

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES ÓPTIMAS EN EL PROCESO DE  
ELABORACIÓN DE ZUMO CONCENTRADO DE MANDARINA**

**Por:**

**Oscar Daniel Guevara Oros**

**Proyecto de grado, Modalidad “Investigación Aplicada” presentado a  
consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL  
SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en  
Ingeniería Química.**

**Diciembre de 2016**

**TARIJA-BOLIVIA**

V°B°

---

Msc. Ing. Ernesto Álvares Gozálvex

DECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

---

Msc. Ing. Silvana Paz Ramirez

VICEDECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

**APROBADA POR**

**TRIBUNAL:**

---

Ing. Juan Carlos Vega Knez

---

Ing. Gustavo Moreno López

---

Ing. Álvaro Fabricio Velásquez Castro

#### Advertencia

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor

### Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a mi padre, a mi madre y a mis hermanos, quienes me dieron fuerza y confianza para culminar este trabajo para mi formación profesional. A mis docentes, por el tiempo, apoyo, dedicación y la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

Y a Dios por su bendición y por encaminarme hacia el buen camino.

### Agradecimiento

A mis padres por la enseñanza de la humildad, sencillez y a no rendirme y darme la oportunidad de estudiar para lograr mis objetivos en mi vida profesional. A los Ingenieros por la guía, paciencia y asesoramiento.

Agradecer a Dios por el bienestar, la salud y la bendición.

## RESUMEN

El procesado de frutas y hortalizas se ve estimulada por la creciente demanda de los consumidores por productos sanos y frescos. Los zumos de frutas representan un segmento importante en el global del procesado de la industria de la fruta, ya que varios de ellos se transforman a concentrados.

El presente trabajo tiene como objetivo principal la determinación de las variables o parámetros óptimos en el proceso de concentración de zumo de mandarina en un equipo evaporador al vacío a escala laboratorio, siendo este producto aplicable en las industrias alimenticias; en especial en la elaboración de gaseosas y refrescos reconstituidos.

Se emplea como materia prima la mandarina de la variedad criolla, de la cual se determina sus características fisicoquímicas siendo sus valores los siguientes: Peso unitario promedio 132.09 gr, porción comestibles de jugo 56.45%, sólidos solubles del 10.34%, porcentaje de acidez de 1.03% y un pH 3.60.

Las pruebas experimentales se realizaron a escala laboratorio en un rota evaporador (evaporación al vacío), planteándose un diseño factorial de  $2^4$ ; es decir; de cuatro variables (volumen de zumo, presión de vacío, tiempo y temperatura) y de dos niveles (volumen 350 y 370 ml, presión de vacío 200 y 300 mmHg, tiempos 145 y 160 minutos y temperatura de 50 y 55 °C) en el proceso de concentración para determinar las condiciones óptimas de operación. Determinándose como mejor tiempo de concentración 160 minutos a la temperatura de 55°C con un volumen de jugo de 350 ml a una presión de vacío de 300 mmHg.

Con estas condiciones de operación se determina los %SST (°Brix) y el % de Acidez del concentrado de zumo de mandarina, siendo los valores los siguientes: los %SST de 36.60% (mayor grado de concentrado obtenido) y una acidez del 1.87%.

Finalmente se realiza un análisis fisicoquímico, microbiológico y organoléptico del producto final, demostrando que el producto se encuentra dentro del rango de los valores permitidos por las normas establecidas para los jugos concentrados de frutas.

**ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA**

kg	Kilogramo
ha	Hectáreas
cm	Centímetros
gr	Gramos
mg	Miligramos
µg	Microgramos
Å	Angstroms
µm	Micrones
atm	Atmósferas
Q	Flujo calorífico
m	masa
T	Diferencia de temperaturas
C <sub>p</sub>	Calor específico
H <sub>v</sub>	Entalpía de vapor
H <sub>L</sub>	Entalpía del líquido
P	Presión
T	Temperatura
t	Tiempo
U	Coefficiente global de transferencia
MLDT	Media logarítmica de temperatura
h	Hora

kcal	Kilocaloría
°Brix	Grados Brix
%SST	Porcentaje de sólidos solubles totales
%Ac.	Porcentaje de acidez
sstexp	Sólidos solubles experimentales
sstcal	Sólidos solubles calculados
AcidezExp	Acidez experimental
AcidezCal	Acidez calculada
gr/ml	Gramos/mililitros



## ÍNDICE

	<b>Página</b>
Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv
Abreviaturas y simbología.....	v

## INTRODUCCIÓN

Antecedentes.....	1
Objetivos.....	8
Objetivo General.....	8
Objetivos Específicos.....	8
Justificación.....	9

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades.....	11
1.2 La Mandarina.....	11
1.2.1 Características del fruto de la mandarina.....	13
1.2.2 Origen de la Mandarina.....	14
1.2.3 Descripción Botánica.....	15
1.2.3.1 Clasificación Taxonómica.....	15
1.2.3.2 Morfología.....	15
1.2.4 Composición nutricional de la mandarina.....	16
1.2.4.1. Carbohidratos.....	17

1.2.4.2 Componentes Inorgánicos y Vitaminas.....	17
1.2.5 Variedad de mandarinas.....	18
1.2.5.1 Variedad de mandarina en el departamento de Tarija.....	19
1.3 Características técnicas de la Materia prima y del producto	
zumo concentrado de mandarina.....	20
1.3.1 Característica de la Materia prima (mandarina).....	21
1.3.1.1 Composición nutricional del zumo de mandarina.....	22
1.3.1.2 Azúcares en el zumo de mandarina.....	22
1.3.2 Factores a tomar en cuenta en la materia prima.....	23
1.3.3 Índice de maduración.....	23
1.4 Características del Producto zumo concentrado de mandarina.....	24
1.5 Métodos Tecnológicos en el proceso de Extracción,	
Pasteurización y Concentrado de zumo de mandarina.....	25
1.5.1 Tecnología de extracción de zumos.....	25
1.5.2 Tecnología de la pasteurización.....	29
1.5.2.1 Factores que afectan el proceso de pasteurización.....	30
1.5.2.2 Pasteurización de los zumos.....	30
1.5.3 Tecnologías aplicables en el proceso de concentración.....	31
1.5.3.1 Evaporación.....	32
1.5.3.1.1 Factores del proceso de evaporación.....	32
1.5.3.1.2 Clasificación de los evaporadores.....	34
1.5.3.1.3 Evaporadores al vacío.....	38
1.5.3.1.3.1 Evaporador de simple efecto.....	39
1.5.3.1.3.2 Evaporador de efecto múltiple.....	40

1.5.3.2 Técnicas de concentración por membranas.....	41
1.5.3.2.1 Ósmosis Inversa.....	43
1.5.3.2.2 Microfiltración.....	43
1.5.3.2.3 Ultrafiltración.....	43
1.5.3.3 Crio concentración.....	43
1.6 Selección del método a utilizar en la concentración de zumo de mandarina....	45
1.7 Descripción del proceso a elaborar el Producto-Escala industrial.....	47
1.8 Factores que influyen y determinan la calidad del producto.....	53
1.8.1 Materia prima.....	53
1.8.2 Alteraciones microbiológicas.....	54
1.8.3 Alteraciones coloidales en el jugo.....	55
1.8.4 Alteraciones del aroma en el jugo.....	55
1.8.5 Alteraciones del color en el jugo.....	56

## **CAPÍTULO II**

### **PARTE EXPERIMENTAL**

2.1 Descripción y análisis de la materia prima.....	57
2.1.1 Análisis fisicoquímico de la materia prima.....	57
2.1.1.1 Análisis fisicoquímico de la variedad criolla.....	57
2.1.1.2 Análisis fisicoquímico de la variedad satsuma.....	58
2.1.1.3 Análisis fisicoquímico de la variedad ponkan.....	59
2.2 Selección de la variedad de la materia prima.....	59
2.3 Descripción del proceso de investigación.....	60
2.3.1 Recepción de la materia prima.....	61
2.3.2 Lavado.....	61

2.3.3 Selección y pesado.....	61
2.3.4 Extracción.....	61
2.3.5 Concentración.....	61
2.3.6 Almacenamiento.....	61
2.4 Variables o parámetros en el proceso de investigación para el concentrado de zumo de mandarina.....	62
2.4.1 Variables o parámetros que se evalúan para la concentración de una solución mediante un evaporador.....	62
2.4.2 Determinación de las variables o parámetros para el proceso de investigación.....	63
2.5 Diseño Factorial o Experimental.....	63
2.5.1 Procedimientos y técnicas del Diseño Factorial o Experimental.....	64
2.5.1.1 Diseño Factorial a dos niveles $2^k$ .....	64
2.5.1.2 Análisis del Diseño Factorial $2^4$ .....	64
2.5.2 Factores o parámetros de estudio.....	68
2.6 Análisis a realizar al zumo concentrado de mandarina.....	71
2.6.1 Control de Calidad del Producto Obtenido.....	71
2.6.1.1 Análisis Físicoquímico.....	71
2.6.1.2 Análisis Microbiológico.....	72
2.6.1.3 Análisis Sensorial.....	72
2.7 Balance de Materia.....	73
2.7.1 Balance de Materia en la etapa de selección y lavado.....	74
2.7.2 Balance de Materia en la etapa de extracción.....	75
2.7.3 Balance de Materia en la etapa de filtrado.....	76

2.7.4 Balance de Materia en la etapa de desaireación.....	77
2.7.5 Balance de Materia en la etapa de pasteurización.....	78
2.7.6 Balance de Materia en la etapa de concentración.....	79
2.8 Balance de Energía.....	81
2.8.1 Balance de Energía en el pasteurizador.....	81
2.8.2 Balance de Energía en la etapa de concentración (evaporación).....	87
2.9 Resumen del balance de materia y energía en el proceso.....	91
2.10 Equipos y maquinaria en el proceso.....	92

### **CAPÍTULO III**

#### **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

3.1 Resultados obtenidos del diseño factorial.....	93
3.2 Análisis de varianza univariante para la variable dependiente %SST.....	96
3.2.1 Análisis de Varianza.....	96
3.3 Análisis de varianza univariante para la variable dependiente %Acidez.....	98
3.3.1 Análisis de Varianza.....	98
3.4 Variables o parámetros óptimos para el proceso de concentración de zumo de mandarina.....	101
3.5 Variación fisicoquímica del zumo de mandarina durante el proceso de concentración con las variables óptimas.....	102
3.6 Resultados analíticos del zumo concentrado de mandarina.....	106
3.6.1 Análisis Fisicoquímico.....	106
3.6.2 Análisis Microbiológico.....	107
3.6.3 Análisis Sensorial.....	108

3.7 Diagrama de flujo del proceso con las variables determinadas.....	111
---	-----

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1 Conclusiones.....	112
4.2 Recomendaciones.....	113

<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>114</b>
--------------------------	------------

### **ANEXOS**

### **ÍNDICE DE TABLAS**

	<b>Página</b>
Tabla I-1 Distintas especies de cítricos en Tarija.....	12
Tabla I-2 Composición nutricional de la mandarina.....	16
Tabla I-3 Característica fisicoquímica del zumo de mandarina.....	21
Tabla I-4 Composición nutricional del zumo de mandarina.....	22
Tabla I-5 Azúcares en el zumo de mandarina.....	23
Tabla I-6 Característica fisicoquímica del zumo concentrado de mandarina.....	24
Tabla I-7 Efecto de la tecnología de exprimido sobre los parámetros de calidad de zumo.....	29
Tabla I-8 Característica del permeado en los sistemas de filtración de membrana.....	42
Tabla II-1 Variedad de mandarina en el mercado local.....	57
Tabla II-2 Análisis fisicoquímico de la variedad criolla.....	58
Tabla II-3 Análisis fisicoquímico de la variedad satsuma.....	58
Tabla II-4 Análisis fisicoquímico de la variedad ponkan.....	59

Tabla II-5 Matriz de Diseño.....	65
Tabla II-6 Matriz de Algoritmo de Yates.....	66
Tabla II-7 Análisis de la Varianza.....	67
Tabla II-8 Factores o parámetros de estudio.....	68
Tabla II-9 Diseño Factorial para el proceso de concentración de zumo de mandarina.....	69
Tabla II-10 Datos del Diseño Factorial.....	70
Tabla II-11 Parámetros Físicoquímicos.....	71
Tabla II-12 Parámetros Microbiológicos.....	72
Tabla III-1 Datos experimentales del diseño factorial.....	93
Tabla III-2 Datos para el cálculo del análisis de varianza.....	95
Tabla III-3 Factores Inter-sujetos.....	96
Tabla III-4 Análisis de varianza para el proceso de concentración.....	96
Tabla III-5 Factores Inter-sujetos.....	98
Tabla III-6 Análisis de varianza para el proceso de concentración.....	99
Tabla III-7 Variables o parámetros óptimos.....	101
Tabla III-8 Variación del %SST con respecto al Tiempo.....	102
Tabla III-9 Variación del % Acidez con respecto al Tiempo.....	103
Tabla III-10 Variación de la Densidad con respecto al Tiempo.....	104
Tabla III-11 Análisis Físicoquímico.....	106
Tabla III-12 Análisis Físicoquímico-CEANID.....	106
Tabla III-13 Análisis Microbiológico.....	107
Tabla III-14 Requisitos microbiológicos para zumos concentrados .....	107
Tabla III-15 % Aceptación en cuanto Sabor.....	108

Tabla III-16 % Aceptación en cuanto al Color.....	108
Tabla III-17 % Aceptación en cuanto al Olor.....	108
Tabla III-18 % Aceptación del producto obtenido.....	109
Tabla III-19 Caracterización del zumo concentrado de mandarina.....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1-1 Sección transversal de la mandarina.....	13
Figura 1-2 Esquema del proceso de extracción de zumos FMC.....	27
Figura 1-3 Esquema de una máquina extractora de zumos ZUMEX.....	28
Figura 1-4 Evaporador de tubos horizontales con circulación natural.....	35
Figura 1-5 Evaporador de tubos verticales.....	36
Figura 1-6 Evaporador vertical de tubos largos.....	37
Figura 1-7 Evaporador de circulación forzada.....	38
Figura 1-8 Evaporador simple efecto.....	39
Figura 1-9 Evaporador de efecto múltiple.....	40
Figura 1-10 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de zumo concentrado de mandarina.....	52
Figura 2-1 Diagrama de bloques del proceso.....	60
Figura 2-2 Diagrama de flujo del proceso.....	73
Figura 2-3 Etapa de selección y lavado.....	74
Figura 2-4 Etapa de Extracción.....	75
Figura 2-5 Etapa de Filtrado.....	76
Figura 2-6 Etapa de Desaireación.....	77
Figura 2-7 Etapa de Pasteurización.....	78



Figura 2-8 Etapa de Concentración.....	79
Figura 2-9 Esquema del pasteurizador.....	81
Figura 2-10 Resumen del balance de materia y energía en el proceso.....	91
Figura 2-11 Diagrama de equipos y maquinaria en el proceso.....	92
Figura 3-1 Diagrama de flujo del proceso con las variables o parámetros determinados.....	111

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
Cuadro N°1 Producción de jugos y bebidas refrescantes.....	2
Cuadro N°2 Consumo de jugos y bebidas refrescantes.....	3
Cuadro N°3 Países productores de frutas cítricas.....	4
Cuadro N°4 Principales países productores de mandarina.....	5
Cuadro N°5 Producción anual de cítricos en Bolivia.....	5
Cuadro N°6 Producción anual de cítricos en Tarija.....	6
Cuadro N°7 Producción de mandarina en el departamento de Tarija.....	6
Cuadro I-1 Clasificación taxonómica de la mandarina.....	15
Cuadro I-2 Morfología de la mandarina.....	15
Cuadro I-3 Mandarinas producidas en el departamento de Tarija.....	19
Cuadro I-4 Ventajas y desventajas de las técnicas de concentración.....	45

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Página</b>
Gráfico 2-1 Media Logarítmica de Temperatura.....	89
Gráfico 3-1 %SST vs N° Experimentos.....	94
Gráfico 3-2 % Acidez vs N° Experimentos.....	94

Gráfico 3-3 %SST vs Tiempo.....	103
Gráfico 3-4 % Acidez vs Tiempo.....	104
Gráfico 3-5 Densidad vs Tiempo.....	105
Gráfico 3.6 % de Aceptación del Producto Obtenido.....	109

# **INTRODUCCIÓN**

## **ANTECEDENTES**

Las industrias de procesado de frutas y hortalizas están estimuladas por la creciente demanda de los consumidores por productos sanos y frescos que están disponibles, y que requieren un mínimo de tiempo de preparación. (*Página web: [www.inaes.gob.mx](http://www.inaes.gob.mx)*)

Los zumos de frutas representan un segmento muy importante en el global del procesado de la industria de la fruta, debido sobre todo a los beneficios que presenta para la salud.

Los concentrados de los zumos de frutas en general son aprovechados para la preparación de jugos a distintas densidades, siendo utilizados en la dieta alimenticia del hombre. Estos concentrados se han venido obteniendo por evaporación del agua, aplicando calor mediante equipos llamados evaporadores o concentradores, uno de los métodos para el concentrado de zumos de frutas. (*Página web: [www.inaes.gob.mx](http://www.inaes.gob.mx)*)

En la industria de los zumos de frutas muchos tipos de frutas se transforman a concentrados. La calidad de esos productos depende de las condiciones estacionales, del tipo de fruta y del método del proceso. (*Gómez D.N.*)

La demanda de productos de alta calidad a un precio aceptable está forzando a la industria de jugos o zumos hacia nuevas tecnologías para crear bebidas con apariencias y sabores frescos. (*Industrias Alimentarias*)

Los zumos concentrados de frutas presentan la ventaja de que se reduce el volumen del producto de forma importante, facilitando así el transporte y reduciendo el espacio empleado para el almacenamiento, lo que supone un abaratamiento de los costos. Además, la alta concentración de azúcar hace que la actividad microbiológica sea muy baja, alargando el tiempo de almacenamiento del producto. (*Gómez D.N.*)

Las perspectivas del mercado de bebidas no alcohólicas están dirigidas al potencial crecimiento del consumo de zumo en el mundo. Estudios del departamento de citrus de Florida (EE.UU.) indican un crecimiento del consumo del 1,5% al año para los EEUU y Canadá, del 3% al año para Europa Occidental y del 4% al año para el resto del mundo, incluido Japón y los países del sudeste asiático. (*Alimentos Argentinos*)

La producción mundial de jugos o zumos concentrados de cítricos en general se estima en 2,6 millones de toneladas. El jugo de naranja representa el 88% del total. El mercado es liderado por Brasil con el 50% del volumen elaborado, seguido por EEUU con el 40%, la Argentina aporta solo el 0,5%. (*Alimentos Argentinos*)

El zumo o jugo de pomelo concentrado ocupa el segundo lugar y presenta un fuerte crecimiento en la Argentina, aporta el 4% del total.

El zumo de limón representa el 4% del total de cítricos concentrados elaborados mundialmente. Argentina y EEUU son los principales productores.

Japón, EEUU y Brasil son los principales productores de zumo o jugo de mandarina concentrado. Argentina con el 4% del total, elabora un producto de buena aceptación. (*Alimentos Argentinos*)

En Bolivia se estima que el volumen de producción de jugos y bebidas refrescantes (No Alcohólicas), en el período 2008 a 2013 tuvo una tendencia creciente, puesto que, esta se incrementa de 495 millones de litros en 2008 a 917 millones de litros en 2012 teniendo una proyección para 2013 de 988 millones de litros. (*Autoridad de Fiscalización y Control Social de Empresas, 2014*)

En el cuadro N°1 se presenta la producción de jugos y bebidas refrescantes.

### **CUADRO N°1**

#### **PRODUCCIÓN DE JUGOS Y BEBIDAS REFRESCANTES**

<b>AÑO</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>LITROS</b>	495.812.256	631.995.304	797.441.909	808.055.942	917.692.428	988.290.160

Fuente: Autoridad de Fiscalización y Control Social de Empresas, 2014

Para el año 2008, existe un consumo de 479 millones de litros incrementándose hasta 927 millones de litros para 2012, teniendo una proyección para 2013 de 902 millones de litros. (*Autoridad de Fiscalización y Control Social de Empresas, 2014*)

El consumo de jugos y bebidas refrescantes se presentan en el cuadro N°2.

**CUADRO N°2**  
**CONSUMO DE JUGOS Y BEBIDAS REFRESCANTES**

<b>AÑO</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>LITROS</b>	479.080.805	713.401.277	819.051.641	874.572.352	926.772.801	902.977.746

Fuente: Autoridad de Fiscalización y Control Social de Empresas, 2014

En las ciudades troncales de Bolivia (La Paz, Cochabamba y Santa Cruz) existen plantas dedicadas al procesamiento industrial de jugos y bebidas refrescantes, las cuales concentran el 79% del mercado de procesados; entre ellas están: Grupo Industrial de Bebidas S.A. Frut-All; PIL Andina; Industrias Alimenticias Del Valle; Compañía de Alimentos Delizia Ltda. Tampico; Watts Compañía de Alimentos S.A.; Embotelladora la Cascada; Embol S.A.; Embotelladora de Refrescos Internacionales.

Los jugos o zumos de cítricos se producen por concentración de los jugos; obtenidos por medios mecánicos adecuados a partir de naranjas, mandarinas, pomelos, limas, limones y pueden ser conservados por métodos físicos (refrigeración o congelación) o químicos (ácido benzoico, sórbico o mezcal de ambos). (*Página web: [www.lemonconcentrate.com](http://www.lemonconcentrate.com)*)

Las frutas cítricas se desarrollan en casi todas las regiones del mundo. Las numerosas especies del género citrus provienen de las zonas tropicales y subtropicales de Asia; desde allí se distribuyeron a las otras regiones del mundo donde hoy se cultivan cítricos. Sus frutas atrajeron la atención de los pueblos primitivos, lo cual supone que ya se cultivaban mucho tiempo antes de que aparecieran en los países europeos. Sus frutas son parte de la vida de cada día de millones de personas alrededor del mundo. (*Página web: [www.inta.gov.ar](http://www.inta.gov.ar)*)

La producción de los cítricos muestra un ritmo creciente y continuo a lo largo del año; en el cuadro N°3 se presenta a los principales productores de cítricos en el mundo.

**Cuadro N°3**  
**PAÍSE PRODUCTORES DE FRUTAS CÍTRICAS**

<b>PAÍS</b>	<b>CANTIDAD (Toneladas)</b>
Brasil	20.252.412
Estados Unidos	14.874.140
China	10.460.000
México	6.874.517
España	5.734.200
India	4.870.000
Rep. Islámica de Irán	3.250.000
Italia	3.084.000
Argentina	2.706.000
Turquía	2.193.000
Pakistán	1.897.000
Japón	1.643.000
Sudáfrica	1.538.769
Grecia	1.281.000
Tailandia	1.079.500
Marruecos	983.700

Fuentes: Food & Agriculture Organization (F.A.O), 2012

Uno de los frutos cítricos a emplear por su sabor dulce y aromático es la mandarina; la cual proviene de las zonas tropicales de Asia, originaria del lejano Oriente (Antigua China) y su cultivo data desde el año 2000 A.C. Las mandarinas son bajas en grasas saturadas, colesterol y sodio. Son una fuente de fibra, y de las vitaminas A y C, pero muchas de sus calorías provienen de glucosa. Las mandarinas pueden reducir el riesgo de cáncer de hígado, ayudan a destruir moléculas inestables en el cuerpo, también conocidas como radicales libres; reducen el colesterol, y ayudan con la pérdida de peso. (*Página web: [www.elsaltaor.com/index](http://www.elsaltaor.com/index)*)

La producción de la mandarina a nivel mundial es notable por lo que en el cuadro N° 4 se presenta los países productores de este fruto cítrico.

**Cuadro N° 4**  
**PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE MANDARINA**

<b>PAÍS</b>	<b>CANTIDAD (Ton/año)</b>
China	15.185.000
España	1.974.000
Brasil	1.206.000
Japón	1.066.000
Marruecos	1.042.000
Corea del Sur	778.000
Egipto	748.000
Turquía	744.000
Irán	702.000
Tailandia	670.000
Pakistán	640.000
Argentina	600.000
Resto del Mundo	4.156.000
<b>Total Mundial</b>	<b>29.511.000</b>

Fuentes: Food & Agriculture Organization (FAO), 2012

La oferta de cítricos que existe en el mercado nacional (Bolivia) está basada en una economía de libre mercado pues los productores se encuentran en libre competencia; registrándose una variedad de los mismos que se dedican a la producción de estos frutos. En el cuadro N° 5 se presenta la producción anual de cítricos en Bolivia y en el cuadro N° 6 la producción anual de cítricos en el departamento de Tarija.

**Cuadro N° 5**  
**PRODUCCIÓN ANUAL DE CÍTRICOS EN BOLIVIA**

<b>FRUTA</b>	<b>SUPERFICIE (Hectáreas)</b>	<b>PRODUCCIÓN (Toneladas métricas)</b>	<b>RENDIMIENTO (Kg/ha)</b>
Naranja	25.536	186.260	7.294
Mandarina	16.720	134.252	8.029
Limón	3.345	15.265	4.563
Lima	912	3.799	4.166
Toronja	423	2.501	5.912

Fuente: Encuesta Nacional Agropecuaria INE, 2012



**Cuadro N° 6**  
**PRODUCCIÓN ANUAL DE CÍTRICOS EN TARIJA**

<b>FRUTA</b>	<b>SUPERFICIE</b> (Hectáreas)	<b>PRODUCCIÓN</b> (Toneladas métricas)	<b>RENDIMIENTO</b> (Kg/ha)
Naranja	1.105	6.562	5.938
Mandarina	475	3.049	6.419
Limón	172	1.180	6.860
Lima	93	470	5.054
Toronja	19	180	9.473

Fuente: Encuesta Nacional Agropecuaria INE, 2012

Observando en los cuadros anteriores; la producción de cítricos en el departamento de Tarija está constituido por las especies de naranja, mandarina, limón, lima y pomelo con distintas variedades, que conforman un periodo de cosecha que se extiende de junio a octubre. Cada una de éstas tiene su tendencia evolutiva propia, dependiendo de su inserción en el mercado regional o nacional.

En el cuadro N°7 se presenta la producción de la mandarina en el Departamento de Tarija evaluado en hectáreas, toneladas métricas y el rendimiento por hectárea.

**Cuadro N° 7**  
**PRODUCCIÓN DE MANDARINA EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA**

<b>AÑO</b>	<b>SUPERFICIE</b> (Hectáreas.)	<b>PRODUCCIÓN</b> (Toneladas métricas)	<b>RENDIMIENTO</b> (kg/ha)
2010	441	3.499	7.934
2011	445	3.469	7.796
2012	466	3.694	7.927
2013	475	3.274	6.893

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas (INE)

En el mercado regional, el principal producto que se puede encontrar derivado de la naranja, es el jugo de la misma. Los jugos de otras frutas cítricas se encuentran en menor proporción, como es el caso del jugo de mandarina, pomelo y limón.

La mandarina es una de las numerosas frutas del género Citrus, siendo la región sur del departamento de Tarija (Gran Chaco, O'Connor y Arce) la principal productora,

el hecho de procesar las frutas cítricas producidas en el departamento brinda una apertura a nuevos mercados, siendo una alternativa para seguir generando nuevas tecnologías y comenzar a ser competitivos en este sector de la economía; por lo que productos elaborados son una alternativa para aprovechar la producción existente. (*Amezaga C.A., 2010*)

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general:

- Determinar las variables óptimas en el proceso de elaboración de zumo concentrado de mandarina de la variedad criolla (Citrus Reticulata).

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar el análisis fisicoquímico de la variedad de mandarina a utilizar
- Seleccionar el método adecuado para la elaboración de zumo concentrado de mandarina
- Realizar el diseño factorial
- Controlar la calidad del producto zumo concentrado de mandarina

## JUSTIFICACIÓN

En el presente proyecto de investigación se pretende aportar información técnica sobre el proceso de elaboración de jugo concentrado de mandarina para dar valor agregado a este producto alimenticio tal que permita su conservación y consumo en todas las épocas del año.

El estudio de jugo concentrado de mandarina es de mucha importancia pues al encontrar las variables óptimas para el proceso se aportará con información necesaria para la conservación de este fruto cítrico, el cual, al ser de consumo estacional (especialmente en las épocas de invierno), desaparece en otras épocas del año y debido a esto los productores de este rubro no logran vender toda su producción la misma que se deteriora sin ser aprovechada por la población.

El concentrado de jugos es utilizado por varias industrias alimenticias en el mundo las cuales se han ido modificando y adecuando tecnológicamente para mejorar las características de los productos alimenticios. Este es un proceso de gran aplicación, entre los alimentos más comunes incluyen como los jugos y néctares de frutas, jarabes, mermeladas y jaleas, pasta de tomate y otros.

Utilizando el proceso de concentrado con un adecuado control de las variables se pretende disminuir el peso y volumen de la mandarina, manteniendo sus propiedades nutritivas y organolépticas permitiendo un fácil almacenamiento y transporte.

Las frutas concentradas presentan un mayor poder alimenticio; dado que al perder gran parte de su contenido en agua se concentran en hidratos de carbono, sustancias pépticas, proteínas, grasa y sales minerales que se encuentra en el fruto.

Muchas industrias alimenticias utilizan los jugos concentrados de frutas como materia prima entre las cuales citamos:

- Lácteos. Son las empresas cuya función primordial es la producción de helados, postres, yogurt, mermeladas, tortas, donde utilizan frutas frescas y/o

concentradas como parte de la materia prima para la elaboración de sus productos.

- Bebidas de jugos y gaseosas no alcohólicas. Son empresas productoras y comercializadoras de jugos y bebidas gaseosas no alcohólicas. Algunas de estas empresas necesitan jugos concentrados de frutas y esencias para elaborar dichas bebidas.

A nivel nacional las industrias que ofrecen jugos diluidos como TAMPICO, PIL ANDINA, ARUBA y DELIZIA importan jugos concentrados de la República Argentina, tal es el caso de TAMPICO que para los periodos comprendidos entre abril 2006 y marzo 2007 la empresa elaboró 21.600 toneladas de jugos y la industria DELIZIA entre abril 2007 y marzo de 2008 elaboró 18.700 toneladas de jugos, importando los concentrados para la elaboración de sus productos. (*Amezaga C.A., 2010*)

Además, la producción de frutas cítricas según datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria realizada por el Instituto Nacional de Estadística (INE), el año 2013 en Bolivia se produjeron 125.989.000 Kg/año de naranja, 73.184.000 Kg/ año de mandarina, 15.265.000 Kg/año de limón, 3.799.000 Kg/año de lima y 2.501.000 Kg/año de toronja/pomelo; específicamente, en el departamento de Tarija en especial la producción de la Mandarina presenta una producción de 3.274.000 Kg/año. Lo que hace que el departamento tenga un promedio de 6% de la producción de cítricos en todo el país considerando que el 40% de toda la fruta del departamento se consume de manera tradicional y el 20% se comercializa al interior del país y un 5% se utiliza de manera artesanal y un 35% como pérdidas diversas. (*Instituto Nacional de Estadísticas-INE*).

**CAPÍTULO I**  
**MARCO TEÓRICO**

## 1.1 GENERALIDADES

La demanda de los productos cítricos y su inclusión en la dieta diaria de los humanos se basa, sobre todo, en su valor nutritivo, cualidades olfato-gustativas y otras características de tipo estético como el color, la textura y la turbidez, factores de calidad que dependen directamente de la composición química y la estructura del fruto. (*Ashurt P.R., 1999*)

Los zumos de cítricos proporcionan cantidades importantes de vitamina C, siendo la fuente principal para cubrir las necesidades diarias de dicha vitamina y además aportan otros nutrientes, como aminoácidos, sales inorgánicas, carbohidratos y, posiblemente, una serie de nutrientes no identificados, que confieren un valor nutritivo suplementario a la parte comestible del fruto. Hay también pigmentos y aceites esenciales volátiles en la corteza. (*Ashurt P.R., 1999*)

En los frutos cítricos se distinguen dos partes: la piel o corteza y los segmentos o cascós. La corteza a su vez está formada por los siguientes tejidos: epicarpio y mesocarpio (mesocarpio externo y mesocarpio interno), que forman la parte coloreada de la corteza, la cual recibe el nombre de flavedo. (*Rueda V. R.I., 2005*)

El mesocarpio interno es de color blanco, de allí el nombre de albedo. En algunas variedades el mesocarpio interno está coloreado de amarillo a rosa pálido. El endocarpio está constituido por los cascós o segmentos. (*Rueda V. R.I., 2005*)

## 1.2 LA MANDARINA

La mandarina es el fruto del mandarino, árbol que pertenece a la familia de las Rutáceas, con características similares al naranjo, de aspecto físico mediano y abundante en vitamina C, flavonoides y aceites esenciales.

