

**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 Álvarez Gozávez

DECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

\_\_\_\_\_  
Msc. Ing. Silvana Paz Ramírez

VICEDECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

**APROBADO 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
ΔT	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