

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**“Extracción del Carotenoide Licopeno a partir de los  
Rechazos Post Cosecha del Mercado Interno de  
Citrullus Lanatus (Sandía) para su Futura Aplicación en  
Alimentos”**

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ALIMENTOS**

Presentada por:

Jorge Andrés Valdiviezo Macías

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

Año: 2010

## AGRADECIMIENTO

A mis padres especialmente por darme la oportunidad de poder estudiar, a mi director de tesis la M.B.A. Mariela Reyes L., a las personas que colaboraron de una u otra forma para la realización de este trabajo, con mucho empeño se realizó y también a la ESPOL institución que me brindó todas las herramientas para poder lograrlo.

## DEDICATORIA

ESTE TRABAJO  
REALIZADO CON  
ESFUERZO POR  
VARIOS MESES, ESTÁ  
DEDICADO A MIS  
PADRES, FAMILIARES  
Y EN ESPECIAL A MI  
ABUELO JORGE  
ANTONIO.

## DECLARACION EXPRESA

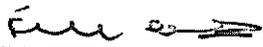
"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Jorge A. Valdiviezo

Jorge Andrés Valdiviezo  
Macías

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



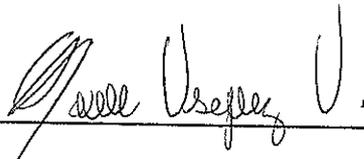
---

Ing. Francisco Andrade S.  
DECANO DE LA FIMCP



---

M.B.A. Mariela Reyes L.  
DIRECTOR DE TESIS



---

Ing. Grace Vásquez V.  
VOCAL

## RESUMEN

En el primer paso de esta tesis se presenta un estudio sobre los cultivos de sandía, su manejo postcosecha en el Ecuador para saber las dificultades que vamos encontrar en nuestro proyecto.

En el segundo paso se realizó hacer un estudio sobre la producción de sandia para también conocer los puntos más cercanos para abastecernos de la materia prima y también conocer el periodo estacional de la fruta en Ecuador. A continuación se investigó sobre el pigmento, que es el licopeno al grupo que pertenece, las características y propiedades más beneficiosas del pigmento a extraer en la presente tesis.

Finalmente se averiguó todos los métodos existentes para extraer el licopeno para luego escoger uno acorde a las posibilidades que se ofrecen en el entorno, tomando en cuenta un proceso sin niveles de contaminantes químicos, principalmente disolventes orgánicos que afecten a los seres humanos, un procedimiento más sencillo en la obtención de la formulación final.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
INTRODUCCIÒN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. Generalidades.....	3
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.1.1 Justificación.....	5
1.2 Objetivo.....	7
1.2.1 Objetivo General.....	7
1.2.2 Objetivo Especifico.....	7
1.3 Metodología.....	8
1.4 Estructura de la Tesis.....	10

## CAPÍTULO 2

2. Marco Teórico.....	12
2.1. Estudio sobre los cultivos de sandía, su manejo post cosecha y clasificación según los daños que presente el fruto.....	12
2.2. Estudio del Periodo estacional, Producción de la sandía y porcentaje de rechazo post cosecha en el Ecuador.....	29
2.3. Pigmentos.....	36
2.3.1 Carotenoides.....	37
2.3.2 Licopeno.....	39
2.4. Métodos de extracción.....	49
2.5. Revisión de proyectos similares.....	58

## CAPÍTULO 3

3. Pruebas Experimentales.....	61
3.1 Extracción del pigmento.....	62
3.1.1 Pre-tratamiento de la muestra.....	63
3.1.2 Extracción de licopeno. ....	64

3.1.3 Determinación del porcentaje del licopeno obtenido.....	66
3.2 Aplicaciones del licopeno.....	67
3.2.1 Tipos de alimentos que pueden ser enriquecidos con licopeno.....	67
3.3 Procedimientos para purificar el licopeno extraído.....	68

## CAPÍTULO 4

4. Resultados.....	72
--------------------	----

## CAPÍTULO 5

5. Análisis de Resultados.....	84
--------------------------------	----

## CAPÍTULO 6

6. Conclusiones y Recomendaciones.....	88
6.1. Conclusiones.....	88
6.2. Recomendaciones.....	90

## APÉNDICES

## BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

°C	Grados Centígrados
cm <sup>2</sup>	Centímetros Cuadrados
ug	Microgramo
mg	Miligramo
g	Gramo
kg	Kilogramo
g/ml	Gramo por mililitro
s	Segundos
min	Minuto
h	Hora
ml	mililitro
mm	Milímetro
cm	Centímetro
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
Tm	Tonelada métrica
Ha	Hectárea
%	Por ciento
IC	Intervalo de confianza
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
SICA	Servicios de Información y Censo Agropecuario
NASS	Servicio Nacional de Estadísticas Agropecuarias
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

## SIMBOLOGÍA

aw	Actividad de agua
H <sub>2</sub> O	Agua
HR	Humedad relativa
Hi	Humedad inicial
pH	Potencial de Hidrogeno
s.s.	sólido seco
T	Temperatura
t	Tiempo

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1	Metodología de la tesis.....	8
Figura 2.1	Rajado del fruto.....	26
Figura 2.2	Fruto Planchado.....	27
Figura 2.3	Agrietado de Frutos.....	28
Figura 2.4	Productividad de Sandía en Ecuador.....	34
Figura 2.5	Estructura Molecular del Licopeno.....	40
Figura 2.6	Extractor Soxhlet.....	51
Figura 2.7	Esquema representativo del diagrama de presión-temperatura de los estados de la materia.....	57
Figura 3.1	Diagrama de concentración del licopeno vs. Tiempo.....	66
Figura 3.2	Orden aproximado de elución de compuestos.....	71
Figura 4.1	Formulación rica en licopeno, aceite de oliva y girasol sin baño maría.....	76
Figura 4.2	Formulación rica en licopeno, aceite de girasol con baño maría.....	77
Figura 4.3	Diagrama del método 2 para la obtención de una formulación rica en licopeno.....	78
Figura 4.4	Mayonesa según fórmula 1.....	79
Figura 4.5	Mayonesa según fórmula 2.....	80
Figura 4.6	Histograma para la fórmula 1.....	82
Figura 4.7	Histograma para la fórmula 2.....	83

## ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Composición nutricional: 100 g de parte comestible contienen.....	13
Tabla 2	Principales compuestos volátiles en el aroma de sandía.....	15
Tabla 3	Cultivos de sandía en el Ecuador.....	31
Tabla 4	Productores de sandías por provincias.....	33
Tabla 5	Superficie pérdidas y causas de pérdidas en cultivos de sandía.....	36
Tabla 6	Contenido de licopeno en algunos productos.....	41
Tabla 7	Clasificación de daños.....	62
Tabla 8	Tipos de fases.....	70
Tabla 9	Características físicas de la sandía.....	73
Tabla 10	Características químicas de la sandía.....	73
Tabla 11	Características organolépticas de la sandía.....	73
Tabla 12	Rendimiento de la sandía en el pre tratamiento.....	74
Tabla 13	Rendimientos de oleoresina.....	75
Tabla 14	Rendimiento de la Solubilización.....	75
Tabla 15	Formula 1 Mayonesa.....	80
Tabla 16	Formula 2 Mayonesa con condimentos.....	81
Tabla 17	Resultados de la Formula 1.....	82
Tabla 18	Resultados de la Formula 2.....	83
Tabla 19	Rendimientos entre la extracción con disolventes orgánicos y solubilización directa.....	85

## INTRODUCCIÓN

Se desarrollo una investigación sobre los cultivos, el manejo postcosecha de la sandia en Ecuador debido a que más del 50% de los productos hortofrutícolas y el 30% de los granos se pierden en el campo o durante las operaciones de post-cosecha. El estudio de las pérdidas post-cosecha abarca numerosos aspectos, que se relacionan con la diversidad de los productos, con las operaciones que se suceden a lo largo del sistema post-cosecha, con las causas que provocan esas pérdidas, y con los depredadores y otros parásitos de los productos.

Realizando un método efectivo para extraer el licopeno de las frutas de rechazo de post-cosecha en este caso la sandia, debido a que el licopeno presenta grandes propiedades como colorante y es un poderoso antioxidante que ayuda a combatir enfermedades degenerativas.

Primero se realizó un estudio sobre los cultivos de sandia, su manejo postcosecha en el Ecuador para saber las dificultades que se van a presentar en nuestro proyecto; también se investigo sobre la época estacional y la producción de sandia en el Ecuador.

Seguido a esto se averiguó sobre los pigmentos, específicamente los carotenoides para enfocarse en el licopeno por sus propiedades, en esta investigación se va desarrollar un método para la extracción para aplicarlo como aditivo en diferentes tipos de alimentos para un consumo diario, con base en el rendimiento obtenido y el pre tratamiento de la muestra vegetal. Se definió parámetros del proceso de extracción: temperatura, tiempo de extracción y número de etapas de ser necesarias. Con estos parámetros se propondrá la planificación del aprovechamiento de la sandia de rechazo en la post cosecha para la extracción de dicho carotenoide, disponiendo los

equipos según el correspondiente diagrama de flujo y bajo las demás condiciones de operación necesarias para evitar la degradación y descomposición del licopeno a lo largo del proceso, y que permitan obtener un rendimiento aceptable.

Después de esta investigación se espera obtener un método que logre una buena extracción del licopeno y aprovechamiento de las frutas de rechazo en este caso la sandía, para en un futuro poder aplicarlo en los alimentos para enriquecerlos con licopeno para el beneficio de las personas para el consumo de una dieta sana.

# **CAPÍTULO 1**

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 Planteamiento del Problema**

Más del 50% de los productos hortofrutícolas y el 30% de los granos se pierden en el campo o durante las operaciones de post-cosecha. El estudio de las pérdidas post-cosecha abarca numerosos aspectos, que se relacionan con la diversidad de los productos, con las operaciones que se suceden a lo largo del sistema post-cosecha, con las causas que provocan esas pérdidas, con los depredadores y otros parásitos de los productos. También abarca lo relacionado con las condiciones físicas, técnicas, económicas y de otra índole, que favorecen la acción de los agentes de deterioro y, en consecuencia, el agravamiento de las pérdidas.

En países desarrollados las pérdidas por postcosecha de los productos hortofrutícolas alcanzan del 5% al 25% y en países en vías de desarrollo estas alcanzan del 20% al 50%, y en algunos casos más.

En países desarrollados, las innovaciones tecnológicas en postcosecha más recientes tienen como objetivos disminuir el uso de mano de obra debido a su alto costo y satisfacer el deseo de que el producto presente buenas características organolépticas. Estos métodos no pueden utilizarse por largo plazo, debido a sus efectos negativos tanto en los aspectos socio-económicos como en los culturales y/o medioambientales. Las causas más comunes de pérdidas postcosecha en los países en vías de desarrollo incluyen el manejo poco cuidadoso del producto y la falta de sistemas adecuados para el enfriamiento y el mantenimiento de la temperatura.

Las pérdidas post cosecha, que oscilan de un 15% a un 25% debido a magulladuras o deformaciones de las sandías. A pesar de todo, el producto puede aprovecharse para la extracción de licopeno, ya que la apariencia exterior no tiene ningún efecto en el contenido nutritivo.

La sandía se puede decir que es la fruta que más cantidad de agua contiene (93%), por lo que su valor calórico es muy bajo, apenas 20 calorías por 100 gramos. Los niveles de vitaminas y sales minerales son poco relevantes, siendo el potasio y el magnesio los que más destacan, si bien en cantidades inferiores comparados con otras frutas. El color rosado de su pulpa se debe a la presencia del pigmento licopeno, sustancia con capacidad antioxidante. El potasio es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula.

Desarrollo de un proceso de extracción de licopeno. Debido a que la sandía es una fruta de las mejores fuentes de licopeno. Se piensa que el licopeno—el cual es un antioxidante de pigmento rojo—ayuda a impedir la enfermedad cardíaca y algunos cánceres.

### **1.1.1 Justificación**

El licopeno es un pigmento vegetal, aporta el color rojo característico a los tomates, sandías y en menor cantidad a

otras frutas y verduras. Pertenece a la familia de los carotenoides como el  $\beta$ -caroteno, sustancias que no sintetiza el cuerpo humano, sino los vegetales y algunos microorganismos, debiéndolo tomar en la alimentación como micronutriente.

El licopeno posee propiedades antioxidantes, y actúa protegiendo a las células humanas del estrés oxidativo, producido por la acción de los radicales libres, que son uno de los principales responsables de las enfermedades cardiovasculares, del cáncer y del envejecimiento.

Cada vez existen más estudios epidemiológicos que sugieren que el consumo de licopeno tiene un efecto beneficioso sobre la salud humana, reduciendo notablemente la incidencia de las patologías cancerosas sobre todo, de pulmón, próstata y tracto digestivo, cardiovasculares y del envejecimiento.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Extraer licopeno proveniente de la sandía (Citrullus Lanatus) de rechazo para su aplicación en alimentos.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Investigar todo sobre lo referente a la sandia su cultivo y su manejo postcosecha en el Ecuador.

Elegir el método de extracción de licopeno más eficiente, económico y determinar el rendimiento de licopeno según una cantidad de masa determinada de sandia.

Determinar un procedimiento específico para purificar el licopeno extraído de ser necesario.

### 1.3 Metodología

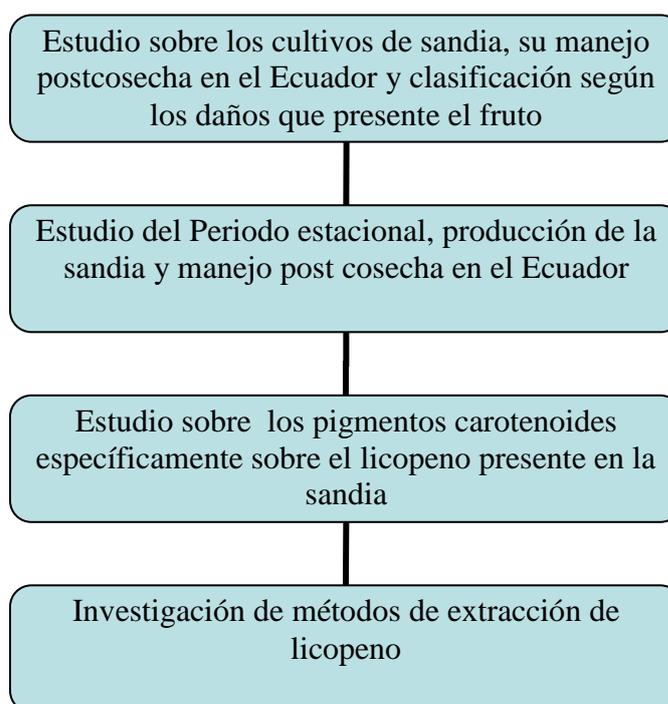


FIGURA 1.1 METODOLOGIA DE LA TESIS

En el primer paso de nuestra metodología realizó un estudio sobre los cultivos de sandía, su manejo postcosecha en el Ecuador para saber las dificultades que vamos encontrar en nuestro proyecto.

En el segundo paso se procedió hacer un estudio sobre la producción de sandía para también conocer los puntos más

cercanos para abastecernos de la materia prima y también conocer el periodo estacional de la fruta en Ecuador.

A continuación se investigó sobre el pigmento, que es el licopeno a cual grupo pertenece, las características y propiedades más beneficiosas del pigmento a extraer en la presente tesis.

En el cuarto paso se investigó todos los métodos existentes para extraer el licopeno para luego escoger uno acorde a las posibilidades que se ofrecen en el entorno, tomando en cuenta un proceso sin niveles de contaminantes químicos, principalmente disolventes orgánicos que afecten a los seres humanos, un procedimiento más sencillo: menor coste del proceso, mayor rapidez, menos componentes utilizados en el proceso, menor consumo de energía, menos etapas en la obtención de la formulación final.

