

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

Tipos de Cítricos	Especie a las que pertenecen
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*)

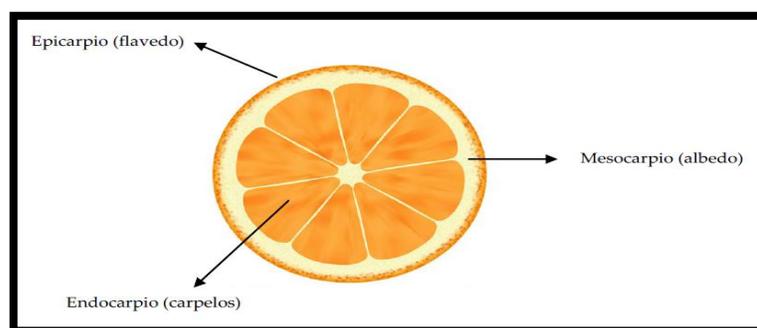
Pomelo (*Citrus paradisi*): Sobresale por ser el cítrico de mayor tamaño de color amarillo verdoso, cáscara muy delgada, jugo abundante y sabor agridulce. (*Infoagro, 2012*)

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 agridulce; 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

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Sapindales
Familia	Rutaceae
Subfamilia	Citroideae
Tribu	Citreae
Género	Citrus
Especies	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

Porte	Menor que el naranjo y algo más redondeado
Raíz	Sólida, blanca y bajo condiciones de cultivo, posee gran cantidad de pelos radiculares
Hojas	Unifoliadas y de nerviación reticulada, con alas rudimentarias pequeñas
Flores	Solitarias o en grupos de 3 o 4
Fruto	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

Valor Nutricional por cada 100 gr	
Energía 53 kcal-220 kJ	
Carbohidratos-13.34 gr	
Azúcares	10.58 gr
Fibra Alimentaria	1.18 gr
Grasas-0.31 gr	
Saturadas	0.039 gr
Trans	0.000 gr
Mono insaturados	0.060 gr
Poliinsaturados	0.065 gr
Proteínas-0.81 gr	
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
Agua-85.17 gr	

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
Mandarina	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 FÍSICO-QUÍMICA DEL ZUMO DE MANDARINA

°Brix	8-13	%
pH	3.2-3.6	--
Acidez	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

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

Azúcares Totales	8.31 g/100 ml
Azúcares no reductores	5.81 g/100 ml
Azúcares reductores	2.50 g/100 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*)

$$\text{Índice de Maduración (IM)} = \frac{^{\circ}\text{Brix}}{\text{Acidez}} \quad (1.1)$$

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:

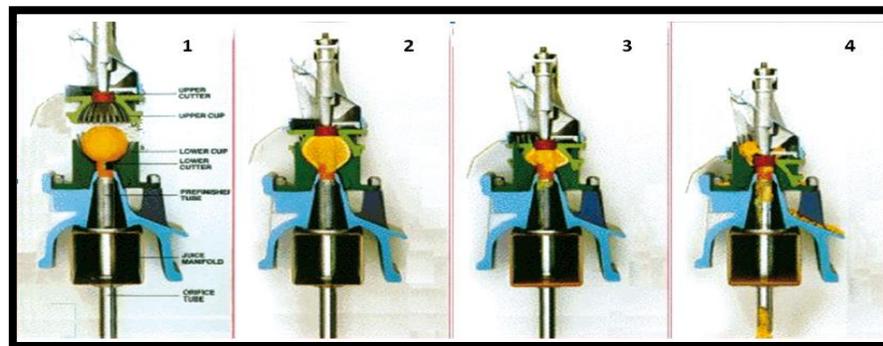
- **Primera fase de extracción.** En esta primera fase del ciclo de extracción, la copa superior se desplaza hacia abajo provocando una presión en el cítrico de forma que las cuchillas superior e inferior comienzan a cortar los extremos superior e inferior del fruto. El diseño de las copas permite que 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 causticas, 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