Su sabor aromático y la facilidad de extraer su piel, hacen de esta fruta una de la más apreciadas. Su periodo de maduración es dilatado dada la gran cantidad de variedades cultivadas. (*Directo del campo, 2015*)

Entre las distintas especies de cítricos producidas en el departamento de Tarija se tiene las siguientes especies; presentada en la tabla I-1.

**Tabla I-1**  
**DISTINTAS ESPECIES DE CÍTRICOS EN TARIJA**

<b>Tipos de Cítricos</b>	<b>Especie a las que pertenecen</b>
Naranja	Citrus Sinensis
Mandarina ( <i>Objeto de Estudio</i> )	Citrus <i>Reticulata e Híbridos</i>
Pomelo	Citrus Paradisi
Limón	Citrus Limón
Lima	Citrus Aurantifolia

Fuente: Infoagro, 2012.

**Naranja (*Citrus sinensis*):** La variedad más difundida es la criolla, fruta de tamaño mediano con un diámetro de 6 a 10 cm, color naranja fuerte,, cáscara delgada y ligeramente rugosa, pulpa de color anaranjada y 50% de jugo abundante, con numerosas semillas (10 a 15 por fruto) y de sabor dulce. (*Infoagro, 2012*)

**Mandarina (*Citrus reticulata*):** Al igual que la naranja, la variedad más difundida es la criolla, cuyos frutos son de tamaño mediano (diámetro de 7cm), de color anaranjado y cáscara ligeramente rugosa, de abundante jugo y una gran cantidad de semillas (10 a 25 por fruto). (*Infoagro, 2012*)

**Pomelo (*Citrus paradisi*):** Sobresale por ser el cítrico de mayor tamaño de color amarillo verdoso, cáscara muy delgada, jugo abundante y sabor agrídulce. (*Infoagro, 2012*)

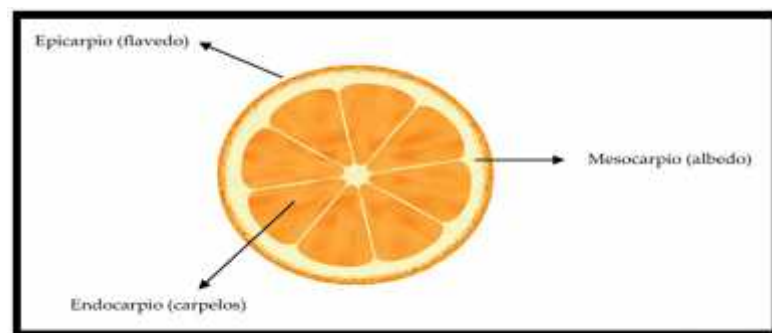
**Limón y lima:** La lima, fruto de tamaño mediano (7 cm de diámetro), tiene forma esférica, cáscara lisa de color verde amarillenta, pulpa de color blanco, jugosa y de sabor agrídulce; en cambio, el limón es un fruto de tamaño pequeño (4 a 5 cm de diámetro), corteza de color amarillento y su pulpa presenta sabor ácido. (*Infoagro, 2012*)



### 1.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO DE LA MANDARINA

En general es de tamaño mediano y su peso varía desde los 60 a los 150 gramos, el color en la cáscara y en la pulpa es anaranjado, aunque en algunas variedades la piel puede tener un tono naranja rojizo. Su piel, en general, no se adhiere al fruto y su pulpa se divide en 8 o 10 gajos que se separan con facilidad. Es de sabor dulce y resulta deliciosamente jugosa y refrescante. En el fruto se distinguen el epicarpio o flavedo, mesocarpio o albedo y el endocarpio. En la figura 1-1 se puede apreciar la sección transversal del fruto de mandarina.

**Figura 1-1**  
**SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA MANDARINA**



#### **Flavedo**

Los pigmentos y aceites esenciales son las sustancias más importantes de los contenidos en el flavedo.

#### **Albedo**

En estado fresco, el albedo contiene 75 a 80% de agua. En la madurez, la materia seca del mismo fruto está compuesta por: 44% de azúcares (glucosa, fructosa, sacarosa), 33% de celulosa y 20% de sustancias pépticas, que tienen la particularidad de absorber agua. Además contiene glucósidos y ácido ascórbico en cantidad apreciable.

## Endocarpio

El endocarpio es la porción comestible de los frutos. (*Rueda V. R.I., 2005*)

- **Sólidos Disueltos:** Están compuestos principalmente por los azúcares y los ácidos. En los limones, los ácidos representan la mayor parte de los sólidos disueltos (alrededor de 7% de un total de 9%), mientras que en la naranja los compuestos dominantes son los azúcares (7.5% de un total de 11 a 12%)
- **Proteínas:** En los frutos hay baja cantidad de proteínas (menos de 2%), solo en las semillas hay cantidades importantes (hasta 16%).
- **Vitaminas:** La vitamina C es la más abundante; encontrándose principalmente en el albedo y el jugo. Los jugos de los cítricos también contienen provitamina A.
- **Ácidos:** Contiene diversos ácidos: cítrico, málico, oxálico y succínico. En la naranja los principales ácidos son el cítrico y el málico; este último especialmente en las limas dulces.
- **Sólidos Solubles Totales:** Aproximadamente el 85% del total de sólidos solubles son azúcares. Aún en frutos de una misma variedad y dentro del mismo árbol se dan diferencias en el contenido de azúcares.

### 1.2.2 ORIGEN DE LA MANDARINA

Como el resto de los frutos cítricos, la mandarina proviene de las zonas tropicales de Asia. Antes de llegar al Occidente ya era famosa por su dulce sabor en los mercados de la India. Su nombre alude al color de los trajes que utilizaban los mandarines, altos gobernantes de la antigua China; por tanto; se puede afirmar que es una fruta originaria de China e Indochina, cuyo cultivo se introdujo en Europa en el siglo XIX. (*Benítez C.M., 2014*). Otros hacen referencia que el área de origen de las mandarinas fue probablemente de Indochina y China Meridional. Las zonas tradicionales de producción de estas especies se encuentran en Asia. Las mandarinas fueron transportadas desde Asia a Europa mucho después que otros cítricos. (*Davies F.S.; Albrigo L.G., 1999*)

### 1.2.3 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

#### 1.2.3.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

En el cuadro I-1 se presenta la clasificación taxonómica de la mandarina.

**Cuadro I-1**  
**CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA MANDARINA**

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Orden</b>	Sapindales
<b>Familia</b>	Rutaceae
<b>Subfamilia</b>	Citroideae
<b>Tribu</b>	Citreae
<b>Género</b>	Citrus
<b>Especies</b>	Citrus reticulata

Fuente: Infoagro, 2012

#### 1.2.3.2 MORFOLOGÍA

En el cuadro I-2 se presenta la morfología de la mandarina.

**Cuadro I-2**  
**MORFOLOGÍA DE LA MANDARINA**

<b>Porte</b>	Menor que el naranjo y algo más redondeado
<b>Raíz</b>	Sólida, blanca y bajo condiciones de cultivo, posee gran cantidad de pelos radiculares
<b>Hojas</b>	Unifoliadas y de nerviación reticulada, con alas rudimentarias pequeñas
<b>Flores</b>	Solitarias o en grupos de 3 o 4
<b>Fruto</b>	Llamada hesperidio, menor que el naranjo y algo más redondeado, existen variedades muy semilladas y otras partenocarpas

Fuente: Infoagro, 2012

### 1.2.4 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA MANDARINA

La mandarina es junto a la naranja y la toronja o pomelo una de las frutas cítricas más populares, comparte junto con otros cítricos un aporte similar de nutrientes. No obstante ello, se dará a conocer las propiedades nutricionales; las cuales se presenta en la tabla I-2.

**Tabla I-2**  
**COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA MANDARINA**

<b>Valor Nutricional por cada 100 gr</b>	
<b>Energía 53 kcal-220 kJ</b>	
<b>Carbohidratos-13.34 gr</b>	
Azúcares	10.58 gr
Fibra Alimentaria	1.18 gr
<b>Grasas-0.31 gr</b>	
Saturadas	0.039 gr
Trans	0.000 gr
Mono insaturados	0.060 gr
Poliinsaturados	0.065 gr
<b>Proteínas-0.81 gr</b>	
Retinol (vitamina A)	34 µg
Tiamina (vitamina B1)	0.058 mg
Riboflavina (vitamina B2)	0.036 mg
Niacina (vitamina B3)	0.376 mg
Vitamina B6	0.078 mg
Ácido Fólico (vitamina B9)	16 µg
Vitamina B12	0.0 µg
Vitamina C	26.7 mg
Vitamina D	0.0 µg
Vitamina E	0.2 mg
Vitamina K	0.0 µg
Calcio	37.0 mg
Hierro	0.15 mg
Magnesio	12.0 mg
Fósforo	20.0 mg
Potasio	166.0 mg
Sodio	2.0 mg
Zinc	0.07 mg
<b>Agua-85.17 gr</b>	

Fuente: Mandarina Comercial/Base de datos de nutrientes de USDA, 2012

#### 1.2.4.1 Carbohidratos

La mayor cantidad de hidratos de carbono en cítricos está constituida por tres azúcares que son la sacarosa 49-59%, glucosa 20-25% y fructosa 20-25%. Estos porcentajes pueden variar según las condiciones climáticas, variedades y áreas de cultivo en el mundo. La proporción entre sacarosa, glucosa y fructosa, es generalmente de 2:1:1.

**Azúcares:** Tiene menos cantidad que otras frutas de su género, por tanto menos calorías

**Fibra:** Es apreciable y se encuentra sobre todo en la parte blanca entre la pulpa y la corteza, por lo que su consumo favorece el tránsito intestinal.

#### 1.2.4.2 Componentes Inorgánicos y Vitaminas

Las vitaminas son sustancias orgánicas necesarias en la dieta para una buena nutrición y para la salud. Los componentes inorgánicos o sales minerales, en este caso, el potasio se encuentra en una proporción de hasta el 70%, aunque también son considerables el calcio, magnesio y fósforo, junto con otros elementos en menores cantidades.

**Vitamina C:** Se presenta con mayor abundancia, aunque en menor cantidad que la naranja. Esta vitamina interviene en la formación de colágeno, de huesos, dientes y de los glóbulos rojos. Ayuda a absorber el hierro de los alimentos y a hacer frente a las infecciones.

**Vitamina A:** Contiene la provitamina A, y abunda más que en cualquier otro cítrico. Favorece en la vista, la piel, el cabello, las mucosas, los huesos y el sistema inmunológico. Tanto la vitamina A como la vitamina C cumplen una función antioxidante.

**Vitamina B:** Se presenta en menor proporción, pero la contiene gracias al ácido fólico, el cual interviene en la producción de glóbulos rojos y blancos y en la formación de anticuerpos del sistema inmunológico.

**Calcio:** De menor aprovechamiento que el que procede de los lácteos u otros alimentos que son buena fuente de dicho mineral.

**Potasio:** Es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal. Interviene en el equilibrio del agua dentro y fuera de la célula.

**Magnesio:** Contiene cantidades destacables.

### **1.2.5 VARIEDAD DE MANDARINAS**

Las mandarinas se dividen en cuatro grandes grupos o tipos varietales, dentro de los cuales se encuentran las diferentes variedades: Clementinas, Clemenvillas, Satsumas e Híbridos.

**Clementinas:** Son de color naranja intenso, de forma esférica aplanada y lo común es que carecen de semillas. Se consideran un cruce entre la mandarina y una naranja rojiza y con mucho zumo.

**Clemenvillas:** Son de tamaño más grande que los anteriores, de corteza naranja rojiza y con mucho zumo.

**Satsuma:** Es originaria de Japón y presenta un exquisito aroma. Sus árboles son los últimos en florecer y sin embargo son los primeros que se recolectan. Las frutas son de color amarillo naranja o naranja asalmonado, de buen tamaño, forma achatada y con propensión a hincharse cuando la corteza inicia el cambio de color. La corteza es gruesa y rugosa, la pulpa de menor calidad gustativa y su recolección puede comenzar a mediados de septiembre.

**Híbridos:** Son frutos de buen tamaño y naranja rojizo. La pulpa posee gran cantidad de zumo y es abundante en azúcares y ácidos orgánicos, la corteza es muy adherida a la pulpa.

### 1.2.5.1 VARIEDAD DE MANDARINA EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA

En el departamento de Tarija las variedades de mandarinas que se producen son diversas y entre las que se destacan se presentan en el cuadro I-3.

**Cuadro I-3**

#### MANDARINAS PRODUCIDAS EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA

Cultivo	Variedades
<b>Mandarina</b>	Criolla
	Ponkan
	Malvácea
	Satsuma
	Murcot

Fuente: Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG). 2015

**Murcot:** Fruto de tamaño mediano a pequeño, consistente y firme. La cáscara es lisa y brillante, pegada a los gajos por lo que no es fácil de pelar. La pulpa presenta un buen porcentaje de azúcar y niveles medios de acidez con un sabor y olor muy particular, presenta algunas semillas.

**Satsuma:** Originaria de Japón, son de color amarillo a naranja, de buen tamaño, forma achatada y con propensión a hincharse cuando la corteza inicia el cambio de color. La corteza es gruesa y rugosa, la pulpa de menor calidad gustativa y su recolección comienza a mediados de septiembre.

**Malvácea:** El fruto es de tamaño pequeño, de color amarillo a naranja, el fruto se asemeja a los frutos de la planta malvácea, son agridulces y presenta algunas semillas.

**Ponkan:** Llamada también como mandarina miel. Esta fruta tiene una forma aplanada y achatada. Su color es naranja en su madurez, que culmina en diciembre hasta enero. Sus cáscaras son eliminadas fácilmente desde la pulpa de la fruta. Cada

fruta tiene 9 a 12 segmentos de fruto, presenta un aroma suave cuando es retirada la corteza.

**La Criolla:** Es una variedad que se caracteriza por contener un exquisito sabor y aroma, es una fruta cítrica fácilmente cultivable en parcelas pequeñas y en su mayoría la destinan para uso propio.

Las principales componentes que contiene son: agua, nivel de azúcar bajo, vitamina C (alto contenido), ácido fólico, provitamina A, fibras y antioxidantes. (*Gómez R. G., 2011*)

La variedad de mandarina que mayormente es consumida en los diferentes mercados de la ciudad de Tarija es la variedad Criolla como primer lugar seguida por la variedad Ponkan y la Satsuma, variedad de mandarinas producidas y más consumidas en la región. (*Servicio departamental agrario-Tarija, 2015*)

La mandarina constituye en sí un alimento sano, rico en ácido cítrico, vitaminas A, B, C y sales minerales. En la actualidad se usa para la obtención de jugos que principalmente se emplean como concentrados que se utilizan en elaboración de refrescos y bebidas. También es empleado para la obtención de aceites esenciales a partir de la corteza, que se emplea en la industria farmacéutica y cosmética; también es muy empleado en la elaboración de ciertos aditivos para la elaboración de pinturas y para la obtención de productos saborizantes en refrescos; se pueden obtener aromas y esencias para la elaboración de bebidas, pasteles, nieves y mermeladas. Aunque también se emplea en la elaboración de gajos en almíbar o en zumo natural. (*Gómez R. G., 2011*)

### **1.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA MATERIA PRIMA Y DEL PRODUCTO ZUMO CONCENTRADO DE MANDARINA**

En la elaboración de zumo concentrado de mandarina es importante utilizar variedades con un alto contenido de jugo y un buen balance entre el °Brix y la acidez. El color es un parámetro de calidad importante, especialmente en jugos concentrados



y en la preparación de bases de productos cítricos. Generalmente se mezclan zumos de diferentes extracciones para obtener un buen balance en color y sabor del producto. (Primo Y., *Química agrícola III alimentos*)

Debido a que el contenido de vitamina C, componente nutritivo más importante en el jugo, es muy deseable que esté presente en un alto porcentaje como ácido ascórbico. Otro requisito para el procesamiento, es que la materia prima no tenga un excesivo sabor amargo o que éste, no sea sometido a un procesamiento térmico.

Conocer el estado óptimo de madurez para realizar la cosecha es definitivo y se debe contemplar varios aspectos como coloración, tamaño, contenido del jugo, sólidos solubles (°Brix), de ácidos y la relación sólidos solubles totales y ácidos totales.

La relación entre los sólidos solubles totales °Brix, específico para cada variedad, con los ácidos totales, determina el grado de madurez del fruto.

Al inicio de la madurez, los sólidos solubles son bajos y la acidez es alta, pero a medida que la fruta madura, el contenido de sólidos solubles aumenta y la acidez disminuye. (Primo Y., *Química agrícola III alimentos*)

### 1.3.1 CARACTERÍSTICA DE LA MATERIA PRIMA (MANDARINA)

La mandarina-*Citrus Reticulata* es un alimento sano, rico en ácido cítrico, vitaminas A, B, C, sales minerales, flavonoides y aceites esenciales. Es un fruto cítrico atractivo al consumidor gracias a su sabor, color, aroma y facilidad de pelado. En la tabla I-3 se puede apreciar las características físico-químico del jugo de mandarina.

**Tabla I-3**

#### **CARACTERÍSTICA FISICO-QUIMICA DEL ZUMO DE MANDARINA**

<b>°Brix</b>	8-13	%
<b>pH</b>	3.2-3.6	--
<b>Acidez</b>	1-3	g/100 ml

Fuente: Primo Y., *Química agrícola III alimentos*

### 1.3.1.1 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL ZUMO DE MANDARINA

Los frutos cítricos poseen una serie de nutrientes muy importantes para la alimentación que requiere el organismo humano, tales como azúcares, vitaminas, aminoácidos, sales minerales y otros componentes.

En la tabla I-4 se presenta la composición nutricional del jugo de mandarina.

**Tabla I-4**  
**COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL ZUMO DE MANDARINA**

	<b>RANGO</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>Sólidos Solubles (°Brix)</b>	8-13	%
<b>Azúcares</b>	7-12	g/100 ml
<b>Ácidos</b>	1-3	g ácido cítrico/100 ml
<b>pH</b>	3.2-3.6	--
<b>Aminoácidos</b>	1.7-1.9	g/100 ml
<b>Vitamina C</b>	30-50	mg/100 ml
<b>Carotenoides</b>	1-2.5	mg/100 ml
<b>Grasas</b>	85-95	mg/100 ml

Fuente: Primo Y., Química agrícola III alimentos

### 1.3.1.2 AZÚCARES EN EL ZUMO DE MANDARINA

Los sólidos solubles del zumo de los cítricos están formados, fundamentalmente, por los azúcares reductores y no reductores y por los ácidos.

Los principales azúcares en los jugos de naranja, son: sacarosa, glucosa y fructosa, que suman alrededor del 75 por 100 de los sólidos solubles totales, estando frecuentemente equilibrados los reductores y la sacarosa.

En el pomelo, el contenido en sacarosa es aún menor que el contenido en azúcares reductores, y en el limón, la proporción de sacarosa es mucho menor.

En la tabla I-5 se presenta los azúcares en el jugo de mandarina.

**Tabla I-5**  
**AZÚCARES EN EL ZUMO DE MANDARINA**

<b>Azúcares Totales</b>	8.31 g/100 ml
<b>Azúcares no reductores</b>	5.81 g/100 ml
<b>Azúcares reductores</b>	2.50 g/ml

Fuente: Ríó J.A., Componentes nutricionales de los cítricos

### 1.3.2 FACTORES A TOMAR EN CUENTA EN LA MATERIA PRIMA

Para el control de calidad del jugo natural las pruebas más importantes a tomar en cuenta son la acidez, sólidos solubles y el pH. La acidez del jugo tiene influencia en su sabor y en la capacidad de conservación del mismo, su valor varía de acuerdo al estado de madurez.

La relación °Brix/Acidez, es un factor importante para estimar el grado de madurez de la fruta; en lo que al contenido de jugo (sólidos solubles), será mayor cuando el fruto es maduro, ya que de no serlo es más difícil su extracción en la maduración del fruto.

En la maduración el contenido de ácido cítrico disminuye notablemente, el pH en el jugo aumenta a medida que el fruto madura. (*Primo Y., Química agrícola III alimentos*)

### 1.3.3 ÍNDICE DE MADURACIÓN

Al inicio de la madurez, los sólidos solubles totales del jugo son bajos y la acidez es alta pero a medida que la fruta madura, el contenido de sólidos solubles del jugo aumenta y la acidez disminuye.

La relación entre los sólidos solubles totales °Brix, específico para cada variedad, con los ácidos totales, constituye la norma de calidad para estas frutas, es decir, indica el índice de maduración. (*Primo Y., Química agrícola III alimentos*)

$$I_{dM} \text{ ó } n(I) = \frac{^{\circ}B}{A} \quad (1.1)$$

## 1.4 CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO ZUMO CONCENTRADO DE MANDARINA

El zumo o jugo concentrado es uno de los productos importantes de los derivados de la industrialización de los cítricos. Debido a sus propiedades nutritivas, poseen una fuente rica en azúcares, vitaminas y sales (sobre todo por el contenido de vitamina C).

Los zumos concentrados de cítricos para la elaboración de bebidas, son productos obtenidos por la evaporación del agua teniendo una concentración de sólidos solubles desde 58 a 64 °Brix. El jugo concentrado de mandarina se obtiene del jugo natural de frutos sanos y maduros, el proceso debe realizarse bajo un control de asepsia riguroso, para obtener un jugo natural de buena calidad.

Inicialmente el jugo natural extraído tiene un porcentaje de sólidos solubles de 8 a 13 °Brix, seguidamente es sometido a un proceso de concentrado por evaporación al vacío, donde se elimina parcialmente el contenido de agua, llegando a un porcentaje de sólidos solubles de 64 °Brix.

En la tabla I-6 se presenta las características físico-químicas del jugo concentrado de mandarina comercial:

**Tabla I-6**  
**CARACTERÍSTICAS FISCO-QUÍMICAS DEL ZUMO CONCENTRADO DE MANDARINA**

PARÁMETRO	UNIDAD	RANGO
pH	--	3.20-3.80
°Brix	%	60-66
Acidez	%	3.75-6.60
°Brix/Acidez	--	10-16
Vitamina C	mg/100 g	150
Desarrollo de Microorganismos	UFC	Ausente

Fuente: Lemonconcentrate, 2015

## **1.5 MÉTODOS TECNOLÓGICOS EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN, PASTEURIZACIÓN Y CONCENTRADO DE ZUMO DE MANDARINA**

### **1.5.1 TECNOLOGÍA DE EXTRACCIÓN DE ZUMOS**

Los extractores industriales de frutas cítricas comenzaron a desarrollarse en los años 40 y 50, y desde entonces no han dejado de incorporar nuevas mejoras y avances tecnológicos que han permitido aumentar los rendimientos y la calidad del jugo obtenido.

Básicamente son dos las técnicas utilizadas en la industria para la extracción de jugos de cítricos.

- 1) **La FMC.** Desarrollada por la empresa norteamericana Food Machinery Company.
- 2) **La ZUMEX.** Desarrollada por la empresa española de Máquinas y Elementos S.A.

#### **Tecnología FMC**

Es el tipo de extractor más utilizado a escala industrial, en la extracción de jugos de cítricos para la elaboración de concentrados.

El principio de funcionamiento se basa en la separación instantánea de los elementos constituyentes del fruto como ser piel, membrana, semillas y otros productos no deseables que, de permanecer demasiado tiempo en contacto con el jugo, pueden tener influencia adversa para la calidad final del producto. La extracción rápida evita que pasen al jugo sustancias indeseables procedentes de las semillas, membranas y corteza que pueden producir amargor y sabores extraños. Como resultado se obtiene un jugo de gran calidad. Este proceso se realiza muy rápidamente, ya que los extractores pueden alcanzar casi 100 ciclos por minuto. La selección del tamaño de las copas extractoras se hace en función del rango de tamaños de la fruta a procesar.

En general, la fruta (mandarina), previamente clasificada por tamaños, llega al extractor a través de una cinta transportadora y se posiciona en la parte inferior de la copa. Una cuchilla de acero inoxidable situada en la parte superior corta un círculo de corteza en la parte superior del cítrico, para permitir la separación de la corteza de las porciones interiores de la fruta.

En la parte inferior otra cuchilla corta una porción de corteza para permitir el acceso del cilindro de tamizado al interior del fruto. La copa superior y la copa inferior sujetan el fruto durante todo el proceso de exprimido para evitar su rotura.

El cilindro de pre-tamizado separa los elementos internos del fruto en función de su tamaño; el zumo y la pulpa pasan a través de los orificios del pre-tamizador y se depositan en el depósito de jugo, mientras que las membranas y semillas se descargan por el tubo inferior.

Las etapas del proceso se describen de la siguiente forma:

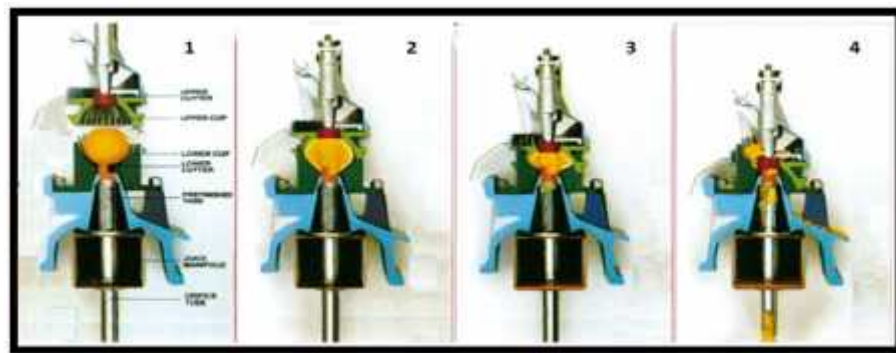
- **Primera fase de extracción.** En esta primera fase del ciclo de extracción, la copa superior se desplaza hacia abajo provocando una presión en el cítrico de forma que las cuchillas superior e inferior comienzan a cortar los extremos superior e inferior del fruto. El diseño de las copas permite que el fruto quede perfectamente sujeto, evitando que se rompa, y consigue una extracción uniforme durante todo el proceso.
- **Segunda fase de extracción.** Cuando el ciclo de extracción continúa, los dedos de las copas se entrecruzan y el aumento de presión sobre el cítrico obliga al jugo y a las partes interiores del fruto (jugo, pulpa, membranas y semillas) a pasar a través del fondo al cilindro tamizador, a la vez que la corteza empieza a salir por la parte superior, entre la copa y la cuchilla.
- **Tamizado.** Una vez finalizada la extracción, las porciones interiores del cítrico se hallan localizadas en el interior del cilindro tamizador. En este momento, el tubo del orificio se mueve hacia arriba, presionando el contenido del cilindro tamizador, lo que provoca que el zumo y la pulpa pasen a través

de los orificios del tamiz y luego al depósito colector de jugo. Las partes del fruto de mayor tamaño, que no pueden atravesar el tamiz, son descargadas por un orificio en el tubo inferior y evacuadas fuera de la máquina.

Las cortezas rotas, al ser forzadas a pasar a través de los dedos de las copas, se eliminan por la parte superior de la máquina y se depositan en un colector. Durante la extracción, las pieles forzadas a pasar a través de los dedos de las copas, sueltan el aceite esencial contenido en las vesículas. Este aceite puede ser arrastrado mediante una corriente de agua y recogido por separado como una emulsión de aceite. (Catarina C.P. y col., 2012)

**Figura 1-2**

### **ESQUEMA DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ZUMOS FMC**



### **Tecnología ZUMEX**

Este tipo de máquinas extractoras se utilizan principalmente para la obtención de zumo fresco a pequeña y mediana escala.

Su principio de funcionamiento, es bastante simple y se basa en partir el fruto por la mitad y hacer pasar las mitades entre dos cilindros giratorios que presionan el fruto y extraen el jugo.

El original y simple sistema de extracción se basa en unos tambores macho y hembra que con una perfecta sincronización extraen el jugo de la pulpa de la fruta, que

previamente ha sido cortada en dos mitades por medio de una cuchilla ubicada en el compartimiento superior de la máquina. (Catarina C.P. y col., 2012)

Su gran peculiaridad reside en que en ningún momento las bolas de exprimido están en contacto con la corteza de la fruta, sino solo con la pulpa, para evitar el sabor amargo y obtener, por tanto, un jugo de alta calidad. Este sistema permite así, un rendimiento de hasta el 95%.

**Figura 1-3**

**ESQUEMA DE UNA MÁQUINA EXTRACTORA DE ZUMOS ZUMEX**



Ambas extractoras presentan muy buena eficiencia para los rangos de tamaños de frutos recomendados. Sin embargo, pueden ocurrir pérdidas en los rendimientos de jugo y aceite esencial debido a la rotura de los frutos cuando piezas demasiado grandes o pequeñas alimentan una determinada copa. Este problema se reduce mediante la selección por calibrado del tamaño de fruto adecuado antes de la extracción.

En general, las copas están diseñadas para calibres entre 65-78 mm para naranjas, y para mandarinas y limones las copas presentan diámetros inferiores a 65 mm.



Estudios recientes demostraron el efecto de diferentes tecnologías industriales de exprimido (tipo FMC y tipo ZUMEX) sobre los parámetros químicos y sensoriales del jugo de mandarina observándose diferencias significativas entre las dos tecnologías con respecto al perfil químico de aromas y sensorial de jugos; sin embargo; no se observa diferencias significativas en los parámetros físico-químicos de los mismos, pero sí un rendimiento en jugo muy superior para la tecnología de exprimido FMC (tabla I-7). (*Catarina C.P. y col., 2012*)

**Tabla I-7**  
**EFFECTO DE LA TECNOLOGÍA DE EXPRIMIDO SOBRE LOS**  
**PARÁMETROS DE CALIDAD DE ZUMO**

Tecnología de exprimido	Diámetro (mm)	Ác. Cítrico (g/100 ml)	SST (°Brix12.4)	Índice de madurez (SST/AT)	Zumo (%)	pH	Ác. Ascórbico (mg/100 ml)
FMC	57.9	0.90	12.4	13.9	52.1	3.6	49.7
ZUMEX	58.8	0.93	12.5	13.9	37.0	3.7	47.6

Fuente: Industrialización de Cítricos y Valor Agregado, 2012

### 1.5.2 TECNOLOGÍA DE LA PASTEURIZACIÓN

La pasteurización es un tratamiento térmico que se aplica para aumentar la vida útil de los alimentos.

La pasteurización es un proceso tecnológico que se lleva a cabo mediante el uso de calor, su principal objetivo es la eliminación de patógenos en los alimentos para alargar su vida útil conservando las características fisicoquímicas del producto.

Hay dos tipos de procesos de pasteurización: el primero es el que se somete al producto a altas temperaturas (72°C-85°C) en un breve periodo de tiempo y es aplicada en líquidos como la leche, zumos de fruta o cerveza. El segundo tratamiento, denominado ultra-altas temperaturas (UHT), es un proceso de flujo continuo y la temperatura utilizada es más elevada que en el primer proceso, puede rondar los 138°C durante un periodo de dos segundos. Es aplicado en líquidos como los zumos de frutas y zumos de verduras. (*Gimferrer M.N., 2012*)

### **1.5.2.1 FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN**

Algunos factores pueden afectar de manera positiva o negativa la eficacia del proceso ya que los alimentos no responden de igual manera al tratamiento. (*Gimferrer M.N., 2012*)

#### **Acidez del producto**

En la pasteurización conviene trabajar con pH bajos. Por debajo de un pH de 4,5 las bacterias no crecen, de ahí el tratamiento puede ser más suave y las características organolépticas no se ven afectadas. Con un pH alto es necesario un tratamiento con temperaturas elevadas.

#### **Microorganismos resistentes**

Existen organismos resistentes y difíciles de eliminar, como el *Bacillus cereus*, que son capaces de sobrevivir a baja temperatura. Sin embargo, esta resistencia depende del pH del alimento o de su actividad de agua. Si se controlan estos parámetros, puede controlarse la resistencia.