En la tesis se recopiló toda la información necesaria para elaborar un método acorde a la fruta a la que vamos extraer el licopeno para luego determinar su rendimiento y como purificarla de ser necesario.

#### **1.4 Estructura de la Tesis**

En el capítulo uno se describe el planteamiento del problema a tratar en la tesis en esta parte se habla desde un punto de vista global, regional y local, a parte se presenta la justificación de la tesis explicando porque se quiere hacer esta tesis. El objetivo de la tesis se divide en dos, el objetivo general que indica lo que se espera obtener de la tesis y los objetivos específicos son los pasos que se va a desarrollar para obtener nuestro objetivo general.

En el capítulo dos se describe de los métodos que utilizaremos para desarrollar la tesis en este capítulo se describe cada método teóricamente, con su respectiva ventaja y desventaja además ejemplos que ayudarán a los lectores a comprender mejor cada paso que se realiza en la parte del desarrollo de la tesis, investigaciones similares que permitan el desarrollo del tema.

El tercer capítulo se inicia el cuerpo de la tesis en esta parte vamos a desarrollar todo lo referente a los métodos para la extracción de licopeno es decir los experimentos que se

llevarán para obtener el mayor rendimiento de licopeno, sin dejar de lado la tratamiento adecuado que llevaremos a cabo para purificar el licopeno extraído.

El cuarto capítulo va destinado a los resultados que se obtuvo en la experimentación según los procedimientos que se aplicaran en la extracción del carotenoide.

En el quinto capítulo se desarrolla el análisis de resultados para nuestro tema, como se logro obtener la mayor cantidad de licopeno según como se desarrollaron los experimentos.

Como último capítulo se tienen las conclusiones y recomendaciones aquí se indica si se cumplió o no con el objetivo de la tesis y algunas recomendaciones para elaborar este proyecto.

# CAPÍTULO 2

## 2. MARCO TEÓRICO

**2.1. Estudio sobre los cultivos de sandía, su manejo postcosecha y clasificación según los daños que presente el fruto.**

La sandía pertenece a la familia Cucurbitácea cuyo nombre científico es *Citrullus lanatus*. Las sandías, según Livingstone, su origen se sitúa en el desierto sudafricano de Kalahari, donde la sandía era una preciada fuente de agua transportable. El fruto es normalmente redondo y de un verde oscuro, aunque también existen variedades alargadas y de un verde más claro que pueden llegar a ser considerablemente más grandes, alcanzando 20 kg de peso. Existe más demanda del primer tipo. La carne es rojiza, firme

y acuosa, llena de semillas, aunque frutos sin semillas están disponibles en el mercado. La tabla 1 nos presenta la composición nutricional.

**Tabla No1. Composición nutricional: 100 g de parte comestible contienen.**

<b>COMPUESTO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Calorías	32
Agua	91.51 g
Carbohidratos	7.18 g
Grasas	0.43 g
Proteínas	0.62 g
Fibra	0.5 g
Cenizas	0.26 g
Calcio	8 mg
Fósforo	9 mg
Hierro	0.17 mg
Potasio	116 mg
Magnesio	11 mg
Tiamina	0.08 mg
Riboflavina	0.02 mg
Niacina	0.2 mg
Ácido ascórbico	9.6 mg

**Fuente:** USDA [http://www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/list\\_nut.pl](http://www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/list_nut.pl)

Las sandías se comercializan enteras o en porciones para consumirse frescas. No existe un proceso industrial importante

para la elaboración de productos derivados de la sandía. Son curiosos algunos usos que se han hecho de la sandía. Por ejemplo, tostar las semillas para ser consumidas como aperitivo, o para conservar la corteza confitada, además del consumo en fresco. La sandía madura debe tener al menos  $8 \pm 2^\circ$  Brix y un pH que va de 5.0-5.7.

El sabor de las frutas es una compleja interacción entre el aroma y la sapidez, el aroma es producido por compuestos volátiles producidos durante la madurez como son los aldehídos, alcoholes, esteroides, terpenos y compuestos sulfurados. Los principales compuestos del aroma de la sandía son los que se muestran a continuación en la tabla 2.

Mientras que la sapidez, está determinada por los principales azúcares presentes en la fruta, para la sandía la sacarosa, la glucosa y la fructosa azúcares mayoritarios encargados de su dulzura. Los ácidos que contribuyen al sabor son: ácido málico, cítrico, y citromálico, oxálico y ascórbico. Con respecto al sabor amargo es proporcionado por las semillas que poseen un grupo de terpenos cucurbitacinas, donde el terpeno es predominante. [14]

**Tabla No. 2 Principales compuestos volátiles en el aroma de sandía**

<b>Esteres</b>	<b>Aldehídos alifáticos</b>
Isoamil acetato	2,4-dinitrofenilhidrazona de acetaldehído
Hexil acetato	(E)-2-decenal
Octil acetato	(E)-2-nonenal
Etil acetato	(E)-2-octenal
2,3 butanodial acetato	(E,E)-2.4-decadienal
Benzil acetato	Decanal
Fenil propil acetato	Haxanal
Fenil etil acetato	Nonanal
Etil hexanoato	<b>Alcoholes</b>
Etil benzoato	Feniletil alcohol
Metil cinamato	Fenilpropil alcohol
Etil meristato	Decanol
Etil 2-metilbutirato	Dodecenol
<b>Terpenos</b>	
Geranil acetona	$\beta$ -cariofileno
$\delta$ -cadineno	Etil $\gamma$ -oxosenecioato
epi- $\alpha$ -cadinol	Neral

**Fuente:** Shalit y col. 2001 y Sisido y col. 1960

### **Manejo del cultivo**

**Preparación Del Suelo:** Se requiere hacer un pase de arado y tres pases de grada y un rastreo. Es importante hacer inicialmente un análisis químico de suelo.

**Siembra:** En Ecuador, la sandía puede sembrarse de Julio a Diciembre, porque en ésta temporada la incidencia de lluvias es menor, aunque en el periodo comprendido entre el mes de noviembre hasta el mes de enero garantiza la cosecha en condiciones de sequía.

**Fertilización:** Los requerimientos de fertilizantes se basan según los resultados del análisis de suelo. En términos generales, el cultivo responde al uso de 1650 libras de Nitrógeno, 180 libras de Fósforo y 120 libras de Potasio, al igual que al uso de Calcio, cuando este elemento está por debajo de los 300 ppm.

Es conveniente aplicar fertilizantes foliares a base de micro elementos a partir de los 20 días después de la siembra a intervalo de 15 días. Así como considerar a los 40 días aplicaciones de calcio y boro para mejorar el desarrollo de los frutos.

Las sandías se clasifican globalmente por diploides y triploides. Las diploides, lisas o rayadas, producen semillas bien formadas. En las triploides, la presencia de semillas es prácticamente nula y

las que pueda haber no son viables. Otra clasificación es por el tipo de fruto: "Sugar Baby" (redonda, de piel verde oscuro y carne roja), "Crimson Sweet" (redonda ligeramente alargada con la piel a rayas), "Ice-Box" (frutos muy redondos relativamente pequeños, con la corteza verde claro con rayas, y la pulpa que puede ser roja o amarilla) y "Charleston Grey" (frutos alargados gris-verde con nervaduras o jaspeado más oscuro).

### **Variedades de la sandia**

La sandia puede ser clasificada de acuerdo a su contenido de semilla, es decir con semilla o sin semilla, o por el color de la pulpa (roja, amarilla o naranja).

Sugar Baby: Redonda, de piel verde-oscuro y carne roja  
Crimson Sweet: Redonda ligeramente alargada con la piel a rayas  
Charleston Grey: Frutos alargados gris-verde con nervaduras o jaspeado más oscuro  
Ice-box: Frutos muy redondos relativamente pequeños, con la corteza verde claro con rayas, y la pulpa que puede ser roja o amarilla.

"Sugar Baby", el tipo más común de sandía incluye las variedades: "Perla Negra", "Toro", "Sugar Belle", "Coral", "Rocío" y "Fabiola".

Del tipo "Crimson Sweet" "Sin Semillas" el líder mundial es "Reina de Corazones". Otras variedades como "Jubilee", "Allsweet", "Peacock", "Triploid Hybrid", "Yellow Meat", "Sindy", "Pepsin", "Emerald", "W691", "Royal Star", "Royal Sweet", "Regency" y "Millionaire" están entrando con fuerza en el mercado internacional. "Charleston Grey" es el tipo más común en el mercado asiático, y variedades como "Big Top", "Super Top", "Top Yield" y "Summer Festival" son las de mayor venta para este mercado.[1]

## **POSTCOSECHA**

**COSECHA:** La sandía o *Citrullus lanatus Thunb.* es un fruto no climatérico y por tanto, para conseguir un grado de calidad óptimo, el fruto debe recolectarse cuando está completamente maduro. La mancha de suelo (la porción del fruto que descansa sobre la tierra) cambia de blanco pálido a amarillo cremoso en el estado apropiado de corte. Otro indicador de cosecha es el marchitamiento (no la desecación) del zarcillo más próximo al área de contacto entre la fruta y el pedúnculo. En los cultivares con semillas, la madurez se

adquiere cuando desaparece la cubierta gelatinosa (arilo) que rodea a las semillas y la cubierta protectora de éstas se endurece. Los cultivares varían ampliamente en cuanto a sólidos solubles en la madurez. En general, un contenido de al menos 10% en la pulpa central del fruto es un indicador de madurez apropiada, si al mismo tiempo la pulpa esta firme, crujiente y de buen color.

### **Operaciones básicas de almacenamiento**

**Recolección:** El fruto esta para cosechar aproximadamente de 30 a 45 días después de iniciada la floración, cuando el zarcillo adherente al pedúnculo del fruto se ha secado. La corteza del fruto, debe estar dura y resistir a la perforación con las uñas. No siempre, estos índices son correctos, por lo que la mejor manera de saber el momento de cosecha es partir unas frutas representativas a la mitad y observar su estado de madurez. Debe procurase cosechar cuando la humedad del ambiente y la humedad en el fruta sea baja para evitar que los frutos se rajen o agrieten. La cosecha se realiza manualmente, cortando el pedúnculo con herramientas bien afiladas, colocando el fruto en

canastillas y en la sombra. Luego son llevados hasta el sitio de acopio y adecuación.

**Pesado y selección:** Se pesa el fruto para conocer su cantidad y así poder establecer rendimientos del cultivo. Se debe seleccionar el producto para separar frutos de baja calidad o frutos que no satisfagan los gustos del consumidor. La selección se puede realizar manualmente por empleados capacitados.

**Clasificación:** Se clasifican los frutos según sus calidades o categorías determinadas por las exigencias del mercado. Se puede hacer por tamaño manualmente, en mesas o bandas transportadoras y se puede hacer mecánicamente solo si se justifica su costo. La clasificación por peso, se realiza cuando el tamaño de las sandías es homogéneo. También se pueden clasificar los frutos según su forma, color y sanidad.

**Pre enfriamiento:** Se realiza para hacer descender, lo más rápido posible, la temperatura que tiene la sandía después de su recolección, hasta una temperatura conveniente para las futuras

operaciones (almacenamiento, empaque, transporte, etc.). Se recomienda bajar la temperatura con aire forzado.

**Limpieza y lavado:** Se realiza para eliminar la suciedad adherida como tierra, insectos y residuos superficiales de plaguicidas. La limpieza se realiza en seco con un simple cepillado. El lavado se realiza con agua potable y si es necesario, la adición de algún desinfectante o funguicida. Se puede hacer por inmersión o aspersion.

**Secado:** Se realiza para remover el exceso de agua y evitar la proliferación de infecciones. Se puede efectuar al aire libre o con la ayuda de ventiladores.

**Tratamiento térmico:** Consiste en sumergir el producto por tiempo limitado en agua caliente para inactivar enzimas, destruir microorganismos y evitar la residualidad de funguicidas. Se debe realizar con extremo cuidado para no causar daño al fruto por exceso de calor.

**Encerado:** Operación opcional que consiste en aplicar una capa de cera a la corteza de la fruta, para proporcionar una protección contra el deterioro de los productos y dar una atractiva apariencia. Además forma una barrera física protectora contra el ataque de microorganismos. Las ceras se pueden aplicar por alguno de los siguientes métodos: por inmersión manual o mecanizada, por espumas o por aspersión. Se prefiere la aplicación de ceras naturales.

**Empaque:** el producto se empaca en guacales de madera, canastos o cestos tejidos, y canastillas para el transporte dentro de la finca. Para la comercialización se recomienda, utilizar canastillas plásticas, que son de fácil manejo, no le causan daño al fruto, son durables, lavables y livianas. También se pueden empacar los productos en cajas de cartón corrugado, especialmente para la exportación, siendo estos livianos, suaves y limpios. Cada unidad de producto se puede empacar en bolsas de polietileno.

**Almacenamiento:** es un fruto no climatérico. En la finca se almacenan en condiciones de baja temperatura, en un sitio fresco y sombreado. En los centros de acopio, mercados mayoristas o

donde se justifique su costo, se utiliza el almacenamiento refrigerado. Se recomienda almacenar a una temperatura entre 10 y 15°C y a una humedad relativa de 90%. Para evitar daños por frío en el producto, nunca se debe almacenar a una temperatura inferior a 7°C. De esta manera se puede conservar al producto entre 2 y 3 semanas después de la cosecha. Se puede almacenar en atmósferas modificadas con condiciones determinadas reguladas.

**Transporte:** en la finca la transportan los hombres, animales o vehículos. Para transportarlos a los mercados distantes, se recomienda realizar el transporte en vehículos refrigerados, aunque se puede hacer en camiones carpados con buena ventilación y se debe realizar en horas frescas. El transporte se puede hacer por vía fluvial o aérea, dependiendo de las distancias, la madurez del fruto, el volumen de producto, las condiciones ambientales del camino y los costos.

**Calidad:** Los requisitos mínimos de calidad son: tener un producto entero, sano (sin rajaduras, plagas ni enfermedades), limpio (sin materiales extraños), con un color típico de la especie y variedad,

de aspecto fresco, sin humedad exterior anormal, exentas de olores y sabores extraños y no deben exceder los límites máximos permitidos internacionalmente (Codex Alimentarius) para los niveles de plaguicidas.

**TEMPERATURA ÓPTIMA:** 10 - 15°C. Generalmente, la vida de almacenamiento es de 14 días a 15°C y de hasta 21 días a 7-10°C. Su gruesa corteza le permite aguantar en condiciones durante bastantes días a temperatura ambiental. Las condiciones comúnmente recomendadas y consideradas como prácticas aceptables de manejo para el almacenamiento de corto plazo o el transporte a mercados distantes (> 7 días) son 7.2°C y 85-90% HR. Sin embargo, a esta temperatura las sandías son propensas al daño por frío.

**HUMEDAD RELATIVA ÓPTIMA:** 85-90 %; generalmente, se recomienda una humedad relativa alta para reducir la desecación y la pérdida de brillo. [2]

A continuación se va mostrar los tipos de daños con que trabajó esta tesis para elegir la fruta de rechazo siendo las fisiopatías

nuestra principal elección para el desarrollo de la tesis siendo el último defecto considerado de nivel 5 máximo daño en la escala de daños que se elaboro para este trabajo ver apéndice B.

## **FISIOPATÍAS DE LA SANDÍA**

Las fisiopatías de la sandía son desórdenes y alteraciones no deseadas en los órganos o tejidos de las plantas de sandía causadas por el clima, la nutrición, problemas fisiológicos, estrés, etc. Estas fisiopatias se ven influenciadas por la susceptibilidad varietal. También es relativamente frecuente que con el paso del tiempo, a partir del daño original (fisiopatías), los propios tejidos afectados actúen como base nutricional sobre la que se desarrollen y detecten organismos vivos como hongos y bacterias saprófitos.

