaptación de E.B. Roster, G.A. Baker Y M.A. Amerine. Food Tesearch 21, 117-121 (1956)

Nombre

---

Fecha

---

**Boleta de prueba Dúo- trio  
Para detectar diferencias**

En esta prueba se evaluarán dos tipos de agua de coco. Agua de coco Microfiltrada y agua de coco Pasteurizada. En esta práctica usaremos agua para enjuagarnos la boca, por lo que deberá servirse agua cada vez que se necesite.

Para cada evaluación recibirá un set de cada tres muestras, primero pruebe la que aparece marcada con una **R**, enjuáguese cuidadosamente la boca con agua caliente y luego deguste las dos muestras codificadas iniciando con la que tiene a su izquierda. Indique cuál de las muestras codificadas es igual a la muestra **R**.

En la casilla de comentarios indicar las diferencias que encontró en las muestras y que lo llevaron a hacer su elección. Es obligatorio incluir comentarios para ambos productos. En caso de duda, deberá decidirse por una muestra, pero es importante que en los comentarios mencione que realmente no ha encontrado diferencia.

**Agua de coco**

Estándar **R**

Muestra **1**

Muestra **2**

Muestra igual al  
estándar

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**COMENTARIOS**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## XI Bibliografía

- A. Hernández, F. T. (1990). *Microfiltración, Ultrafiltración y Ósmosis Inversa* (Tercera ed.). Universidad de Murcia, España.
- Alimentarius, C. (1997). *Principles and guidelines for the establishment and application of microbiological criteria related to foods*. Roma.
- B.M. Watts, G. Y. (1992). *Métodos Sensoriales Básicos para la Evaluación de Alimentos*. Ottawa, Canadá: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo.
- Chandrasekhara, M. R., Ramanatham, G., Rama Rao, G., Bhatia, D. S., Swaminathan, M., Sreenivasan, A., & Subrahmanyam, V. (1964). Infant food based on coconut protein, groundnut protein isolate and skim milk powder. I. Preparation, chemical composition and shelf-life. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 839-841.
- F.R. Morral, E. J. (1985). *Metalurgia General* (Vol. III). Barcelona, España: Reverte. Retrieved 4 de noviembre de 2013.
- FAO. (15 de abril de 2013). *FAO*. Procedimiento de microfiltración para esterilizar en frío agua de coco: : <http://www.fao.org/ag/esp/revista/9810/spot3add.htm>
- Incorporated, CUNO. (2004). *Betapure Rigid Filter Media Cartridges and Capsules*. Meriden CT, USA: 3M Company.
- Instituto de Salud Pública de Chile, S. d. (28 de Julio de 2010). Determinación de Proteínas, Método Kjeldahl. Chile.
- Jasper, G. W. (1979). *COCONUTS: Production, Processing Products* (Segunda ed.). Connecticut, USA: University of Georgia.
- Motores, G. W. (4 de noviembre de 2013). WEG website: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-w22-motor-trifasico-tecnico-mercado-latinoamericano-50024297-catalogo-espanol.pdf>
- Rolle, R. (2007). *Buenas Prácticas para la Producción en pequeña Escala de Agua de Coco Embotellada*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) .
- Solà, P. M. (1990). *Metales Resistentes a la Corrosión*. Barcelona, España: Marcombo. Retrieved 26 de octubre de 2013.
- Stewart, J. (2008). *Cálculo de una Variable, Trascendentes tempranas* (Vol. Sexta). México D.F., México: CENGAGE Learning. Retrieved octubre de 2013.

Tietze, H. W. (2006). *Coconut: rediscovered as medicinal food*. Nueva Delhi, India: Publishers at JJ offset printers.

Warren L. McCabe, J. C. (1991). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. (Cuarta, Ed.) Madrid, España: McGraw-Hill.