#### **Capacidad Calorífica**

La capacidad calorífica puede afectar al rendimiento de la pasteurización. Aquellos que necesitan más energía para aumentar su temperatura, necesitan un proceso más severo que aquellos que aumentan de forma rápida la temperatura.

### **1.5.2.2 PASTEURIZACIÓN DE LOS ZUMOS**

La pasteurización es muy efectiva en los zumos debido a que es un medio ácido y evita la proliferación de microorganismos esporulados (resistentes a elevadas temperaturas). (*Gimferrer M.N., 2012*)

La pasteurización de zumos y concentrados, consiste en el calentamiento del zumo a temperaturas entre 60°C y 100°C durante un tiempo variable, se puede utilizar en casi todos los zumos debido a que su mayoría tiene un pH relativamente bajo.

La pasteurización rápida del zumo una vez des-aireado consiste en elevar su temperatura a 82°C-90°C durante 5 a 10 segundos, posteriormente se enfría a la temperatura adecuada para su llenado en envases esterilizados; cuando el llenado es aséptico, se realiza una esterilización (eliminación de los gérmenes) que supone un mayor calentamiento del producto o del envase.

La pasteurización suele realizarse sobre el zumo antes de envasar o concentrar, realizando el enfriado una vez cerrado el envase.

En esta fase se produce un consumo de energía elevado, por lo que la adopción de sistemas eficientes en la recuperación de calor permite ahorros de energía considerables. Para pasteurizar zumos de baja y media densidad se suelen usar esterilizadores de placas o tubulares, que están optimizados en cuanto a recuperación de calor, disminución de consumo de agua en el enfriado y precalentamiento del alimento. Estos equipos permiten utilizar sistemas integrados de limpieza C.I.P.

### **1.5.3 TECNOLOGÍAS APLICABLES EN EL PROCESO DE CONCENTRACIÓN**

El proceso utilizado en las industrias alimenticias en la elaboración de jugos concentrados de cítricos no ha cambiado; sin embargo, la industria de la maquinaria ha ido evolucionando sorprendentemente, encontrando en el mercado soluciones prácticas y versátiles para las distintas operaciones del proceso.

Generalmente los alimentos que entran al proceso de concentración permanecen en estado líquido, de esta manera se concentran para proporcionarles un aumento de la vida útil y/o incrementar su valor.

La concentración del producto se realiza principalmente en tomate y frutas con la finalidad de aumentar la viscosidad y textura del producto; además, el producto concentrado se utiliza como materia prima fuera de campaña para elaborar jugos, salsas, aperitivos, etc.

Existen diferentes técnicas de concentrado para jugos cítricos de las cuales citamos las más utilizadas para realizar esta operación:

- Evaporación
- Técnicas por Membranas
- Crio concentración

Las dos primeras son las más empleadas en la industria de concentrados, siendo la crio concentración una tecnología que, aunque produce concentrados de gran calidad, no es utilizado por sus elevados consumos de energía.

### **1.5.3.1 EVAPORACIÓN**

En la elaboración de zumos concentrados se realiza una operación de concentración que consiste en la eliminación de la mayor parte del contenido inicial de agua de los jugos.

El objetivo de la concentración por evaporación es concentrar una solución que consta de un soluto no volátil y un disolvente volátil. En la inmensa mayoría de las evaporaciones, el disolvente es agua. La evaporación se lleva a cabo vaporizando una parte del disolvente con el fin de obtener una solución concentrada. La evaporación se diferencia del secado en que el residuo es un líquido, a veces muy viscoso, en vez de sólido de la destilación, en que el vapor es generalmente un solo componente. En la evaporación se elimina el vapor formado por la ebullición de una solución líquida obteniéndose una solución más concentrada. (*Donald Q. Kern, 1999*)

#### **1.5.3.1.1 FACTORES DEL PROCESO DE EVAPORACIÓN**

Las propiedades físicas y químicas de la solución que se está concentrando y del vapor que se separa tienen un efecto considerable sobre el tipo del evaporador que debe usarse y sobre la presión y la temperatura del proceso. (*Donald Q. Kern, 1999*)  
A continuación se presenta algunas de esas propiedades que afectan a los procesos de evaporación. (*Donald Q. Kern, 1999*)

- *Concentración en el líquido:* Por lo general, la alimentación líquida a un evaporador es bastante diluida, por lo que su viscosidad, bastante baja, es similar a la del agua y se opera con coeficientes de transferencia de calor bastante altos. A medida que se verifica la evaporación, la solución se concentra y su viscosidad aumenta notablemente, causando una marcada disminución del coeficiente de transferencia de calor. Por lo que debe existir una circulación o turbulencia adecuada para evitar que el coeficiente se reduzca demasiado.
- *Solubilidad:* A medida que se calienta la solución aumenta la concentración del soluto, puede excederse el límite de solubilidad del material en solución y formarse cristales. Esto puede limitar la concentración máxima que pueda obtenerse por evaporación de la solución.
- *Sensibilidad térmica de los materiales:* Muchos productos, en especial los alimentos y otros materiales biológicos, pueden ser sensibles a la temperatura y degradarse cuando ésta sube o el calentamiento es muy prolongado. Entre estos productos están los materiales farmacéuticos; productos alimenticios como leche, jugo de naranja y extractos vegetales y materiales orgánicos delicados. La cantidad de degradación es una función de la temperatura y del tiempo.
- *Formación de espumas:* En algunos casos, los materiales constituidos por soluciones caústicas, soluciones de alimentos como leche desnatada y algunas soluciones de ácidos grasos, pueden formar espumas durante la ebullición. Esta espuma es arrastrada por el vapor que sale del evaporador y puede haber pérdidas de material.
- *Presión y temperatura:* El punto de ebullición de la solución está relacionado con la presión del sistema. Cuanto más elevada sea la presión de operación del evaporador, mayor será la temperatura de ebullición. Además, la temperatura de ebullición también se eleva a medida que aumenta la concentración del material disuelto por la acción de la evaporación. Este fenómeno se llama elevación del punto de ebullición; para mantener a nivel bajo la temperatura

de los materiales termo sensible suele ser necesario operar a presiones inferiores a 1 atm, esto es, al vacío.

- *Formación de incrustaciones y materiales de construcción:* Algunas soluciones depositan materiales sólidos llamados incrustaciones sobre las superficies de calentamiento. Estas incrustaciones pueden formarse a causa de los productos de descomposición o por disminución de la solubilidad. El resultado es una reducción del coeficiente de transferencia de calor, lo que obliga a limpiar el evaporador. La selección de los materiales de construcción del evaporador tiene importancia en la prevención de la corrosión.

#### **1.5.3.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS EVAPORADORES**

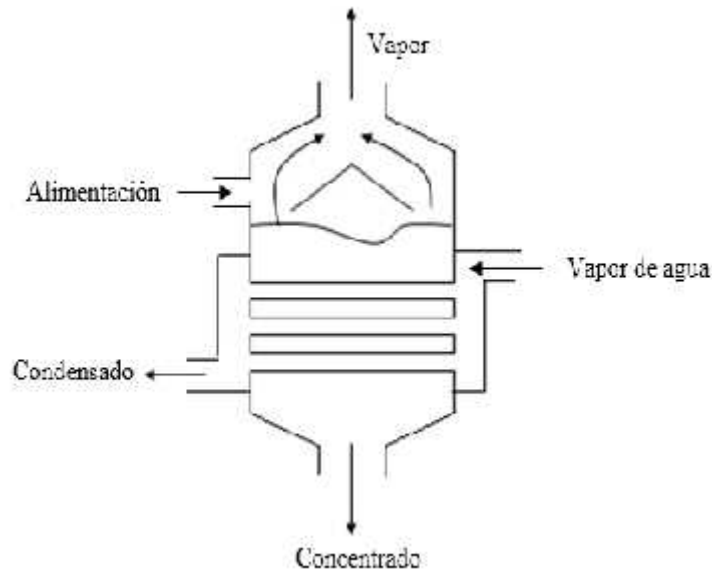
A continuación se presentan los equipos más utilizados en la industria de procesos de concentración.

##### *Evaporador de tubos horizontales con circulación natural*

El banco horizontal de tubos de calentamiento es similar al banco de tubos de un intercambiador de calor. El vapor de agua entra a los tubos y se condensa. El condensado sale por el otro extremo de los tubos. La solución en ebullición se encuentra por fuera de los tubos. Este equipo es muy económico y se lo utiliza para la evaporación de líquidos con bajos coeficientes de transferencia de calor y para líquidos que no formen incrustaciones. Estos equipos operan en forma continua, tanto la alimentación como el concentrado, entra y salen a velocidad constante. (*Donald Q. Kern, 1999*).

En la figura 1-4 se presenta el evaporador de tubos horizontales con circulación natural (*Donald Q. Kern, 1999*).

**Figura 1-4**  
**EVAPORADOR DE TUBOS HORIZONTALES CON CIRCULACIÓN NATURAL**

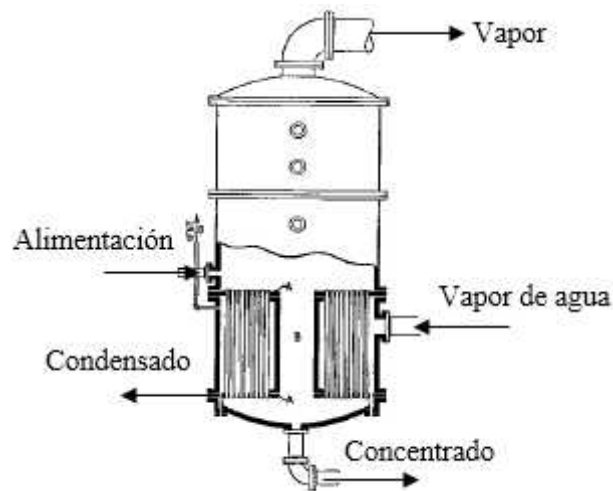


*Evaporador vertical con circulación natural*

Usa tubos verticales en lugar de horizontales y el líquido está dentro de los tubos, por lo que el vapor se condensa en el exterior. Debido a la ebullición y a la disminución de densidad, el líquido se eleva en los tubos por circulación natural, y fluye hacia abajo a través de un espacio central abierto grande. Esta circulación natural incrementa el coeficiente de transferencia de calor. No es útil con líquidos viscosos, al equipo se le suele llamar con frecuencia evaporador de tubos cortos. (*Donald Q. Kern, 1999*).

En la figura 1-5 se presenta el evaporador vertical con circulación natural (*Donald Q. Kern, 1999*).

**Figura 1-5**  
**EVAPORADOR DE TUBOS VERTICALES**



*Evaporador vertical de tubos largos*

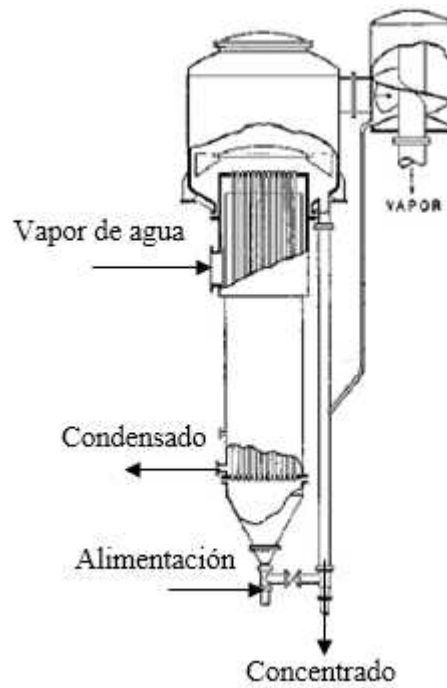
Puesto que el coeficiente de transferencia de calor del lado del vapor es muy alto en comparación con el lado del líquido que se evapora, es conveniente contar con velocidades altas para el líquido. En un evaporador de tipo vertical con tubos largos, el líquido está en el interior de los tubos. Los tubos tienen 3 a 10 m de longitud y la formación de burbujas de vapor en su interior produce una acción de bombeo que ayuda a obtener velocidades de líquido muy altas. (*Donald Q. Kern, 1999*).

Por lo general, el líquido pasa por los tubos una sola vez y no se recircula. Los tiempos de contacto suelen ser bastante bajos en este modelo. En algunos casos, como cuando la relación de velocidad de alimentación a velocidad de evaporación es baja, puede emplearse una circulación natural del producto a través del evaporador, añadiendo una conexión de tubería entre la salida del concentrado y la línea de alimentación. Este es un método muy común en la producción de la leche condensada. (*Donald Q. Kern, 1999*).



En la figura 1-6 se presenta el evaporador vertical de tubos largos (*Donald Q. Kern, 1999*).

**Figura 1-6**  
**EVAPORADOR VERTICAL DE TUBOS LARGOS**



#### *Evaporador de circulación forzada*

El coeficiente de transferencia de calor de la película líquida puede aumentar por bombeo causando una circulación forzada del líquido en el interior de los tubos. Esto puede hacerse en el modelo de tubos verticales largos, añadiendo una tubería conectada a una bomba entre las líneas de salida del concentrado y la de la alimentación. Sin embargo, los tubos de un evaporador de circulación forzada suelen ser más cortos que los del tipo de tubos largos. Además, en otros casos se usa un intercambiador de calor horizontal externo e independiente. Este modelo es muy útil para líquidos viscosos. (*Donald Q. Kern, 1999*).

En la figura 1-7 se presenta el evaporador de circulación forzada (*Donald Q. Kern, 1999*).

**Figura 1-7**  
**EVAPORADOR DE CIRCULACIÓN FORZADA**



### 1.5.3.1.3 EVAPORADORES AL VACÍO

Es el sistema más utilizado en la industria y consiste en la eliminación del agua del producto por evaporación mediante calentamiento del mismo. Los alimentos sensibles al calor se concentran más comúnmente en unos evaporadores al vacío que emplean temperaturas bajas. (*Vargas F.M., 2002*)

Al aplicar vacío se reduce la temperatura de ebullición y tiene la ventaja de que ocurren menos cambios en el sabor y color del producto. Además, con este procedimiento es posible recuperar las sustancias volátiles que se evaporan durante el proceso. La evaporación al vacío se emplea para concentrar jugos y en la elaboración de pulpas concentradas. (*Vargas F.M., 2002*)

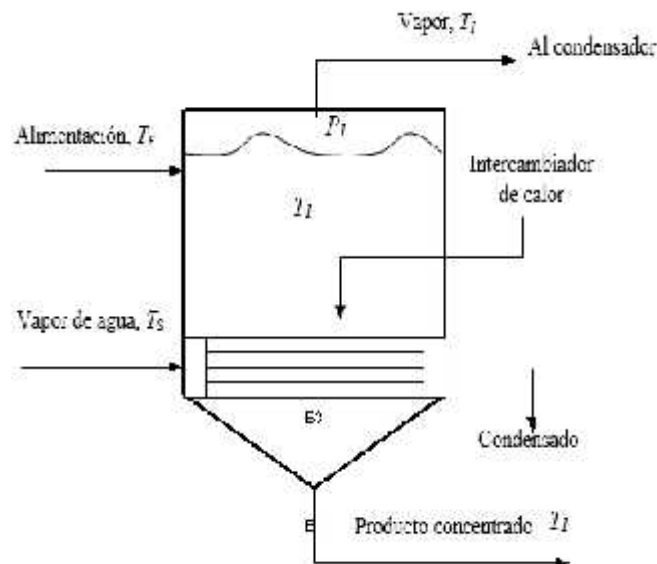
### 1.5.3.1.3.1 EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO

El líquido de alimentación pasa una sola vez a través de los tubos, desprende el vapor y sale de la unidad como líquido concentrado. Son especialmente útiles para el tratamiento de materiales sensibles al calor, y operan con un vacío elevado manteniendo el líquido a baja temperatura. Con un solo paso rápido a través de los tubos el líquido concentrado está durante un corto período de tiempo a la temperatura de evaporación y se puede enfriar bruscamente a medida que abandona el evaporador.

El equipo trabaja al vacío para extraer el agua y el aire de condensación que se forma durante la concentración. En el interior del evaporador se puede llegar a producir un vacío de 20-30 kPa, que tiene como objeto evitar el daño a los nutrientes y a las características organolépticas de la alimentación por acción del calor durante el proceso. (*Donald Q. Kern, 1999*)

En la figura 1-8 se presenta el evaporador a vacío de simple efecto (*Donald Q. Kern, 1999*).

**Figura 1-8**  
**EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO**



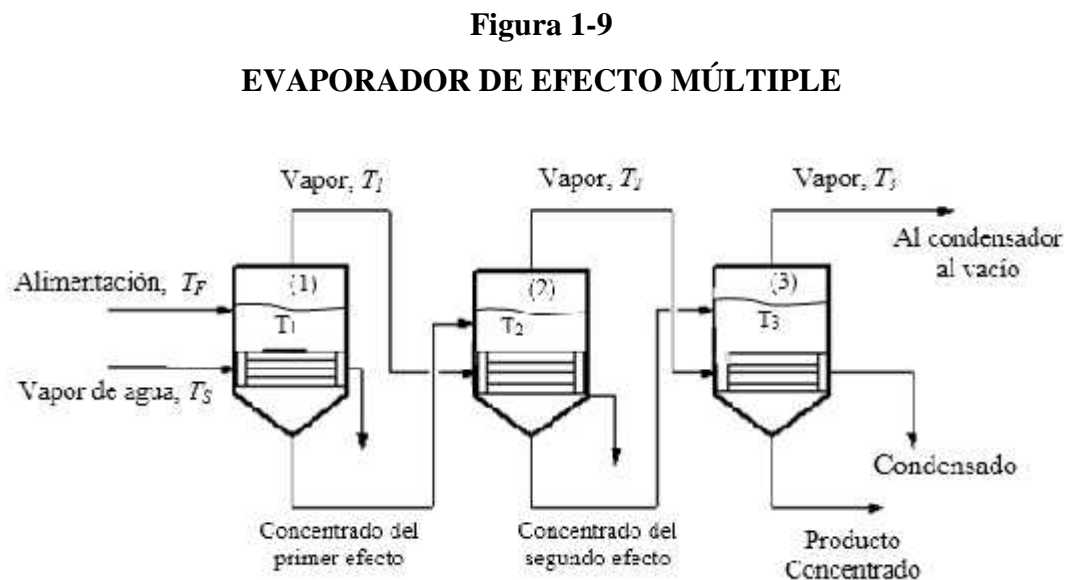
### 1.5.3.1.3.2 EVAPORADOR DE EFECTO MULTIPLE

Consiste en el aprovechamiento del vapor que sale de un evaporador en la calandria de un evaporador posterior, el sistema se puede repetir en el caso de que haya varias calandrias en serie.

Al final el vapor es enviado a condensación, existe además, una fase inicial de precalentamiento del producto con el vapor de calentamiento de la calandria, este sistema permite reducir las temperaturas de evaporación y, por tanto, mejora la calidad final del jugo. (*Donald Q. Kern, 1999*)

Su modo de circulación puede ser adaptado por medio de varios mecanismos a evaporadores de efecto múltiple con: alimentación hacia adelante, alimentación hacia atrás y alimentación en paralelo

En la figura 1-9 se presenta el evaporador de efecto múltiple (*Donald Q. Kern, 1999*).



### 1.5.3.2 TÉCNICAS DE CONCENTRACIÓN POR MEMBRANAS

La aplicación de tecnologías de membrana en la industria alimentaria se ha diversificado ampliamente desde sus comienzos a principios de los años sesenta, debido a las ventajas que presentan en relación a otras tecnologías. (*GEA filtración, 2014*)

Una membrana es una película delgada que separa dos fases y actúa como una barrera selectiva al transporte de materia, las membranas de permeabilidad selectiva que solo dejan pasar ciertas moléculas, presentan un gran interés en la industria agroalimentaria.

Estas membranas pueden ser utilizadas en procesos de concentración o fraccionamiento para producir dos corrientes líquidas de diferente composición.

El proceso de filtración por membrana consiste en bombear una solución (alimentación) bajo presión sobre la superficie de una membrana de naturaleza química y configuración física apropiadas. (*GEA filtración, 2014*)

De la filtración por membrana se obtienen dos corrientes; la corriente retenida, denominada “retenido” o “concentrado” y la corriente que pasa a través de la membrana, denominada “permeado”.

Las operaciones de separación con membranas se clasifican en tres grupos, dependiendo del objetivo que se desee obtener (*GEA filtración, 2014*).

- *Operación de concentración de disoluciones.* Se elimina parte del disolvente presente en la misma haciéndolo pasar a través de la membrana. Se trata de una concentración de disoluciones de numerosos productos: zumos de frutas, aceites vegetales, enzimas, leche, clara de huevo, café, extractos naturales, almidón, etc.
- *Operaciones de purificación o clarificación.* El objetivo es la eliminación de componentes no deseados, que habitualmente son rechazados y retenidos por

la membrana, por lo que el producto con valor comercial suele ser la fase que atraviesa la membrana. Esta operación es aplicable en el procesado de alimentos para la clarificación de vinos y cervezas, la purificación de jugos de frutas, la desmineralización y purificación del agua, etc.

- *Operaciones de fraccionamiento.* Lo que se pretende es conseguir la separación de determinados componentes presentes en el medio, resultado de interés tanto los retenidos por la membrana como los que pueden atravesarla. En este grupo se encuentran operaciones como el fraccionamiento de proteínas y enzimas.

Los rangos de separación se basan en las propiedades de las membranas utilizadas, determinando qué partículas serán retenidas y cuáles pasarán a través de la membrana.

La filtración por membranas es una tecnología basada en la presión, con una porosidad selectiva capaz de separar partículas de 5 micrones hasta un peso molecular de 100.

En la tabla I-8 se presenta las características del permeado en los sistemas de filtración de membrana.

**Tabla I-8**  
**CARACTERÍSTICAS DEL PERMEADO EN LOS SISTEMAS DE**  
**FILTRACIÓN DE MEMBRANA**

<b>Sistema</b>	<b>Diámetro poro</b>	<b>Presión</b>	<b>Permeado</b>
Osmosis Inversa	5-20 Å	2-7 Mpa	Agua + algún ión
Ultrafiltración	10 Å-0.2 µm	0.3-1.3 Mpa	Agua + iones + moléculas pequeñas
Micro filtración	0.05-2 µm	0.05-0.4 Mpa	Agua + iones + coloides + bacterias + partículas pequeñas en suspensión

Fuente: Instituto Agroalimentario de España, 2006

#### **1.5.3.2.1 ÓSMOSIS INVERSA**

Proceso de alta presión muy utilizado como método energéticamente eficiente para eliminar agua, concentrar compuestos de bajo peso molecular o purificar efluentes.

Como aplicaciones comunes podemos mencionar la pre concentración de lácteos o de alimentos líquidos previo a una evaporación, pulido de condensado de evaporador y purificación de agua de proceso. (*Brennan J.G., 1998*)

#### **1.5.3.2.2 MICROFILTRACIÓN**

Este tipo de filtración trabaja a baja presión para separar partículas de alto peso molecular, coloides en suspensión o bien sólidos disueltos. Aplicaciones frecuentes incluyen la separación de células de extractos fermentados, fraccionamiento de proteínas de leche, clarificación de jarabe de maíz y la recuperación de químicos de lavado de CIP. (*GEA filtración, 2014*)

#### **1.5.3.2.3 ULTRAFILTRACIÓN**

Es una operación unitaria de separación selectiva usada tanto para concentrar como para purificar compuestos de medio y alto peso molecular como ser proteínas lácteas, carbohidratos y enzimas. Como áreas comunes de aplicación podemos mencionar la concentración de proteínas de suero, desalinización de gelatinas, concentración y clarificación de jugos frutales.

Solo las partículas más pequeñas acompañan al líquido en su paso a través de las membranas. (*GEA filtración, 2014*)

#### **1.5.3.3 CRIO CONCENTRACIÓN**

Esta técnica consiste en la separación parcial de los cristales de hielo de una disolución tras un proceso de congelación, los cristales se van eliminando por centrifugación, repitiendo la operación varias veces hasta que se consigue la concentración adecuada. (*GEA niro, 2014*)

La concentración de alimentos líquidos por congelación implica una reducción de la temperatura del producto de una forma suficientemente controlada, para conseguir una congelación parcial del mismo hasta obtener una mezcla de cristales de hielo en un fluido concentrado. Estos cristales de hielo, si se han formado bajo condiciones apropiadas, serán muy puros; es decir; llevarán muy poco producto incorporado entre ellos. (*GEA niro, 2014*)

La separación de los cristales puros de hielo, por centrifugación o por alguna otra técnica lleva a conseguir un producto líquido concentrado. La concentración por congelación es aplicable a muchos alimentos. Es utilizado comercialmente para la concentración de jugos cítricos.

La operación a baja temperatura permite la concentración de zumos térmicamente sensibles sin pérdidas de calidad de los mismos, además en la separación sólido-líquido de la concentración por congelación no se producen pérdidas de sabor y aromas volátiles, por estas razones los productos obtenidos por este sistema generalmente presentan una calidad superior a los obtenidos por evaporación y equivalentes a los concentrados hechos por ósmosis inversa. (*GEA niro, 2014*)

Sin embargo, esta técnica está limitada por el grado de concentración que se quiere alcanzar, la cual se debe generalmente al incremento de la viscosidad que se produce a las bajas temperaturas de congelación.

Los principales efectos medioambientales de este sistema son el muy elevado consumo energético y la producción de disoluciones con elevado contenido en sólidos solubles debido a su arrastre en los cristales. En cuanto a la calidad del producto, con esta técnica se alcanza los estándares elevados; su utilización es muy limitada por el elevado consumo energético. (*GEA niro, 2014*)



## 1.6 SELECCIÓN DEL MÉTODO A UTILIZAR EN LA CONCENTRACIÓN DE ZUMO DE MANDARINA

La concentración del zumo consiste en reducir su contenido de agua aumentando la concentración de sus sólidos solubles. El grado de concentración se determina con el refractómetro y se expresa en °Brix. La concentración reduce los gastos de transporte y almacenaje del producto favoreciendo su conservación.

En vista al número de técnicas aplicables y las más utilizadas (evaporación, técnicas por membranas y crio-concentración) en la elaboración de zumo concentrado de mandarina, para la selección del mejor método se efectúa un detallado análisis de los factores más importantes que influyen en el proceso de concentración.

Para la selección del método se considerará las ventajas y desventajas de todas las técnicas aplicables mencionadas anteriormente.

En el cuadro I-4 se presenta las ventajas y desventajas de las técnicas de concentración mencionadas anteriormente.

**Cuadro I-4**

### VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS TÉCNICAS DE CONCENTRACIÓN

<b>Tecnologías aplicadas para la Concentración</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Evaporación al Vacío (simple efecto y de efecto múltiple)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grados de concentración elevados (°Brix)</li> <li>- Menores costos de inversión</li> <li>- Presión de operación &lt;1atm</li> <li>- Calidad uniforme del producto</li> <li>- Menor tiempo de residencia</li> <li>- Evita la destrucción de proteínas, vitaminas y sustancias aromáticas</li> <li>- Evita la oxidación del producto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayores temperaturas de operación</li> <li>- Consumo energético considerable</li> </ul>
Tecnología por	- Mínimas pérdidas	- Mayores costos de

Membranas	organolépticas y de valor nutritivo - Temperaturas de operación moderadas - Menor consumo energético	inversión - Grados de concentración limitados (°Brix) -Polarización por concentración y ensuciamiento de las membranas
Crio concentración	- Buena calidad de producto - Temperatura de operación bajo cero - La no pérdida de aromas u otros componentes volátiles	- Costos de inversión elevados -Mayor tiempo de residencia de la solución a concentrar - Grados de concentración bajos (°Brix)

Fuente: Elaboración propia, 2016

En base a la información que se tiene para el desarrollo de este trabajo de investigación, la tecnología seleccionada para el proceso de concentración es por evaporación al vacío (concentración al vacío), debido a las grandes ventajas que presenta, más que todo por el mayor grado de concentración que se llega a obtener, por los costos de inversión considerables, por la conservación de sus proteínas, vitaminas, sustancias aromáticas y además por la calidad uniforme del producto obtenido.

El proceso de concentración al vacío se trata de un sistema cerrado que evita oxidaciones del producto, lo que lleva consigo mejoras notables en la calidad (color, sabor, aromas).

En la concentración al vacío se utiliza presiones menores a 1 atm, para lo que se emplean equipos especiales que funcionan con una bomba de vacío para disminuir la presión y con el propósito de disminuir el punto de ebullición del agua y de esta manera proteger al zumo durante la concentración, evitando que lleguen a destruirse sus propiedades organolépticas y fisicoquímicas, ya que el agua logra evaporarse a temperaturas menores a los 60°C.

## **1.7 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO A ELABORAR EL PRODUCTO-ESCALA INDUSTRIAL**

La evaporación es uno de los principales métodos utilizados en la industria alimenticia para la concentración de jugos. El proceso básico que se aplica a la mandarina, es la obtención de jugo concentrado del mismo, para lograr conservarlo y usarlo como materia prima para las industrias de bebidas y alimenticias. Seguidamente se presenta la descripción detallada de este proceso.

### **a) Recepción de la materia prima**

Una vez cosechada la materia prima, es transportada a la Planta de Procesamiento, antes del pesado se toman muestras representativas para analizar el rendimiento de la fruta: °Brix e índice de maduración. Si la fruta cumple con los requisitos exigidos, se le considera de buena calidad.

El almacenado se realiza en silos de tal manera que la fruta sufra el menor daño posible; el diseño o la estructura de los silos específicamente para cítricos es generalmente construido de madera o metal de acero al carbón y forrados con malla desplegable y protegida con pintura epoxi, generalmente con una capacidad igual a 3-4 veces la capacidad de procesamiento. El periodo de almacenado depende del grado de coordinación entre el aprovisionamiento y las operaciones de elaboración, la fruta almacenada no debe permanecer un tiempo que supere las 48 h con el fin de evitar su deterioro.

### **b) Pesado**

Luego son pesados mediante una báscula; el peso final de la materia prima se determina por diferencia de peso.

### **c) Selección**

La selección de la materia prima es una operación muy importante para determinar la calidad del producto final, cuya finalidad es eliminar deficiencias en el proceso de concentrado por daños, inmadurez u otras alteraciones.

Se descartan las mandarinas maltratadas, inmaduras, es decir, las que no cumplen con las especificaciones presentadas anteriormente. Las pérdidas por selección se estiman un 2%. (*Murillo G.O., Tecnología de Alimentos*)

Mientras se realiza la selección, se va escogiendo al azar algunos frutos para completar una muestra de 64 de ellos; esta muestra se la lleva al laboratorio de control de calidad, se le extrae el jugo y por diferencia de peso entre el jugo y el resto de la fruta se obtiene el rendimiento. (*Murillo G.O., Tecnología de Alimentos*)

De la cantidad de jugo extraído se toman 25 cm<sup>3</sup>, para medir la acidez total, los °Brix y la relación entre ambas. (*Murillo G.O., Tecnología de Alimentos*)

### **d) Lavado**

Es una operación que se realiza en tanques con agua re circulante o simplemente con agua detenida, que se la reemplaza continuamente.

La operación consiste en eliminar la suciedad que el material trae consigo, antes de entrar a la línea de proceso, evitando complicaciones derivadas de la contaminación que la materia prima puede contener. El lavado se realiza con agua limpia, en lo posible potabilizada con la adición de hipoclorito de sodio (aditivo especial), a razón de 10 ml de solución al 10% por cada 100 litros de agua.

### **e) Selección por tamaño**

Una vez limpia la materia prima, se procede a la selección, es decir, separar el material que realmente se utiliza en el proceso.

Se trata de separar todo fruto que no presente uniformidad con el lote en cuanto a madurez, color, forma, tamaño, presencia de daño mecánico o microbiológico.

Para apreciar la uniformidad o la calidad del material es necesario cortarlo en dos partes para verificar su interior. La uniformidad es un factor de calidad relevante, ya que se le da la mayor importancia a que el material sea homogéneo y uniforme. La selección cumple la función de producir la homogeneidad. (*Murillo O.G., Tecnología de Alimentos*)

#### **f) Extracción del jugo**

La extracción consiste en romper las vesículas o celdas que contiene el jugo en los gajos o carpelos, ubicados en el endocarpio que es la parte comestible de la fruta. En esta etapa se debe considerar dos aspectos muy importantes: el rendimiento y la calidad del jugo.