[12]

## **ASFIXIA RADICULAR**

Se produce la aparición de raíces adventicias y marchitamiento general de la planta por un exceso de humedad que provoca

ausencia de oxígeno en el suelo. Puede verse influenciada por: suelo demasiado arcillosos y con mal drenaje, alta salinidad en suelo y 7 o agua, elevada humedad ambiental, mal manejo del riego, etc.

### **RAJADO DEL FRUTO**

Cuando el fruto es pequeño se produce sobre todo por un exceso de humedad ambiental ocasionada por un cambio de temperatura brusco o una mala ventilación. También influyen, pero en menor medida, las fluctuaciones en la conductividad; como se observa en la figura 2.1. [12]



Fig. 2.1 Rajado del fruto

## PLANCHADO DE FRUTOS

Como consecuencia de una fuerte radiación infrarroja, propiciadora de elevadas temperaturas, en la superficie de frutos poco protegidos por el ramaje pueden producirse, en las últimas fases del desarrollo, zonas más o menos amplias de color blanquecino, que deprecian el valor comercial de la sandía al perder su color natural; como se observa en la figura 2.2. [12]



Fig. 2.2 Fruto Planchado

### **AGRIETADO DE FRUTOS O CRACKING**

El agrietado de frutos o cracking se manifiesta en resquebrajaduras, generalmente longitudinales sobre la superficie de los frutos en los últimos estadios de la madurez. Las principales causas suele atribuirse a una disponibilidad fluctuante de agua en el suelo originando un estrés hídrico debido a un riego abundante; también se debe a un exceso del crecimiento del fruto, que puede verse propiciado por una fertilización excesiva en nitrógeno y deficiente en potasio; como se observa en la figura 2.3.



Fig. 2.3 Agrietado de Frutos

### **Pudrición Negra del extremo apical**

Aparece una mancha de color negro en el extremo distal del fruto deprimiendo el área afectada hasta ocupar una área extensa del fruto, siendo su causa la deficiencia de calcio en la planta, ya sea por bajos niveles en el suelo por sequías muy prolongadas que impiden que el calcio sea absorbido por las raíces.

## **2.2. Estudio del periodo estacional, de la producción de sandía y porcentaje de rechazo de postcosecha en el Ecuador.**

### **Estacionalidad de la Producción**

#### **Estacionalidad de la producción para la exportación**

Según fuentes de exportadores la siembra de sandía empieza desde agosto a octubre, la variedad Mickey Lee para exportarla a Europa, entre los meses de octubre a diciembre.

Es importante mencionar que no se registran exportaciones de sandía hacia el mercado estadounidense, por la fuerte competencia de países como México, Costa Rica, Honduras, entre otros.

### **Estacionalidad de la producción local**

La cosecha de la sandía en el mercado interno se da la mayor parte en verano, de Julio a Diciembre, porque en ésta temporada la incidencia de lluvias es menor, para evitar problemas de drenaje, así como de plagas y enfermedades.

En los meses de Enero a Junio, en la estación invernal, los precios suben debido a la poca oferta que hay en el mercado. Pocas zonas se dedican en el invierno a la siembra de la sandía, estas zonas pueden ser: Loja, Manabí, y partes más secas de la Península de Santa Elena.

### **Mercado local**

**Producción y oferta:** En el Ecuador según datos proporcionados por el Censo Agropecuario del año 2000, se sembraron 1,905 ha de sandía como monocultivo, en 1,788 Unidades de Producción Agropecuaria (UPAs). La producción fue de 25,818 Tm.

Además, se sembraron las 363 ha de sandía en cultivos asociados que produjeron 273 Tm. Ver Tabla No.3. [1]

**Tabla No. 3 Cultivos de sandía en el Ecuador**

	<b>Solo</b>	<b>Asociado</b>
Superficie sembrada (hectáreas)	1,905	363
Superficie cosechada (hectáreas)	1,457	237
Producción (Tm. )	25,818	273
Ventas (Tm.)	24,877	160

**Fuente:** Censo Agropecuario 2000.

### **Distribución geográfica de la producción**

Según el Censo Agropecuario del 2000, las principales zonas productoras se encuentran distribuidas casi en su totalidad en la Costa, (Tabla No 4). Guayas que es el mayor productor posee el

48.7% del total de UPAs con una superficie cosechada equivalente al 48.2%, la cual se encuentra concentrada mayormente entre agricultores individuales, mientras que en las UPAs asociadas posee el 27% del total. Luego se encuentra Manabí con 41.0% respecto del total de UPAs y una superficie cosechada equivalente del 44.4% entre agricultores individuales; por otro lado, entre los agricultores asociados registraron en unidades productoras agrícolas el 27% con una área cosechada correspondiente al 14.1%. Los Ríos posee el 3.2% del total de UPAs con una superficie cosechada equivalente al 3.3% correspondiente al los agricultores individuales, y, relacionado a los agricultores asociados, no registra porcentaje alguno. [1]

Los cultivos se adaptan al trópico. Están distribuidos en Manabí (40%), Santa Elena (25%), Guayas (20%) y otras provincias del Litoral (15%). El ciclo productivo comienza con la germinación de la semilla en viveros, durante 12 días. Luego se siembra en suelos ricos en materia orgánica con drenaje adecuado. Todo el ciclo productivo dura unos 75 días. En diciembre, la sandía se comercializó en el mercado local a USD 0,30 por kg. La producción llega, en promedio, a 45 t por ha.

**Tabla No. 4 Productores de sandías por provincias**

Provincia	SOLOS		ASOCIADO	
	UPAs	Superficie Cosechada (ha)	UPAs	Superficie Cosechada (ha)
Guayas	871	704	96	138
Manabí	733	649	96	34
Los Ríos	58	48	3	0
Esmeraldas	18	6	121	12
Tungurahua	1	0	8	31
Galápagos	46	17	11	9
El Oro	19	2	3	2
Otra	43	35	18	15
TOTAL	1789	1461	356	241

**Fuente:** Censo Agropecuario 2000.

### **Niveles de Productividad**

Según FAO, los rendimientos de sandía en Ecuador han sido aproximadamente de 17,171 kg/ha en promedio anual entre 1997 y el 2001. Como se observa en la figura 2.4, hay una tendencia de aumento en los últimos años con un crecimiento promedio anual en el rendimiento del 42%. Esto significó un incremento de 7,179 kg/ha en 1997 a 25,847 kg/ha en 2001, seguramente debido a una mejor utilización de tecnología.

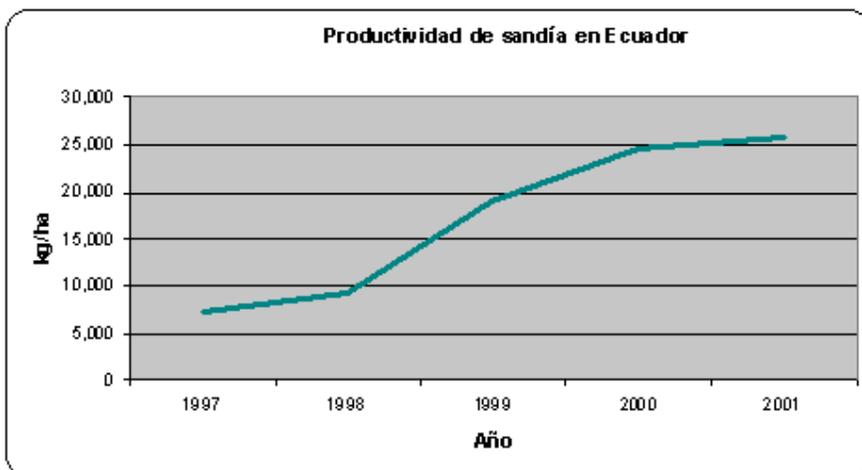


Fig. 2.4 Productividad de Sandía en Ecuador

Características cuantitativas y cualitativas de la "Demanda Potencial" y "Consumo aparente". Para estimar el Consumo Aparente se tomo en cuenta los datos de la FAO, aplicando una ecuación que esta en función de la Producción más las Importaciones y menos las Exportaciones, que es equivalente a la demanda local.

En Ecuador el consumo de la sandía es generalmente como fruta fresca. Como se puede observar el Consumo Aparente ha aumentado de 5,637 Tm en el año 1997 a 29,760 Tm en el 2001, es decir registró un crecimiento en los últimos cinco años de 74%

aproximadamente. Esto se debe a un claro aumento en la producción de la sandía en el país, que en los años 2000 y 2001 tuvo un aumento de casi cuatro veces más con relación al año 1997. Se debe resaltar también que el único año en que se registraron importaciones modestas de sandia fue en 1998. En cuanto a las exportaciones, se nota un comportamiento irregular; en 1997 fue de 12,310 Tm y se redujo a 9.347 Tm en 2001.

Según datos de la SICA en el año 2000 la producción de sandía fue de 26091 Tm, según la FAO las pérdidas post cosecha, que se registraron en Ecuador debido a magulladuras o deformaciones fue de un 15% a un 25% [1]. En el caso del 25% de 26091 Tm es 6522,75 Tm ó 6'522.750 kg y en el caso del 15% es 3913,65 Tm ó 3'913.650 kg ese sería el volumen de rechazo que existiría en el Ecuador.

Con la presente información recogida por III Censo Nacional Agropecuario en las 162.818 Unidades de Producción Agropecuaria investigadas, en todas las provincias del país se puede ver el porcentaje de rechazo de postcosecha en el Ecuador (tabla 5).

Según datos de la Asociación de Productores Hortifrutícolas de la Costa (Ashofruco), hay cerca de 600 ha de cultivos. De ese total, 500 ha se destinan a la siembra de la variedad Charleston para el consumo interno y 100 ha para la variedad Quetzali, de exportación.

**Tabla No. 5 Superficie perdidas y causas de perdidas en los cultivos de sandia**

CULTIVOS TRANSITORIOS		TOTAL HECTAREAS	Superficie Perdida (Hectáreas)						
			Sequia	Helada	Plagas	Enfermedades	Inundación	Precio bajo	Otra
Sandía	Solo	448	395	*	*	*	*	,	*
	Asociado	125	110	*	*	*	,	,	*

**Fuente:** Censo Agropecuario 2000. (INEC, SICA, NASS y USDA)

### 2.3. Pigmentos

El color es una característica de gran importancia. Cada alimento tiene un color característico y definido. Los colores se deben a diferentes compuestos orgánicos, generalmente de origen vegetal.

### 2.3.1 Carotenoides

Compuestos orgánicos liposolubles de cadenas largas, no saturados, responsables de colores brillantes como amarillo, naranja y rojo. Se pueden dividir en dos grupos: carotenos y xantofilas (forma oxigenada de los carotenos). Pueden estar libres o formando complejos con proteínas, carbohidratos y ac grasos. Ej Pigmento del azafrán (crocina – 2 molèculas de gentobiosa unidas a la crocetina).

**Estabilidad.-** Son alterada o parcialmente destruidas por ácidos.

- Estables a las bases.
- Sensibles a la luz y ciertas enzimas
- Estables a tratamientos de calor
- Se pierden rápido en deshidratación (oxidación) conducen a decoloraciones.
- La oxidación puede ser por oxígeno o por enzimas como las lipoxigenasas.

- La oxidación se acelera por temperatura, presencia de metales, luz y enzimas y se reduce por antioxidantes y ac ascórbico. Le protege también el EDTA (etilén diamino tetraacético)
- Como son precursores de la vitamina A, la pérdida ocasiona reducción de valor nutritivo.
- Lipofílicos, insolubles en agua, pérdidas por lixiviación en lavado y procesamiento son mínimas. Se unen a superficies hidrofóbicas.
- Para protegerlo se puede usar dióxido de azufre y sulfitos.

**Usos.-** Se emplea en extractos naturales como sintéticos

El FDA ha aceptado 3 carotenoides como aditivos: beta caroteno – color amarillo al naranja, el beta apo-8-carotenal – color del naranja al rojo, cantaxantina – color rojo.

En productos grasos: margarinas, mantequilla, aceites.

En productos acuosos: bebidas, sopas, lácteos, jarabes, cárnicos.

### 2.3.2 Licopeno

El **licopeno** es un pigmento vegetal, soluble en grasas, que aporta el color rojo característico a los tomates, sandías y en menor cantidad a otras frutas y verduras. Pertenece a la familia de los carotenoides como el  $\beta$ -caroteno, sustancias que no sintetiza el cuerpo humano, sino los vegetales y algunos microorganismos, debiéndolo tomar en la alimentación como micronutriente. El código alimentario asignado por la Unión Europea a esta sustancia es **E-160d** como lo indican las directivas que se muestran en el apéndice A.

#### **Composición química del licopeno**

El licopeno es uno de los primeros carotenoides que aparecen en la síntesis de este tipo de compuestos, constituyendo la base molecular para la síntesis de los restantes carotenoides. El licopeno es un carotenoide de estructura sencilla con una cadena alifática formada por cuarenta átomos de carbono como se puede ver en la figura 2.5. El licopeno es un carotenoide altamente

lipofílico que se caracteriza por carecer de anillos cíclicos y poseer un gran número de dobles enlaces conjugados.

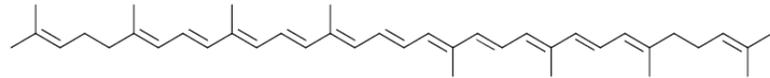


Fig. 2.5 Estructura molecular del licopeno

### **Fuentes del licopeno**

En nuestra dieta obtenemos licopeno a partir de alimentos muy definidos, fundamentalmente a través del consumo de tomate y derivados (salsas, ketchup, pizzas, zumos); sandía.

El contenido en licopeno aumenta con la maduración de los tomates y puede presentar grandes variaciones según la variedad, condiciones del cultivo como el tipo de suelo y clima, tipo de almacenamiento, etc. La cantidad de

licopeno depende de la fuente que provenga como podemos observar en la tabla 6.

**Tabla No. 6 Contenido de licopeno en algunos productos**

<b>Producto</b>	<b>Licopeno (mg /100 g)</b>	<b>Tamaño de la porción</b>	<b>Licopeno (mg /ración)</b>
Zumo de tomate	9.5	250 ml	25.0
Salsa de tomate (kétchup)	15.9	15 ml	2.7
Salsa para spaghetti	21.9	125 ml	28.1
Pasta de tomate	42.2	30 ml	13.8
Sopa de tomate (condensada)	7.2	250 ml preparada	9.7
Salsa de tomate	14.1	60 ml	8.9
Salsa de chile	19.5	30 ml	6.7
Salsa para mariscos	17.0	30 ml	5.9
Sandia	4.0	368 g (1 rebanada 25 x 2 cm.)	14.7
Pomelo rosa	4.0	123 g (1/2)	4.9
Tomate crudo	3.0	123 g (1 mediano)	3.7

**Fuente:** [www.lycopene.org](http://www.lycopene.org)

La facilidad con la que incorporamos el licopeno a nuestro organismo, es decir, su biodisponibilidad, es diferente según la forma en que lo consumamos, así por ejemplo cuando se toma con aceite se facilita su absorción. Las investigaciones confirman que la absorción intestinal del licopeno es mucho mejor (hasta 2,5 veces más) si se consume cuando se calienta como las salsas que como fruta natural o zumo, debido a que el licopeno se absorbe mejor a través de las grasas y aceites por su liposolubilidad, las temperaturas altas, rompen las paredes celulares del fruto, que son las que dificultan la absorción del licopeno. El licopeno se encuentra presente en el organismo humano tanto en sangre en cantidad de 30 µg/dl como en tejidos, distribuyéndose de forma variable.

El licopeno es el carotenoide predominante en la composición de los tejidos humanos, concentrándose especialmente en la próstata, lo que podría explicar su fuerte acción preventiva en la aparición de cáncer de próstata.

### ***Mecanismo de acción del licopeno***

El licopeno posee propiedades antioxidantes, y actúa protegiendo a las células humanas del estrés oxidativo, producido por la acción de los radicales libres, que son uno de los principales responsables de las enfermedades cardiovasculares, del cáncer y del envejecimiento ver apéndice E. Además, actúa modulando las moléculas responsables de la regulación del ciclo celular y produciendo una regresión de ciertas lesiones cancerosas.