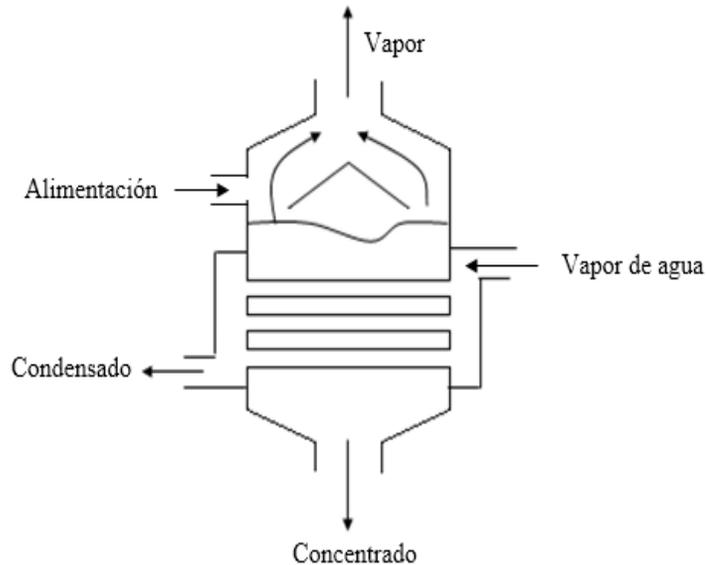
A continuación se presentan los equipos más utilizados en la industria de procesos de concentración.

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

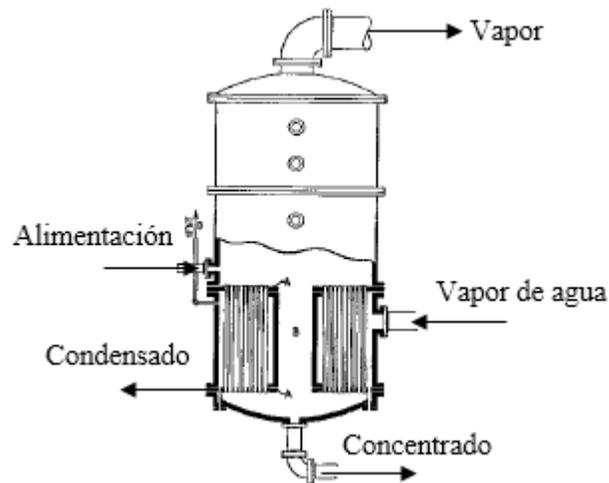


Evaporador vertical con circulación natural

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



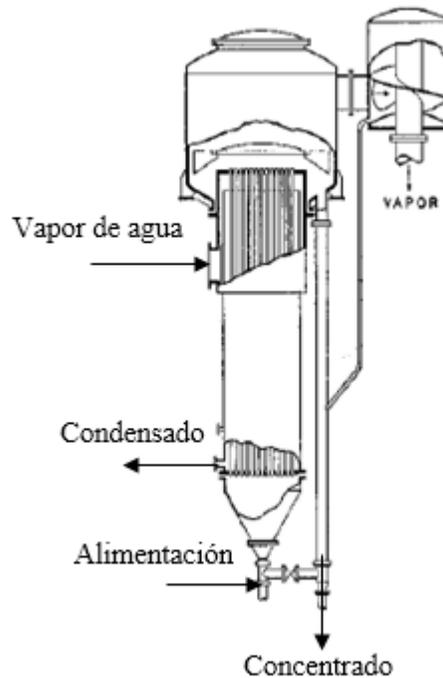
Evaporador vertical de tubos largos

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

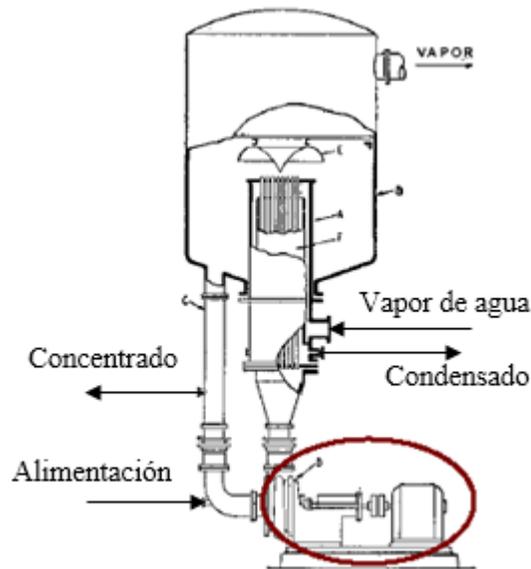


Evaporador de circulación forzada

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*)