Del seleccionador, pasan a las máquinas extractoras, las cuales van en orden según el tamaño de la fruta.

Primero están las extractoras para fruto pequeño, luego para los de mediano tamaño y por último para frutos de gran tamaño.

En este proceso se exprime el jugo, el cual pasa inmediatamente a un tanque pulmón y la cáscara es recogida para ser eliminada o vendida para preparar alimentos para consumo animal.

En el proceso de extracción en promedio se puede obtener hasta un 50 % de jugo.

#### **g) Tamizado del jugo**

Los fragmentos de pulpa y semilla son separados con la finalidad de reducir los sólidos suspendidos en el jugo, mediante tamizado. Este proceso consiste en hacer pasar el jugo a través de un tamiz con abertura de malla de 0,2 mm. En este proceso se debe tomar en cuenta los fragmentos de pulpa y semilla que pueden quedar retenidas en el tamizador, por lo cual se hará una breve inspección en esta etapa.

### **h) Desaireación del jugo**

En los procesos anteriores el jugo adquiere burbujas de aire que deben ser eliminadas, por lo que se hace pasar el jugo a través de un tanque pulmón de vacío donde es succionado el aire contenido en el mismo.

El aire contenido en el jugo, es un factor determinante en la destrucción del ácido ascórbico y de varios otros procesos oxidantes que afectan al sabor y aroma del jugo.

Para la operación se emplean equipos, en los cuales se usa la acción del vacío y del calor. El modelo más difundido, está constituido por una cámara bajo vacío, en la que el jugo caliente entra desde lo alto y es dirigido hacia abajo, hasta encontrar una serie de diafragmas que los subdividen en estratos delgados y lo mantienen en continuo movimiento. (*Murillo O.G., Tecnología de Alimentos*)

La acción del vacío y del calor junto al movimiento del jugo, provoca la separación del aire emulsionado o disuelto, mientras que el jugo recolectado en el fondo del equipo, es transportado al exterior mediante una bomba. (*Murillo O.G., Tecnología de Alimentos*)

### **i) Pasteurización del jugo**

Dado que el jugo pasa por una corta etapa de almacenamiento, debe ser pasteurizado en un pasteurizador de placas, por medio de un choque térmico que se logra incrementando la temperatura y luego reduciendo rápidamente. Con esto se inactivan las enzimas que causan la degradación del jugo (tratamiento térmico de 70 a 90°C bajando luego a 10°C). (*Murillo O.G., Tecnología de Alimentos*)

La función es destruir la acción microbiana y enzimática en el jugo natural. Con la destrucción de los microorganismos, el jugo ya no está sujeto a alteraciones, mientras que con la destrucción de las enzimas termoestables y sobre todo de las pecto-líticas, hace que el jugo mantenga su turbidez característica a lo largo del tiempo.

### **j) Concentración del jugo**

Es un proceso por el cual se logra eliminar el agua entre 80 a 85% que contiene el jugo, contribuyendo de esta forma, a aumentar la resistencia con respecto al crecimiento microbiano, disminución del volumen y peso, facilitando su transporte y almacenamiento.

La evaporación del agua contenido en el jugo se realiza por medio de concentradores o evaporadores. A base de calor se logra evaporar parte del agua que posee el jugo (80%), concentrando el jugo alrededor de 64°Brix.

Las variables a controlar en el proceso son el tiempo y la temperatura, para que no sean afectadas las propiedades organolépticas del producto; por lo general, se hace a baja presión para utilizar bajas temperaturas.

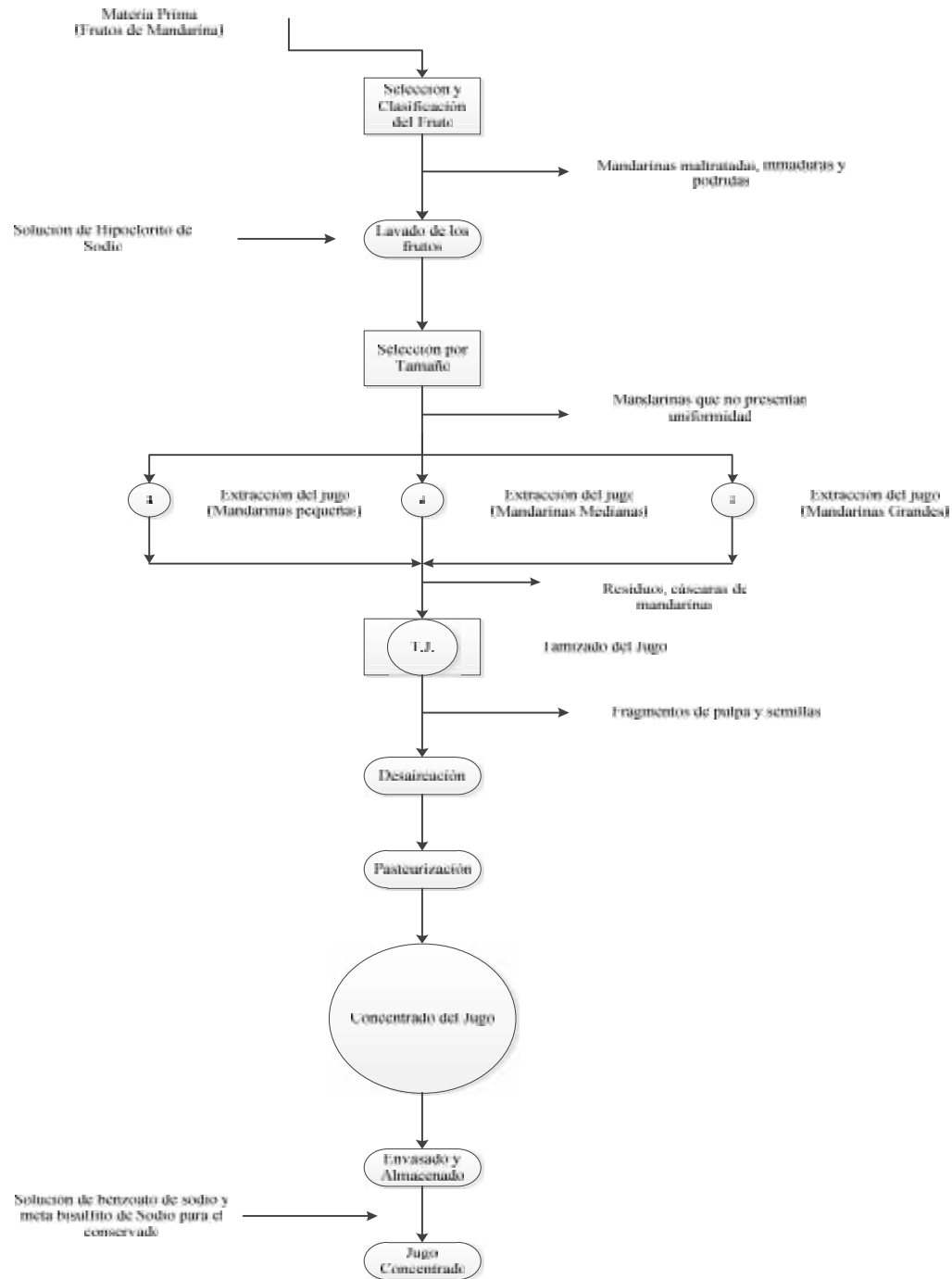
### **k) Envasado y almacenado del producto**

El concentrado obtenido se envasa en tambores metálicos de 250 kg con tapa, aro y doble bolsa interior de polietileno de 100 micrones. Son preservados con benzoato de sodio y meta bisulfito de sodio.

Antes de almacenado el producto, se debe realizar un tratamiento de pre enfriado hasta alcanzar una temperatura bajo cero ( $-10^{\circ}\text{C}$ ). Después de esta etapa el producto es almacenado en cámaras frigoríficas a  $-23^{\circ}\text{C}$ . En almacenamientos prolongados la temperatura no debe superar los  $4^{\circ}\text{C}$ .

En la figura 1-10 se presenta el diagrama de flujo del proceso de elaboración del jugo concentrado de mandarina.

**Figura 1-10**  
**DIAGRAMA DEL FLUJO DE PROCESO DE ELABORACIÓN DE ZUMO**  
**CONCENTRADO DE MANDARINA**



Fuente: Elaboración propia, 2016



## **1.8 FACTORES QUE INFLUYEN Y DETERMINAN LA CALIDAD DEL PRODUCTO**

Entre los factores que influyen y determinan la calidad del jugo concentrado se tiene los siguientes puntos:

- Materia prima
- Alteraciones microbiológicas
- Alteraciones coloidales en el jugo
- Alteraciones de aroma en el jugo
- Alteraciones del color del jugo

### **1.8.1 MATERIA PRIMA**

La materia prima es uno de los aspectos más importantes a considerar en la calidad del producto.

En el proceso es necesario disponer materia prima de forma y tamaño uniforme, libre de daños mecánicos y de buena contextura física. Esencialmente se debe utilizar variedades con alto contenido de jugo y un buen balance del °Brix y la acidez y el color es un parámetro de calidad especialmente en jugos concentrados.

Por otra parte, la calidad de la materia prima depende del clima y suelo donde fueron cultivados, junto con el manejo de pre cosecha y pos cosecha. (*Morín C., 1985*)

La influencia del clima en la calidad de los frutos cítricos en:

- Elevadas temperaturas: fruta dulce y precoz.
- Bajas temperaturas: acentúan la acidez.
- Elevada humedad: la cáscara presenta menor espesor.
- Variación de la temperatura diurna y nocturna: cuanto mayor la amplitud térmica, más intensa será la coloración de la cáscara y del jugo.

Los nutrientes del suelo, también son importantes en el momento de definir la calidad de los frutos; según *Morín C., 1985*:

- El nivel de potasio del suelo, se correlaciona con el contenido de vitamina C y de ácido cítrico, pero en exceso puede tener efectos negativos sobre la calidad del jugo.
- El nitrógeno, mejora el contenido de jugo, la acidez, los sólidos solubles y el color del jugo.
- El fósforo favorece la coloración de los frutos pero baja el contenido de sólidos solubles y la acidez del jugo.
- Una cantidad adecuada de magnesio, aumenta los sólidos solubles, azúcares y vitamina C, adelantando la maduración.

Entre los factores de manejo en pre cosecha, se menciona los siguientes aspectos:

- Mal manejo de suelos puede producir: excesivo grosor y rugosidad de la cáscara, frutas pequeñas y problemas sanitarios.
- Mal manejo de riego produce: frutas pequeñas y problemas sanitarios.
- Mal manejo nutricional (fertilizantes): Problemas de coloración, fruta pequeña.

Otros factores determinantes son el almacenaje inadecuado o prolongado:

- Almacenaje a altas temperaturas: se acelera al ablandamiento y transpiración, la pérdida de acidez, contenido de vitamina C, sabor, etc.
- Almacenaje a bajas temperaturas: induce el desarrollo de desórdenes fisiológicos como picado, escaldado y descomposición acuosa.

### **1.8.2 ALTERACIONES MICROBIOLÓGICAS**

El jugo obtenido por extracción, contiene microorganismos de diferentes tipos, como bacterias, mohos y levaduras. La primera alteración microbiológica a temperatura

ambiente puede producir una fermentación alcohólica causada por distintas levaduras y mohos en la parte superficial del jugo.

Para evitar esas alteraciones es necesario someter al jugo a una inactivación térmica de los microorganismos, mediante el proceso de pasteurización, para destruir la acción microbiana y enzimática. (*Morín C., 1985*)

### **1.8.3 ALTERACIONES COLOIDALES EN EL JUGO**

Inicialmente el jugo recién exprimido, está constituido por una suspensión turbia y homogénea, de pequeñas partículas sólidas.

Las partículas sólidas (pequeños fragmentos de pulpa) en suspensión, están formadas por tejidos desintegrados de la fibra celulósica, pectina y partículas lipoides que contienen carotenoides y aceites esenciales y, en menor proporción, distintas sustancias pépticos disueltas en el jugo, desempeñan la función de esterilizar la suspensión turbia; si se destruye este sistema estabilizador sobrevendrá la floculación, formando aglomerados, clarificando la mayor parte del jugo. (*Morín C., 1985*)

El agente destructivo del estabilizador es la descomposición enzimática de la pectina, enzima pecto-lítica, la misma que se encuentra más concentrada en la pulpa que en el jugo, cuya acción comienza después de la extracción.

La enzima más importante en el jugo, es la pectinesterasa. En el jugo natural produce la sedimentación de la pulpa en suspensión, desapareciendo la turbiedad y dejando un líquido transparente, que hace perder al jugo todo su valor nutricional y comercial.

Para prever esta alteración es conveniente someter al jugo, al proceso de pasteurización, con el propósito de inactivar las enzimas que rompen este estado coloidal.

### **1.8.4 ALTERACIONES DEL AROMA EN EL JUGO**

Los cambios o pérdida del aroma (acción de las sustancias volátiles sobre el olfato), se debe a alteraciones químicas de las sustancias volátiles, mientras que en el sabor

(acción de los azúcares y ácidos sobre el paladar), se debe a la formación de sustancias nuevas durante el proceso de elaboración y almacenamiento.

Estas alteraciones son eliminadas por extracción del aire contenido en el jugo, mediante el proceso de des-aireación para eliminar el oxígeno contenido en el jugo.

La des aireación disminuye las reacciones de oxidación en el jugo procesado, lo que determina una retención de la vitamina C y una mejor conservación del sabor y aroma del jugo.

### **1.8.5 ALTERACIONES DEL COLOR EN EL JUGO**

Esto se debe al oscurecimiento no enzimático, debido a la degradación: reacción del ácido ascórbico y algunos aminoácidos, son reacciones lentas pero que se producen en la etapa de concentración y almacenamiento.

Los factores que inhiben estas reacciones son la temperatura y pH bajos. Para evitar la degradación de la vitamina C las precauciones que se adopta son la des-aireación, la pasteurización, concentración a bajas temperaturas y conservación del producto a temperaturas bajo 0°. (*Morín C., 1985*)

**CAPÍTULO II**  
**PARTE EXPERIMENTAL**

## 2.1 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA

Entre las variedades disponibles en el mercado local se encuentran la mandarina Criolla, la Satsuma y la Ponkan. Con una producción cultivada de 120 hectáreas, ocupando la mandarina un tercer lugar en producción, antecedida primeramente por la naranja y el limón. En la tabla II-1 se presenta las variedades disponibles en el mercado local.

**Tabla II-1**  
**VARIEDAD DE MANDARINA EN EL MERCADO LOCAL**

<b>VARIEDAD</b>	<b>COSECHA</b>	<b>ÉPOCA</b>
Criolla	Temprana	Mayo-Julio
Satsuma	Intermedia	Julio-Agosto
Ponkan	Tardía	Agosto-Septiembre

Fuente: Diagnóstico del cultivo de cítricos (*Erazo, 1993*)

### 2.1.1 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LA MATERIA PRIMA

Entre los análisis están el peso unitario promedio del fruto (gr), peso de la cáscara (%), peso del jugo (%), peso de la pulpa (%), peso de la semilla (%), los sólidos solubles (°Brix), la acidez (%), el pH, índice de madurez y la densidad (g/ml), que se realizan al fruto y al zumo.

De los resultados del análisis fisicoquímico se determinará qué variedad contiene mayores porcentajes de extracción de jugo y mayor contenido de sólidos solubles (°Brix) y su grado de madurez.

#### 2.1.1.1 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LA VARIEDAD CRIOLLA

En la tabla II-2 se presenta a detalle el análisis físico-químico de la mandarina variedad criolla.

Tabla II-2

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LA VARIEDAD CRIOLLA**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>MANDARINA VAR. CRIOLLA</b>	<b>DATOS BIBLIOGRÁFICOS</b>
Peso Unit. Prom. (g)	132,09	134,26
Peso Pulpa (%)	23,19	20,29
Peso Semilla (%)	2,48	2,73
Peso Cáscara (%)	17,84	22,32
Peso Jugo (%)	56,45	54,66
Peso Total (%)	100,00	100,00
Grados °Brix	10,34	9,59
Acidez cítrica (%)	1,03	1,07
pH	3,60	3,21
Índice de madurez (°Brix/Acidez)	10,03	8,96
Densidad (g/ml)	1,02	1,01

Fuente: Elaboración propia, 2016

**2.1.1.2 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LA VARIEDAD SATSUMA**

En la tabla II-3 se presenta el análisis físico-químico de la variedad satsuma.

Tabla II-3

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LA VARIEDAD SATSUMA**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>MANDARINA VAR. SATSUMA</b>	<b>DATOS BIBLIOGRÁFICOS</b>
Peso Unit. Prom. (g)	201,34	137,80
Peso Pulpa (%)	37,01	27,20
Peso Semilla (%)	2,04	3,47
Peso Cáscara (%)	18,47	24,95
Peso Jugo (%)	42,48	44,38
Peso Total (%)	100,00	100,00
Grados °Brix	10,20	8,88
Acidez cítrica (%)	0,66	0,53
pH	3,77	3,96
Índice de madurez (°Brix/Acidez)	15,45	16,75
Densidad (g/ml)	1,03	1,03

Fuente: Elaboración propia, 2016

### 2.1.1.3 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LA VARIEDAD PONKAN

En la tabla II-4 se presenta a detalle el análisis físico-químico de la mandarina variedad ponkan.

**Tabla II-4**  
**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LA VARIEDAD PONKAN**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>MANDARINA VAR. PONKAN</b>	<b>DATOS BIBLIOGRÁFICOS</b>
Peso Unit. Prom. (g)	183,67	195,00
Peso Pulpa (%)	25,94	26,49
Peso Semilla (%)	1,98	2,00
Peso Cáscara (%)	18,97	18,43
Peso Jugo (%)	53,10	53,10
Peso Total (%)	100,00	100,00
Grados °Brix	10,18	9,20
Acidez cítrica (%)	0,96	0,92
pH	3,20	3,28
Índice de madurez (°Brix/Acidez)	10,60	10,02
Densidad (g/ml)	1,06	1,08

Fuente: Elaboración propia, 2016

### 2.2 SELECCIÓN DE LA VARIEDAD DE LA MATERIA PRIMA

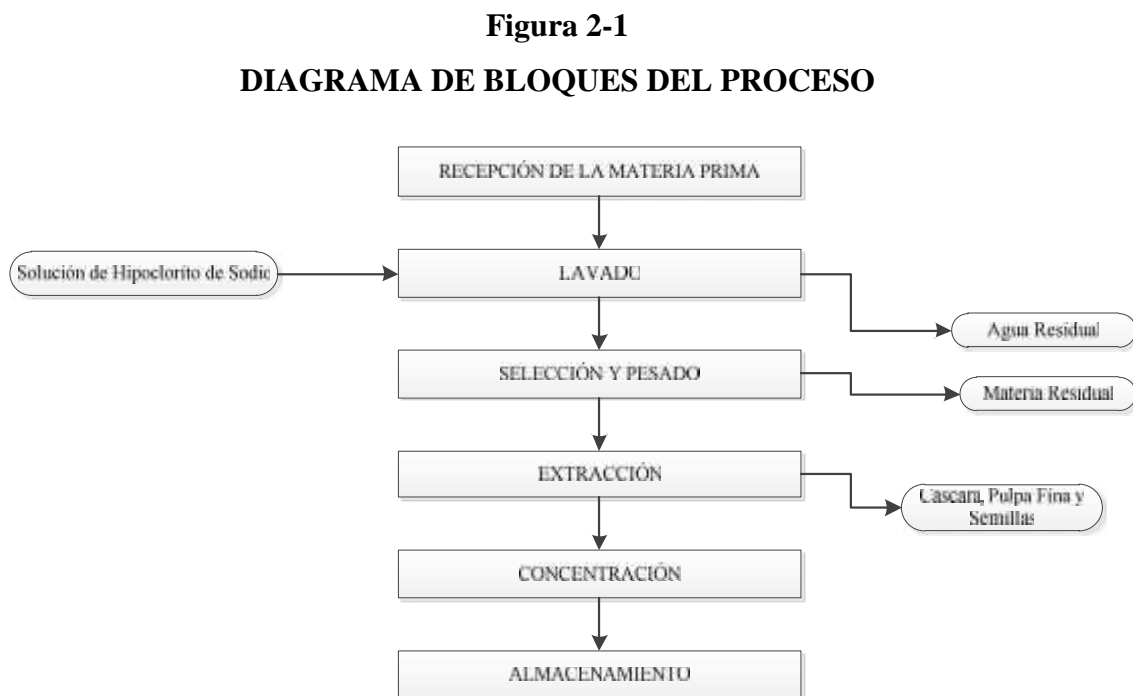
De los estudios físico-químicos realizados a las tres variedades de mandarina, se escoge para el presente proyecto la variedad “CRIOLLA” por las siguientes razones.

- La variedad criolla es más aromática y fragante que las otras variedades.
- La variedad criolla al llegar a su estado de madurez, la cáscara se torna amarillenta, ocurre lo contrario con la variedad satsuma que al adquirir la coloración rojiza, ésta ya ha sufrido una sobre madurez.
- La variedad criolla contiene mayor porcentaje de jugo (56,45%), mayor cantidad de sólidos solubles (10,34°Brix) y buen grado de madurez.
- Su producción es mayor y es de cosecha temprana e intermedia, se encuentra en los mercados desde el mes de mayo hasta el mes de julio.



### 2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

El proceso de concentración del zumo de mandarina empleado para el presente trabajo se representa en el diagrama de bloques de la figura 2-1, en la cual se describe las principales etapas a realizarse en el proceso.



Fuente: Elaboración propia, 2016

### **2.3.1 RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

La forma de recepción de la materia prima es a granel, la cual deben encontrarse en un grado de madurez adecuado; se debe evitar la presencia de material en mal estado causado por daños mecánicos.

### **2.3.2 LAVADO**

Se realiza el lavado directo con agua potable (adicionando hipoclorito de sodio), con la finalidad de eliminar los residuos de polvo adheridos a la materia prima.

### **2.3.3 SELECCIÓN Y PESADO**

Las muestras se seleccionan de acuerdo a sus propiedades físicas y físico-químicas, además dependiendo del estado de madurez de la fruta, posteriormente se procede al pesado.

### **2.3.4 EXTRACCIÓN**

Después de seleccionar y pesar, se procede a extraer el zumo natural, teniendo en cuenta de no contaminar el zumo con el aceite esencial y otros componentes.

### **2.3.5 CONCENTRACIÓN**

Para la concentración del zumo natural se hace uso del rota-evaporador, el mismo que trabaja con una bomba de vacío a una presión menor  $< 1$  atm.

Para la concentración del zumo natural se realiza varias pruebas donde se presentarán los diferentes grados de concentración: %SST, dependiendo del volumen, presión de vacío, del tiempo y de la temperatura de operación en el proceso.

### **2.3.6 ALMACENAMIENTO**

El almacenamiento del producto obtenido se lo preservará en un ambiente seco y que no permita la incidencia de la luz sobre el producto, las muestras se almacenara una temperatura de  $5^{\circ}\text{C}$ , para preservar la calidad y el contenido de vitamina C.

## **2.4 VARIABLES O PARÁMETROS EN EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN PARA EL CONCENTRADO DE ZUMO DE MANDARINA**

Se entiende por zumo concentrado al jugo sin fermentar, pero fermentable después de su reconstitución, conservado por medios físicos exclusivamente, obtenido mediante el procedimiento de concentración a través de la evaporación.

### **2.4.1 VARIABLES O PARÁMETROS QUE SE EVALÚAN PARA LA CONCENTRACIÓN DE UNA SOLUCIÓN MEDIANTE UN EVAPORADOR**

Los parámetros que se toman en cuenta para la evaporación o concentración de una solución son los siguientes:

- **Presión de vacío**

Es la presión que permite reducir la presión de trabajo del equipo, lo que permite operar a bajas temperaturas.

- **Flujo de alimentación**

Es el caudal con que se alimenta la solución a concentrar en el evaporador.

- **Temperatura de alimentación**

Es la temperatura con la que ingresa la solución antes de iniciar el proceso de concentración del zumo (jugo).

- **Tiempo de concentración**

Es el parámetro que indica el tiempo requerido para la concentración de la solución que se aplicará al sistema.

- **Concentración final**

Es la cantidad de sólidos disueltos que presenta el producto final y que se representa por los °Brix: %SST.

### **2.4.2 DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES O PARÁMETROS PARA EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN**

De acuerdo a los parámetros o variables que se evalúan en la concentración de una solución mediante un evaporador, los parámetros con los cuales se trabajará en la concentración de zumo de mandarina a escala laboratorio haciendo uso de un Roto-evaporador al vacío dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho del Laboratorio de Investigación de Ing. Química, son los siguientes:

- Volumen de zumo (ml)
- Presión de vacío (mmHg)
- Tiempo (minutos)
- Temperatura (°C)

### **2.5 DISEÑO FACTORIAL O EXPERIMENTAL**

El diseño experimental define el arreglo de los tratamientos sobre las unidades experimentales, de tal modo que se obtengan estimaciones de las opciones de interés para el investigador, con la mayor precisión posible.

Cuando se desea examinar el efecto simultáneo de varios factores, sobre una característica de estudio, se presenta el problema del diseño de tratamientos, o la experimentación factorial. Se experimentan dos tipos fundamentales de experimentos factoriales:

- **Factorial Completo**

Ensaya todas las posibles combinaciones de tratamientos que se generan con los distintos niveles de los factores de estudio.

Dentro de estos factoriales, se distinguen los factoriales simétricos y los asimétricos; los primeros corresponden el mismo número de niveles de cada factor, los restantes ensayan números distintos de niveles de los factores de estudio.

- **Factorial Incompleto**

Ensayo solo algunas de las posibles combinaciones de tratamientos que pueden generarse.

Para determinar las variables significativas en el presente trabajo experimental se plantea un diseño factorial de 2 niveles y 4 variables o parámetros ( $2^4$ ) con sus respectivas réplicas.

## **2.5.1 PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS DEL DISEÑO FACTORIAL O EXPERIMENTAL**

### **2.5.1.1 DISEÑO FACTORIAL A DOS NIVELES $2^k$**

Estudia el efecto de la respuesta de “k” factores, cada uno en dos niveles, es por ello que se conocen como factoriales a dos niveles o  $2^k$ , con frecuencia se califican a los niveles como superior (+) e inferior (-).

El diseño factorial completo requiere que cada uno de los niveles de cada factor se dé en todos los niveles de todos los otros factores, lo que da un total de  $2^k$  combinaciones de tratamientos.

### **2.5.1.2 ANÁLISIS DEL DISEÑO FACTORIAL $2^4$**

#### **Planteamiento de hipótesis**

**H<sub>p</sub>**: No hay diferencia entre los factores

**H<sub>a</sub>**: Al menos una variable es diferente de las demás

#### **Construcción de la matriz de diseño**

La matriz de diseño para  $2^4 = 16$  corridas o tratamientos se presenta en la siguiente tabla II-5:

**Tabla II-5**  
**MATRIZ DE DISEÑO**

CORRIDA O TRATAMIENTO	COMBINACIONES	FACTORES O VARIABLES				RESPUESTA (Y <sub>i</sub> )
		A	B	C	D	
1	1	-	-	-	-	Y <sub>1111</sub>
2	A	+	-	-	-	Y <sub>2111</sub>
3	B	-	+	-	-	Y <sub>1211</sub>
4	AB	+	+	-	-	Y <sub>2211</sub>
5	C	-	-	+	-	Y <sub>1121</sub>
6	AC	+	-	+	-	Y <sub>2121</sub>
7	BC	-	+	+	-	Y <sub>1221</sub>
8	ABC	+	+	+	-	Y <sub>2221</sub>
9	D	-	-	-	+	Y <sub>1112</sub>
10	AD	+	-	-	+	Y <sub>2112</sub>
11	BD	-	+	-	+	Y <sub>1212</sub>
12	ABD	+	+	-	+	Y <sub>2212</sub>
13	CD	-	-	+	+	Y <sub>1122</sub>
14	ACD	+	-	+	+	Y <sub>2122</sub>
15	BCD	-	+	+	+	Y <sub>1222</sub>
16	ABCD	+	+	+	+	Y <sub>2222</sub>

Fuente: Diseño y Análisis de Experimentos, 2002

### Construcción de algoritmos de Yates

El método más rápido para calcular los efectos e interacciones, y proporciona seguridad el análisis de varianza posterior.

Para afirmar el Algoritmo de Yates de un diseño  $2^4$  debe cumplir lo siguiente, lo cual se presenta en la tabla II-6:

**Tabla II-6**  
**MATRIZ DE ALGORITMO DE YATES**

COMB.	R (Y <sub>i</sub> )		C1		C2		C3		C4
I	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub> +Y <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>1</sub> +I <sub>2</sub>	II <sub>1</sub>	II <sub>1</sub> +II <sub>2</sub>	III <sub>1</sub>	III <sub>1</sub> +III <sub>2</sub>	IV <sub>1</sub>
A	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub> +Y <sub>4</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub> +I <sub>4</sub>	II <sub>2</sub>	II <sub>1</sub> +II <sub>2</sub>	III <sub>2</sub>	III <sub>3</sub> +III <sub>4</sub>	IV <sub>2</sub>
B	Y <sub>3</sub>	Y <sub>5</sub> +Y <sub>6</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>5</sub> +I <sub>6</sub>	II <sub>3</sub>	II <sub>1</sub> +II <sub>2</sub>	III <sub>3</sub>	III <sub>5</sub> +III <sub>6</sub>	IV <sub>3</sub>
AB	Y <sub>4</sub>	Y <sub>7</sub> +Y <sub>8</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>7</sub> +I <sub>8</sub>	II <sub>4</sub>	II <sub>1</sub> +II <sub>2</sub>	III <sub>4</sub>	III <sub>7</sub> +III <sub>8</sub>	IV <sub>4</sub>
C	Y <sub>5</sub>	Y <sub>9</sub> +Y <sub>10</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>9</sub> +I <sub>10</sub>	II <sub>5</sub>	II <sub>1</sub> +II <sub>2</sub>	III <sub>5</sub>	III <sub>9</sub> +III <sub>10</sub>	IV <sub>5</sub>
AC	Y <sub>6</sub>	Y <sub>11</sub> +Y <sub>12</sub>	I <sub>6</sub>	I <sub>11</sub> +I <sub>12</sub>	II <sub>6</sub>	II <sub>1</sub> +II <sub>2</sub>	III <sub>6</sub>	III <sub>11</sub> +III <sub>12</sub>	IV <sub>6</sub>
BC	Y <sub>7</sub>	Y <sub>13</sub> +Y <sub>14</sub>	I <sub>7</sub>	I <sub>13</sub> +I <sub>14</sub>	II <sub>7</sub>	II <sub>1</sub> +II <sub>2</sub>	III <sub>7</sub>	III <sub>13</sub> +III <sub>14</sub>	IV <sub>7</sub>
ABC	Y <sub>8</sub>	Y <sub>15</sub> +Y <sub>16</sub>	I <sub>8</sub>	I <sub>15</sub> +I <sub>16</sub>	II <sub>8</sub>	II <sub>1</sub> +II <sub>2</sub>	III <sub>8</sub>	III <sub>15</sub> +III <sub>16</sub>	IV <sub>8</sub>
D	Y <sub>9</sub>	Y <sub>2</sub> -Y <sub>1</sub>	I <sub>9</sub>	I <sub>2</sub> -I <sub>1</sub>	II <sub>9</sub>	II <sub>2</sub> -II <sub>1</sub>	III <sub>9</sub>	III <sub>2</sub> -III <sub>1</sub>	IV <sub>9</sub>
AD	Y <sub>10</sub>	Y <sub>4</sub> -Y <sub>3</sub>	I <sub>10</sub>	I <sub>4</sub> -I <sub>3</sub>	II <sub>10</sub>	II <sub>4</sub> -II <sub>3</sub>	III <sub>10</sub>	III <sub>4</sub> -III <sub>3</sub>	IV <sub>10</sub>
BD	Y <sub>11</sub>	Y <sub>6</sub> -Y <sub>5</sub>	I <sub>11</sub>	I <sub>6</sub> -I <sub>5</sub>	II <sub>11</sub>	II <sub>6</sub> -II <sub>5</sub>	III <sub>11</sub>	III <sub>6</sub> -III <sub>5</sub>	IV <sub>11</sub>
ABD	Y <sub>12</sub>	Y <sub>8</sub> -Y <sub>7</sub>	I <sub>12</sub>	I <sub>8</sub> -I <sub>7</sub>	II <sub>12</sub>	II <sub>8</sub> -II <sub>7</sub>	III <sub>12</sub>	III <sub>8</sub> -III <sub>7</sub>	IV <sub>12</sub>
CD	Y <sub>13</sub>	Y <sub>10</sub> -Y <sub>9</sub>	I <sub>13</sub>	I <sub>10</sub> -I <sub>9</sub>	II <sub>13</sub>	II <sub>10</sub> -II <sub>9</sub>	III <sub>13</sub>	III <sub>10</sub> -III <sub>9</sub>	IV <sub>13</sub>
ACD	Y <sub>14</sub>	Y <sub>12</sub> -Y <sub>11</sub>	I <sub>14</sub>	I <sub>12</sub> -I <sub>11</sub>	II <sub>14</sub>	II <sub>12</sub> -II <sub>11</sub>	III <sub>14</sub>	III <sub>12</sub> -III <sub>11</sub>	IV <sub>14</sub>
BCD	Y <sub>15</sub>	Y <sub>14</sub> -Y <sub>13</sub>	I <sub>15</sub>	I <sub>14</sub> -I <sub>13</sub>	II <sub>15</sub>	II <sub>14</sub> -II <sub>13</sub>	III <sub>15</sub>	III <sub>14</sub> -III <sub>13</sub>	IV <sub>15</sub>
ABCD	Y <sub>16</sub>	Y <sub>16</sub> -Y <sub>15</sub>	I <sub>16</sub>	I <sub>16</sub> -I <sub>15</sub>	II <sub>16</sub>	II <sub>16</sub> -II <sub>15</sub>	III <sub>16</sub>	III <sub>16</sub> -III <sub>15</sub>	IV <sub>16</sub>
	Y <sub>ij</sub>								

Fuente: Diseño y Análisis de Experimentos, 2002

La suma de la columna respuesta (R) Y<sub>ij</sub> de los factores de diseño debe ser igual al primer término de la columna 4 (C4).