No se conoce exactamente las bases biológicas ni fisicoquímicas de estas propiedades, pero parecen directamente relacionadas con el elevado poder antioxidante del licopeno, mucho más que otros antioxidantes como la vitamina E o el  $\beta$ -caroteno. Un gran número de procesos cancerígenos y degenerativos están asociados a daños oxidativos sobre el genoma y los mecanismos genéticos de control de la proliferación y diferenciación celular. El licopeno actuaría como un potente neutralizador de radicales libres (óxido y peróxido) atenuando los daños oxidativos sobre los tejidos.

### ***Beneficios del licopeno***

Cada vez existen más estudios epidemiológicos que sugieren que el consumo de licopeno tiene un efecto beneficioso sobre la salud humana, reduciendo notablemente la incidencia de las patologías cancerosas sobre todo, de pulmón, próstata y tracto digestivo, cardiovasculares y del envejecimiento. También existen evidencias científicas de que previene el síndrome de degeneración macular, principal causa de ceguera en la gente mayor de 65 años.

Un estudio realizado por investigadores de la Universidad de Harvard **J Natl Cancer Inst. 2002 Mar 6; 94(5):391-8**, reveló que el consumo de licopeno redujo en un 45% las posibilidades de desarrollar cáncer de próstata en una población de 48.000 sujetos que tenían en su dieta por lo menos 10 raciones semanales de tomate o subproductos de éste. La investigación duró seis años. Otras investigaciones descubrieron que el licopeno también reduce los niveles de colesterol en forma de lipoproteína

de baja densidad (LDL), que produce aterosclerosis, por lo que la ingesta de tomates reduce la incidencia de enfermedades cardiovasculares.

Los primeros estudios se centraron en los beneficios que aportaban en la prevención de ciertos cánceres, mostraban que aquellas personas que lo consumían con frecuencia estaban menos expuestas a cánceres que afectaban al sistema digestivo y al reproductor tales como el de colon y de próstata.

Otros posteriores venían a demostrar las propiedades del antienviejimiento del licopeno. Un ejemplo es el llevado a cabo con un grupo de 90 monjas, en el sur de Italia, con edades comprendidas entre los 77 y los 98 años. Aquellas con índices mayores de licopeno en la sangre tenían una mayor agilidad a la hora de realizar todo tipo de actividades.

Se estima que en España, a partir de frutas y hortalizas frescas, la cantidad de licopeno consumido es de aproximadamente 1,3 mg/persona/día.

El que haya muchas pruebas que muestran que el licopeno contenido en nuestra dieta es beneficioso para nuestra salud, no quiere decir que si lo ingerimos de forma aislada en forma de pastillas o cápsulas vaya a mejorar nuestra salud o podamos evitar ciertas enfermedades. Todavía habría que realizar muchos estudios antes de poder hacer recomendaciones para consumirlo aisladamente como suplemento dietético. Pero lo que sí se puede recomendar es aumentar su ingesta a partir de las frutas y hortalizas.

### ***Utilidad del licopeno***

No se han descrito problemas de toxicidad ante un aumento en la ingesta dietética de licopeno, salvo en la carotenodermia. Hay que ser un tanto escépticos ante las "prometedoras" perspectivas derivadas de los diferentes

tipos de estudios epidemiológicos, ya que hay varios aspectos que necesitan más información, como son:

- Un mayor estudio en relación con sus funciones o actividades en el organismo humano, ya que hay muy pocos estudios en personas utilizando licopeno en cantidades superiores a las habituales en la alimentación, así como durante períodos de tiempo prolongado.
- Los estudios epidemiológicos no pueden establecer relaciones de causalidad; se necesitan estudios experimentales.
- Hay que recordar los resultados negativos que la intervención con otros carotenoides en determinados grupos de población, por ejemplo el  $\beta$ -caroteno utilizado en la prevención de cáncer de pulmón en fumadores, con el resultado de aumento en la incidencia de esta enfermedad.

### ***Lycopeno como colorante***

Al ser tan común, el uso del licopeno ha sido permitido como colorante alimenticio. Debido a la insolubilidad del licopeno en el agua y a que se encuentra estrechamente ligado a la fibra vegetal, su disponibilidad ha aumentado con el uso de las comidas procesadas. Por ejemplo, el cocinar tomates para guisos o guisados (similar a las salsas de tomate enlatadas) y servirlos en platos ricos en aceites (como salsas para pastas o pizza) incrementa la asimilación del licopeno hacia el torrente sanguíneo.

El licopeno mancha instantáneamente cualquier superficie medianamente porosa, incluyendo la mayoría de los plásticos. Mientras que las manchas de tomate se pueden limpiar con facilidad de las telas (cuando las manchas aún están frescas), los plásticos manchados desafían todos los esfuerzos para quitar el licopeno con agua caliente, jabones o detergentes (aunque los productos blanqueadores lo destruyen). Los plásticos son especialmente susceptibles de ser manchados si son

calentados, sufren arañazos, mojados en aceite, o atacados por ácidos (como los encontrados en los tomates).

#### **2.4. Métodos de extracción**

Las tecnologías o métodos para la obtención de ingredientes bioactivos, debido a que algunos traen características particulares que deben ser aprovechados para el consumo de las personas.

- Extracción Soxhlet
- Extracción con disolventes orgánicos
- Extracción CO<sub>2</sub> supercrítico
- Solubilización directa
- Pulsos eléctricos de alta intensidad.

**Deshidratación.** La deshidratación posiblemente es la forma más extendida de conservar alimentos a nivel general. Es un proceso aparentemente simple, pero que involucra varios mecanismos de transferencia de calor y materia, que operan en forma simultánea. Eso originó el desarrollo de diversos equipos.

Para el método que se piensa escoger debemos deshidratar la muestra para luego extraer el licopeno. [7]

Los pigmentos carotenoides son compuestos responsables de la coloración de gran número de alimentos vegetales y animales. Numerosos estudios publicados recientemente han demostrado el efecto beneficioso de estos compuestos en la salud humana, por lo que, desde un punto de vista nutricional, resulta de gran importancia conocer qué factores intervienen en la degradación de los carotenoides, ya que su pérdida, además de producir cambios de color en el alimento, conlleva una disminución de su valor nutritivo. La inestabilidad de los carotenoides se debe al hecho de que son compuestos altamente insaturados, degradándose fundamentalmente debido a procesos oxidativos. Otros factores como la temperatura, la luz o el pH también pueden producir importantes cambios cualitativos en estos compuestos debido a reacciones de isomerización. [8]

El extractor Soxhlet (fig. 2.6) o simplemente Soxhlet es un tipo de material de vidrio utilizado para la extracción de compuestos,

generalmente de naturaleza lipídica, contenidos en un sólido, a través de un solvente afín.

El tomate seco y molido se somete a extracción con hexano, etil acetato, acetona y etanol, en un equipo de extracción soxhlet, con baño de aceite a una temperatura mayor a la de ebullición del solvente a utilizar. La relación material vegetal/solvente es 20.0 g/120 mL, realizando un número de 10 reflujos y cubriendo los equipos con papel de aluminio para preservar la muestra de la luz.

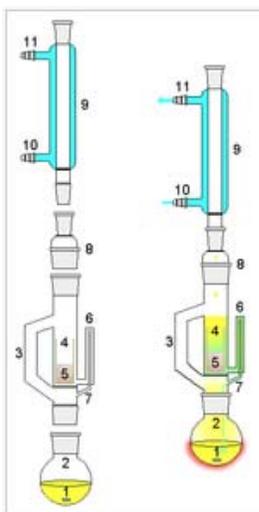


Fig. 2.6 Extractor Soxhlet

### **Extracción con disolventes orgánicos, del licopeno del tomate fresco**

Para la determinación de las condiciones más apropiadas en la extracción del carotenoide licopeno de tomate fresco, se utiliza como solvente etil acetato, el más apropiado para la aplicación de esta tecnología en la extracción de esta sustancia, utilizando como medio de calentamiento un baño de aceite. [11]

Este proyecto dio una idea para desarrollar un proceso similar para la sandía y conocer los rendimientos que se puede esperar del licopeno según el solvente que se utilice.

### **Solubilización Directa**

Un procedimiento alternativo para obtener formulaciones ricas en licopeno mediante solubilización directa, basado en el carácter liposoluble del licopeno. En este nuevo procedimiento se expone una materia prima rica en licopeno directamente a la acción solubilizante del aceite o grasa que se quiera utilizar en la formulación final, obteniéndose de un modo sencillo y rápido un producto rico en licopeno con la proporción adecuada de licopeno

para una fácil y segura administración del mismo y sin la utilización de ningún agente químico intermediario. Es decir, en la preparación de dicho producto sólo se ha utilizado la fuente de licopeno y la grasa o aceite base de la formulación final o, - lo que es lo mismo, el producto obtenido está libre de cualquier disolvente orgánico o agente químico extraño a la formulación final.

Así pues, la presente invención proporciona un procedimiento para la obtención de una formulación rica en licopeno libre de disolventes orgánicos que comprende: (a) mezclar una fuente de licopeno con un lípido extractante; y (b) separar la fase lipídica obtenida en la etapa (a) para obtener la formulación rica en licopeno libre de disolventes orgánicos; en el que la mezcla de la etapa (a) se efectúa en ausencia de disolventes orgánicos.

### **Extracción con fluidos supercríticos**

La industria agroalimentaria está buscando la mejor técnica de separación para obtener extractos naturales de gran pureza, que

son utilizados en una gran diversidad de aplicaciones; al mismo tiempo, es necesario garantizar que tanto los productos extractados como los extractos en sí no provoquen riesgos para la salud pública y que sean de una calidad excelente.

Las tecnologías actuales para la obtención de extractos alimentarios generalmente utilizan disolventes orgánicos, que comportan un riesgo debido a su toxicidad, a su poder inflamable y a los residuos que generan.

La extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico está plenamente implantada a escala comercial en la obtención del lúpulo para la elaboración de cerveza, la obtención de aromas y sabores de especias y hierbas aromáticas, y café y té sin cafeína. Además, varios procesos se encuentran en fase de expansión, como son la obtención de bebidas sin alcohol, productos animales sin colesterol y aceites de semillas.

## **Fundamentos de la extracción con fluidos supercríticos**

La extracción con fluidos supercríticos es una técnica de separación de sustancias disueltas o incluidas dentro de una matriz, basada fundamentalmente en la capacidad que tienen determinados fluidos en estado supercrítico (FSC) de modificar su poder disolvente.

El poder disolvente de los FSC puede ser elevado, dependiendo de las condiciones de presión y temperatura aplicadas que permiten la disolución selectiva de sustancias determinadas en el FSC. Las sustancias seleccionadas se separan fácilmente del fluido supercrítico. La extracción se realiza sin cambios de fase, simplemente variando las condiciones de presión y/o temperatura de los FSC.

Las condiciones de operación de los fluidos supercríticos son líquidos o gases en condiciones ambientales, llevados a unas condiciones operativas de presión elevada y temperatura moderada, por encima de su punto crítico. La propiedad más

importante que presentan es su elevado poder disolvente en estado supercrítico.

Como se observa en la figura 2.7, los tres estados de la materia están separados por líneas que representan los equilibrios sólido-líquido o de fusión, sólido-gas o de sublimación y líquido-gas o de vaporización. También aparecen dos puntos característicos: el punto triple, donde coexisten los tres estados, y el punto crítico, al final de la curva de vaporización, caracterizado por una presión crítica,  $P_c$ , y una temperatura crítica,  $T_c$ .

En el punto crítico dejan de existir las fases líquida y gaseosa como tales y aparece una nueva fase, la llamada *fase supercrítica*, donde el poder disolvente puede ser bajo o alto, sin que se produzca un cambio de fase, sólo realizando pequeñas variaciones de presión y temperatura.

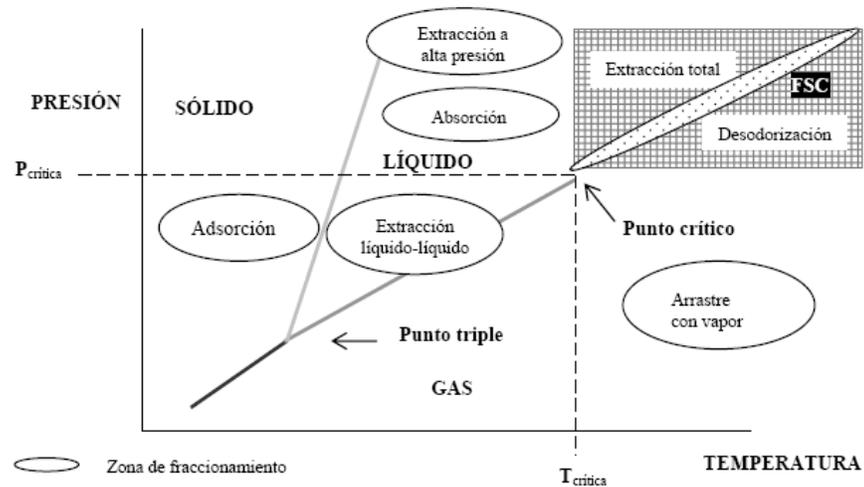


Fig. 2.7 Esquema representativo del diagrama de presión-temperatura de los estados de la materia

**a) El poder disolvente de los FSC. La densidad**

El poder disolvente de una sustancia pura depende, en gran parte, de su densidad.

La densidad de los FSC puede ser modificada de forma continua; por tanto, también lo puede ser su poder disolvente, simplemente variando moderadamente la presión y/o la temperatura, dado que en el proceso no se producen cambios de fase.

**b) Transferencia de materia. Viscosidad y difusividad.**

La transferencia de materia de los FSC es elevada, lo cual permite una extracción rápida y eficaz del extracto de su matriz. Ésta viene definida por dos propiedades, que son la viscosidad y la difusividad.

**2.5. Revisión de proyectos similares**

El proyecto Extracción del Carotenoide Licopeno del Tomate Chonto trata sobre como el licopeno, al cual el tomate debe su tonalidad roja, además de presentar grandes propiedades como colorante, es un poderoso antioxidante que ayuda a combatir enfermedades degenerativas. Debido a la importancia que se ha venido dando al licopeno por sus propiedades, en esta investigación se comparan los métodos de extracción arrastre con vapor y extracción con solventes, con base en el rendimiento obtenido y el pretratamiento dado a la muestra vegetal, caracterizando los extractos obtenidos mediante espectrometría visible UV. Además, se desarrollan extracciones para determinar

tanto el contenido de licopeno en tomate chonto *Lycopersicum esculentum*, como otros parámetros del proceso de extracción: temperatura, relación masa de pulpa de tomate a volumen de solvente, tiempo de extracción y número de etapas. [11]

Nos describe el pretratamiento que recibe la muestra en este caso los tomates frescos que se sometieron a un proceso de adecuación según el método que va a utilizar, de modo que le facilita el proceso de extracción por la concentración de los carotenoides, especialmente el licopeno, presente en los frutos mediante la eliminación de la humedad o del agua contenida en estos; además, el pretratamiento permite una mejor manipulación de la muestra y una mejor aplicación del método de extracción. Para la extracción soxhlet, los tomates se trocearon en casquillos entre 0.4 y 0.5 cm. de espesor (utilizando el fruto completo: piel, pulpa y semillas), luego se sometieron a secado en un secador de túnel con vapor, durante 6 horas a una temperatura inferior a los 60°C para evitar la descomposición del carotenoide. El material seco se muele en un molino de cuchillas para obtener un tamaño de partícula entre 0.5 y 1.7 mm. [11]

Para la extracción con solventes por etapas de licopeno de tomate fresco los frutos maduros se licuan y posteriormente se filtran al vacío con un filtro Büchner y se elimina el 58.26 % en peso del agua contenida en los tomates; la pulpa concentrada es refrigerada para luego ser utilizada en la extracción de dicho carotenoide.