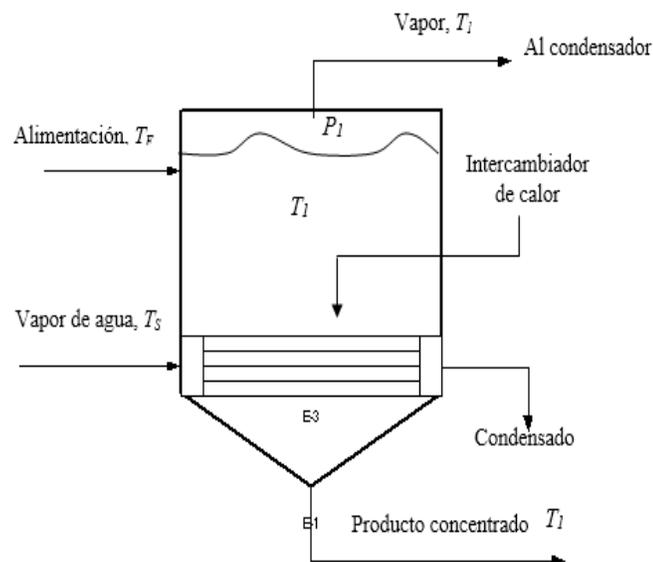
1.5.3.1.3.1 EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO

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

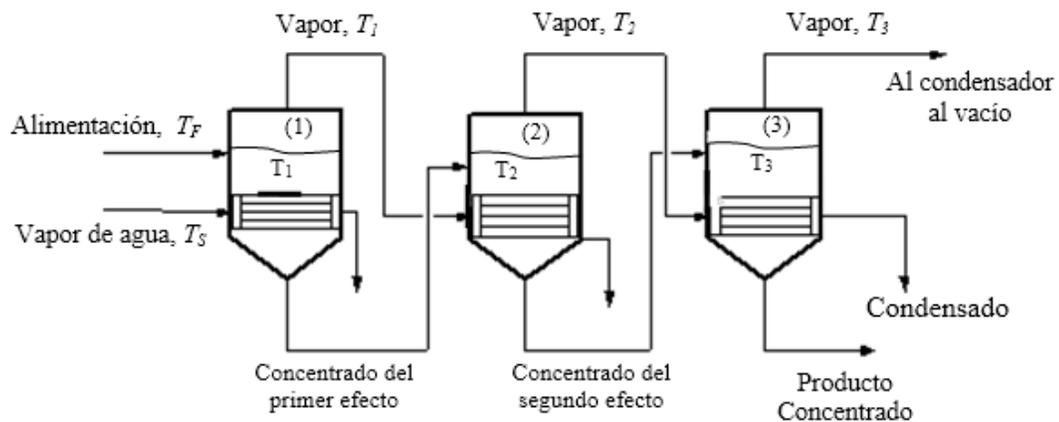
Consiste en el aprovechamiento del vapor que sale de un evaporador en la calandria de un evaporador posterior, el sistema se puede repetir en el caso de que haya varias calandrias en serie.

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*).

Figura 1-9
EVAPORADOR DE EFECTO MÚLTIPLE



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

Sistema	Diámetro poro	Presión	Permeado
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

Tecnologías aplicadas para la Concentración	Ventajas	Desventajas
Evaporación al Vacío (simple efecto y de efecto múltiple)	<ul style="list-style-type: none"> - Grados de concentración elevados (°Brix) - Menores costos de inversión - Presión de operación <1atm - Calidad uniforme del producto - Menor tiempo de residencia - Evita la destrucción de proteínas, vitaminas y sustancias aromáticas - Evita la oxidación del producto 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayores temperaturas de operación - Consumo energético considerable
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 cm³, 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.