### Análisis de la varianza

El análisis de la varianza para los diseños 2<sup>k</sup> se calcula a base de las siguientes fórmulas:

n = N° de réplicas

**Suma total de cuadrados:**

$$S = \sum_{i=1}^k Y_i^2 - \frac{(\sum Y)^2}{2^k * n} \quad (1)$$

### Suma de los tratamientos o efectos

$$S = \frac{(e)^2}{2^k * n} \quad (2)$$

### Suma total del error

$$S = S - S(a) - S(b) - S(\bar{a}) - S(c) - S(a) - S(b) - S(\bar{a}) - S(d) - S(a) - S(b) - S(\bar{a}) - S(c) - S(\bar{a}) - SS(b) - S(a) \quad (3)$$

En la tabla 2.7 se presenta el análisis de la varianza (ANOVA):

**Tabla II-7**  
**ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA)**

FUENTE DE VARIACIÓN (FV)	SUMA DE CUADRADOS (SC)	GRADOS DE LIBERTAD (GL)	CUADRADO MEDIO (CM)	F <sub>cal</sub>
1	SC(T)	2 <sup>k</sup> n-1		
A	SS(a)	n-1	CM(a)	F=CM(a)/SS(E)
B	SS(b)	n-1	CM(b)	F=CM(b)/SS(E)
AB	SS(ab)	n-1	CM(ab)	F=CM(ab)/SS(E)
C	SS(c)	n-1	CM(c)	F=CM(c)/SS(E)
AC	SS(ac)	n-1	CM(ac)	F=CM(ac)/SS(E)
BC	SS(bc)	n-1	CM(bc)	F=CM(bc)/SS(E)
ABC	SS(abc)	n-1	CM(abc)	F=CM(abc)/SS(E)
D	SS(d)	n-1	CM(d)	F=CM(d)/SS(E)
AD	SS(ad)	n-1	CM(ad)	F=CM(ad)/SS(E)
BD	SS(bd)	n-1	CM(bd)	F=CM(bd)/SS(E)
ABD	SS(abd)	n-1	CM(abd)	F=CM(abd)/SS(E)
CD	SS(cd)	n-1	CM(cd)	F=CM(cd)/SS(E)
ACD	SS(acd)	n-1	CM(acd)	F=CM(acd)/SS(E)
BCD	SS(bcd)	n-1	CM(bcd)	F=CM(bcd)/SS(E)
ABCD	SS(abcd)	n-1	CM(abcd)	F=CM(abcd)/SS(E)
	SS(E)	2 <sup>k-1</sup> n		

Fuente: Diseño y Análisis de Experimentos, 2002



## 2.5.2 FACTORES O PARÁMETROS DE ESTUDIO

En base al proceso seleccionado para realizar la experimentación se eligen los siguientes factores o parámetros para la misma que se muestran en la tabla II-8.

**Tabla II-8**  
**FACTORES O PARÁMETROS DE ESTUDIO**

NIVEL	FACTORES			
	Volumen de zumo (ml)	Presión de vacío (mmHg)	t=Tiempo (minutos)	T=Temperatura (°C)
Superior (+)	370	300	160	55
Inferior (-)	350	200	145	50

Fuente: Elaboración propia, 2016

Tomando estos datos como punto de partida se realiza un diseño factorial de  $2^4$  (dos niveles, cuatro variables).

$$N^{\circ} V = 4$$

$$N = 2$$

$$N^{\circ} d E: = 2^4 = 16$$

$$N^{\circ} d E: = 16$$

Como se realizarán 2 repeticiones entonces:

$$N^{\circ} d E: = 16 * 2 = 32$$

Considerando las combinaciones de estas variables se determinará cuál de ellas es la más significativa cuando se toma el % de Sólidos Solubles Totales (% SST) y el % de Acidez (% Ac.) como variables respuestas.

En las tablas II-9 y II-10 se presentan el diseño factorial y los datos del mismo.

**Tabla II-9**  
**DISEÑO FACTORIAL PARA EL PROCESO DE CONCENTRACIÓN DE**  
**ZUMO DE MANDARINA**

<b>PRUEBA</b>	<b>V<sub>z</sub></b> <b>(ml)</b>	<b>P<sub>vacío</sub></b> <b>(mmHg)</b>	<b>t</b> <b>(min.)</b>	<b>T</b> <b>(°C)</b>	<b>VR</b> <b>(%SST)</b>	<b>VR</b> <b>(% Ac.)</b>
1	-1	-1	-1	-1		
2	-1	+1	-1	-1		
3	+1	-1	-1	-1		
4	+1	+1	-1	-1		
5	-1	-1	+1	-1		
6	-1	+1	+1	-1		
7	+1	-1	+1	-1		
8	+1	+1	+1	-1		
9	-1	-1	-1	+1		
10	-1	+1	-1	+1		
11	+1	-1	-1	+1		
12	+1	+1	-1	+1		
13	-1	-1	+1	+1		
14	-1	+1	+1	+1		
15	+1	-1	+1	+1		
16	+1	+1	+1	+1		

Fuente: Elaboración propia, 2016

**Tabla II-10**  
**DATOS DEL DISEÑO FACTORIAL**

<b>PRUEBA</b>	<b>V<sub>z</sub></b> <b>(ml)</b>	<b>P<sub>vacío</sub></b> <b>(mmHg)</b>	<b>t</b> <b>(min.)</b>	<b>T</b> <b>(°C)</b>	<b>VR</b> <b>(%SST)</b>	<b>VR</b> <b>(% Ac.)</b>
1	350	200	145	50		
2	350	300	145	50		
3	370	200	145	50		
4	370	300	145	50		
5	350	200	160	50		
6	350	300	160	50		
7	370	200	160	50		
8	370	300	160	50		
9	350	200	145	55		
10	350	300	145	55		
11	370	200	145	55		
12	370	300	145	55		
13	350	200	160	55		
14	350	300	160	55		
15	370	200	160	55		
16	370	300	160	55		

Fuente: Elaboración propia, 2016

## 2.6 ANÁLISIS A REALIZAR AL ZUMO CONCENTRADO DE MANDARINA

### 2.6.1 CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO

Los zumos concentrados de frutas son sometidos a controles de calidad bajo la normativa Nacional, la cual asume los parámetros de calidad del Codex Alimentario (Norma General del Codex para Zumos (Jugos) y Néctares de Fruta) y del Código Alimentario Argentino.

Los análisis y controles que se realiza al producto obtenido son el fisicoquímico, microbiológico y el análisis sensorial.

#### 2.6.1.1 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

Con el análisis fisicoquímico se da a conocer las características básicas del producto, tales como el pH, la acidez, los sólidos, la humedad y los carbohidratos; información que sirve como indicador de calidad o parámetro de medición para una producción estandarizada.

En la tabla II-11 se presenta los parámetros fisicoquímicos que se realiza al producto obtenido.

**Tabla II-11**  
**PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>Acidez Titulada</b>	% acidez
<b>Acidez Iónica</b>	pH
<b>Densidad</b>	g/ml
<b>% Sólidos Solubles Totales</b>	°Brix

Fuente: Codex Alimentario y Código Alimentario Argentino, 2016

### 2.6.1.2 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

El análisis microbiológico que se realiza al producto es para determinar las bacterias presentes en el mismo.

Este método se basa en la hipótesis de que las bacterias están contenidas en una muestra mezclada con un medio denominado alimento del microorganismo.

En la tabla II-12 se presenta los parámetros microbiológicos que se realiza al producto obtenido.

**Tabla II-12**  
**PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>ÍNDICE MAXIMO PERMITIDO (UFC/ml)</b>
<b>Coliformes Totales</b>	-
<b>Aerobios Mesófilos</b>	$8 \cdot 10^2$
<b>Mohos y Levaduras</b>	$2 \cdot 10^2$

Fuente: Codex Alimentario y Código Alimentario Argentino, 2016

### 2.6.1.3 ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial es la disciplina científica usada para medir, analizar e interpretar las reacciones humanas, a las características de los alimentos y materiales, así como la manera en que éstas son percibidas por los sentidos de la vista, olfato y tacto.

El ensayo sensorial del producto obtenido se realiza haciendo uso de la Escala Hedónica (Ver Anexo D).

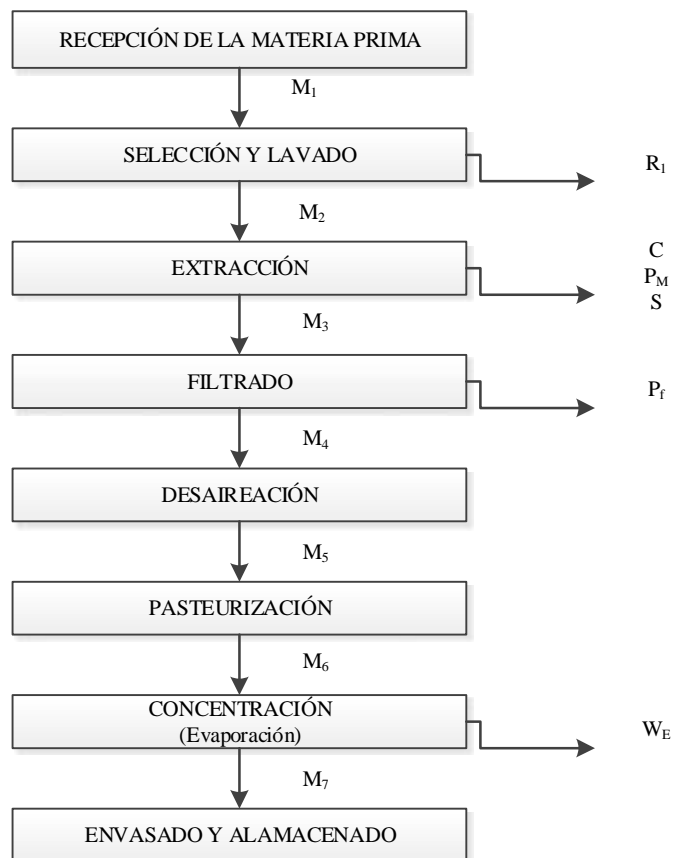
Se realizaron tres ensayos organolépticos para la degustación del producto en cuanto sabor, color y olor mediante panelistas no entrenados, los cuales se presenta en el capítulo IV (Análisis de Resultados).

## 2.7 BALANCE DE MATERIA

Para realizar el balance de materia se toma como base de cálculo 1000 kg de materia prima (*Mandarina-Citrus Reticulata*), considerándose en la etapa de selección y lavado una pérdida estimada del 2.5% del total del peso de materia prima que ingresa al proceso. (Amezaga C.A., 2010)

En la figura 2-2 se presenta el diagrama de flujo del proceso por bloques:

**Figura 2-2**  
**DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO**



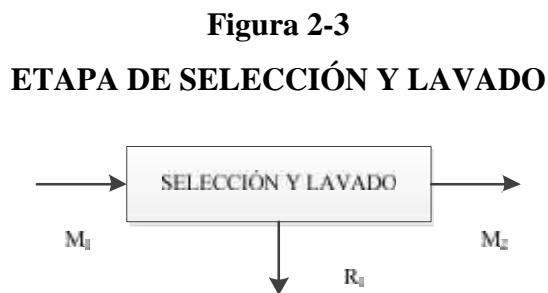
Fuente: Elaboración propia, 2016

**Donde:**

$M_1$ =Masa de la materia prima (kg)	$P_M$ =Pulpa de la materia prima (kg)
$M_2$ =Masa de la materia prima después de selección y lavado (kg)	$P_F$ =Pulpa fina (kg)
$M_3$ =Jugo de la materia prima (kg)	$R_1$ =Pérdidas por desecho (kg)
$M_4$ =Jugo de la materia prima después del filtrado (kg)	$W_E$ =Agua evaporada (kg)
$M_5$ = Jugo de la materia prima después de la desaireación (kg)	$C$ =Cáscara (kg)
$M_6$ =Jugo de la materia prima después de la pasteurización (kg)	$S$ =Semillas (kg)
$M_7$ =Jugo concentrado de la materia prima (kg)	

### 2.7.1 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE SELECCIÓN Y LAVADO

En la figura 2-3 se presenta el diagrama de bloque en la etapa de selección y lavado.



**Datos**

<b>Materia Prima</b>	
Cantidad a Procesar	1000 kg
% de Pérdidas estimadas	2.5%

**Balance Global:**

$$M_1 = M_2 + R_1 \quad E \quad (2.1)$$

Pérdidas por desecho:

$$R_1 = 0.025 * M_1 = 0.025 * 1000 \text{ k} = 25 \text{ k}$$

De la ecuación 2.1 se calcula  $M_2$ :

$$M_2 = M_1 - R_1 = 1000 \text{ k} - 25 \text{ k} = 975 \text{ k}$$

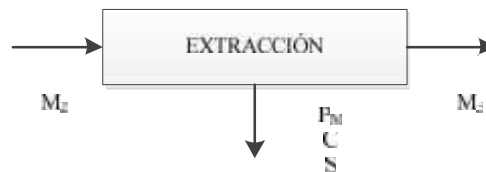
Masa de la materia prima después de la selección y lavado:

$$M_2 = 975 \text{ k}$$

### 2.7.2 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE EXTRACCIÓN

En la figura 2-4 se presenta el diagrama de bloque en la etapa de extracción.

**Figura 2-4**  
**ETAPA DE EXTRACCIÓN**



#### Datos

$M_2=975 \text{ kg}$	% Cáscara (C)=17.84%
% Pérdidas estimadas=2.0%	% Semillas (S)=2.48%
% Pulpa( $P_M$ )=23.19%	% Jugo(J)=56.45%

#### Balance Global:

$$M_2 = M_3 + P_M + C + S \quad E . (2.2)$$

Cálculo de la masa de  $P_M$ , C y S:

$$P_M = 975 \text{ k} * 0.2319 = 226.1025 \text{ k}$$

$$C = 975 \text{ k} * 0.1784 = 173.94 \text{ k}$$

$$S = 975 \text{ k} * 0.0248 = 24.18 \text{ k}$$



De la ecuación 2.2 se calcula  $M_3$ :

$$M_3 = M_2 - P_M - C - S$$

$$M_3 = 975 \text{ k} - 226.1025 \text{ k} - 173.94 \text{ k} - 24.18 \text{ k} = 550.78 \text{ k}$$

Considerando el % de pérdidas en la etapa de extracción el 2%, se tiene ( $R_2$ ):

$$R_2 = 550.78 \text{ k} * 0.02 = 11.02 \text{ k}$$

Por tanto se tiene:

$$M_3 = 550.78 \text{ k} - 11.02 \text{ k} = 539.76 \text{ k}$$

Masa de jugo obtenido después de la extracción:

$$M_3 = 539.76 \text{ k}$$

### 2.7.3 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE FILTRADO

En la figura 2-5 se presenta el diagrama de bloque en la etapa de filtrado.

**Figura 2-5**  
**ETAPA DE FILTRADO**



#### Datos

$M_3=539.76 \text{ kg}$	% Pulpa fina ( $P_f$ )=1%
-------------------------	---------------------------

Se considera el 1% de pulpa fina que se filtra en la etapa de extracción, para eliminar las partículas que quedan en suspensión en el jugo. (Rueda V.R., 2005)

**Balance Global:**

$$M_3 = M_4 + P_f \quad E . (2.3)$$

Cálculo de la masa de la pulpa fina ( $P_f$ ):

$$P_f = M_3 * 1\% = 539.76 \text{ k} * 0.01 = 5.40 \text{ k}$$

De la ecuación 2.3 se calcula  $M_4$ :

$$M_4 = M_3 - P_f$$

$$M_4 = 539.76 \text{ k} - 5.40 \text{ k} = 534.36 \text{ k}$$

Masa de jugo obtenido después del filtrado:

$$M_4 = 534.36 \text{ k}$$

#### 2.7.4 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE DESAIREACIÓN

En la figura 2-6 se presenta el diagrama de bloque en la etapa de desaireación.

**Figura 2-6**  
**ETAPA DE DESAIREACIÓN**



En esta etapa no se gana ni se pierde masa; por lo que la cantidad de  $M_4$  es igual a la de  $M_5$ , ya que en esta etapa se extrae el aire para inactivar el deterioro del jugo. El principio de la des-aireación es des-gasificar y homogeneizar el jugo.

Por tanto:

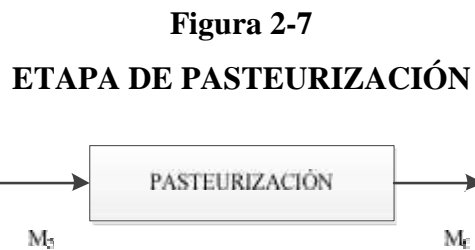
$$M_4 = M_5$$

Masa de jugo obtenido después de la des-aireación:

$$M_5 = 534.36 \text{ k}$$

### 2.7.5 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE PASTEURIZACIÓN

En la figura 2-7 se presenta el diagrama de bloque en la etapa de pasteurización.



En esta etapa al igual que la desaireación no hay cambios de masa, el fin esencial de esta etapa es la destrucción de las bacterias manteniendo el cuidado de los componentes y propiedades fisicoquímicas del jugo.

Por lo que:

$$M_5 = M_6$$

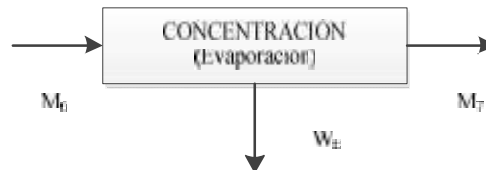
Masa de jugo obtenido después de la pasteurización:

$$M_6 = 534.36 \text{ k}$$

### 2.7.6 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE CONCENTRACIÓN

En la figura 2-8 se presenta el diagrama de bloque en la etapa de concentración.

**Figura 2-8**  
**ETAPA DE CONCENTRACIÓN**



#### Datos

$M_6=534.36 \text{ kg}$	$\%SST_F=36.6\%$
$\%SST_I=10.5\%$	$\%SST=^\circ\text{Brix}$

#### Balance Global:

$$M_6 = M_7 + W_E \quad E . (2.4)$$

#### Balance parcial por componentes:

$$X_6 * M_6 = X_7 * M_7 + X_E * W_E \quad E . (2.5)$$

De la ecuación 2.5 se calcula  $M_7$ :

$$0.105 * 534.36 \text{ k} = 0.366 * M_7 + 0 * W_E$$

$$M_7 = \frac{0.105}{0.366} * 534.36 \text{ k} = 153.30 \text{ k}$$

Masa de jugo obtenido después de la concentración:

$$M_7 = 153.30 \text{ k}$$

De la ecuación 2.4 se calcula  $W_E$ :

$$W_E = M_6 - M_7$$

$$W_E = 534.36 \text{ k} - 153.30 \text{ k} = 381.06 \text{ k}$$

Masa de agua evaporada en la concentración:

$$W_E = 381.06 \text{ k}$$

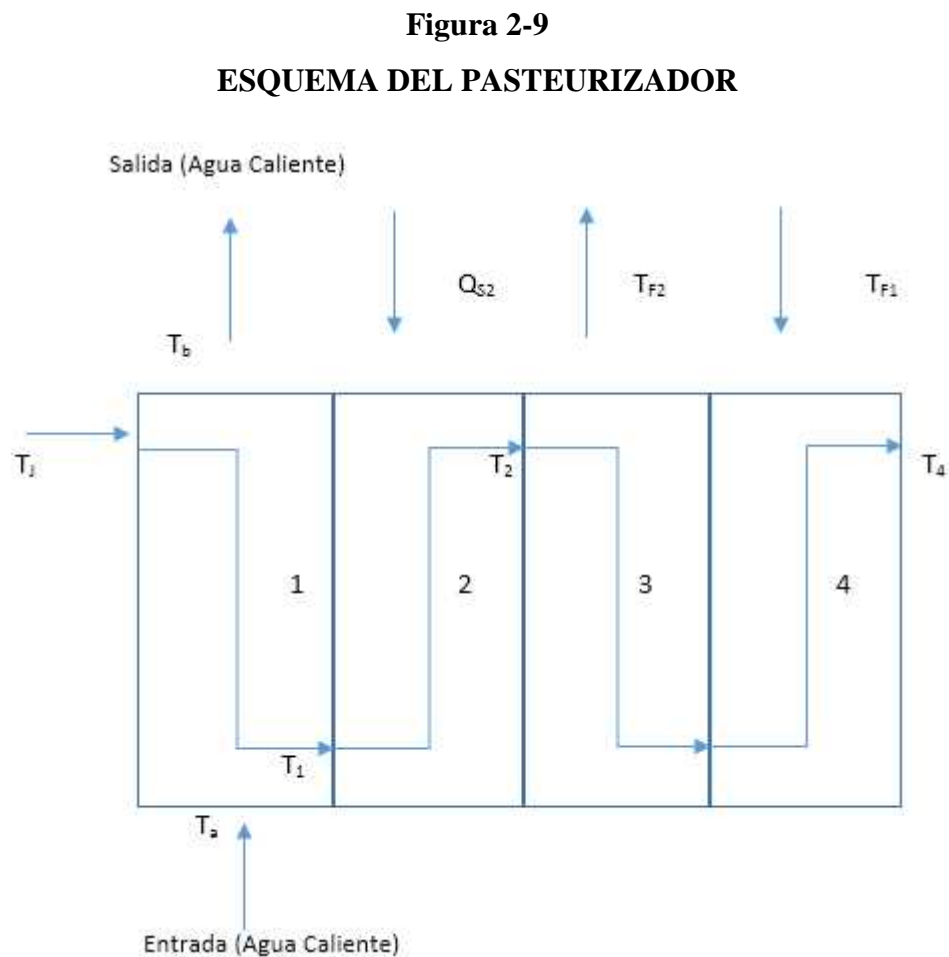
## 2.8 BALANCE DE ENERGÍA

Es de gran importancia realizar un balance de energía en el proceso, para cuantificar la energía consumida del equipo involucrado en dicho proceso a escala industrial.

### 2.8.1 BALANCE DE ENERGÍA EN EL PASTEURIZADOR

Se realiza el balance en este equipo por la importancia que tiene en el proceso. El balance de energía se realizará en las cuatro etapas del pasteurizador.

En la figura 2-9 se presenta el esquema del pasteurizador.



Fuente: Elaboración propia, 2016

**Datos**

<b>Temperatura inicial del Jugo</b>	<b>Calor Específico del Jugo</b>
18°C	0.91 kcal/kg °C
<b>Temperatura de Pasteurización del Jugo</b>	<b>Temperatura de Agua Caliente (Inicial)</b>
90°C	100°C
<b>Temperatura del jugo a la salida del Pasteurizador</b>	<b>Temperatura de Agua Fría (Entrada)</b>
10°C	4°C
<b>Densidad del jugo</b>	<b>Temperatura de Agua Fría (Salida)</b>
1.028 kg/l	20°C

**Cálculo del calor del jugo:**

La ecuación a utilizar según Ocon y Col-1980, es la siguiente:

$$Q = m * C_p * \Delta T \quad E . (2.6)$$

Masa de jugo a la entrada del pasteurizador:

$$M_j = 534.36 \text{ k}$$

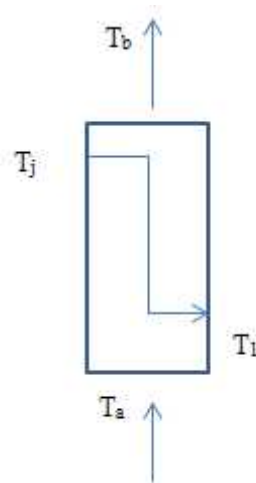
De la ecuación 2.6 se calcula Q:

$$Q_j = 534.36 \text{ k} * 0.91 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} * (90 - 18)^\circ\text{C} = 35011.27 \text{ k}$$

Calor del jugo en la etapa 1 y 2:

$$Q_j = 35011.27 \text{ k}$$

### Cálculo de la temperatura en la etapa 1:



**Donde:**

$T_j$ =Temperatura del jugo	$T_a$ =Temperatura Agua Caliente (Entrada)
$T_1$ =Temperatura de salida-etapa (1)	$T_b$ =Temperatura Agua Caliente (Salida)
$T_2$ =Temperatura del jugo-etapa (2)	$T_p$ =Temperatura de Pasteurización
$Q_j$ = Calor del jugo	$Q_A$ =Calor del Agua

Para el cálculo de la temperatura en la etapa 1, el agua caliente que entra en contacto con el jugo pierde calor por lo cual la temperatura del agua caliente es menor a la inicial, entonces la temperatura que adquiere el jugo es:

En lo estipulado por Kern-1999, en esta etapa el calor requerido es del 30%:

$$Q = 35011.27 \text{ k} \quad * 0.3 = 10503.38 \text{ k}$$

$$\Delta T = T_p - T_j = (90^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C}) * 0.3 = 21.6^\circ\text{C}$$

La temperatura de salida del jugo en la etapa 1 es:

$$T_1 = T_j + \Delta T = 18^\circ\text{C} + 21.6^\circ\text{C} \rightarrow T_1 = 39.6^\circ\text{C}$$



La temperatura de salida de agua caliente de la etapa 1 es:

$$T_b = T_a - \Delta T = 100^\circ\text{C} - 21.6^\circ\text{C} \rightarrow T_b = 78.4^\circ\text{C}$$

### Consumo de agua caliente en la etapa 1:

El calor del jugo es igual a la cantidad de agua caliente requerida (transmisión de calor) según Kern-1999, por lo que la igualdad es la siguiente:

$$Q_j = Q_A$$

$$m_j * C_P * \Delta T_j = m_A * C_P * \Delta T_A$$

$$m_j * C_P * (T_1 - T_j) = m_A * C_P * (T_a - T_b)$$

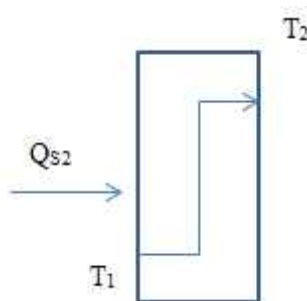
$$534.3 \text{ k} * 0.91 \text{ k} / \text{k} \text{ } ^\circ\text{C} * (39.6 - 18)^\circ\text{C} = m_A * 1 \text{ k} / \text{k} \text{ } ^\circ\text{C} * (100 - 78.4)^\circ\text{C}$$

$$m_A = 486.27 \text{ k}$$

Masa agua requerida:

$$m_A = 486.27 \text{ k}$$

### Consumo de calor en la etapa 2:



**Donde**

$T_1$ =Temperatura de la etapa 1	$T_P$ =Temperatura de Pasteurización
$T_2$ =Temperatura de la etapa 2	$Q_{S2}$ =Calor suministrado en la etapa 2

En la etapa 1 según Kern-1999 el calor suministrado en esa etapa es del 30% del calor total suministrado, por lo que en la etapa 2 el calor requerido es al 70%:

$$Q = 35011.27 \text{ k} \quad * 0.7 \rightarrow Q = 24507.89 \text{ k}$$

Calor suministrado en la etapa 2:

$$Q_{S2} = 24507.89 \text{ k}$$

La temperatura en la etapa 2 es:

$$T_2 = 90^\circ\text{C}$$

**Consumo de vapor en la etapa 2:**

El calentamiento se efectúa mediante vapor de un caldero a  $2.829 \text{ kg/cm}^2$  de presión y a una temperatura de  $132^\circ\text{C}$  para uso en el pasteurizador y en el evaporador (Smith Van Ness, 1988).

Con la presión de vapor del caldero se determina las entalpías de vapor y líquido (ver anexo E):

$$P_{\text{vapor-caldero}} = 286.6480 \text{ kPa}$$

$$H_L = 132.4539 \text{ kcal/kg}$$

$$H_V = 650.2732 \text{ kcal/kg}$$

La ecuación a utilizar es la siguiente:

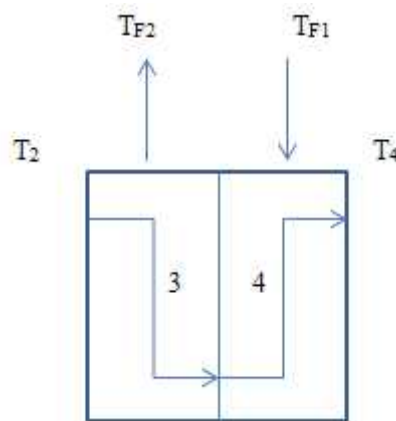
$$Q = m_v * (H_V - H_L) \quad E . (2.7)$$

$$24507.89 \text{ k} = m_V * (650.2732 - 132.4539) \text{ k} / \text{k}$$

Masa de vapor consumido:

$$m_V = 47.33 \text{ k}$$

**Balance de energía en la etapa 3 y 4:**



**Donde**

$T_2$ =Temperatura de la etapa 2	$T_{F1}$ =Temperatura de agua Fría (Entrada)
$T_4$ =Temperatura de la etapa 4	$T_{F2}$ =Temperatura de agua Fría (Salida)
$Q_j$ =Calor del jugo	$Q_F$ =Calor adquirido por el agua Fría

La temperatura del jugo a la salida del pasteurizador es 10°C (etapa 4) y suponiendo que la etapa de enfriamiento la temperatura de entrada de agua fría es de 4°C y la temperatura de salida es de 20°C se tiene la cantidad de masa de agua fría requerida aplicando la siguiente ecuación:

$$-Q_j = Q_F \quad E . (2.8)$$

$$m_j * C_p * \Delta T_j = m_F * C_p * \Delta T_F$$

$$-534.36 \text{ k} * 0.91 \text{ k} / \text{k} \cdot \text{°C} * (T_4 - T_2) = m_F * 1 \text{ k} / \text{k} \cdot \text{°C} * (T_{F2} - T_{F1})$$

$$-534.36 \text{ k} * 0.91 \text{ k} / \text{k} \text{ } ^\circ\text{C} * (10 - 90)^\circ\text{C} = m_F * 1 \text{ k} / \text{k} \text{ } ^\circ\text{C} * (20 - 4)^\circ\text{C}$$

Masa de agua fría requerida:

$$m_F = 2431.34 \text{ k}$$

## 2.8.2 BALANCE DE ENERGÍA EN LA ETAPA DE CONCENTRACIÓN (EVAPORACIÓN)

El balance de energía se realiza en un evaporador de simple efecto y el calentamiento del equipo se lo efectúa mediante vapor de un caldero a  $2.829 \text{ kg/cm}^2$  de presión y una temperatura de  $132^\circ\text{C}$ .