Otro proyecto que fue de gran ayuda es el de “Conservación de Jugo de Sandía Aplicando Irradiación Ultravioleta de Onda Corta” con el que encontramos los aspectos microbiológicos de los jugos de frutas, la flora nativa para la sandía se encuentra conformada principalmente de bacterias mesófilas, aerobias, mohos y levaduras; la diferencia es que el jugo de sandia recibe un tratamiento no térmico para mejorar su calidad según los estudios que realizaron. [9]

# CAPÍTULO 3

## 3. Pruebas Experimentales

La sandía que se uso en este trabajo pertenece a la variedad Charleston y su selección fue según el criterio de clasificación que se decidió para esta tesis ver apéndice B. Donde 1 representa la fruta de rechazo post cosecha con mínimos daños en su fisiología y 5 a la que mayor daños presente según las fisiopatias presentadas en la tabla 7, sus ilustraciones están en el apéndice B, a pesar de sus exteriores magullados, deformados o descolorados, estos frutos pueden ser una fuente valiosa del licopeno, ya que la apariencia exterior no tiene ningún efecto en su contenido nutritivo. Se realizó un control de las especificaciones físicas, químicas y organolépticas ver capítulo 4.

Se determinó la relación masa de lípido extractante/masa de pulpa de sandía y determinación del mejor tiempo de agitación.

**Tabla No.7 Clasificación de daños**

<b>Categoría</b>	<b>Defectos</b>
1	Planchado
2	Planchado y Rajado
3	Rajado tipo 1
4	Rajado tipo 2
5	Pudrición Negra

Elaborado por: Jorge Valdiviezo, 2010

### **3.1 Extracción del pigmento**

De todos los procedimientos antes descrito de extracción se selecciono dos el método 1 es la extracción mediante disolventes orgánicos y el método 2 es mediante la solubilización directa aprovechando las propiedades liposolubles del licopeno para extraerlo con ayuda de un lípido extractante, en la figura 4.3 se detalla el proceso.

El método de extracción soxhlet se descartó debido a que es más efectivo con una muestra seca por lo que se intento secar la sandía, ver apéndice G, donde se observó que el producto final no

es el deseado para que el etanol extraiga el licopeno. Para el método soxhlet se debe realizar una etapa previa de deshidratación de la fuente de licopeno. Un alto contenido en humedad dificulta el proceso es necesario disminuir la humedad de la fuente de licopeno de modo que esté por debajo del 75% en peso. Se debe comenzar por una reducción de la cantidad de agua a muy bajo nivel y posteriormente la extracción con solventes no polares en presencia de solventes polares.

### **3.1.1 Pre-tratamiento de la muestra**

#### **Método 1**

Para la extracción mediante disolventes orgánicos, la sandía se troceara en cubos de 1 cm, separando del fruto la cáscara y semillas, también se realizara otra muestra licuada de la sandía para después mezclar con el etanol.

#### **Método 2**

Para la solubilización directa se procede al despulpado de la sandía separando la cáscara y semillas, se licua la pulpa mediante un colador se refina la muestra.

### 3.1.2 Extracción de licopeno

#### Método 1

- 1) Pesar 50 g de muestra en un vaso precipitado y añadir 100 ml de etanol a temperatura de ebullición.
- 2) Se agita la mezcla durante 10 a 15 min hasta que se homogenice.
- 3) Dejar reposar 24 h aproximadamente, formándose 2 fases, fase superior la orgánica y la inferior.
- 4) Recuperar la solución de etanol y enfriar la citada solución para obtener los cristales de licopeno.
- 5) Filtrar la citada solución para recuperar los cristales de licopeno.
- 6) La oleoresina obtenida se calienta para evaporar el etanol y se almacena en un vial de topacio.

#### Método 2

- 1) Pesar un vaso de precipitación. Anotar el resultado como m1.

- 2) Tomar 100 ml de muestra, colocar en el vaso precipitado previamente pesado, pesar nuevamente y anotar el resultado como m2.
- 3) Pesar un vaso de precipitación. Anotar el resultado como m3.
- 4) Tomar 100 ml de lipido extractante (aceite comestible), colocar en el vaso precipitado previamente pesado, pesar nuevamente y anotar el resultado como m4.
- 5) Pesar un vaso de precipitación. Anotar el resultado como m5 y añadir los 100ml de muestra con los 100 ml de lípido extractante (aceite comestible), pesar la mezcla y anotar como m6.
- 6) Mezclar la muestra y el lípido extractante durante 15 min hasta que se homogenice.
- 7) Colocar la mezcla homogénea en un embudo de decantación.
- 8) Pesar un vaso de precipitación. Anotar el resultado como m7.
- 9) Colocar el suero blanco que se obtiene de la decantación en el vaso precipitado previamente pesado, pesar nuevamente y anotar el resultado como m8. Ver fig 4.3

### 3.1.3 Determinación del porcentaje del licopeno obtenido

Para el método 1 mediante disolventes orgánicos la determinación se realizó con la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{peso de la oleorresina}}{\text{peso inicial de la muestra}} * 100 \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Para el método 2 mediante solubilización directa la figura 3.1 demuestra el comportamiento del licopeno con el uso de un lípido extractante. [15]

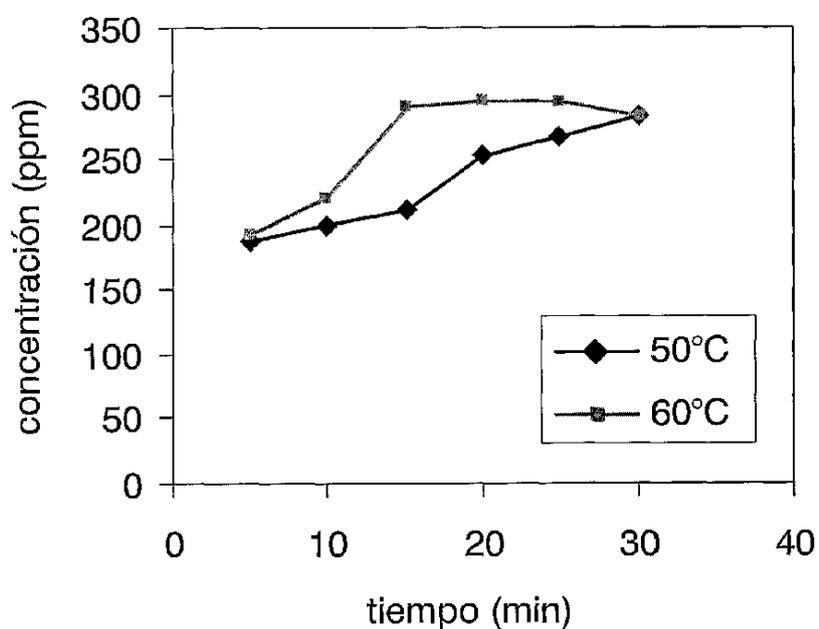


Fig. 3.1 Diagrama de concentración del licopeno vs. Tiempo [15]

## **3.2 Aplicaciones del licopeno**

### **3.2.1 Tipos de alimentos que pueden ser enriquecidos con licopeno**

Las investigaciones científicas sobre los beneficios que aportan diversos componentes de los alimentos, así como el creciente interés que muestran los consumidores por el papel que ejerce la alimentación en su estado de salud, hace que la industria alimentaria ofrezca continuamente nuevas variedades de alimentos que responden a la demanda por parte de la población de prevenir enfermedades y mantener una buena salud.

Los zumos de frutas son uno de los productos utilizados desde hace varios años como vehículo de nutrientes y otras sustancias que han demostrado tener algún efecto beneficioso sobre el organismo. Estos zumos enriquecidos se engloban dentro del concepto de alimentos funcionales.

Las formulaciones de la invención (solubilización directa) pueden ser utilizadas en la elaboración de diferentes productos (mayonesa, aliños de ensalada, salsas, margarinas, etc.) que pasarían a ser nuevas fuentes de licopeno en la alimentación, con el consiguiente valor añadido para el industrial y el beneficio dietético para el consumidor. [15]

Por ejemplo, para la obtención de formulaciones de aceite de oliva ricas en licopeno libres de disolventes orgánicos para ser consumidas directamente como aliño de ensalada; obtención de formulaciones de aceite de girasol ricas en licopeno libres de disolventes orgánicos para la preparación de mayonesa.

### **3.3 Procedimientos para purificar el licopeno extraído**

El proceso para purificar el licopeno de otros materiales que hubiesen sido extraídos conjuntamente con el sustrato de interés, haciendo uso de cromatografía de columna, las columnas más empleadas son las de tipo C18 y C30, permitiendo estas últimas la

separación de distintos isómeros. En cuanto a las fases móviles, pueden incluir disolventes como acetonitrilo, metanol, 1-butanol, 2-propanol, acetato de etilo, THF, agua, diclorometano, entre otras. Ver tabla No 8.

El proceso de solubilización directa no es necesario purificar el licopeno de otros materiales, debido a que es una formulación rica en licopeno que se utiliza directamente para el desarrollo de productos alimenticios. Los componentes de la mezcla a separar invierten un tiempo diferente en recorrer cada una de las fases, con lo que se produce la separación.

Si un componente está la mayor parte del tiempo en la fase móvil el producto se mueve rápidamente, mientras que si se encuentra la mayor parte en la fase estacionaria, el producto queda retenido y su salida es mucho más lenta.

Tabla No.8 Tipos de fases

<b>Tipo</b>	<b>Fase estacionaria</b>	<b>Fase móvil</b>
<b><i>líquido-sólido</i></b>	sólido inerte como gel de sílice o alúmina	disolventes
<b><i>intercambio iónico</i></b>	resina cambiadora	soluciones acuosas
<b><i>líquido-líquido</i></b>	líquido adsorbido en un soporte sólido	líquido
<b><i>gas-líquido</i></b>	película de líquido adsorbida sobre un soporte sólido	gas

Elaborado por: Jorge Valdiviezo, 2010

El orden aproximado de elución de compuestos es el que se indica y la polaridad de los disolventes se recoge en la figura 3.2.

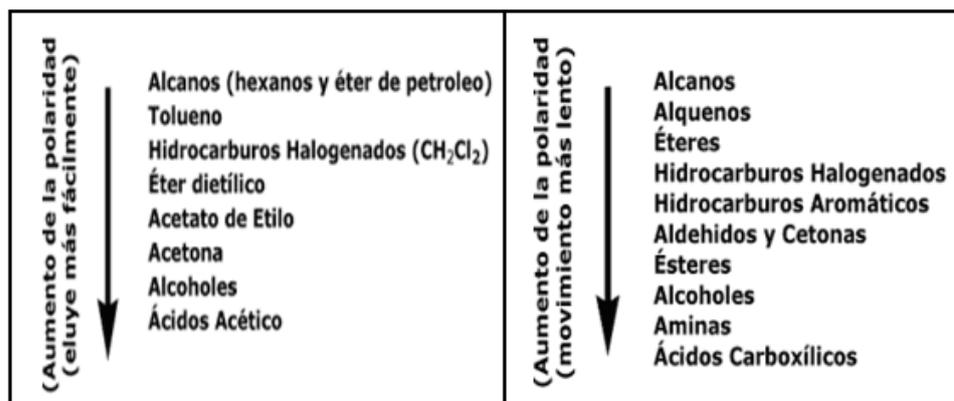


Fig. 3.2 Orden aproximado de elución de compuestos

# CAPÍTULO 4

## 4. Resultados

- **Caracterización de la materia prima.**

El control de las especificaciones físicas se realizó con una incertidumbre de  $\pm 0,1\text{g}$  para el peso ver tabla 9; las especificaciones químicas con una precisión de  $\pm 0,01$  unidades de pH, los grados Brix con una escala entre 0 y 30 por lectura directa, los resultados fueron expresados como % de sólidos solubles.

Para determinar la humedad inicial de la sandía se utilizó una balanza de determinación de humedad equipada con una lámpara infrarroja, donde se lee directamente el contenido de humedad con una lectura:  $0.001\text{ g} - 0.01\%$  y la actividad de agua con una precisión de  $\pm 0.003\text{ aw}$  ver tabla

10. Mientras que para las características organolépticas se realizó una evaluación subjetiva ver tabla 11.

**Tabla No. 9 Características físicas de la sandía**

Nº Muestra	Peso (g)
1	2392
2	2591
3	2480
<b>Promedio</b>	2488

Elaborado por: Jorge Valdiviezo, 2010

**Tabla No. 10 Características químicas de la sandía**

Nº Muestra	Ph	º Brix	Humedad (%)	Aw
1	5,38	9,30	90,79	0,999
2	5,54	8,80	92,35	0,994
3	5,34	8,40	91,40	0,996
<b>Promedio</b>	5,42	8,83	91,51	0,996

Elaborado por: Jorge Valdiviezo, 2010

**Tabla No. 11 Características organolépticas de la sandía**

Nº Muestra	Consistencia	Cáscara	Pulpa	Olor
1	Duro	Verde claro	Rojo	Normal
2	Duro	Verde claro	Rojo claro	Normal
3	Duro	Verde amarillo	Rojo	Normal

Elaborado por: Jorge Valdiviezo, 2010

- **Rendimiento de la sandía**

Durante el procesamiento de la sandía para la extracción del licopeno se presentaron los siguientes rendimientos en la tabla 12 se detallan.

**Tabla No. 12 Rendimiento de la sandía en el pre tratamiento**

<b>Nº Muestra</b>	<b>Peso Inicial (g)</b>	<b>Peso Cáscara (g)</b>	<b>Peso Fibra y Semillas (g)</b>	<b>Peso Pulpa (g)</b>	<b>Peso Final (g)</b>	<b>Rendimientos (%)</b>
1	2392,00	720,00	269,00	1372,00	2361,00	98,70
2	2591,00	641,00	266,00	1628,00	2535,00	97,84
3	2256,00	822,00	213,00	1162,00	2197,00	97,38
<b>Promedio</b>	2413,00	727,67	249,33	1387,33	2364,33	97,98

Elaborado por: Jorge Valdiviezo, 2010

- **Extracción con disolventes orgánicos**

El método 1 se obtuvo los siguientes rendimientos que se presentan en la tabla 13, donde el peso de la muestra fue de 100 g. La relación fue 1:2 (jugo de sandía: etanol) [11].

**Tabla No. 13 Rendimientos de oleorresina**

Nº Muestra	Oleorresina (g)	Rendimiento (%)
1	0,591	0,591
2	0,466	0,466
3	0,567	0,567
<b>Promedio</b>	0,5413	0,5413

Elaborado por: Jorge Valdiviezo, 2010

- **Solubilización Directa**

Durante la experimentación de esta tesis se trabajó con una relación 1:1 (aceite: jugo de sandía), no se uso otra relación por la dificultad en separar la fibra del jugo de sandia del aceite, debido a que una relación 1:2 o 1:3, sobresaturaba el aceite con fibra y el rendimiento del método 2 disminuía ver tabla No 14.

**Tabla No. 14 Rendimiento de la Solubilización**

Nº Muestra	Aceite de Girasol (g)	Suero Blanco (g)	Desperdicios (g)	Formulación Final (g)	Rendimiento (%)
1	208,40	183,20	68,30	140,10	67,23
2	209,70	183,00	58,40	151,30	72,15
3	209,00	180,10	77,00	132,00	63,16
<b>Promedio</b>	209,03	182,10	67,90	141,13	67,51

Elaborado por: Jorge Valdiviezo, 2010

En la figura 4.1 se observa la formulación final sin tratamiento térmico y con un tiempo de mezcla de 15 min, mientras la figura 4.2 se observa la formulación final mezclada a una temperatura de 60°C y con un tiempo de 15 min, donde se puede diferenciar las tonalidades al final.



Fig. 4.1 Formulación rica en licopeno, aceite de oliva y girasol sin baño maría



Fig. 4.2 Formulación rica en licopeno, Aceite de girasol con baño maría

La figura 4.3 muestra el diagrama de procesos para llevar a cabo el método 2, este se desarrollo después de varias experimentaciones. Se desarrollo porque es el más adecuado para la aplicación en alimentos.