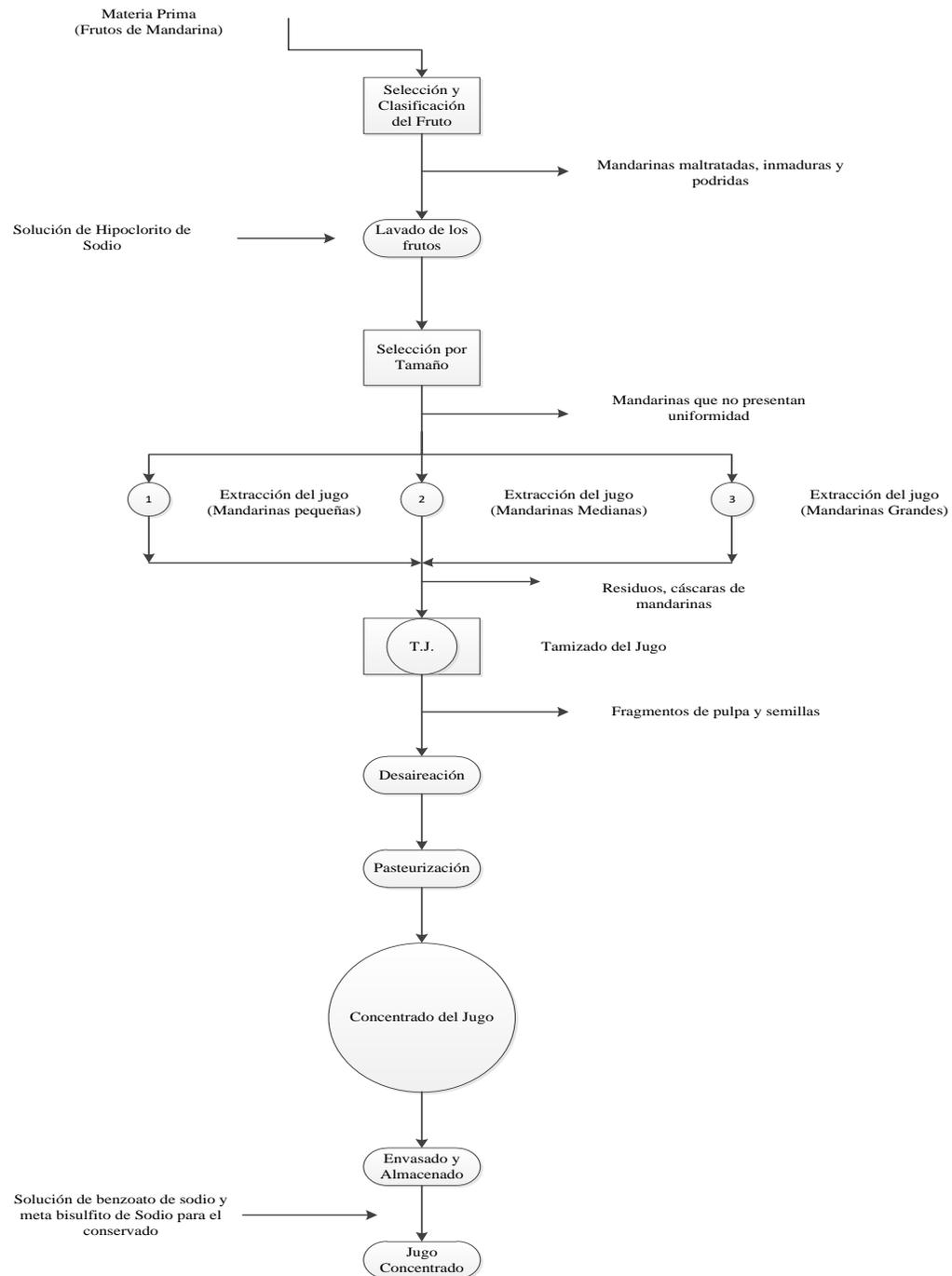
k) Envasado y almacenado del producto

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°C). Después de esta etapa el producto es almacenado en cámaras frigoríficas a -23°C. En almacenamientos prolongados la temperatura no debe superar los 4°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

VARIEDAD	COSECHA	ÉPOCA
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

PARÁMETROS	MANDARINA VAR. CRIOLLA	DATOS BIBLIOGRÁFICOS
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

PARÁMETROS	MANDARINA VAR. SATSUMA	DATOS BIBLIOGRÁFICOS
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

PARÁMETROS	MANDARINA VAR. PONKAN	DATOS BIBLIOGRÁFICOS
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

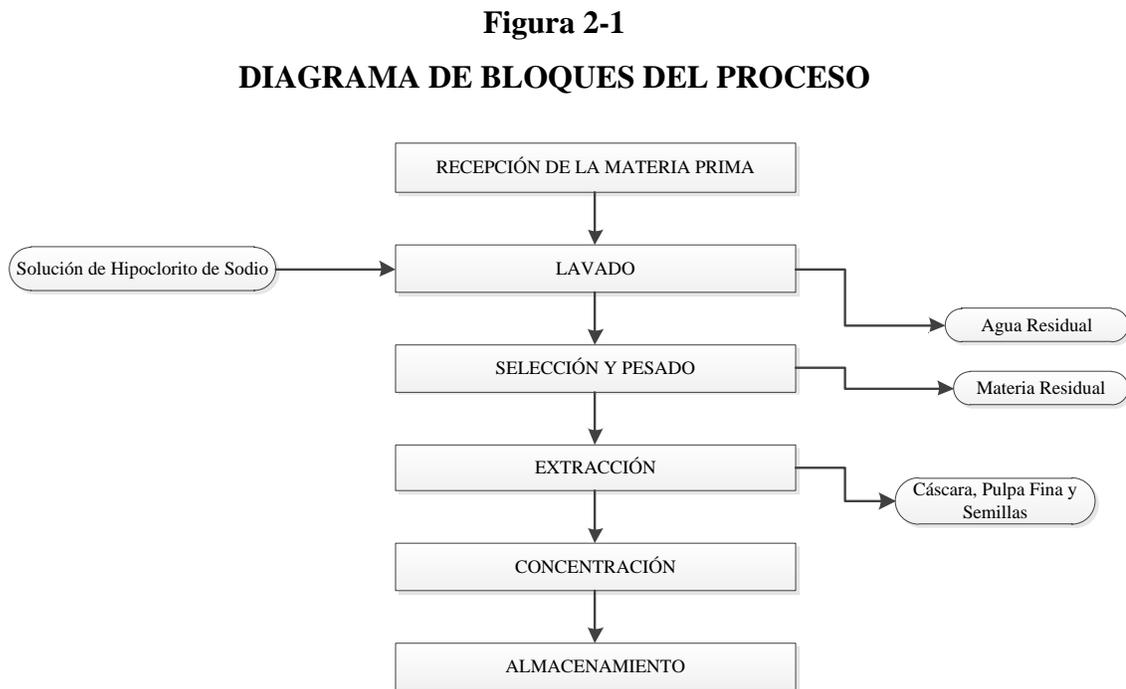
2.2 SELECCIÓN DE LA VARIEDAD DE LA MATERIA PRIMA