### Datos:

Presión atmosférica en Tarija  $P = 610 \text{ mmHg} = 0.829 \text{ kg/cm}^2$

Presión manométrica (caldero)  $P = 2 \text{ kg/cm}^2$

$$P_{\text{vapor-caldero}} = 0.829 \text{ kg/cm}^2 + 2 \text{ kg/cm}^2 = 2.829 \text{ kg/cm}^2$$

Con la presión de vapor de caldero se determina las entalpías de vapor y líquido de tablas de propiedades termodinámicas del agua (ver anexo E).

### Datos

$M_j$ =Masa del jugo=534.36 kg	$T_{\text{vapor}} = 132^\circ\text{C}$
$W_E$ =Agua evaporada=381.06 kg	$H_V$ =Entalpía del vapor=650.2732 kcal/kg
$P_{\text{vapor-caldero}} = 2.829 \text{ kg/cm}^2 = 286.6480 \text{ kcal}$	$H_L$ =Entalpía del líquido=132.4539 kcal/kg

### Consumo de vapor en el evaporador

La presión absoluta de saturación del agua en el evaporador es de  $16,235 \text{ kPa}$ , y con este dato se determina la temperatura de saturación, las entalpías de vapor y líquido de tablas de propiedades termodinámicas del agua (ver anexo E).

$T_s = 55^\circ\text{C}$  (Temperatura de saturación)

Entalpía del líquido =  $H_L = 54.982 \text{ kcal/kg}$

Entalpía del vapor =  $H_V = 621.238 \text{ kcal/kg}$

Dados estos datos se calcula el calor requerido para evaporar la cantidad de agua calculada, tomando en cuenta que el jugo ingresa al evaporador previamente calentado.

La ecuación a utilizar según Ocon y Col.-1986 es:

$$Q = m * \Delta H \quad E .(2.9)$$

$$Q = W_E * (H_V - H_L)$$

$$Q = 381.06 \text{ k} * (621.238 - 54.982) \text{ kcal/kg} = 215777.51 \text{ k}$$

Calor requerido en el evaporador:

$$Q = 215777.51 \text{ k}$$

El tiempo requerido según McCabe-1991 para evaporar el jugo es:

$$t = \frac{Q}{U * A * M} \quad E .(2.10)$$

**Donde**

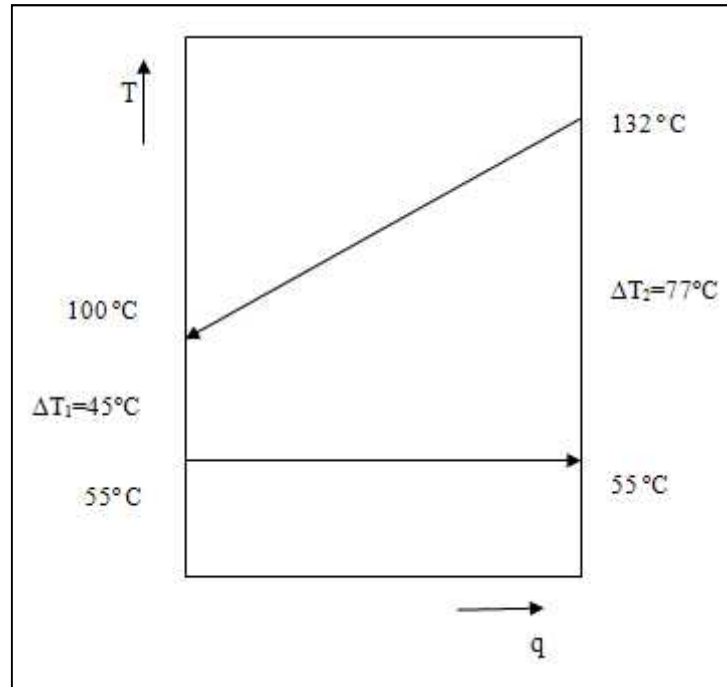
A = área de transferencia de calor =  $3.644 \text{ m}^2$

U = coeficiente global de transferencia de calor  $612 \text{ kcal/hm}^2\text{°C}$

MLDT = Media logarítmica de temperatura

La media logarítmica de temperatura se presenta en el gráfico 2-1:

**Gráfico 2-1**  
**MEDIA LOGARÍTMICA DE TEMPERATURA**



Cálculo de la media logarítmica de temperatura:

$$M = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = 59.57^\circ\text{C}$$

$$M = 59.57^\circ\text{C}$$

De la ecuación 2.10 se calcula el tiempo requerido:

$$t = \frac{215777.51 \text{ k}}{612 \text{ k} / \text{hm}^2\text{°C} * 3.644 \text{ m}^2 * 59.57^\circ\text{C}}$$

$$t = 1.62 \text{ h}$$

Cálculo del consumo horario de energía del evaporador:

$$Q_n = \frac{Q}{t} \quad E \text{ . (2.11)}$$

$$Q_n = \frac{215777.51 \text{ k}}{1.62 \text{ h}} = 133195.99 \text{ k /h}$$

$$Q_n = 133195.99 \text{ k /h}$$

La ecuación según Ocon y Col-1986 para la masa de vapor requerida en el proceso es:

$$m_v = \frac{Q_n}{-\Delta H} \quad E \text{ . (2.12)}$$

$$m_v = \frac{133195.99 \text{ k /h}}{-(132.4539 - 650.2732) \text{ k /k}} = 257.22 \text{ k /h}$$

Masa de vapor requerida en el proceso:

$$m_v = 257.22 \text{ k /h}$$

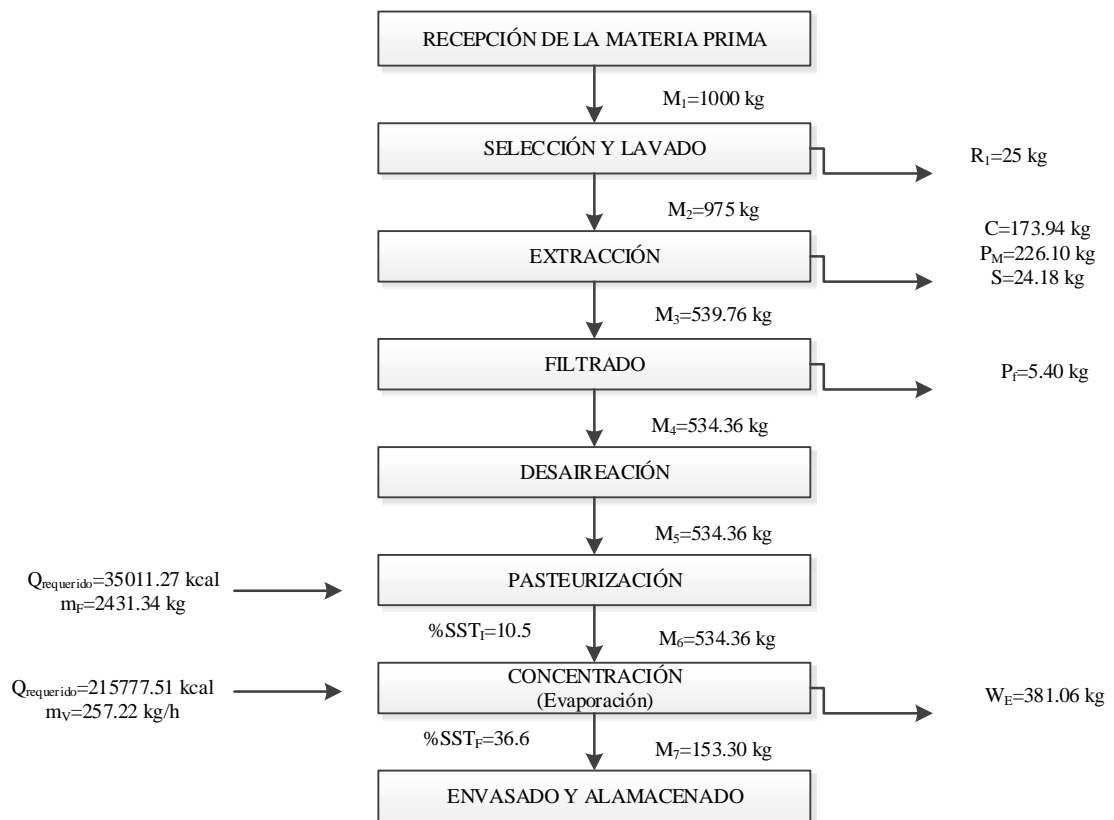
## 2.9 RESUMEN DEL BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA EN EL PROCESO

Se elabora un resumen a detalle del proceso de concentración, con los datos obtenidos del balance de materia y energía.

En la figura 2-10 se presenta el resumen de balance de materia y energía.

**Figura 2-10**

### RESUMEN DEL BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA EN EL PROCESO



Fuente: Elaboración propia, 2016

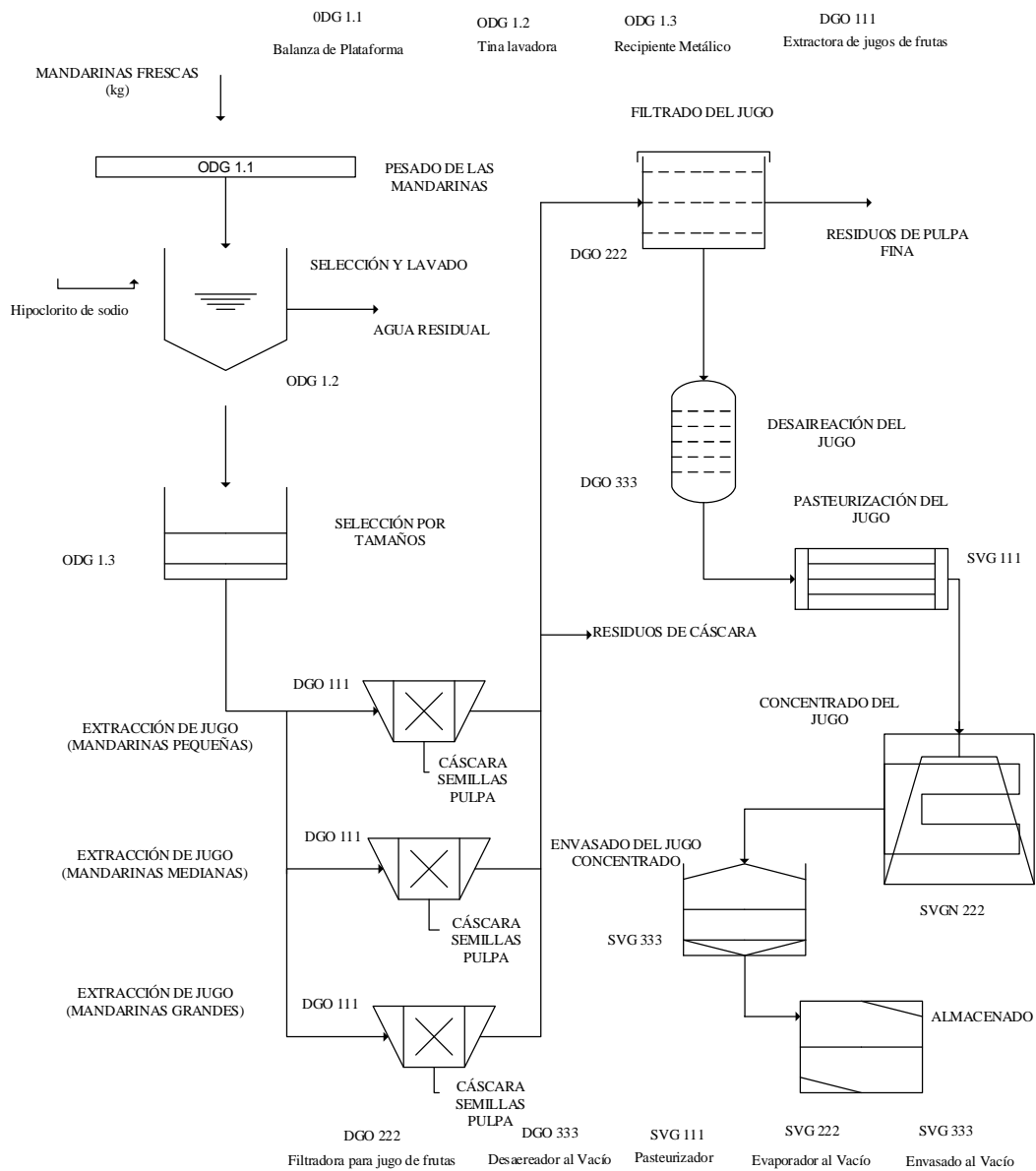


## 2.10 EQUIPOS Y MAQUINARIA EN EL PROCESO

En la figura 2-11 se presenta el diagrama de equipos y maquinaria en el proceso de elaboración del producto.

**Figura 2-11**

### DIAGRAMA DE EQUIPOS Y MAQUINARIA EN EL PROCESO



Fuente: Elaboración propia, 2016

**CAPÍTULO III**  
**ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

### 3.1 RESULTADOS OBTENIDOS DEL DISEÑO FACTORIAL

El diseño factorial realizado, ayuda a encontrar las variables más significativas para llevar a cabo el proceso de concentración y el tratamiento que da mejores resultados.

Para el diseño realizado se tomó el %SST y el %Acidez como variables respuestas de cada combinación ( $V_z$ ,  $P_{vacío}$ ,  $t$ ,  $T$ ).

En la tabla III-1 se presenta los resultados de las variables del proceso de concentración, tomando en cuenta como variable respuesta el %SST y el % Acidez.

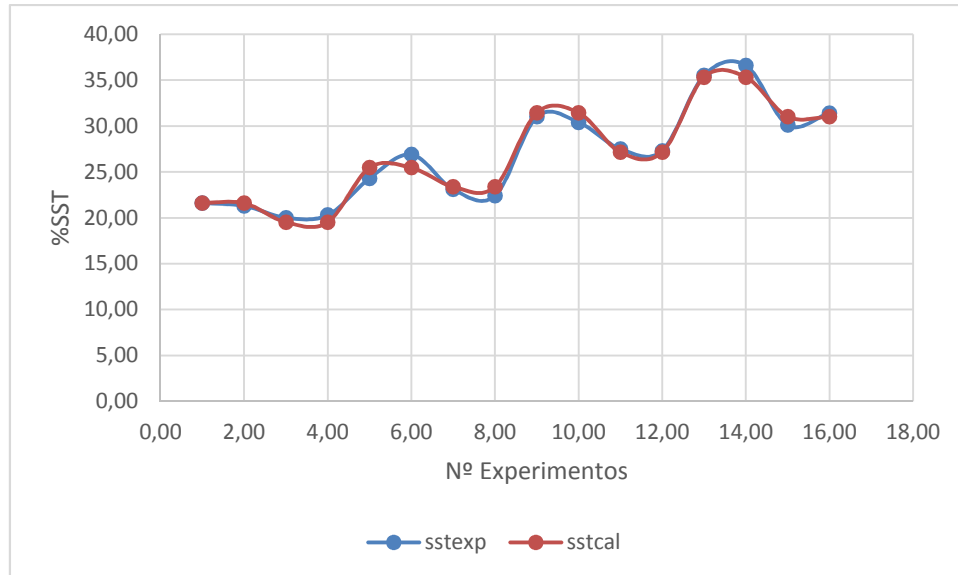
**Tabla III-1**  
**DATOS EXPERIMENTALES DEL DISEÑO FACTORIAL**

PRUEBA	$V_z$ (ml)	$P_{vacío}$ (mmHg)	$t$ (min.)	$T$ (°C)	FACTOR RESPUESTA	
					%SST	% Ac.
1	350	200	145	50	21,60	1,25
2	350	300	145	50	21,30	1,27
3	370	200	145	50	20,00	1,22
4	370	300	145	50	20,30	1,21
5	350	200	160	50	24,30	1,45
6	350	300	160	50	26,90	1,55
7	370	200	160	50	23,10	1,29
8	370	300	160	50	22,40	1,17
9	350	200	145	55	31,00	1,74
10	350	300	145	55	30,40	1,69
11	370	200	145	55	27,50	1,48
12	370	300	145	55	27,30	1,49
13	350	200	160	55	35,50	1,98
14	350	300	160	55	36,60	1,87
15	370	200	160	55	30,10	1,48
16	370	300	160	55	31,40	1,51

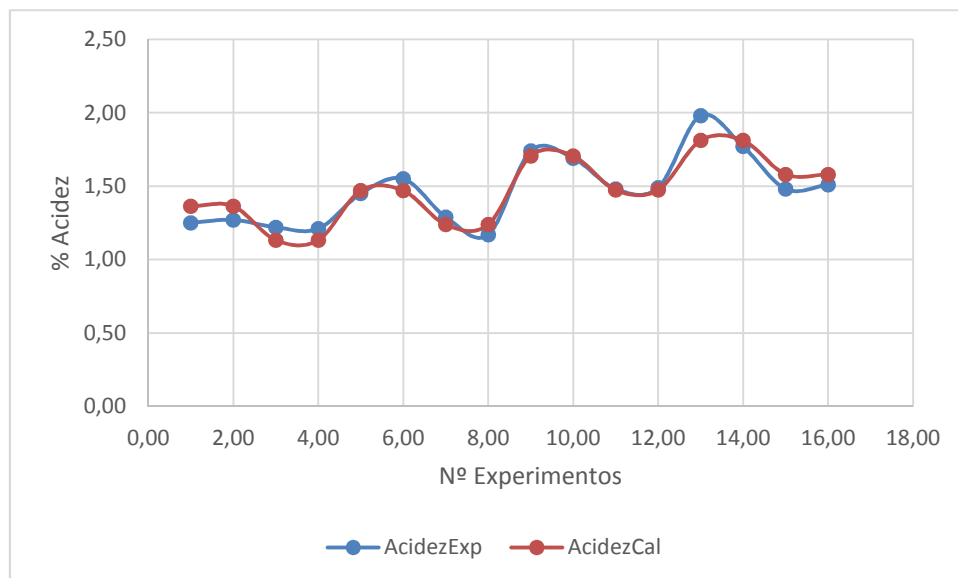
Fuente: Elaboración propia, 2016

A continuación en el gráfico 3.1 y 3.2 se presentan las oscilaciones que se obtienen en el proceso de concentración para las distintas variables o parámetros del diseño factorial con respecto al factor respuesta %SST y % Acidez.

**Gráfico 3-1**  
**%SST vs N° Experimentos**



**Gráfico 3-2**  
**% Acidez vs N° Experimentos**



En la tabla III-2 se presenta los datos con los cuales se realiza el cálculo del análisis de varianza (ANOVA) de un diseño  $2^4$ .

**Tabla III-2**  
**DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA**

<b>V<sub>z</sub></b> <b>(ml)</b>	<b>P<sub>vacío</sub></b> <b>(mmHg)</b>	<b>t</b> <b>(min.)</b>	<b>T</b> <b>(°C)</b>	<b>%SST</b>	<b>% Ac.</b>
-1	-1	-1	-1	21,60	1,25
-1	+1	-1	-1	21,30	1,27
+1	-1	-1	-1	20,00	1,22
+1	+1	-1	-1	20,30	1,21
-1	-1	+1	-1	24,30	1,45
-1	+1	+1	-1	26,90	1,55
+1	-1	+1	-1	23,10	1,29
+1	+1	+1	-1	22,40	1,17
-1	-1	-1	+1	31,00	1,74
-1	+1	-1	+1	30,40	1,69
+1	-1	-1	+1	27,50	1,48
+1	+1	-1	+1	27,30	1,49
-1	-1	+1	+1	35,50	1,98
-1	+1	+1	+1	36,60	1,87
+1	-1	+1	+1	30,10	1,48
+1	+1	+1	+1	31,40	1,51
-1	-1	-1	-1	21,60	1,25
-1	+1	-1	-1	21,30	1,27
+1	-1	-1	-1	20,00	1,22
+1	+1	-1	-1	20,30	1,21
-1	-1	+1	-1	24,30	1,45
-1	+1	+1	-1	26,90	1,55
+1	-1	+1	-1	23,10	1,29
+1	+1	+1	-1	22,40	1,17
-1	-1	-1	+1	31,00	1,74
-1	+1	-1	+1	30,40	1,69
+1	-1	-1	+1	27,50	1,48
+1	+1	-1	+1	27,30	1,49
-1	-1	+1	+1	35,50	1,98
-1	+1	+1	+1	36,60	1,87
+1	-1	+1	+1	30,10	1,48
+1	+1	+1	+1	31,40	1,51

Fuente: Elaboración propia, 2016

### 3.2 ANÁLISIS DE VARIANZA UNIVARIANTE PARA LA VARIABLE DEPENDIENTE %SST

En la tabla III-3 se presenta los factores inter-sujetos del análisis de varianza.

**Tabla III-3**  
**FACTORES INTER-SUJETOS**

		N
Volumen de zumo	-1	8
	1	8
Presión de vacío	-1	8
	1	8
Tiempo	-1	8
	1	8
Temperatura	-1	8
	1	8

Fuente: Elaboración propia, 2016

#### 3.2.1 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Las pruebas de los efectos inter-sujetos para el análisis de la varianza para la variable dependiente %SST, se presentan en la tabla III-4.

**Tabla III-4**  
**ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PROCESO DE CONCENTRACIÓN**  
**(ANOVA)**

Origen	Suma de Cuadrados tipo III	gl	Media Cuadrática	F	Significación
Modelo	417,416 <sup>a</sup>	10	41,742	76,984	0,000
Intersección	11540,131	1	11540,131	21034,642	0,000
V <sub>z</sub>	40,641	1	40,641	74,077	0,000*
P <sub>vacío</sub>	0,766	1	0,766	1,396	0,291
t	59,676	1	59,676	108,773	0,000*
T	305,376	1	305,376	556,620	0,000*
V <sub>z</sub> -P <sub>vacío</sub>	0,276	1	0,276	0,502	0,510

V <sub>z</sub> -t	3,151	1	3,151	5,743	0,062
V <sub>z</sub> -T	4,951	1	4,951	9,024	0,030*
P <sub>vacío</sub> -t	1,626	1	1,626	2,963	0,146
P <sub>vacío</sub> -T	0,006	1	0,006	0,010	0,923
t-T	0,951	1	0,951	1,733	0,245
Error	2,743	5	0,549		
Total	11960,290	16			
Total corregida	420,159	15			

Fuente: Elaboración propia, 2016

**Nota:** (a) R cuadrado = ,993 (R cuadrado corregida = ,980) (\*) **Significativos**

Variable dependiente: %SST

**Volumen zumo (V<sub>z</sub>)**

**Presión de vacío (P<sub>vacío</sub>)**

**Tiempo (t)**

**Temperatura (T)**

**% Sólidos Solubles Totales (%SST)**

#### **Análisis de la tabla ANOVA**

- Para la variable “*volumen de zumo*”, los valores de significancia son menores a 0.05, por lo tanto se acepta la hipótesis planteada ya que se comprueba estadísticamente la variación en el factor para un límite de confianza del 95%.
- Para la variable “*presión de vacío*”, los valores de significancia son mayores a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis planteada ya que se comprueba estadísticamente la variación en el factor para un límite de confianza del 95%.
- Para la variable “*tiempo*”, los valores de significancia son menores a 0.05, por lo tanto se acepta la hipótesis planteada ya que se comprueba estadísticamente la variación en el factor para un límite de confianza del 95%.

- Para la variable “*temperatura*”, los valores de significancia son menores a 0.05, por lo tanto se acepta la hipótesis planteada ya que se comprueba estadísticamente la variación en el factor para un límite de confianza del 95%.
- Para la intersección “ $V_z-T$ ”, los valores de significancia son menores a 0.05, por lo tanto se acepta la hipótesis planteada ya que se comprueba estadísticamente la variación en el factor para un límite de confianza del 95%.
- Para las intersecciones “ $V_z-P_{vacío}$ ”, “ $V_z-t$ ”, “ $P_{vacío-t}$ ”, “ $P_{vacío-T}$ ”, “ $t-T$ ” se tiene que los valores de significancia son mayores a 0.05, por lo tanto se rechaza la hipótesis planteada para un límite de confianza del 95%.

### 3.3 ANÁLISIS DE VARIANZA UNIVARIANTE PARA LA VARIABLE DEPENDIENTE %ACIDEZ

En la tabla III-5 se presenta los factores inter-sujetos del análisis de varianza.

**Tabla III-5**  
**FACTORES INTER-SUJETOS**

		<b>N</b>
Volumen de zumo	-1	8
	1	8
Presión de vacío	-1	8
	1	8
Tiempo	-1	8
	1	8
Temperatura	-1	8
	1	8

Fuente: Elaboración propia, 2016

#### 3.3.1 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Las pruebas de los efectos inter-sujetos para el análisis de la varianza para la variable dependiente % Acidez, se presentan en la tabla III-6.



**Tabla III-6**  
**ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PROCESO DE CONCENTRACIÓN**  
**(ANOVA)**

<b>Origen</b>	<b>Suma de Cuadrados tipo III</b>	<b>gl</b>	<b>Media Cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Significación</b>
Modelo	0,792 <sup>a</sup>	10	0,079	13,358	0,005
Intersección	34,663	1	34,663	5849,003	0,000
V <sub>z</sub>	0,214	1	0,214	36,095	0,002*
P <sub>vacío</sub>	0,003	1	0,003	0,558	0,489
t	0,045	1	0,045	7,620	0,040*
T	0,466	1	0,466	78,601	0,000*
V <sub>z</sub> -P <sub>vacío</sub>	0,000	1	0,000	0,026	0,877
V <sub>z</sub> -t	0,035	1	0,035	5,932	0,059
V <sub>z</sub> -T	0,022	1	0,022	3,671	0,114
P <sub>vacío</sub> -t	0,002	1	0,002	0,305	0,605
P <sub>vacío</sub> -T	0,003	1	0,003	0,465	0,526
t-T	0,002	1	0,002	0,305	0,605
Error	0,030	5	0,006		
Total	35,484	16			
Total corregida	,821	15			

Fuente: Elaboración propia, 2016

**Nota:** (a) R cuadrado = ,964 (R cuadrado corregida = ,892)    (\*) **Significativos**

Variable dependiente: % Acidez

**Volumen zumo (V<sub>z</sub>)**

**Presión de vacío (P<sub>vacío</sub>)**

**Tiempo (t)**

**Temperatura (T)**

**% Acidez (Acidez)**

### Análisis de la tabla ANOVA

- Para la variable “*volumen de zumo*”, los valores de significancia son menores a 0.05, por lo tanto se acepta la hipótesis planteada ya que se comprueba estadísticamente la variación en el factor para un límite de confianza del 95%.
- Para la variable “*presión de vacío*”, los valores de significancia son mayores a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis planteada ya que se comprueba estadísticamente la variación en el factor para un límite de confianza del 95%.
- Para la variable “*tiempo*”, los valores de significancia son menores a 0.05, por lo tanto se acepta la hipótesis planteada ya que se comprueba estadísticamente la variación en el factor para un límite de confianza del 95%.
- Para la variable “*temperatura*”, los valores de significancia son menor a 0.05, por lo tanto se acepta la hipótesis planteada ya que se comprueba estadísticamente la variación en el factor para un límite de confianza del 95%.
- Para las intersecciones “ $V_z-P_{vacío}$ ”, “ $V_z-t$ ”, “ $V_z-T$ ”, “ $P_{vacío-t}$ ”, “ $P_{vacío-T}$ ”, “ $t-T$ ” se tiene que los valores de significancia son mayor a 0.05, por lo tanto se rechaza la hipótesis planteada para un límite de confianza del 95%.

Del análisis realizado para las variables dependientes %SST y %Acidez se concluye de la siguiente manera:

#### Variable dependiente %SST

Se determina que las variables que tienen mayor incidencia en el proceso con respecto al %SST son:

- Volumen zumo ( $V_z$ )
- Tiempo (t)
- Temperatura (T)
- Intersección volumen-temperatura ( $V_z-T$ )

Lo cual indica que el volumen, tiempo, temperatura y su interacción influyen en el %SST obtenidos en los tratamientos elaborados, con lo que se demuestra que la interacción volumen y temperatura influyen en la concentración de los % de sólidos solubles ya que al aumentar la temperatura disminuye el tiempo de concentración, necesitándose menos tiempo de concentración para temperaturas altas.

### **Variable dependiente %Acidez**

Se determina que las variables que tienen mayor incidencia en el % Acidez son:

- Volumen zumo ( $V_z$ )
- Tiempo (t)
- Temperatura (T)

Indica que el volumen, tiempo y temperatura influyen en el cálculo del % Acidez en los tratamientos elaborados, demostrando que a mayores temperaturas y tiempo el índice de acidez aumenta.

Por tanto, las variables de mayor incidencia en el proceso de concentración, son la *temperatura* y el *tiempo* por lo que se debe tener en cuenta al manejar estas variables.

### **3.4 VARIABLES O PARÁMETROS ÓPTIMOS PARA EL PROCESO DE CONCENTRACIÓN DE ZUMO DE MANDARINA**

Las condiciones óptimas de operación en el proceso de concentrado de zumo de mandarina se presentan en la tabla III-7, ya que con esos parámetros se obtiene la mayor concentración de % sólidos solubles totales (°Brix).

**Tabla III-7**  
**VARIABLES O PARÁMETROS ÓPTIMOS**

<b>Volumen zumo (ml)</b>	<b>Presión vacío (mmHg)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
350	300	160	55

Fuente: Elaboración propia, 2016

### 3.5 VARIACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ZUMO DE MANDARINA DURANTE EL PROCESO DE CONCENTRACIÓN CON LAS VARIABLES ÓPTIMAS

A continuación se presenta gráficos sobre la variación del %SST, % Acidez, y la densidad (gr/ml) durante el proceso de concentrado del zumo de mandarina con las variables óptimas obtenidas.

- **Variación de los porcentajes de sólidos solubles totales (%SST)**

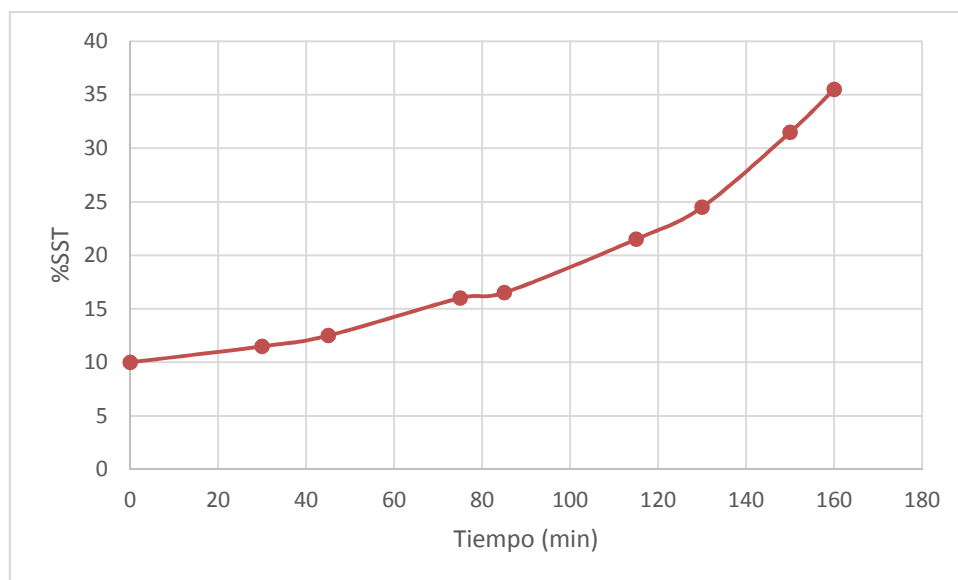
En la tabla III-8 se presenta los datos del tiempo y el %SST obtenidos y en el gráfico 3-3 la curva de variación del %SST con respecto al tiempo.