- Diagrama para el Método 2

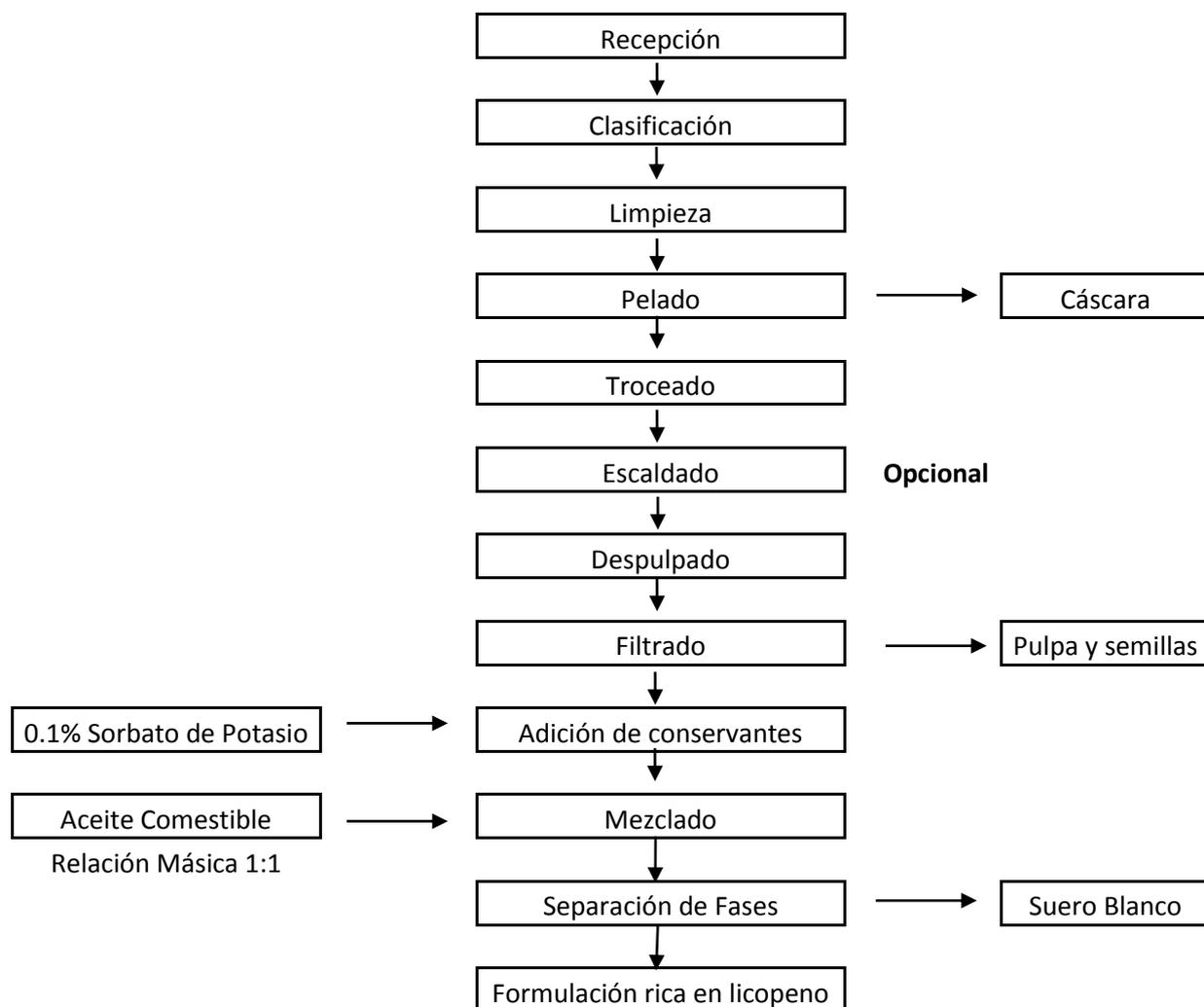


Fig. 4.3 Diagrama del método 2 para la obtención de una formulación rica en licopeno

- **Aplicaciones del licopeno**

### **Elaboración de la mayonesa casera**

Para preparar la mayonesa casera (Fig 4.4 y 4.5) estos son los siguientes pasos para su elaboración ver tabla 15 y 16:

1. Se bate ligeramente el huevo.
2. Agregar despacio el aceite, si se lo hace en una licuadora, se espesará de forma mucho más rápida.
3. Una vez que se espese se agrega limón, sal y mostaza.
4. Licuar todos los ingredientes hasta que presente una textura espesa y cremosa.

### **Fórmulas**



Fig. 4.4 Mayonesa según la fórmula 1

Tabla No. 15 Fórmula 1 Mayonesa

Fórmula 1		
Ingredientes	Peso (g)	Porcentaje (%)
Huevo	32	16,8
*Aceite	149	78,4
Sal	4	2,1
Limón	1	0,5
Mostaza	4	2,1
<b>Total</b>	<b>190</b>	<b>100,0</b>

Elaborado por: Jorge Valdiviezo, 2010



Fig. 4.5 Mayonesa según la fórmula 2

**Tabla No. 16 Fórmula 2 Mayonesa con condimentos**

<b>Fórmula 2</b>		
<b>Ingredientes</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Huevo	35	19,3
*Aceite	133	73,5
Sal	3	1,7
Limón	1	0,6
Mostaza	4	2,2
Ajo	3	1,7
Orégano	0,5	0,3
Cilantro	1	0,6
Pimiento	0,5	0,3
<b>Total</b>	<b>181</b>	<b>100,0</b>

Elaborado por: Jorge Valdiviezo, 2010

El \*aceite es una formulación rica en licopeno a base de aceite de girasol y licopeno extraído mediante la solubilización directa del jugo de sandía.

### **Prueba sensorial de la mayonesa**

Para el análisis de la prueba sensorial se decidió trabajar con el programa minitab donde la hipótesis nula “Ho” para la primera fórmula de mayonesa fue de: “la fórmula 1 de mayonesa con licopeno no presenta una diferencia significativa con la mayonesa normal (X41) ver apéndice H; la hipótesis alternativa, lo contrario: “La aplicación de licopeno influye de manera significativa en el sabor de la mayonesa”. Es por esto que además del análisis estadístico se realiza un análisis

sensorial para corroborar la información. Para la formula 2 la hipótesis nula “Ho” fue de: “la fórmula 2 de mayonesa con licopeno más condimentos presenta una diferencia significativa que la mayonesa con licopeno (F1) ver apéndice H y la hipótesis alternativa, lo contrario: “La aplicación de condimentos no influye de manera significativa en el sabor de la mayonesa con licopeno”. Ver fig 4.6

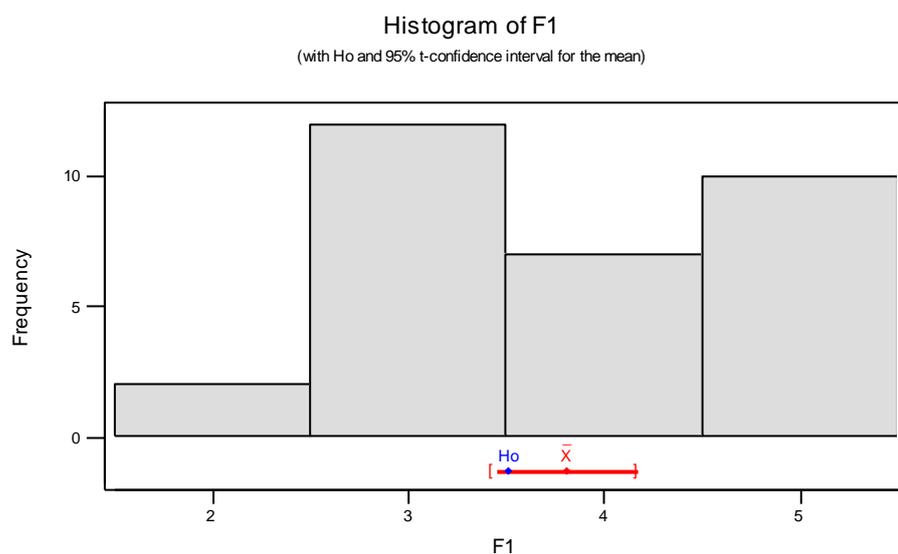


Fig. 4.6 Histograma para la Fórmula 1

Tabla No. 17 Resultados de la Formula 1

N	Media	Desv. Est.	Estándar	IC de 95%	T	P
31	3,5161	0,980	0,176	3,477; 4,166	1,65	0,110

Elaborado por: Jorge Valdiviezo, 2010

Para que la hipótesis nula ( $H_0$ ) sea verdadero, se necesita el factor "P" sea mayor que el nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ ). Caso contrario la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) se acepta y la hipótesis nula es falsa, debido a que el factor "P" fue menor que el nivel de significancia " $\alpha$ ". Ver fig 4.7

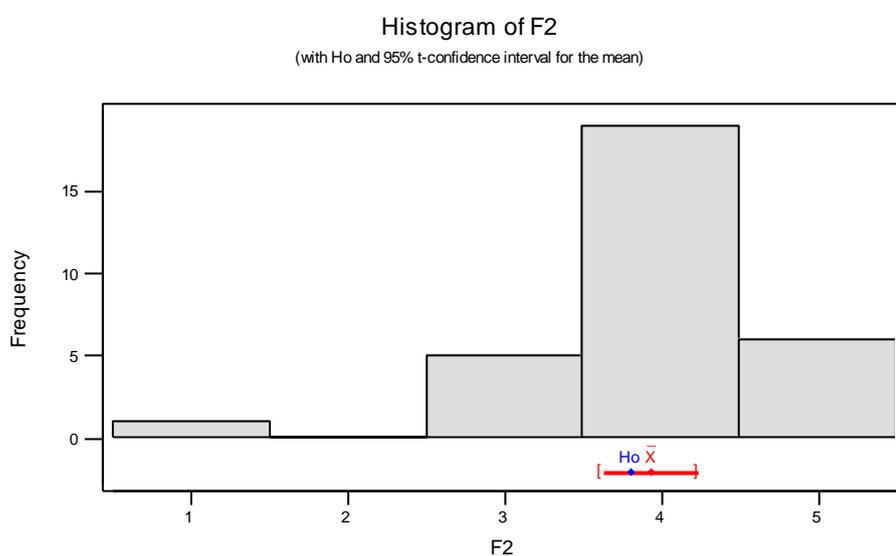


Fig. 4.7 Histograma para la Fórmula 2

Tabla No. 18 Resultados de la Formula 2

N	Media	Desv. Est.	Estándar	IC de 95%	T	P
31	3,935	0,814	0,146	3,637; 4,234	0,88	0,385

Elaborado por: Jorge Valdiviezo, 2010

# CAPÍTULO 5

## 5. Análisis de Resultados

Se puede observar que la variedad Charleston tiene características químicas muy parecidas de una fruta a la otra, también se las selecciono en una categoría que tenga el mismo rango de peso con un promedio de 2488 g, ver capitulo 4.

Los métodos desarrollados fueron dos; el primer método de extracción fue mediante disolventes orgánicos como el etanol se aplicó con dos pre tratamientos a la muestra, el primero licuando la sandía donde el producto final fue una oleorresina; el segundo troceando la sandía donde al agregar el etanol fue muy efectivo al principio al obtener un extracto con coloración anaranjada muy fuerte, tratándolo dos veces más con 100ml de etanol, pero al final fue poco efectivo debido a que la sandía todavía mostraba una tonalidad roja. El segundo método de solubilización directa el más viable para el consumo humano y es más

óptimo debido a que no hay que evaporar el medio extractante ni purificarlo después de la extracción.

De los dos métodos el de mayor rendimiento es la solubilización directa (Método 2) con 67,51% el más práctico para aplicarlo en alimentos por no poseer contaminantes al final del proceso. Mientras la extracción con disolventes orgánicos (Método 1) presenta un rendimiento muy bajo de 0,5413% no conveniente para los alimentos por la toxicidad del etanol ver tabla 19.

**Tabla No. 19 Rendimientos entre la extracción con disolventes orgánicos y la solubilización directa**

<b>Nº Muestra</b>	<b>Método 1 (%)</b>	<b>Método 2 (%)</b>
1	0,591	67.23
2	0,466	72.15
3	0,567	63.16
<b>Promedio</b>	0,5413	67.51

Elaborado por: Jorge Valdiviezo, 2010

Los resultados obtenidos al emplear el sistema de extracción por medio de la solubilización directa, apropiado para la extracción de este tipo de sustancias lipofílicas como el licopeno permitieron determinar

la relación masa de lípido extractante/masa de pulpa de sandía y determinación del mejor tiempo de agitación.

La cantidad de lípido extractante empleada es de 50 gr y las relaciones masa de lípido extractante/masa de pulpa de sandía fueron: 1:1, 1:2 y 1:3 ver Apéndice F, las extracciones se llevaron a cabo durante un tiempo de 10 a 15 min, con agitación constante y a la temperatura ambiente, los residuos sólidos, así como la fase acuosa se separaron del extracto por decantación.

Para la aplicación del licopeno en alimentos se decidió elaborar una mayonesa con la formulación rica en el antioxidante que se obtuvo con el aceite de girasol, se desarrolló dos fórmulas la primera una mayonesa sin condimentos y la segunda fórmula de mayonesa con condimentos para enmascarar el sabor y olor de sandía que todavía se percibía en la primera fórmula. Los resultados de las pruebas sensoriales indican que si existe diferencia en las formulaciones, la fórmula 1 obtuvo una aceptación del 54.9 %, mientras que la fórmula 2 obtuvo una aceptación del 80.7% demostrando que la fórmula 2 con condimentos tuvo mayor acogida con el público; los condimentos

ayudaron a exaltar el sabor y enmascarar el sabor y olor a sandía. Ver apéndice H

Se realizó dos pruebas sensoriales, en la primera donde los panelistas probaron dos muestras una mayonesa con aceite de girasol (X41) y otra mayonesa con aceite de girasol con licopeno (J52); en la segunda probaron dos muestras una mayonesa con condimentos (X51) y otra mayonesa con licopeno mas los condimentos (J62) ver apéndice H.

Para conocer si las personas percibían el sabor a sandía se evaluó también, dándole de opciones entre tomate y sandía en la primera evaluación de la formulación 1, dando como resultado el 61.3% eligiendo el tomate; mientras que para la segunda evaluación de la formulación 2 se le dio las dos opciones anteriores, mas la opción de ninguno, el resultado fue 51.6% para el tomate. También se realizó una evaluación sobre el consumo del producto con el 96.8% diciendo que si en la primera evaluación y con el 93.5% en la segunda. Ver apéndice H

# **CAPÍTULO 6**

## **6. Conclusiones y Recomendaciones**

### **6.1 Conclusiones**

Las pérdidas durante el procesamiento de la sandía para la extracción del licopeno no pueden obviarse, ya que durante el procesamiento y almacenamiento de alimentos ocurren alteraciones o pérdidas por la remoción física (lavado, pelado y destroce), mezclado con el disolvente orgánico o lípido extractante y oxidación enzimática. Son mínimas en el laboratorio siendo de un 2,02% pero para minimizarlas en la industria se debe tener control en la etapa de recepción, pelado y troceado.

La deshidratación de la sandía para extraer el licopeno presentó la primera dificultad de esta tesis debido a una poca eficiencia porque se forma una capa gelatinosa en la superficie del producto resistente para los solventes. La sandia con una humedad inicial del 90.79% llego a una humedad final del 71.50% se observó en la sandia un estado cauchoso despues del secado. Ver Apendice G

Después de realizar la extracción con disolventes se puede observar que los rendimientos son muy bajos de 0,5413%, debido a que hay que evaporar el disolvente por su toxicidad mínima pero no apta para alimentos.