**Tabla III-8**  
**VARIACIÓN DEL %SST CON RESPECTO AL TIEMPO**

<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>%SST (°Brix)</b>
0	10,00
30	11,50
45	12,50
75	16,00
85	16,50
115	21,50
130	24,50
150	31,50
160	36,10

Fuente: Elaboración propia, 2016

**GRÁFICO 3-3**  
**%SST vs Tiempo**



- **Variación del porcentaje de Acidez (%Acidez)**

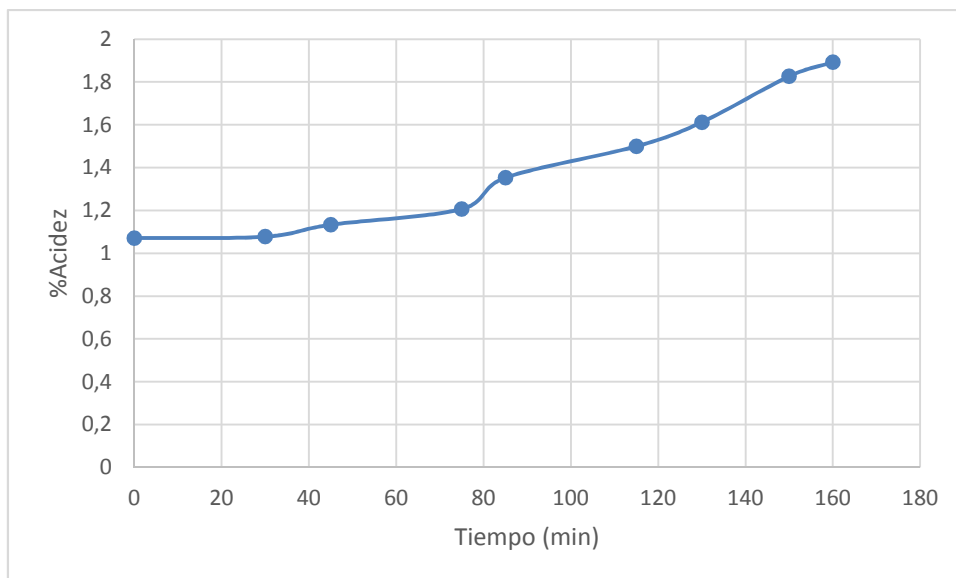
En la tabla III-9 se presenta los datos del tiempo y el % de Acidez obtenidos y en el gráfico 3-4 la curva de variación del % de acidez con respecto al tiempo.

**Tabla III-9**  
**VARIACIÓN DEL % DE ACIDEZ CON RESPECTO AL TIEMPO**

<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Acidez (%)</b>
0	1,07
30	1,08
45	1,13
75	1,21
85	1,35
115	1,50
130	1,61
150	1,83
160	1,89

Fuente: Elaboración propia, 2016

**GRÁFICO 3-4**  
**% Acidez vs Tiempo**



- **Variación de la densidad (gr/ml)**

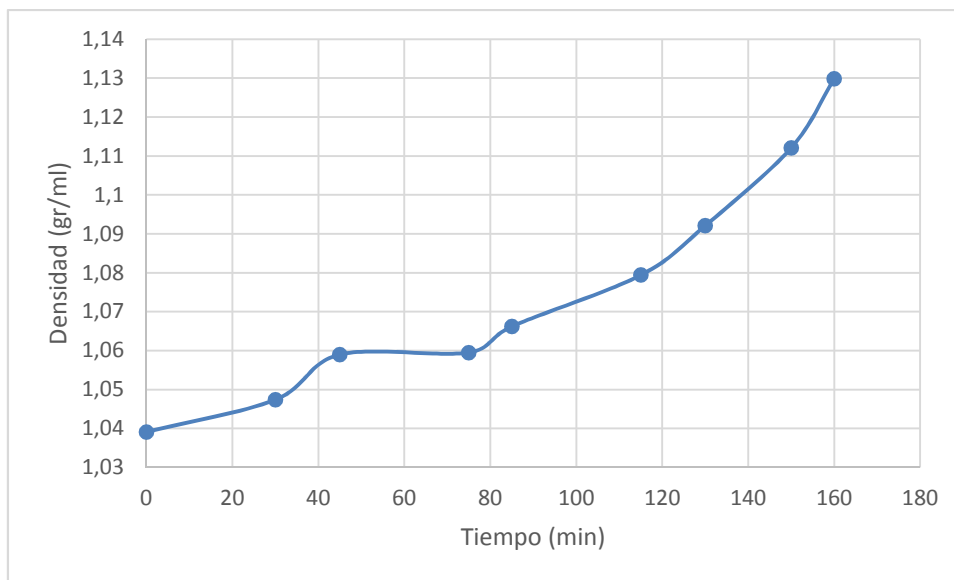
En la tabla III-10 se presenta los datos del tiempo y la densidad obtenidos y en el gráfico 3-5 la curva de variación de la densidad con respecto al tiempo.

**Tabla III-10**  
**VARIACIÓN DE LA DENSIDAD CON RESPECTO AL TIEMPO**

Tiempo (minutos)	Densidad (gr/ml)
0	1,04
30	1,05
45	1,06
75	1,06
85	1,07
115	1,08
130	1,09
150	1,11
160	1,13

Fuente: Elaboración propia, 2016

**GRÁFICO 3-5**  
**Densidad vs Tiempo**



En conclusión, el %SST, % de acidez y la densidad mostraron una tendencia creciente a medida que se realiza la concentración.

El %SST es de mayor importancia ya que indica el desarrollo del proceso de concentración al aumentar los azúcares, satisfaciendo una de las condiciones del proceso ya que se considera el valor final de un zumo concentrado debe ser no menor a dos veces los sólidos solubles (°Brix) de la fruta madura. (Avalo B. y Col., 2009)

La tendencia creciente del % Acidez puede atribuirse al hecho de que tratamientos térmicos prolongados y de temperaturas elevadas en ciertos alimentos como los zumos que contienen hidratos de carbono (azúcares) puede inducirse caramelizaciones y deshidratación de sus hidratos de carbono que afectan el índice de acidez, reflejando un aumento de éste. (Avalo B. y Col., 2009)

El porcentaje de sólidos solubles totales (%SST) que se obtiene con los variables o parámetros óptimos es de 36,60% (°Brix) cumpliendo con la norma CODEX-Alimentario y el Código Alimentario Argentino; asumida por la Norma Boliviana de Calidad de Zumos; los cuales estipulan que el contenido de sólidos solubles (°Brix a

20 °C) en el jugo concentrado será por lo menos, un 50% más que el contenido de sólidos solubles en el jugo natural de la fruta. En el caso del zumo concentrado de mandarina el valor mínimo de concentración es de 13,5%.

### **3.6 RESULTADOS ANALÍTICOS DEL ZUMO CONCENTRADO DE MANDARINA**

#### **3.6.1 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO**

En la tabla III-11 se presenta los análisis fisicoquímicos que se realiza al producto obtenido.

**Tabla III-11**  
**ANÁLISIS FISICOQUÍMICO**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>RESULTADO</b>
Acidez Titulada	%	1,89
Acidez Iónica	pH	4,08
% Sólidos Solubles Totales	°Brix	36,10
Densidad	g/ml	1,13

Fuente: Elaboración propia, 2016

Para la veracidad de los datos obtenidos se realiza un análisis en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), el cual presenta los siguientes resultados en la tabla III-12.

**Tabla III-12**  
**ANÁLISIS FISICOQUÍMICO-CEANID**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>RESULTADO</b>
Acidez Titulada	%	1,87
Acidez Iónica	pH	4,03
Sólidos Solubles (20 °C)	°Brix	36,60
Densidad	g/ml	1,14

Fuente: Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), 2016



### 3.6.2 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

En la tabla III-13 se presenta a detalle los análisis microbiológicos hechos al producto obtenido, los que se realizan en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID).

**Tabla III-13**  
**ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**

PARÁMETRO	TÉCNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO
Aerobios Mesófilos	NB 32003:05	UFC/ml	<10*
Coliformes Totales	NB 32005:02	UFC/ml	<10*
Mohos y Levaduras	NB 32006:03	UFC/ml	$2,0 \times 10^1$
NB: Norma Boliviana      UFC: Unidades formadoras de colonias      (*): No se observa desarrollo de colonias			

Fuente: Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), 2016

Los requisitos microbiológicos según la norma CODEX-Alimentarius y el Código Alimentario Argentino, asumida por la Norma Boliviana de Calidad de Zumos, establecen los siguientes requisitos:

**Tabla III-14**  
**REQUISITOS MICROBIOLÓGICOS PARA ZUMO CONCENTRADOS**

PARÁMETRO	UNIDAD	m	M
Aerobios Mesófilos	UFC (gr o ml)	$5 \times 10^2$	$8 \times 10^2$
Coliformes Totales	UFC (gr o ml)	<10	-
Mohos y Levaduras	UFC (gr o ml)	$1 \times 10^2$	$2 \times 10^2$

Fuente: Codex Alimentarius y Código Alimentario Argentino, 2016

Donde

m = Índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad

M = Índice máximo permisible para identificar nivel aceptable de calidad

Al comparar los resultados con respecto a los requisitos microbiológicos se concluye que los aerobios mesófilos, coliformes totales, mohos y levaduras se encuentran dentro del rango permitido, identificando al producto con nivel aceptable de calidad.

### 3.6.3 ANÁLISIS SENSORIAL

Se elaboran tres ensayos organolépticos para la degustación del producto en cuanto a sabor, color y olor mediante panelistas no entrenados; los resultados se presentan en las tablas III-15, III-16 y III-17.

Donde:

GP: Grupo de panelistas

**Tabla III-15**

**% Aceptación en cuanto Sabor**

<b>Panelistas</b>	<b>% Sabor</b>
<b>GP1</b>	28,13
<b>GP2</b>	29,64
<b>GP3</b>	29,64

Fuente: Elaboración propia, 2016

**Tabla III-16**

**% Aceptación en cuanto al Color**

<b>Panelistas</b>	<b>% Color</b>
<b>GP1</b>	21,67
<b>GP2</b>	21,10
<b>GP3</b>	20,60

Fuente: Elaboración propia, 2016

**Tabla III-17**

**% Aceptación en cuanto al Olor**

<b>Panelistas</b>	<b>% Olor</b>
<b>GP1</b>	21,10
<b>GP2</b>	21,67
<b>GP3</b>	22,23

Fuente: Elaboración propia, 2016

El porcentaje de aceptación por los distintos grupos de panelistas se presenta en la tabla III-18:

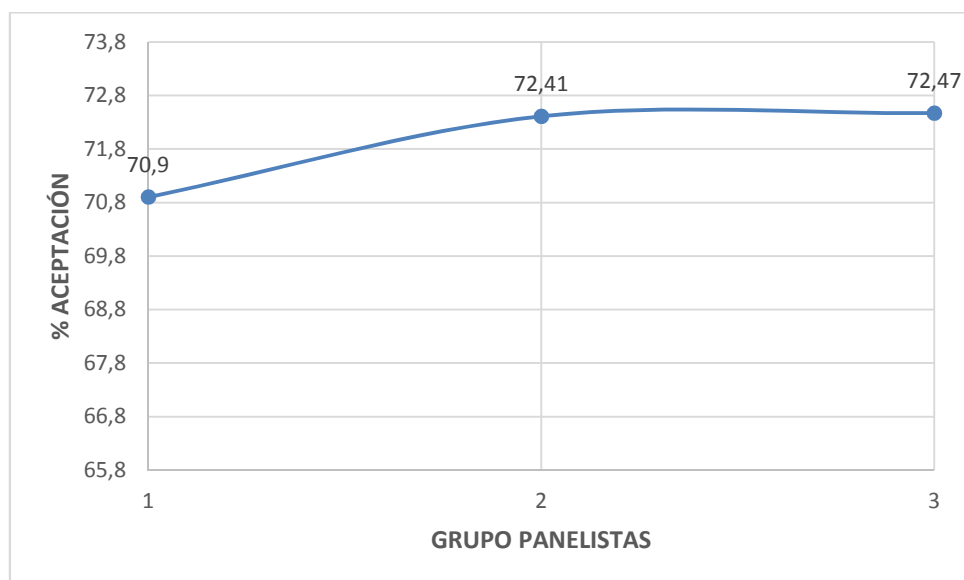
**Tabla III-18**  
**% Aceptación del Producto Obtenido**

<b>Panelistas</b>	<b>Sabor 40%</b>	<b>Color 30%</b>	<b>Aroma 30%</b>	<b>% Total</b>
<b>GP1</b>	28,13	21,67	21,10	70,90
<b>GP2</b>	29,64	21,10	21,67	72,41
<b>GP3</b>	29,64	20,60	22,23	72,47

Fuente: Elaboración propia, 2016

A objeto de tener una mejor apreciación, se elabora el gráfico 3-6, en función de los porcentajes de aceptación obtenidos con respecto a los grupos de panelistas.

**Gráfico 3-6**  
**% DE ACEPTACIÓN DEL PRODUCTO OBTENIDO**



Para la caracterización del zumo concentrado de mandarina se realiza un análisis en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) en cuanto a color, olor y sabor.

En la tabla III-19 se presenta los resultados obtenidos de la caracterización del zumo concentrado de mandarina.

**Tabla III-19**

**CARACTERIZACIÓN DEL ZUMO CONCENTRADO DE MANDARINA**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>TÉCNICA y/o MÉTDO DE ENSAYO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>RESULTADO</b>
Color	SM 2120-C	UCV	Característico
Olor	SM 2150-B		Similar al jugo fresco
Sabor	SM 2160-B		Característico
UCV: Unidad de color verdadero		SM: Standard Methods	

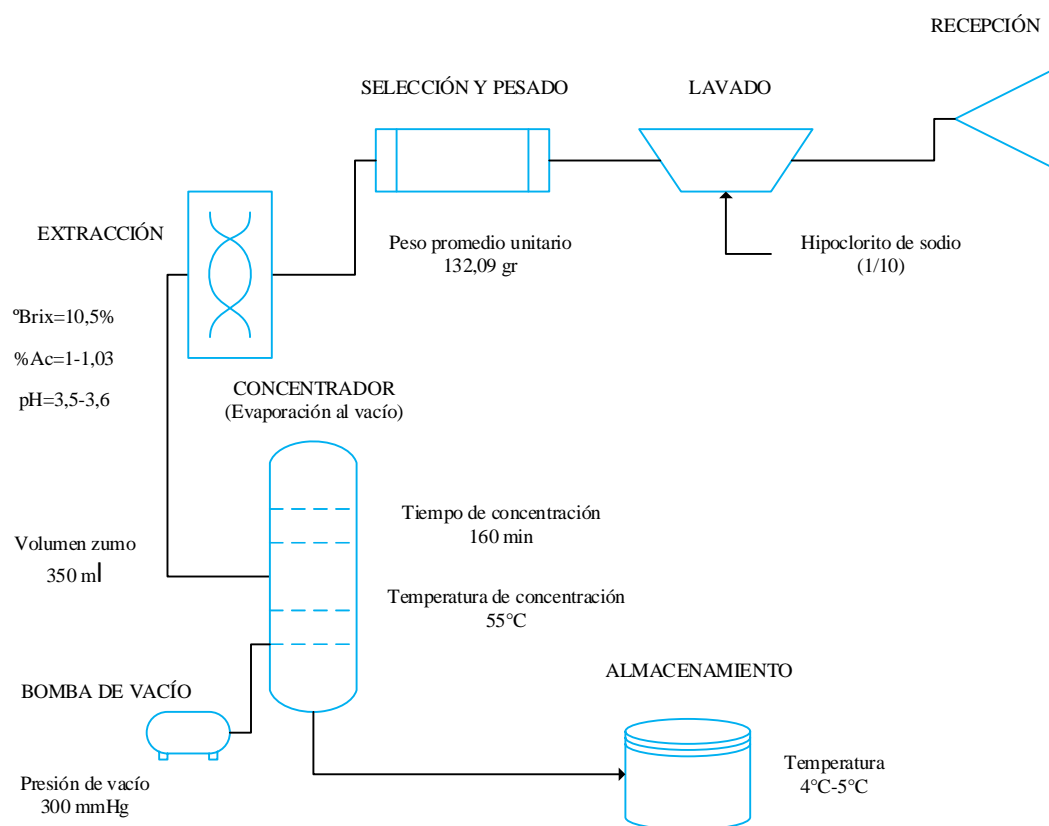
Fuente: Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), 2016

Por tanto, el zumo concentrado de mandarina obtenido cumple con las normas establecidas por el CODEX-Alimentario y el Código Alimentario Argentino, asumida por la Norma Boliviana de Calidad de Zumos, los cuales estipulan que los zumos o jugos concentrados deben presentar el color, aroma y sabor característicos del zumo (jugo) del mismo tipo de fruta de la que proceden.

### 3.7 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO CON LAS VARIABLES DETERMINADAS

En la figura 3-1 se presenta el diagrama de flujo del proceso de investigación con las variables o parámetros determinados para la elaboración de zumo concentrado de mandarina.

**Figura 3-1**  
**DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO CON LAS VARIABLES O PARÁMETROS DETERMINADOS**



Fuente: Elaboración propia, 2016

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 4.1 CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos del presente trabajo de investigación se concluye con lo siguiente:

- En el proceso de investigación se tomó como materia prima la fruta cítrica la mandarina de la variedad Criolla, por contener mayores porcentajes de sólidos solubles, mayor rendimiento en el porcentaje de extracción de jugo y un índice de madurez adecuado para su procesado.
- Durante el proceso la etapa más importante es la concentración, para lo cual se seleccionó el equipo de concentración adecuado, siendo el indicado un evaporador al vacío de efecto simple por conservar las propiedades organolépticas del fruto.
- Las variables tiempo y temperatura en el proceso de investigación influyen en la concentración de los % de sólidos solubles, dado que al aumentar la temperatura disminuye el tiempo de concentración necesitando menos tiempo de concentración para temperaturas elevadas. En cuanto al % de la acidez a mayores temperaturas y tiempo aumenta.
- Las variables óptimas determinadas en el proceso de investigación son: el tiempo de concentración es de 160 minutos, la temperatura de concentración es de 55 °C, la presión de vacío aplicada es de 300 mmHg, ya que con dichas variables se mantienen las características sensoriales del producto obtenido exigidas por las normas de calidad de jugos concentrados.
- Los porcentajes de sólidos solubles totales (°Brix) obtenidos durante el proceso presentan una concentración de 36.60%, y es de gran importancia porque indican el desarrollo del proceso de concentración al aumentar los azúcares, dando cumplimiento a las condiciones del proceso ya que un zumo concentrado es dos veces mayor a los sólidos solubles de la fruta madura.
- Con las variables determinadas en el proceso, la calidad del producto obtenido en cuanto al análisis fisicoquímico, microbiológico y organoléptico se

encuentran dentro de las normas establecidas para zumos o jugos concentrados.

#### **4.2 RECOMENDACIONES**

- Durante el proceso de elaboración de zumo concentrado de mandarina se recomienda un minucioso control de calidad de la fruta a procesar como ser el tamaño, adulteración superficial, defectos de forma y color, los sólidos solubles, acidez y de mayor importancia su estado de madurez.
- En el proceso de elaboración de zumo concentrado de mandarina tomar en cuenta la temperatura y el tiempo de concentración ya que estas variables pueden influir en la calidad del producto obtenido, dado que a mayores temperaturas se puede producir una alteración en el zumo afectando sus propiedades organolépticas y fisicoquímicas.
- Todo el proceso de recepción, selección, lavado, extracción, concentración y almacenamiento se debe realizar en condiciones de inocuidad y sanidad.



## **BIBLIOGRAFÍA**

**Alimentos Argentinos.** “Producción de Jugos Cítricos Concentrados”. Fecha de consulta 03/01/2016, disponible y revisada en: [www.alimentosargentinos.gob.ar](http://www.alimentosargentinos.gob.ar)

**AEMP.** “Autoridad de Fiscalización y Control Social de Empresas”. Fecha de consulta el 16 de octubre 2016, disponible y revisada en: [www.autoridadempresas.gob.bo](http://www.autoridadempresas.gob.bo)

**Amezaga C.A. (2010).** “Planta Procesadora de Jugos Concentrados de Cítricos y Mermeladas en PIL Tarija S.A. Utilizando Tecnología de Filtración por Membranas”. Proyecto de Grado (Lic. en Ing. Química) Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Facultad de Ciencias y Tecnología. Tarija (Bolivia)

**Ashurt P.R.** “Producción y Envasado de Zumos y Bebidas de Frutas sin Gas”. Editorial ACRIBIA S.A. Zaragoza (España) 1999. 2º Edición.

**Avalo B. y Col., 2009.** “Proceso de Concentración del Jugo Natural de Naranja en un Evaporador de Tres Efectos”. Fecha de consulta el 26 de junio de 2016, disponible y revisada en: [www.scielo.org.ve](http://www.scielo.org.ve)

**Brennan J.G., 1998.** “Las operaciones de la Ingeniería de los Alimento-Ciencia y Tecnología de los Alimentos”. Edición ACRIBIA, 1998. 3ª Edición.

**Catarina C.P. y col., (2012).** “Industrialización de Cítricos y Valor Agregado”. Fecha de consulta 22 de marzo de 2016, disponible y revisada en: <http://repository.lasallista.edu.co>

**CODEX.** “Norma general del Codex para Zumos y Néctares de Fruta”. Fecha de consulta 22 el junio de 2016, disponible y revisada en: [www.fao.org/codex/standards/10154/cxs\\_247s.pdf](http://www.fao.org/codex/standards/10154/cxs_247s.pdf)

**Davies F.S.; Albrigo L.G.** “Los Cítricos”. Editorial ACRIBIA S.A. Zaragoza (España) 1999.

**Directo del campo (2015). Concepto, Características y Origen de la Mandarina (2015).** Fecha de consulta 26 de junio 2015, revisada y disponible en: [www.directodelcampo.com/desctags/Manadarina](http://www.directodelcampo.com/desctags/Manadarina)

**Erazo C.M.** “Diagnóstico del Cultivo de Cítricos”. Edición propia, Bermejo Junio 1993

**GEA Filtración.** Filtración por Membranas. Fecha de consulta el 20 de abril 2016, disponible y revisada en: [www.geafiltración.com](http://www.geafiltración.com)

**GEA Niro.** Concentración por Congelación. Fecha de consulta el 24 de abril de 2016, disponible y revisada en: [www.geaniro.com.mx](http://www.geaniro.com.mx)

**Gimferrer M.N., 2012.** “Ciencia y Tecnología de los Alimentos-Seguridad Alimentaria”. Fecha de consulta el 20 de octubre de 2016, disponible y revisada en: [www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnología/2012/03/09/](http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnología/2012/03/09/)

**Gómez D.N. (2008).** “Separación de Aromas en etapas del procesado de Zumos de Frutas y Bebidas”. Tesis de Grado (Doctorado). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Departamento de Ingeniería Química y Química Inorgánica. Fecha de consulta 23/06/2016, disponible y revisada en: [www.tesisenred.net](http://www.tesisenred.net)

**Gómez R. G, (2011).** “El Cultivo de la Mandarina (Citrus Reticulata) en el Municipio Martínez de la Torre Veracruz”. Trabajo de Experiencia Recepcional (Licenciado en Ing. de Agronomía). Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas. Veracruz.

**Infoagro (2012).** “Antecedentes y Distintas Especies de Cítricos”. Fecha de consulta 22 de junio de 2015, disponible y revisada en: [www.infoagro.com/citricos/mandarina.as](http://www.infoagro.com/citricos/mandarina.as)

**Instituto Nacional de Estadísticas (INE).** Producción de la mandarina en Bolivia y en el departamento de Tarija. Dirección-C. Méndez entre Av. Domingo Paz y Bolívar N°0843. Encargada Lic. Viviana Vega Flores, telf. 6644432-6645334.

**INTA.** “Origen, Historia y Distribución de los Cítricos Cultivado”. Fecha de consulta 23 de junio de 2015, disponible y revisada en: <http://inta.gob.ar/documentos/manual-para-productores-de-naranja-y-mandarina-de-la-region-del-rio-uruguay/pdf>.

**Kern D.Q.** “Procesos de transferencia de Calor”. Editorial: McGraw Hill Book Company Inc. Trigésima primera reimpresión, 1999.

**Lemon Concentrate.** “Zummo Concentrado de Mandarina”. Fecha de consulta 22/06/2015, disponible y revisada en: <http://lemonconcentrate.com/es/aceite-esencial-de-mandarina>

**Madrid V. (1986).** “Manual de Industrias Alimentarias”. 3ª Edición. Editorial A.M.V. España.

**Montgomery D.C.** “Diseño y Análisis de Experimentos”. 2ª Edición, editorial Limusa S.A. México 2004.

**Morín C.** “Cultivos de los Cítricos”. 1ª Edición, editorial II CA, Costa Rica 1985.

**Murillo G.O., 2012.** “Ficha Técnica de Industrialización de la Naranja (Citrus sinensis)”. Licenciada en Tecnología de Alimentos. Fecha de consulta el 23 de enero de 2016, disponible y revisada en: [www.cnp.go.cr](http://www.cnp.go.cr)

**Norma Argentina.** “Código Alimentario Argentino”. Fecha de consulta el 30 de julio 2016, disponible y revisada en: [www.santafe.gov.ar](http://www.santafe.gov.ar)

**Ocon y Col.** “Problemas de Ingeniería Química Operaciones Básicas”. Tomo I. 3ª Edición, editorial Aguilar, 1980.

**Ochoa F. y Asociados, S.C.** “Jugos de Frutas y Verduras”. Fecha de consulta 23/06/2016, disponible y revisada en: [www.inaes.gob.mx](http://www.inaes.gob.mx)

**Organización de la Agricultura y Alimentos (FAO).** “Países Productores de la Mandarina”. Fecha de consulta 24/06/2015 disponible y revisada en: [www.fao.org](http://www.fao.org)

**Primo Y.E.** “Química Agrícola III Alimentos”. 1ª Edición, 1982.

**Río C. J.A, (2010).** “Componentes nutricionales de los Cítricos”. Fecha de consulta el 07 de abril de 2016, disponible y revisada en: [www.parquesnaturales.gva.es](http://www.parquesnaturales.gva.es)

**Rueda V. R.I. (2005).** “Diseño de una Planta para la Concentración de Jugos Cítricos y la Obtención de Aceites Esenciales y otros Subproductos”. Tesis de Grado (Licenciado en Ing. Química). Universidad Industrial Santander. Facultad de Ingeniería Físico Químicas. Bucaramanga.

**Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG-2015).** Variedades de Mandarinas producidas en el Departamento de Tarija y Variedad más consumida en la Región. Dirección-Av. El Comercio, zona El Mercado Campesino.

**Vargas F.M., 2002.** “Elaboración de Pulpa Concentrada de Durazno”. Proyecto de Grado (Licenciada en Ing. Química) Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Facultad de ciencias y Tecnología. Tarija (Bolivia)

## **ANEXOS**

## **ANEXO A: TÉCNICA DE ANÁLISIS DE LABORATORIO**

Las pruebas que se realizan para la materia prima y el producto obtenido son las siguientes:

- ✓ Acidez
- ✓ pH
- ✓ Sólidos solubles
- ✓ Densidad

Para realizar estas pruebas se hace necesario tener un laboratorio implementado con los siguientes materiales:

### **Material de Vidrio**

- Bureta de 50 cc
- Un soporte
- Una nuez fijadora al soporte
- Vasos precipitados de 100 y 250 ml
- Probeta de 10 y 100 ml
- Pipeta de 10 cc
- Un matraz aforado de 100 ml

### **Instrumentos**

- Balanza analítica
- PH metro
- Refractómetro

### **Reactivos**

- Alcohol
- Hidróxido de sodio 0.1N
- Fenolftaleína
- Agua destilada

## DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ CÍTRICA

La acidez de una sustancia se determina por métodos volumétricos, es decir, midiendo los volúmenes.

Esta medición se realiza mediante una titulación, la cual implica tres agentes o medios: el titulante, el titulado y el colorante

Cuando un ácido y una base reaccionan, se produce una reacción, reacción que se observa con un colorante (fenolftaleína al 1%), que vira de color a rosa cuando se encuentra presente una reacción ácido-base.

Se emplea la siguiente fórmula:

$$\% A \quad \text{Cíti} = \frac{(A * N * P)}{P} * 100$$

Donde:

A = cc gastados de NaOH N/10

N = Normalidad del álcali = 0.1

Pmeq = Peso mili equivalente del Ácido cítrico = 0.06404

P = Peso de la muestra = Volumen\*D

D = Densidad de la muestra

Para la titulación se toma 10 ml de jugo del cítrico a medir la acidez, se adiciona 30 ml de agua destilada más gotas (3 a 4 gotas) de fenolftaleína y se titula con NaOH (0.1N) hasta virar un color rosado permanente. (*Vidaurre L.C.*)



## Método Titulación



### DETERMINACIÓN DEL pH

El pH es la concentración de iones hidronio  $[H_3O^+]$  presentes en determinada sustancia. La sigla significa potencial de hidrógeno. Este término fue acuñado por el químico danés Sorensen, quién lo definió como el logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones hidrógeno. Esto es:

$$pH = -\log_{10} [H_3O^+]$$

Esta prueba se realiza principalmente en jugos y mermeladas, pero también en encurtidos.

Para determinar el valor del pH, se utiliza el potenciómetro calibrándose antes de cada determinación con las soluciones tampón de pH 4 y 7.

En caso de no contar con un potenciómetro, esta determinación se lo realiza también con un papel indicador.

## PH metro



## DETERMINACIÓN DE LOS GRADOS (°Brix)

Para determinar los grados °Brix de una solución con el refractómetro tipo Abbe o portátil, se mantiene los prismas a una temperatura de 20°C. Luego se abren los prismas y se coloca una gota de solución. Los prismas se cierran, se abre la entrada de luz. En el campo visual se verá una transición de un campo claro a uno oscuro.

El procedimiento es el siguiente:

- Colocar una o dos gotas de muestra sobre el prisma
- Cubrir el prisma con la tapa (cuidadosamente)
- Al cerrar, la muestra debe distribuirse sobre la superficie del prisma
- Orientando el aparato hacia una fuente de luz, mirar a través del campo visual
- En el campo visual, se verá una transición de un campo claro a uno oscuro. Realizar la lectura correspondiente en la escala. El número leído corresponde al porcentaje en sacarosa de la muestra.
- Luego abrir la tapa y limpiar la muestra del prisma con un pedazo de papel o algodón limpio y húmedo.

## Refractómetro Portátil



## DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

Para la determinación de la densidad se hace uso del picnómetro, realizando los siguientes pasos:

- Se pesa el picnómetro vacío ( $M_0$ ) en la balanza analítica
- Luego el picnómetro con agua destilada ( $M_1$ )
- Por último el picnómetro con la muestra ( $M_2$ )
- Registrar los datos y realizare el cálculo

Se emplea la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{M_2 - M_0}{M_1 - M_0}$$

## Picnómetro



## ANEXO B: DETALLE DE LOS EQUIPOS E INSTRUMENTOS

### PH metro-Modelo PHS-3C

Es un medidor de pH decimal del dígito MTC (remuneración de temperatura manual). Puede medir la temperatura del medio que se medirá y exhibir los valores de la temperatura.

#### Descripción del producto

Modelo del producto	PHS-3C	
Gama del pH	pH: 0-14.00	
	Milivoltio: 0-+/- 1999 mV	
Exactitud	pH: 0.01	
	Milivoltio: 0.1%	
Energía de resolución	0.01 pH: 1 mv	
Gama de remuneración de temperatura	0-60 °C (manual)	
Impedancia de la entrada	10-12	
Condición usada	Voltaje de entrada	220 +/- 22V AC/50hz
	Temperatura ambiente	0-40
	Higrometría	No más el que 85%



## REFRACTÓMETRO-Modelo RHBO-90

Utilizado para medir elevadas cantidades de azúcar en alimentos, en jugos, concentrados de frutas y mermeladas.

### Descripción del producto

Rango de trabajo	0-90 °Brix
Resolución °Brix	2%
Compensación de temperatura	10-40 °C
Tamaño	20.6 cm×3.2 cm
Peso	0.77 kg



## **BOMBA DE VACÍO-Modelo ROCKER 400 OIL**

Útil para aplicaciones de filtración en pruebas microbiológicas, muestreo de aire, pruebas de sólidos suspendidos y filtración al vacío.

### **Descripción del producto**

Modelo	Rocker 400
Potencia máxima	100 W
Corriente máxima	1.0 A
Vacío máximo	670 mmHg
Máxima velocidad de flujo	37 l/min
Nivel de ruido	50 dB
Caballos de fuerza	1/6 HP
Peso neto	5.2 kg
Rosca de conexión	8 mm
Voltaje/Frecuencia	110V/60Hz



## ROTAEVAPORADOR-Modelo IKA RV 10 BS-1

El aparato es adecuado para la destilación rápida y cuidadosa de líquidos, para la evaporación de soluciones y suspensiones, la cristalización, la síntesis o la limpieza de productos químicos puros, el secado de polvos y granulados y el reciclado de disolventes.

### Datos técnicos del producto

Intervalo de tensión de servicio	100-230 + 10% V
Tensión nominal	100-230 V
Velocidad	20-280 rpm
Temporizador	1-199 minutos
Superficie de refrigeración	1200 cm <sup>2</sup>
Temperatura ambiente permisible	5-40 °C
Humedad permisible	80%
Peso (sin equipo de vidrio y baño calefactor)	16.8 kg



## ANEXO C: IMÁGENES DEL PROCESO DE CONCENTRACIÓN

**Figura 1**  
**LAVADO**



**Figura 2**  
**SELECCIÓN Y PESADO**





**Figura 3**  
**EXTRACCIÓN**



**Figura 4**  
**CONCENTRACIÓN**



**Figura 5**  
**PRODUCTO OBTENIDO**



## ANEXO D: ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial es la disciplina científica usada para medir, analizar e interpretar las reacciones humanas, a las características de los alimentos y materiales, así como la manera en que éstas son percibidas por los sentidos de la vista, olfato y tacto.

### ANÁLISIS SENSORIAL DEL PRODUCTO

Para realizar el ensayo organoléptico del producto obtenido se hará el uso de la Escala Hedónica, que se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1**  
**ESCALA HEDÓNICA**

N°	EVALUACIÓN SENSORIAL
9	Gusta muchísimo
8	Gusta mucho
7	Gusta moderadamente
6	Gusta ligeramente
5	Ni gusta, ni disgusta
4	Desagrada moderadamente
3	Desagrada ligeramente
2	Desagrada mucho
1	Desagrada muchísimo

Fuente: Experimento evaluación sensorial de la calidad de los alimentos

La distribución porcentual de los parámetros de la evaluación sensorial se presenta a continuación:

- Sabor 40%
- Color 30%
- Olor 30%

Para determinar el porcentaje de aceptación, para cada una de las variables, se aplica la siguiente ecuación:

$$\% A \text{ ión} = \frac{V.P.d \text{ c}_i \text{ v} * \% A \text{ a c}_i \text{ p á m}}{V \text{ Máxi d l E.H.}}$$

V.P. = Valor promedio

E.H. = Escala hedónica

Para el ensayo organoléptico del producto se realiza tres muestreos de sabor, olor y color, mediante panelistas no entrenados (Grupo de 6 miembros).

### **Ensayo organoléptico del sabor**

En la tabla 1 se presenta el análisis sensorial al producto obtenido en cuanto a sabor.

G.P. = Grupo de panelistas

**Tabla 1**  
**Ensayo organoléptico Sabor**

<b>GP1</b>	<b>P. Obtenido</b>	<b>GP2</b>	<b>P. Obtenido</b>	<b>GP3</b>	<b>P. Obtenido</b>
<b>1</b>	7	<b>1</b>	6	<b>1</b>	7
<b>2</b>	5	<b>2</b>	7	<b>2</b>	5
<b>3</b>	6	<b>3</b>	7	<b>3</b>	7
<b>4</b>	7	<b>4</b>	6	<b>4</b>	8
<b>5</b>	7	<b>5</b>	8	<b>5</b>	6
<b>6</b>	6	<b>6</b>	6	<b>6</b>	7
<b>Suma total</b>	38	<b>Suma total</b>	40	<b>Suma total</b>	40
<b>Promedio</b>	6.33	<b>Promedio</b>	6.67	<b>Promedio</b>	6.67

El porcentaje de aceptación (%) en cuanto a sabor se presenta en la tabla 2.

**Tabla 2**  
**% de Aceptación en cuanto Sabor**

<b>Panelistas</b>	<b>% Sabor</b>
<b>GP1</b>	28.13
<b>GP2</b>	29.64
<b>GP3</b>	29.64

### Ensayo organoléptico del color

En la tabla 3 se presenta el análisis sensorial del producto obtenido en cuanto al color.

**Tabla 3**  
**Ensayo organoléptico Color**

<b>GP1</b>	<b>P. Obtenido</b>	<b>GP2</b>	<b>P. Obtenido</b>	<b>GP3</b>	<b>P. Obtenido</b>
<b>1</b>	7	<b>1</b>	7	<b>1</b>	5
<b>2</b>	6	<b>2</b>	6	<b>2</b>	7
<b>3</b>	5	<b>3</b>	6	<b>3</b>	6
<b>4</b>	6	<b>4</b>	5	<b>4</b>	7
<b>5</b>	8	<b>5</b>	8	<b>5</b>	6
<b>6</b>	7	<b>6</b>	6	<b>6</b>	6
<b>Suma total</b>	39	<b>Suma total</b>	38	<b>Suma total</b>	37
<b>Promedio</b>	6.50	<b>Promedio</b>	6.33	<b>Promedio</b>	6.18

El porcentaje de aceptación (%) en cuanto al color del producto obtenido se presenta en la tabla 4.

**Tabla 4**  
**% Aceptación en cuanto al Color**

<b>Panelistas</b>	<b>% Color</b>
<b>GP1</b>	21.67
<b>GP2</b>	21.10
<b>GP3</b>	20.60

### Ensayo organoléptico del olor

En la tabla 5 se presenta el análisis sensorial del producto obtenido en cuanto al olor o aroma.

**Tabla 5**  
**Ensayo organoléptico del Olor**

<b>GP1</b>	<b>P. Obtenido</b>	<b>GP2</b>	<b>P. Obtenido</b>	<b>GP3</b>	<b>P. Obtenido</b>
<b>1</b>	6	<b>1</b>	7	<b>1</b>	6
<b>2</b>	5	<b>2</b>	5	<b>2</b>	7
<b>3</b>	7	<b>3</b>	7	<b>3</b>	6
<b>4</b>	7	<b>4</b>	8	<b>4</b>	8
<b>5</b>	6	<b>5</b>	6	<b>5</b>	6
<b>6</b>	7	<b>6</b>	6	<b>6</b>	7
<b>Suma total</b>	38	<b>Suma total</b>	39	<b>Suma total</b>	40
<b>Promedio</b>	6.33	<b>Promedio</b>	6.50	<b>Promedio</b>	6.67

El porcentaje de aceptación (%) en cuanto al aroma del producto obtenido se presenta en la tabla 6.

**Tabla 6**  
**% Aceptación en cuanto al Olor**

<b>Panelistas</b>	<b>% Aroma</b>
<b>GP1</b>	21.10
<b>GP2</b>	21.67
<b>GP3</b>	22.23

El porcentaje de aceptación por los distintos grupos de panelistas es el siguiente:

**Tabla 6**  
**% Aceptación del Producto Obtenido**

<b>Panelistas</b>	<b>Sabor 40%</b>	<b>Color 30%</b>	<b>Aroma 30%</b>	<b>% Total</b>
<b>GP1</b>	28.13	21.67	21.10	70.90
<b>GP2</b>	29.64	21.10	21.67	72.41
<b>GP3</b>	29.64	20.60	22.23	72.47

# ANEXO E: PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AGUA

Libro consultado Smith Van Ness, 4º Ed

**Tabla E.1: Vapor saturado, unidades SI**

$V = \text{VOLUMEN ESPECÍFICO } \text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$   
 $U = \text{ENERGÍA INTERNA ESPECÍFICA } \text{kJ kg}^{-1}$   
 $H = \text{ENTALPÍA ESPECÍFICA } \text{kJ kg}^{-1}$   
 $S = \text{ENTROPIA ESPECÍFICA } \text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$

$t$ °C	$T$ K	$P$ kPa	VOLUMEN ESPECÍFICO $V$		ENERGÍA INTERNA $U$			ENTALPÍA $H$			ENTROPIA $S$			
			liq. sat.	evap.	liq. sat.	evap.	vap. sat.	liq. sat.	evap.	vap. sat.	liq. sat.	evap.	vap. sat.	
0				207500	207500	-0.04	2375.7	2375.6	-0.04	2501.7	2501.6	0.0000	9.1578	9.1578
0.01	273.16	0.611	1.000	202500	202500	0.00	2375.9	2375.6	0.00	2501.6	2501.6	0.0000	9.1575	9.1575
1	274.15	0.657	1.000	192600	192600	4.17	2372.7	2370.9	4.17	2495.2	2503.4	0.0153	9.1158	9.1311
2	275.15	0.705	1.000	179900	179900	8.39	2369.9	2370.3	8.39	2496.8	2505.2	0.0306	9.0741	9.1047
3	276.15	0.757	1.000	166200	166200	12.60	2367.1	2370.7	12.60	2494.5	2507.1	0.0459	9.0326	9.0765
4	277.15	0.813	1.000	151300	151300	16.90	2364.3	2371.1	16.80	2492.1	2508.9	0.0611	8.9915	9.0526
6	278.15	0.872	1.000	147200	147200	21.01	2361.4	2362.4	21.01	2489.7	2510.7	0.0762	8.9507	9.0299
8	279.15	0.935	1.000	137600	137600	25.21	2358.6	2363.6	25.21	2487.4	2512.6	0.0913	8.9102	9.0014
7	280.15	1.001	1.000	129100	129100	29.41	2355.8	2368.2	29.41	2485.0	2514.4	0.1063	8.8699	8.9762
8	281.15	1.072	1.000	120600	120600	33.60	2353.0	2366.6	33.60	2482.6	2516.2	0.1213	8.8300	8.9513
9	282.15	1.147	1.000	113400	113400	37.60	2350.1	2367.0	37.60	2480.3	2516.1	0.1362	8.7903	8.9265
10	283.15	1.227	1.000	106400	106400	41.99	2347.3	2369.3	41.99	2477.9	2519.9	0.1510	8.7510	8.9020
11	284.15	1.312	1.000	99510	99510	46.18	2344.5	2390.7	46.19	2475.5	2521.7	0.1658	8.7119	8.8778
12	285.15	1.401	1.000	93630	93630	50.36	2341.7	2362.1	50.38	2473.2	2523.6	0.1805	8.6731	8.8536
13	286.15	1.497	1.001	88160	88160	54.55	2338.9	2363.4	54.57	2470.8	2525.4	0.1952	8.6345	8.8297
14	287.15	1.597	1.001	83000	83000	58.75	2336.1	2394.8	58.75	2468.5	2527.2	0.2098	8.5963	8.8060
15	288.15	1.704	1.001	77960	77960	62.94	2333.2	2396.2	62.94	2466.1	2529.1	0.2243	8.5582	8.7826
16	289.15	1.817	1.001	73080	73080	67.12	2330.4	2397.6	67.13	2463.8	2530.9	0.2388	8.5206	8.7593
17	290.15	1.936	1.001	68390	68390	71.31	2327.6	2398.9	71.31	2461.4	2532.7	0.2533	8.4830	8.7363
18	291.15	2.062	1.001	63900	63900	75.49	2324.8	2400.3	75.50	2459.0	2534.5	0.2677	8.4458	8.7135
19	292.15	2.196	1.002	59540	59540	79.68	2322.0	2401.7	79.68	2456.7	2536.4	0.2820	8.4088	8.6906
20	293.15	2.337	1.002	55400	55400	83.69	2319.2	2403.0	83.69	2454.3	2538.2	0.2963	8.3721	8.6684
21	294.15	2.485	1.002	51490	51490	87.64	2316.4	2404.4	87.64	2452.0	2540.0	0.3105	8.3350	8.6462
22	295.15	2.642	1.002	47800	47800	91.22	2313.6	2405.8	91.23	2449.6	2541.8	0.3247	8.2984	8.6241
23	296.15	2.806	1.002	44320	44320	94.40	2310.7	2407.1	94.41	2447.2	2543.6	0.3389	8.2634	8.6023
24	297.15	2.982	1.003	41040	41040	97.6	2307.9	2408.5	97.6	2444.9	2545.5	0.3530	8.2277	8.5806
25	298.15	3.166	1.003	37960	37960	100.8	2305.1	2409.9	100.8	2442.5	2547.3	0.3670	8.1922	8.5592
26	299.15	3.360	1.003	35080	35080	103.9	2302.3	2411.2	103.9	2440.2	2549.1	0.3810	8.1563	8.5379
27	300.15	3.564	1.003	32380	32380	107.1	2299.5	2412.6	107.1	2437.6	2550.9	0.3949	8.1216	8.5166
28	301.15	3.776	1.004	29860	29860	110.3	2296.7	2414.0	110.3	2435.4	2552.7	0.4088	8.0870	8.4950
29	302.15	4.004	1.004	27500	27500	113.5	2293.8	2415.3	113.5	2433.1	2554.5	0.4227	8.0524	8.4731

30	303.15	4.241	1.004	32930	32930.	125.7	2231.0	2416.7	125.7	2430.7	2558.4	0.4365	8.0180	8.4546
31	304.15	4.491	1.005	31200	31200.	129.8	2238.2	2418.0	129.8	2428.3	2558.2	0.4503	7.9639	8.4342
32	305.15	4.753	1.005	29570	29570.	134.0	2235.4	2419.4	134.0	2425.9	2560.0	0.4640	7.9000	8.4140
33	306.15	5.029	1.005	28040	28040.	138.2	2232.6	2420.8	138.2	2423.6	2561.8	<b>0.4777</b>	7.8163	8.3939
34	307.15	5.318	1.008	26500	26500.	142.4	2229.7	2422.1	142.4	2421.2	2563.6	0.4913	7.8628	8.3740
35	308.15	5.622	1.006	25240	25240.	146.6	2226.9	2423.5	146.8	2418.8	2565.4	0.5049	7.8495	8.3643
36	309.15	5.940	1.006	23970	23970.	150.7	2224.1	2424.8	150.7	2416.4	2567.2	0.5194	7.8164	8.3349
37	310.15	6.274	1.007	22730	22730.	154.9	2221.3	2426.2	154.9	2414.1	2569.0	0.5319	7.7835	8.3154
38	311.15	6.624	1.007	21630	21630.	159.1	2218.4	2427.5	159.1	2411.7	2570.8	0.5453	7.7509	8.2962
39	312.15	6.991	1.007	20650	20650.	163.3	2215.6	2428.9	163.3	2409.3	2572.6	0.5588	7.7184	8.2772
40	313.15	7.375	1.008	19650	19650.	167.4	2212.8	2430.2	167.5	2406.9	2574.4	0.5721	7.6861	8.2583
41	314.15	7.777	1.008	18690	18690.	<b>171.6</b>	2210.0	2431.8	171.8	2404.5	2576.2	0.5854	7.6641	8.2395
42	315.15	8.198	1.009	17890	17890.	175.8	2207.1	2432.9	175.8	2402.1	2577.9	0.5987	<b>7.6222</b>	8.2209
43	316.15	8.539	1.009	16840	16840.	180.0	2204.3	2434.2	180.0	2399.7	2579.7	0.6120	7.5905	8.2025
44	317.15	8.900	1.009	15940	15940.	184.2	2201.4	2435.6	184.2	2397.3	2581.5	0.6252	7.5590	8.1842
45	318.15	9.282	1.010	15290	15290.	188.3	2198.6	2436.9	188.4	2394.9	2583.3	0.6383	7.5277	8.1661
46	319.15	9.687	1.010	14590	14590.	192.5	2195.7	2438.3	192.5	2392.5	2585.1	0.6514	7.4968	8.1481
47	320.15	10.11	1.011	13880	13880.	196.7	2192.9	2439.8	196.7	2390.1	2586.9	0.6645	7.4657	8.1302
48	321.15	10.55	1.011	13230	13230.	200.9	2190.0	2440.9	200.9	2387.7	2588.8	0.6778	7.4350	8.1125
49	322.15	11.01	1.012	12820	12820.	205.1	2187.2	2442.3	205.1	2385.3	2590.4	0.6906	7.4044	8.0950
50	323.15	11.49	1.012	12040	12040.	209.2	2184.3	2443.6	209.3	2382.9	2592.2	0.7035	7.3741	8.0776
51	324.15	12.00	1.013	<b>11500.</b>	11500.	213.4	2181.5	2444.9	213.4	2380.5	2593.9	0.7164	7.3439	8.0603
52	325.15	12.53	1.013	10990	10990.	217.6	2178.6	<b>2446.2</b>	217.6	2378.1	2595.7	0.7293	7.3138	8.0432
53	326.15	13.09	1.014	10490	10490.	221.8	2175.8	<b>2447.6</b>	221.8	2375.7	2597.5	0.7422	7.2840	8.0262
54	327.15	13.67	1.014	10000	10000.	226.0	2172.9	2448.9	226.0	2373.2	2599.2	0.7550	7.2543	8.0093
55	328.15	14.27	1.015	9577.9	9578.9	230.2	2170.0	2450.2	230.2	2370.8	2601.0	0.7677	<b>7.2248</b>	7.9925
56	329.15	14.89	1.015	9157.7	9158.7	234.3	2167.2	2451.5	234.4	2368.4	2602.7	0.7804	7.1955	7.9759
57	330.15	15.53	1.016	8759.7	8759.8	238.5	2164.3	2452.8	238.5	2365.9	2604.5	0.7931	7.1683	7.9595
58	331.15	16.19	1.018	8379.8	8380.8	242.7	2161.4	2454.1	242.7	2363.5	2606.2	0.8058	7.1373	7.9431
59	332.15	16.87	1.017	8019.7	8020.8	246.9	2158.6	<b>2455.4</b>	246.9	2361.1	2608.0	0.8184	7.1085	7.9269
60	333.15	17.57	1.017	7677.5	7678.5	251.1	2155.7	2456.8	251.1	2358.6	2609.7	0.8310	7.0798	7.9108
61	334.15	18.29	1.018	7352.1	7353.2	255.3	2152.8	2458.1	255.3	2356.2	2611.4	0.8436	7.0513	7.8948
62	335.15	19.03	1.018	7042.7	7043.7	259.4	2149.9	2459.4	259.5	2353.7	2613.2	0.8560	7.0230	7.8790
63	336.15	19.80	1.019	6748.2	6749.3	263.6	2147.0	2460.7	263.6	2351.3	2614.9	0.8685	6.9948	7.8633
64	337.15	20.59	1.019	6468.0	6469.0	267.8	2144.1	2462.0	267.8	2348.8	2616.6	0.8806	6.9667	7.8477
65	338.15	21.41	1.020	6201.3	6202.3	272.0	2141.2	2463.2	272.0	2346.3	2618.4	0.8933	6.9388	7.8322
66	339.15	22.26	1.020	5947.2	5948.2	276.2	2138.3	2464.5	276.2	2343.9	2620.1	0.9057	6.9111	7.8168
67	340.15	23.13	1.021	5705.2	5706.2	280.4	2135.4	2465.8	280.4	2341.4	2621.8	0.9180	6.8835	7.8015
68	341.15	24.03	1.022	5474.6	5475.6	284.6	2132.5	2467.1	284.6	2338.9	2623.5	0.9303	6.8558	7.7864
69	342.15	24.96	1.022	5254.8	5255.8	288.8	2129.6	2468.4	288.8	2336.4	2625.2	0.9428	6.8288	7.7714
70	343.15	25.93	1.023	5045.2	5046.3	292.9	2126.7	2469.7	293.0	2334.0	2626.9	0.9548	6.8017	7.7566
71	344.15	26.94	1.023	4845.4	4846.4	297.1	2123.8	2470.9	297.2	2331.5	2628.6	0.9670	6.7747	7.7417
72	345.15	28.00	1.024	4654.7	4655.7	301.3	2120.9	2472.2	301.4	2329.0	2630.3	0.9792	6.7478	7.7270
73	346.15	29.11	1.025	4472.7	4473.7	305.5	2118.0	2473.5	305.5	2326.5	2632.0	0.9913	6.7211	7.7124
74	347.15	30.28	1.025	4299.0	4300.0	309.7	2115.1	2474.8	309.7	2324.0	2633.7	1.0034	6.6945	7.6979



75	348.15	38.55	1.028	4133.1	4134.1	313.9	2182.1	2478.0	313.9	2321.5	2835.4	1.0154	8.8881	7.8835
76	349.15	40.19	1.027	3874.6	3875.7	318.1	2159.2	2477.3	318.1	2318.9	2837.1	1.0275	8.8418	7.8863
77	350.15	41.89	1.027	3823.3	3824.3	322.3	2158.3	2476.5	322.3	2318.4	2838.7	1.0386	8.8158	7.8551
78	351.15	43.45	1.028	3879.8	<b>3879.8</b>	328.5	2153.3	2479.0	328.5	2313.9	2840.4	1.0514	8.5888	7.8410
79	352.15	45.47	1.029	3540.3	3541.3	330.7	2150.4	2481.1	330.7	2311.4	2842.1	1.0834	8.5837	7.8271
80	353.15	47.38	1.029	3408.1	3409.1	334.9	2147.4	2482.3	<b>334.9</b>	2308.8	2843.8	1.0753	8.5380	7.8132
81	354.15	49.31	1.030	3281.8	3282.8	339.1	2144.5	2483.5	339.1	2308.3	2845.4	1.0871	8.5123	7.5965
82	355.15	51.33	1.031	3180.8	3181.8	343.3	2141.5	<b>2484.8</b>	343.3	2303.8	2847.1	1.0990	8.4888	7.5858
83	358.15	53.42	1.031	<b>3044.8</b>	3045.8	347.5	2138.8	2488.0	347.5	2301.2	2848.7	1.1108	8.4615	7.5722
84	357.15	55.57	1.032	<b>2933.9</b>	2935.0	351.7	2135.8	2487.3	351.7	2298.8	2850.4	1.1225	8.4382	7.5587
85	358.15	57.80	1.033	2827.0	2828.8	355.9	2132.8	2488.5	355.9	2298.1	2852.0	1.1343	8.4111	7.5454
86	359.15	60.11	1.033	2728.1	2727.2	360.1	2129.7	2489.7	360.1	2293.5	2853.8	1.1480	8.3981	7.5321
87	360.15	62.49	1.034	2628.8	2629.8	364.3	2128.7	2490.9	364.3	2290.9	2855.3	1.1577	8.3912	7.5189
88	361.15	64.95	1.035	2535.4	2538.5	<b>368.5</b>	2123.7	2492.2	368.5	2288.4	2858.9	1.1803	8.3385	7.5058
89	362.15	67.49	1.035	2448.0	2447.0	<b>372.7</b>	2120.7	2493.4	372.7	2285.8	2858.5	1.1809	8.3119	7.4928
90	363.15	70.11	1.038	2380.3	2381.3	378.9	2117.7	<b>2494.6</b>	378.9	2283.2	2860.1	1.1925	8.2873	<b>7.4799</b>
91	364.15	72.81	1.037	2278.0	2279.1	381.1	2114.7	2495.8	381.1	2280.8	2861.7	1.2041	8.2829	7.4670
92	365.15	75.81	1.038	2199.2	2200.2	385.3	2111.7	2497.0	385.4	2278.0	2863.4	1.2158	8.2387	7.4543
93	368.15	78.49	1.038	2123.5	2124.5	389.5	2108.7	2498.2	389.8	2275.4	2865.0	1.2271	8.2145	7.4418
94	367.15	81.48	1.039	2050.9	2051.9	393.7	2105.7	2499.4	393.8	2272.8	2868.8	1.2388	8.1905	7.4291
95	368.15	84.53	1.040	1981.2	<b>1982.2</b>	<b>397.9</b>	2102.7	2500.8	398.0	2270.2	2868.1	1.2504	8.1885	7.4188
96	369.15	87.89	1.041	1914.3	1915.3	402.1	2099.7	2501.8	402.2	2267.5	2869.7	1.2815	8.1427	7.4042
97	370.15	<b>90.94</b>	1.041	1850.0	1851.0	408.3	2098.8	2503.0	408.4	2264.9	2871.3	1.2728	8.1190	<b>7.3919</b>
98	371.15	<b>94.30</b>	1.042	1788.3	1789.3	410.5	2093.8	2504.1	410.8	2262.2	2872.9	1.2842	8.0954	7.3798
99	372.15	97.78	1.043	1729.0	1730.0	414.7	2090.8	2505.3	414.8	2259.8	2874.4	1.2958	8.0719	7.3875
100	373.15	101.33	1.044	1872.0	1873.0	419.0	2087.5	2508.5	419.1	2258.9	2878.0	1.3089	8.0485	7.3554
102	375.15	108.78	1.045	<b>1564.5</b>	1585.5	427.4	2081.4	2508.8	427.5	2251.8	2879.1	1.3294	8.0021	7.3315
104	377.15	118.88	1.047	1485.1	1488.2	435.8	2075.3	2511.1	435.9	2248.3	2882.2	1.3518	5.9580	7.3078
106	379.15	125.04	1.049	1373.1	1374.2	444.3	2069.2	2513.4	<b>444.4</b>	2240.9	2885.3	1.3742	5.9104	7.2845
108	381.15	133.90	1.050	1287.9	1289.9	452.7	2063.0	2515.7	<b>452.9</b>	2235.4	2888.3	1.3884	5.8851	7.2815
110	383.15	143.27	1.052	1208.9	1209.9	461.2	2058.8	2518.0	461.3	2230.0	2891.3	1.4185	5.8203	7.2388
112	385.15	153.18	1.054	1135.8	1138.8	469.8	2050.8	2520.2	469.8	2224.5	2894.3	1.4405	5.7758	7.2184
114	387.15	183.82	1.055	1087.5	1088.5	470.1	2044.3	2522.4	470.3	2219.0	2897.2	1.4824	5.7310	7.1942
118	389.15	174.85	1.057	1004.2	1005.2	<b>486.6</b>	2038.1	2524.6	488.7	2213.4	2700.2	1.4842	5.8881	7.1723
118	391.15	188.28	1.059	<b>945.3</b>	<b>946.3</b>	<b>495.0</b>	2031.8	2528.8	495.2	2207.9	2703.1	1.5080	5.8447	7.1507
120	393.15	198.54	1.061	860.5	861.5	503.5	2025.4	<b>2529.0</b>	503.7	2202.2	2708.0	1.5278	5.8017	7.1283
122	395.15	211.45	1.062	839.4	840.5	512.0	2019.1	2531.1	512.2	2198.8	2708.8	1.5494	5.5590	7.1082
124	397.15	225.04	<b>1.064</b>	791.0	792.8	520.5	2012.7	<b>2533.2</b>	520.7	2190.9	2711.8	1.5708	5.5187	7.0873
128	399.15	239.33	<b>1.066</b>	747.3	748.4	529.0	2008.3	2535.3	529.2	2185.2	2714.4	1.5919	5.4747	7.0688
128	401.15	254.35	<b>1.068</b>	705.8	708.9	537.5	1999.9	2537.4	537.8	2179.4	2717.2	1.6132	5.4330	7.0482

130	403.15	270.13	1.070	667.1	668.1	<b>546.0</b>	1993.4	2539.4	546.3	2173.6	2719.9	1.6344	5.3917	7.0281
132	405.15	286.70	1.072	630.8	631.9	<b>554.5</b>	1986.9	2541.4	564.8	2167.8	2722.8	1.6555	5.3507	7.0061
454	407.15	304.09	1.074	597.41	598.0	563.1	1980.4	2543.4	574.4	2161.8	2725.9	1.6762	5.3099	6.9844

Tabla F2: Vapor sobrecalentado, unidades SI

TEMPERATURA:  $t^{\circ}\text{C}$   
(TEMPERATURA:  $T$  kelvins)

P(kPa (t <sub>sat</sub> /°C))	liq. sat.	vap. sat.	75								
			(343.15)	100 (373.15)	125 (398.15)	150 (423.15)	175 (448.15)	200 (473.15)	225 (498.15)	250 (523.15)	
1 (6.58)	V	1.000	12200	11040	17210	15370	10270	26810	21830	22300	24120
	U	21.334	236.2	2483.6	2536.4	2562.3	2586.5	2624.9	2661.7	2698.8	2736.3
	H	21.335	2514.4	2541.5	2586.6	2636.0	2706.7	2801.7	2880.1	2928.7	2977.7
	S	0.1060	6.9767	9.3626	9.5136	9.6365	9.7327	9.8029	9.8579	10.0021	10.1648
10 (45.83)	V	1.010	14670	16030	17130	18350	19510	20600	21620	22580	24130
	U	191.822	2438.0	2473.7	2515.0	2561.6	2608.0	2654.5	2691.4	2728.6	2766.1
	H	191.832	2524.6	2543.0	2567.5	2597.2	2706.1	2801.2	2876.6	2928.4	2977.4
	S	0.3693	6.1511	6.3166	6.4486	6.5722	6.6888	6.7984	6.9045	7.0080	7.1000
20 (60.09)	V	1.017	7680	6003.0	6384.7	6767.1	7146.0	7520	7890	8260	8630
	U	251.432	2458.0	2475.4	2514.6	2560.9	2607.4	2654.1	2691.0	2728.3	2766.0
	H	251.453	2630.0	2638.4	2666.3	2704.2	2762.3	2830.6	2876.2	2923.0	2971.1
	S	0.5321	7.9094	7.9303	8.1234	8.2504	8.3675	8.4755	8.5781	8.6844	8.7805
30 (68.12)	V	1.022	5220	5220	5714.4	6104.6	6490.2	6880.8	7265.5	7653.8	8035.7
	U	289.271	2468.0	2477.1	2515.6	2560.2	2606.8	2653.6	2691.7	2728.0	2763.6
	H	289.302	2625.4	2626.6	2665.1	2723.3	2781.6	2830.0	2876.7	2922.6	2967.6
	S	0.9441	7.7696	7.6324	7.5393	7.4644	7.4091	7.3623	7.3240	7.2927	7.2633
40 (75.89)	V	1.027	3803.4	.....	4279.2	4573.3	4866.8	5157.2	5447.8	5738.0	6027.7
	U	317.629	2477.1	.....	2512.6	2569.6	2626.2	2682.2	2737.3	2791.7	2845.4
	H	317.660	2636.0	.....	2663.6	2732.3	2780.9	2829.5	2878.2	2927.2	2976.5
	S	1.0261	7.6706	.....	7.6209	7.6236	7.6450	7.6766	7.7124	7.7523	7.7958
50 (81.35)	V	1.030	3240.2	.....	3416.1	3654.5	3886.3	4121.0	4356.0	4588.5	4820.5
	U	340.513	2486.0	.....	2511.7	2598.6	2686.6	2774.7	2862.9	2951.4	3039.1
	H	340.564	2645.0	.....	2662.6	2731.4	2780.1	2828.9	2877.7	2926.6	2975.1
	S	1.0312	7.5847	.....	7.6353	7.6219	7.6006	7.5826	7.5687	7.5588	7.5514
75 (91.75)	V	1.037	2213.9	.....	2260.6	2426.4	2587.3	2744.2	2898.2	3050.3	3201.9
	U	374.374	2493.7	.....	2500.2	2596.7	2684.2	2762.6	2839.0	2914.7	2989.5
	H	374.451	2653.0	.....	2679.4	2726.9	2778.2	2827.4	2876.6	2925.3	2973.3
	S	1.2131	7.4670	.....	7.5314	7.6300	7.7500	7.8629	7.9697	8.0712	8.1681
100 (99.63)	V	1.043	1603.7	.....	1695.5	1816.7	1936.3	2054.7	2172.3	2289.4	2405.1
	U	417.408	2505.1	.....	2506.6	2594.6	2682.7	2769.4	2854.1	2936.9	3018.9
	H	417.511	2673.4	.....	2676.2	2726.5	2776.3	2825.9	2875.4	2924.9	2974.5
	S	1.3027	7.3386	.....	7.5316	7.6823	7.8127	7.9275	8.0309	8.1260	8.2142

275 (100.60)	V	1.071	637.04	.....	.....	.....	691.00	736.21	782.55	829.21	869.61
	U	548.564	2640.0	.....	.....	.....	2571.9	2612.1	2651.8	2690.7	2728.6
	H	548.656	2730.7	.....	.....	.....	2762.5	2815.1	2866.8	2917.9	2968.7
300 (133.54)	S	1.6407	7.0201	.....	.....	.....	7.1211	7.2419	7.3541	7.4594	7.5590
	V	1.073	625.56	.....	.....	.....	631.74	671.43	710.35	750.61	796.44
	U	561.107	2543.0	.....	.....	.....	2570.3	2610.8	2650.6	2689.9	2728.0
300 (133.54)	H	561.429	2724.7	.....	.....	.....	2760.4	2813.5	2866.5	2916.9	2967.9
	S	1.5216	6.9009	.....	.....	.....	7.0771	7.1990	7.3119	7.4177	7.5176