El procedimiento para la obtención de dicha formulación rica en licopeno libre de disolventes orgánicos se puede denominar también de solubilización directa. El lípido extractante es un aceite de origen vegetal. La extracción del carotenide(licopeno) hidrofóbico del medio hidrofílico usando aceite de oliva y girasol, resultó muy conveniente cuando se dirige hacia alimentos debido a que no hay evaporar el medio extractante, ni purificar el licopeno que se obtiene para ser consumido para los seres humanos, el

rendimiento que se obtuvo fue de 67,51% siendo superior al método 1 .

Las relaciones mayores de 1:1 sobresaturaban el aceite con fibra de la sandía minimizando el rendimiento de la formulación, por eso se eligió la relación 1:1 debido a que mediante una segunda decantación se podía eliminar la fibra y demostrando el mayor rendimiento que la extracción con disolventes.

## **6.2 Recomendaciones**

La extracción de licopeno requiere condiciones especiales de temperatura, aislamiento de la luz, e inmediatez en el análisis, tanto durante las etapas del proceso como para su almacenamiento; condiciones que deben tenerse en cuenta en el escalamiento al proceso industrial, de manera que pueda asegurarse un buen rendimiento con respecto a la muestra inicial.

Si se va a realizar la decantación de la fase lipídica en la solubilización directa a temperatura ambiente se debe utilizar un preservante como el Sorbato de potasio su uso máximo 0,1%.

Para lograr una mejor extracción en la solubilización directa se debe adicionar calor al proceso por medio de un baño maría en la agitación lo que facilita la destrucción de los cromoplastos donde se encuentra el licopeno de la sandía. Como se realizó en este trabajo a una temperatura de 60°C.

# APÉNDICES

## **Apéndice A**

### **DIRECTIVA 95/45/CE DE LA COMISIÓN**

**de 26 de julio de 1995**

**por la que se establecen criterios específicos de pureza en relación  
con los colorantes utilizados en los productos alimenticios**

**(Texto pertinente a los fines del EEE)**

LA COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS,

Visto el Tratado constitutivo de la Comunidad Europea,

Vista la Directiva 89/107/CEE del Consejo, de 21 de diciembre de 1988, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre los aditivos alimentarios autorizados en los productos alimenticios destinados al consumo humano <sup>(1)</sup>, cuya última modificación la constituye la Directiva 94/34/CE <sup>(2)</sup>, y, en particular, la letra a) del apartado 3 de su artículo 3,

Previa consulta al Comité científico de la alimentación humana,

Considerando que es necesario establecer criterios de pureza para todos los colorantes mencionados en la Directiva 94/36/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de junio de 1994, relativa a los colorantes utilizados en los productos alimenticios <sup>(3)</sup>;

Considerando que es necesario revisar los criterios de pureza de los colorantes mencionados en la Directiva del Consejo, de 23 de octubre de 1962, relativa a la aproximación de las reglamentaciones de los Estados miembros sobre las materias colorantes que pueden emplearse en los productos destinados a la alimentación humana <sup>(4)</sup>, cuya última modificación la constituye la Directiva 85/7/CEE <sup>(5)</sup>;

Considerando que es necesario tener en cuenta las especificaciones y técnicas analíticas para colorantes establecidas en el Codex Alimentarius y el Comité mixto FAO/OMS de expertos en aditivos alimentarios (JECFA);

Considerando que los aditivos alimentarios que se hayan preparado con materias primas o mediante métodos de producción significativamente distintos de los incluidos en la evaluación del Comité científico de la alimentación humana, o distintos de los mencionados en la presente Directiva, deben someterse a dicho Comité para su evaluación completa, haciendo especial hincapié en los criterios de pureza;

Considerando que las medidas previstas en la presente Directiva se ajustan al dictamen del Comité permanente de los productos alimentarios,

HA ADOPTADO LA PRESENTE DIRECTIVA:

#### *Artículo 1*

Los criterios de pureza mencionados en la letra a) del apartado 3 del artículo 3 de la Directiva 89/107/CEE respecto a los colorantes mencionados en la Directiva 94/36/CE serán los que figuran en el Anexo.

Se suprimirán el artículo 8 y el Anexo III de la Directiva de 23 de octubre de 1962.

#### *Artículo 2*

1. Los Estados miembros adoptarán las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas necesarias para cumplir la presente Directiva a más tardar el 1 de julio de 1996. Informarán inmediatamente de ello a la Comisión.

Cuando los Estados miembros adopten dichas disposiciones, éstas harán referencia a la presente Directiva o irán acompañadas de dicha referencia en su publicación oficial. Los Estados miembros establecerán las modalidades de la mencionada referencia.

2. Los productos comercializados o etiquetados antes del 1 de julio de 1996, que no cumplan lo dispuesto en la presente Directiva, podrán, no obstante, comercializarse hasta que se agoten las existencias.

#### *Artículo 3*

La presente Directiva entrará en vigor el tercer día siguiente al de su publicación en el *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*.

#### *Artículo 4*

Los destinatarios de la presente Directiva serán los Estados miembros.

## E 160 d LICOPENO

### Sinónimos

Natural Yellow 27

### Definición

El licopeno se obtiene mediante extracción con disolventes de las cepas naturales de tomates rojos (*Lycopersicon esculentum* L.) con eliminación posterior del disolvente. Sólo pueden utilizarse los siguientes disolventes: diclorometano, dióxido de carbono, acetato de etilo, acetona, propan-2-ol, metanol, etanol, hexano. El principal colorante de los tomates es el licopeno, aunque pueden estar presentes pequeñas cantidades de otros pigmentos carotenoides. Además de otros pigmentos, el producto puede contener aceites, grasas, ceras y aromas que están presentes de forma natural en los tomates.

Clase

Carotenoide

No Colour Index

75125

Denominación química

Licopeno:  $\Psi,\Psi$ -caroteno

Fórmula química

$C_{40}H_{56}$

Peso molecular

536,85

Determinación

Contenido no inferior al 96 % de colorantes totales

$E_{1\%}^{1\text{cm}}$  3 450 a aproximadamente 472 nm en hexano

Líquido viscoso de color rojo oscuro

### Descripción

### Identificación

A. Espectrometría

Máximo en hexano a aproximadamente 472 nm

### Pureza

Residuos de disolventes

Acetato de etilo  
Metanol  
Etanol  
Acetona  
Hexano  
Propan-2-ol

No más de 50 mg/kg por separado o en conjunto

Diclorometano No más de 10 mg/kg

Cenizas sulfatadas

No más del 0,1 %

Arsénico

No más de 3 mg/kg

Plomo

No más de 10 mg/kg

Mercurio

No más de 1 mg/kg

Cadmio

No más de 1 mg/kg

Metales pesados (expresados en Pb)

No más de 40 mg/kg

## Apéndice B

### Escala de Daños



**1**

**Planchado**



**2**

**Planchado y Rajado**



**3**

**Rajado Tipo 1**



**4**

**Rajado Tipo 2**



**5**  
**Pudrición Negra**

## Apéndice C

### Evaluación sensorial 1

1. Por favor, pruebe las muestras e indique su nivel de agrado marcando en la escala con una X.

Valor	Descripción	X41	J52
1	Me disgusta mucho		
2	Me disgusta		
3	Ni me gusta, ni me disgusta		
4	Me gusta		
5	Me gusta mucho		

2. ¿Qué sabor siente en la muestra de J52?

1) Tomate	
2) Sandia	

3. Si supieras los beneficios nutritivos del licopeno (actúa protegiendo a las células humanas del estrés oxidativo propiedades antioxidantes, producido por la acción de los radicales libres, que son uno de los principales responsables de las enfermedades cardiovasculares, del cáncer y del envejecimiento.) te animarías a consumir este producto.

1) Si	
2) No	

Comentarios:


Gracias !

## Evaluación sensorial 2

1. Por favor, pruebe las muestras e indique su nivel de agrado marcando en la escala con una X.

Valor	Descripción	X51	J62
1	Me disgusta mucho		
2	Me disgusta		
3	Ni me gusta, ni me disgusta		
4	Me gusta		
5	Me gusta mucho		

2. ¿Qué sabor siente en la muestra de J62?

1) Tomate	
2) Sandia	
3) Ninguno	

3. Si supieras los beneficios nutritivos del licopeno (actúa protegiendo a las células humanas del estrés oxidativo propiedades antioxidantes, producido por la acción de los radicales libres, que son uno de los principales responsables de las enfermedades cardiovasculares, del cáncer y del envejecimiento.) te animarías a consumir este producto.

3) Si	
4) No	

Comentarios:


Gracias!

## Apéndice D

### Calificación de los Panelistas de la evaluación 1

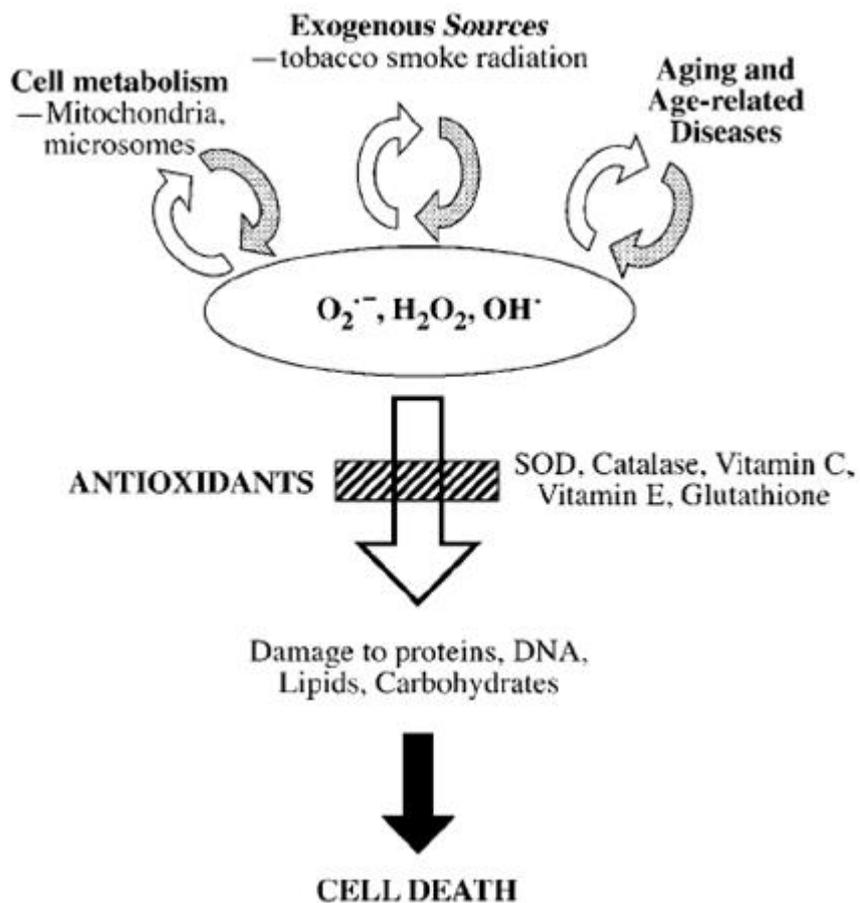
Panelistas	Muestras		Pregunta 2	Pregunta 3
	X41	J52		
1	4	5	1	1
2	3	4	2	1
3	3	5	1	1
4	3	3	1	1
5	4	2	2	1
6	3	5	1	1
7	4	3	1	1
8	4	3	1	1
9	3	4	1	1
10	4	5	2	1
11	4	3	2	1
12	4	5	1	1
13	3	3	2	1
14	1	5	1	1
15	3	2	1	1
16	4	5	1	1
17	5	3	1	1
18	4	4	1	1
19	4	5	2	1
20	5	4	1	1
21	4	5	1	1
22	3	3	2	1
23	4	3	1	1
24	3	4	2	1
25	2	3	2	1
26	3	3	2	2
27	4	4	2	1
28	4	5	2	1
29	3	4	1	1
30	3	3	1	1
31	4	3	1	1

## Calificación de los Panelistas de la evaluación 2

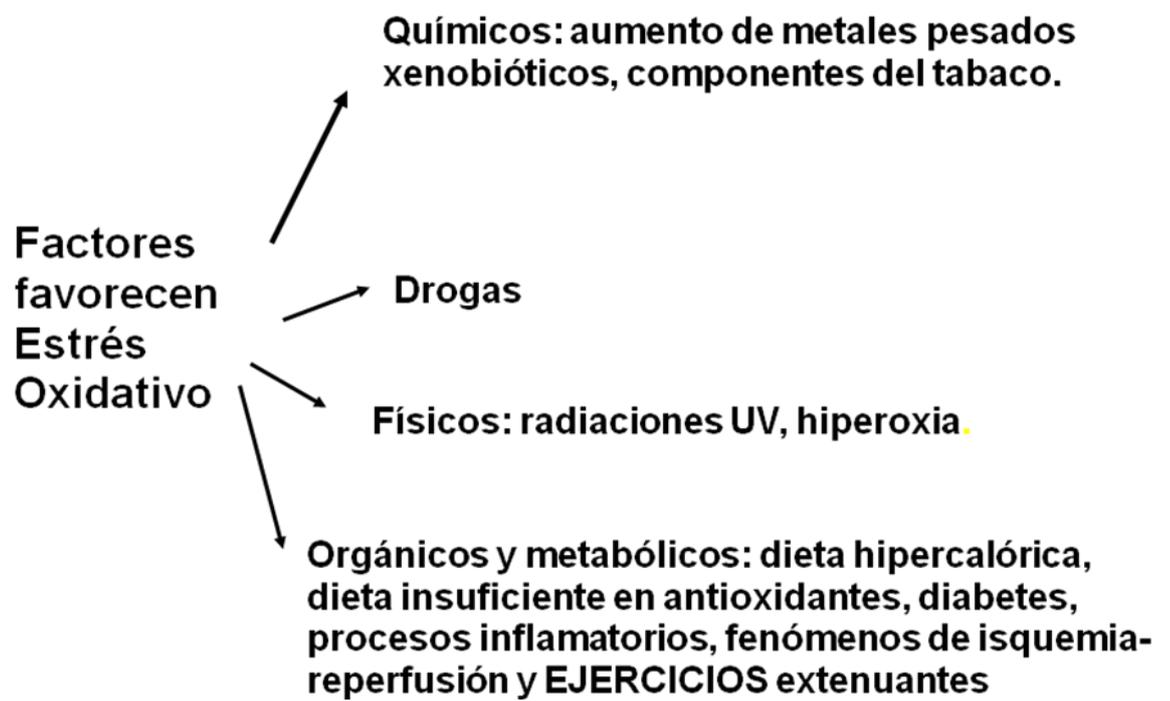
Panelistas	Muestras		Pregunta 2	Pregunta 3
	X51	J62		
1	4	3	1	1
2	1	5	3	1
3	4	5	3	1
4	3	4	1	1
5	5	4	1	1
6	2	3	3	1
7	1	4	1	1
8	5	4	2	2
9	2	3	3	1
10	3	3	1	1
11	3	4	3	1
12	5	1	1	1
13	3	4	3	1
14	3	4	3	1
15	3	4	1	1
16	3	4	1	1
17	3	4	1	1
18	3	4	1	2
19	4	4	3	1
20	2	4	3	1
21	1	4	2	1
22	4	5	1	1
23	3	3	1	1
24	4	5	1	1
25	3	4	3	1
26	3	4	1	1
27	3	4	2	1
28	2	5	1	1
29	1	4	3	1
30	2	4	3	1
31	3	5	1	1

## Apéndice E

### Mecanismos del estrés oxidativo



La principal fuente de origen de los radicales libres es la respiración, ya que entre un 1 a 3% del oxígeno consumido se transforma en radicales libres. Los radicales libres provenientes del oxígeno colectivamente reciben el nombre de especies reactivas del oxígeno o ROS (*reactive oxygen species*).



## Apéndice F

### Determinación de la relación masa de lípido extractante/masa de pulpa de sandía

#### Antes de la agitación



#### Después de la agitación



## Apéndice G

### Pre tratamiento de la muestra para el método soxhlet



Humedad inicial de la sandia



Humedad final de la sandia



Secador de bandeja

Secado de la sandía				
tiempo (min)	peso (g)	Temp del secador (°C)	Temp salida del secador (°C)	HR
5	7,5	60	34,5	44,8
10	7,5	60	37	41,1
15	7,4	60	35,5	44,9
20	7,2	60	38	42,1
25	7,1	60	45	38,5
30	6,9	60	41,8	38,2
35	6,8	60	41,7	37,1
40	6,5	60	41,2	38,2
45	6,5	60	46,2	38,1
50	6,3	60	47,3	38,4
55	6,2	60	48,1	37,1
60	6,1	60	47,2	36,2
65	5,9	60	43,3	37,1
70	5,8	60	40,5	3,81
75	5,7	60	40,6	37,7
80	5,6	60	39,1	39,5
85	5,5	60	40,6	37,2
90	5,4	60	37,9	40,2
95	5,2	60	40,3	38,8
100	5,1	60	40,6	37,4
105	5	60	40,7	37,2
110	4,9	60	41,7	36,4
115	4,8	60	39,7	37,4
120	4,7	60	41,2	36,6
125	4,7	60	40,9	37,1
130	4,6	60	39,7	39,,0
135	4,5	60	40,2	37,7
140	4,5	60	42,6	35,7
145	4,4	60	39,4	38
150	4,4	60	42,5	35,6
155	4,2	60	39,2	39,9
160	4,2	60	41,5	36,2
165	4,1	60	41,9	36,5
170	4,1	60	42	36,2
175	4	60	39	38,4
180	3,9	60	40,2	37,2
190	3,8	60	36,7	40,9
200	3,4	60	37,2	38,5
210	3,3	60	39,5	38,2
220	3,3	60	41,5	36,5
230	3,3	60	42,3	36
240	3,3	60	41,2	36,7

Elaborado por: Jorge Valdiviezo, 2010

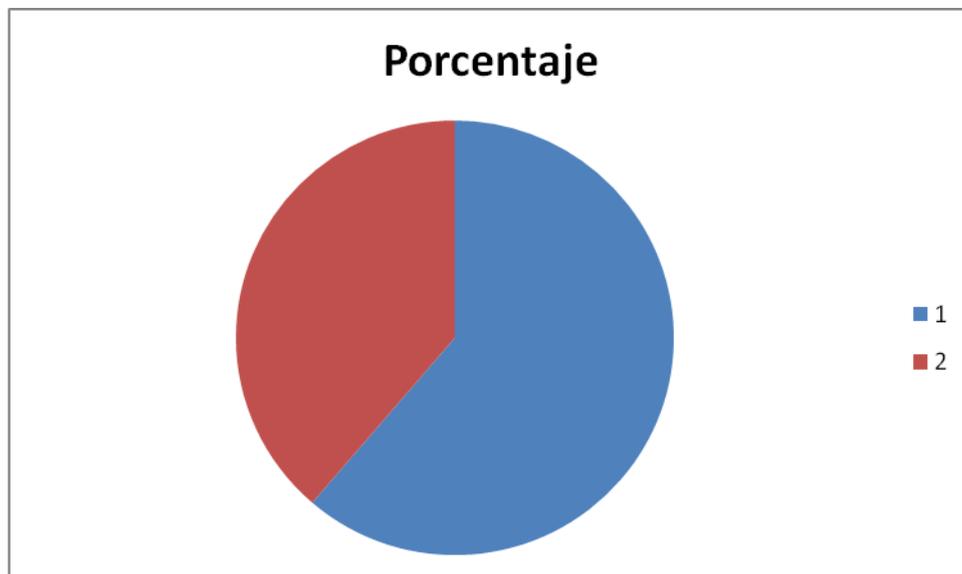
## Apéndice H

### Evaluación 1



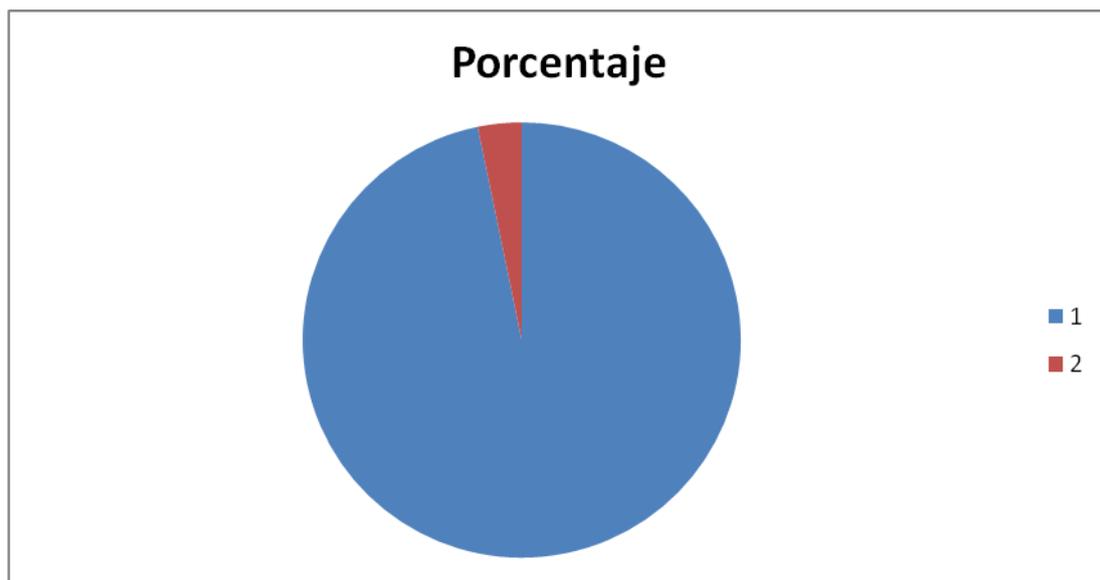
Respuestas	Numero de Panelistas	Porcentaje
1	0	0,0
2	2	6,5
3	12	38,7
4	7	22,6
5	10	32,3
<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>100,0</b>

## Pregunta 2



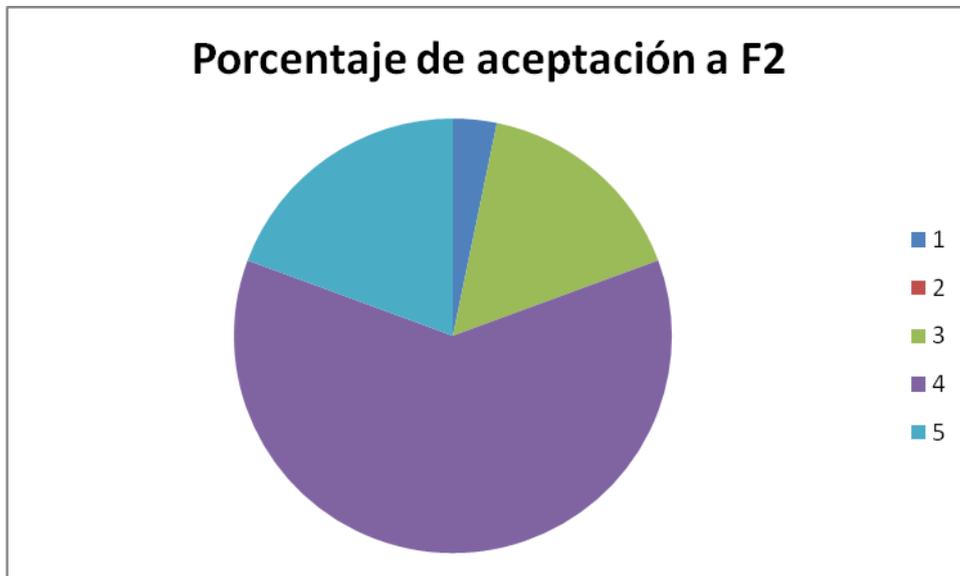
Respuestas	Numero de Panelistas	Porcentaje
1	19	61,3
2	12	38,7
<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>100,0</b>

### Pregunta 3



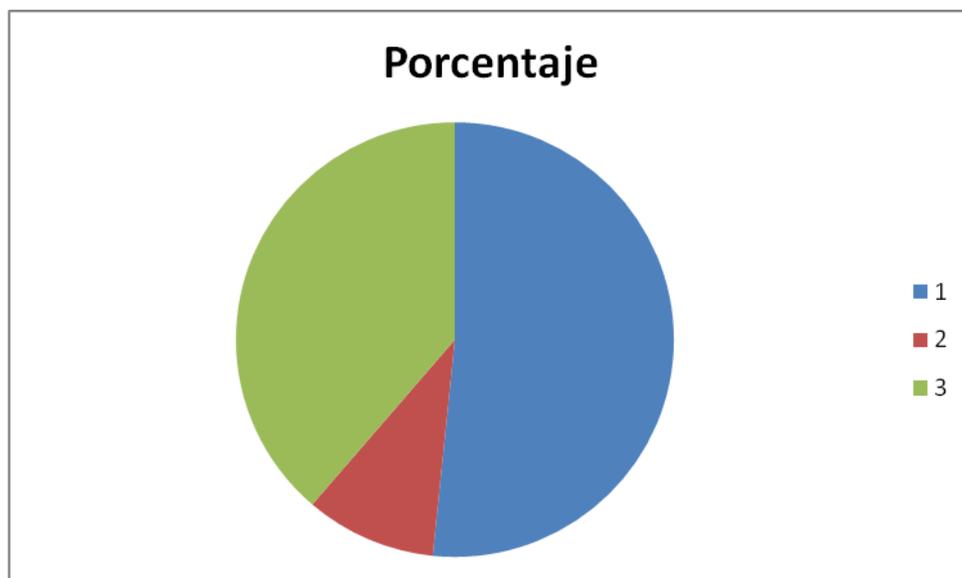
Respuestas	Numero de Panelistas	Porcentaje
1	30	96,8
2	1	3,2
<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>100,0</b>

## Evaluación 2



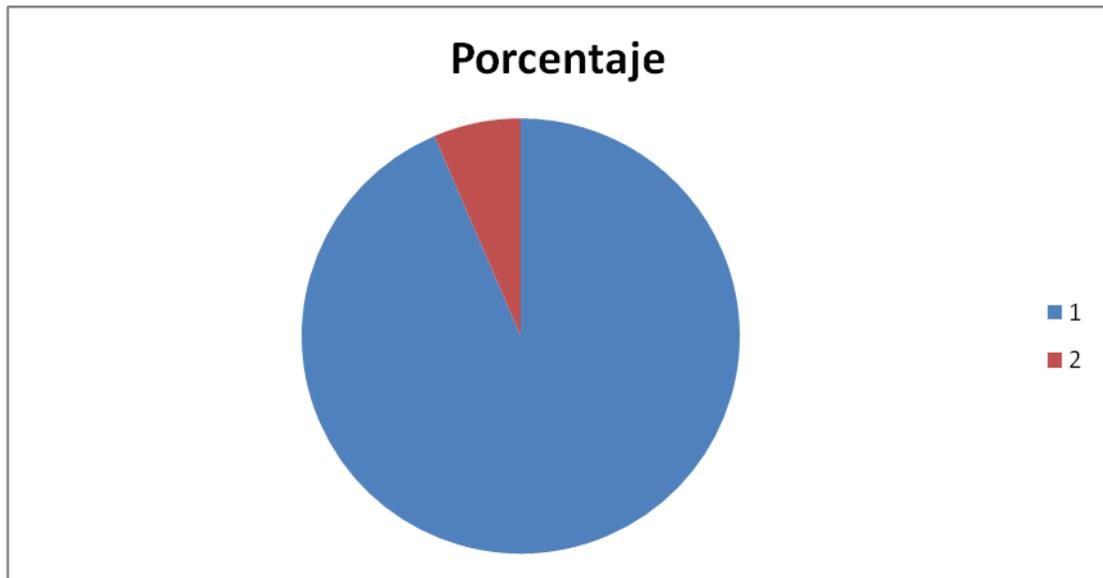
Respuestas	Numero de Panelistas	Porcentaje
1	1	3,2
2	0	0,0
3	5	16,1
4	19	61,3
5	6	19,4
<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>100,0</b>

## Pregunta 2



Respuestas	Numero de Panelistas	Porcentaje
1	16	51,6
2	3	9,7
3	12	38,7
<b>Total</b>	31	100,0

### Pregunta 3



Respuestas	Numero de Panelistas	Porcentaje
1	29	93,5
2	2	6,5
<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>100,0</b>

## BIBLIOGRAFÍA

1. "Estudio de Mercado de sandía". Disponible en: Sica, [www.sica.gov.ec/agronegocios/est\\_peni/DATOS/COMPONENTE4/Sandia/EMSANDIA.HTM](http://www.sica.gov.ec/agronegocios/est_peni/DATOS/COMPONENTE4/Sandia/EMSANDIA.HTM), Noviembre, 2008.
2. "EL CULTIVO DE LA SANDÍA". Disponible en: Acme, [www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tradicionales/sandia.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/sandia.htm), Noviembre, 2008.
3. "Extractor Soxhlet". Disponible en: Wikipedia, [http://es.wikipedia.org/wiki/Extractor\\_Soxhlet](http://es.wikipedia.org/wiki/Extractor_Soxhlet), Noviembre, 2008.
4. "Sandia". Disponible en: FAO, <http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/ae620s/Pfrescos/SANDIA.HTM>, Noviembre, 2008.

5. Rojas M. "Procesamiento de la Sandía (*Citrullus vulgaris* Schrad) por Tratamientos Mínimos", Volumen 3, ITEC, Merida, México, Septiembre, 2004.
6. Boza J. "DISEÑO Y DESARROLLO DE ALIMENTOS FUNCIONALES", Volumen 10, UAB, Barcelona, España.
7. Alvarado J. *PRINCIPIOS DE INGENIERÍA APLICADOS A ALIMENTOS*, OEA, Radio Comunicaciones, Quito, Ecuador, 1996.
8. Meléndez A, Vicario I, Heredia F, "Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos", ALAN, volumen 54, Caracas, Venezuela, 2004.
9. Mani López, E. 2003. *Conservación de jugo de sandía aplicando irradiación ultravioleta de onda corta*. Tesis Licenciatura. Ingeniería de Alimentos. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla, Cholula, Puebla, México, mayo, 2003.
10. Valiente, Krick, *Introducción a los problemas de balance de materia y energía*, IAL, Folleto de copias, Guayaquil, Ecuador, Mayo, 2005.

11. Cardona E, Ríos L, Restrepo G, “Extracción del Carotenoide Licopeno del Tomate Chonto”, VITAE, REVISTA DE LA FACULTAD DE QUÍMICA FARMACÉUTICA, Volumen 13, Medellín, Colombia, Octubre, 2006.
  
12. Maroto J, Gómez A, Pomares F. *EL CULTIVO DE LA SANDIA*, Mundi-Prensa Libros, Volumen 1, Edición 1, 2002.
  
13. Shalit M, Katzir N, Tadmor Y, Larkov O, Burger Y, Shalekhet F, Lastochikon E, Ravid U, Amar O, Edelstein M, Karchi Z y Lewiston E. *Acetyl-CoA: Alcohol Acetyltransferase Activity and Aroma Formation in Ripening Melon Fruits*, J. Agric Food Chem, 49, 2001.
  
14. Sisido K, Kondo K, Nozaki H, Tuda M y Udo Y. *Synthesis of  $\gamma$ -Oxosenecioates. Flavor of Watermelon*. J. Agric Food Chem, 82, 1960
  
15. “PROCEDIMIENTO PARA PREPARAR FORMULACIONES ENRIQUECIDAS EN LICOPENO LIBRES DE DISOLVENTES ORGÁNICOS”. Disponible en: Wipo, <http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?IA=WO2006111591&DISPLAY=DE> SC, Noviembre, 2008.