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°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_p: No hay diferencia entre los factores

H_a: Al menos una variable es diferente de las demás

Construcción de la matriz de diseño

La matriz de diseño para $2^4 = 16$ corrida 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 _i)
		A	B	C	D	
1	1	-	-	-	-	Y ₁₁₁₁
2	A	+	-	-	-	Y ₂₁₁₁
3	B	-	+	-	-	Y ₁₂₁₁
4	AB	+	+	-	-	Y ₂₂₁₁
5	C	-	-	+	-	Y ₁₁₂₁
6	AC	+	-	+	-	Y ₂₁₂₁
7	BC	-	+	+	-	Y ₁₂₂₁
8	ABC	+	+	+	-	Y ₂₂₂₁
9	D	-	-	-	+	Y ₁₁₁₂
10	AD	+	-	-	+	Y ₂₁₁₂
11	BD	-	+	-	+	Y ₁₂₁₂
12	ABD	+	+	-	+	Y ₂₂₁₂
13	CD	-	-	+	+	Y ₁₁₂₂
14	ACD	+	-	+	+	Y ₂₁₂₂
15	BCD	-	+	+	+	Y ₁₂₂₂
16	ABCD	+	+	+	+	Y ₂₂₂₂

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 _i)		C1		C2		C3		C4
1	$\sum Y_1$	Y_1+Y_2	I_1	I_1+I_2	II_1	II_1+II_2	III_1	III_1+III_2	IV_1
A	$\sum Y_2$	Y_3+Y_4	I_2	I_3+I_4	II_2	II_1+II_2	III_2	III_3+III_4	IV_2
B	$\sum Y_3$	Y_5+Y_6	I_3	I_5+I_6	II_3	II_1+II_2	III_3	III_5+III_6	IV_3
AB	$\sum Y_4$	Y_7+Y_8	I_4	I_7+I_8	II_4	II_1+II_2	III_4	III_7+III_8	IV_4
C	$\sum Y_5$	Y_9+Y_{10}	I_5	I_9+I_{10}	II_5	II_1+II_2	III_5	III_9+III_{10}	IV_5
AC	$\sum Y_6$	$Y_{11}+Y_{12}$	I_6	$I_{11}+I_{12}$	II_6	II_1+II_2	III_6	$III_{11}+III_{12}$	IV_6
BC	$\sum Y_7$	$Y_{13}+Y_{14}$	I_7	$I_{13}+I_{14}$	II_7	II_1+II_2	III_7	$III_{13}+III_{14}$	IV_7
ABC	$\sum Y_8$	$Y_{15}+Y_{16}$	I_8	$I_{15}+I_{16}$	II_8	II_1+II_2	III_8	$III_{15}+III_{16}$	IV_8
D	$\sum Y_9$	Y_2-Y_1	I_9	I_2-I_1	II_9	II_2-II_1	III_9	III_2-III_1	IV_9
AD	$\sum Y_{10}$	Y_4-Y_3	I_{10}	I_4-I_3	II_{10}	II_4-II_3	III_{10}	III_4-III_3	IV_{10}
BD	$\sum Y_{11}$	Y_6-Y_5	I_{11}	I_6-I_5	II_{11}	II_6-II_5	III_{11}	III_6-III_5	IV_{11}
ABD	$\sum Y_{12}$	Y_8-Y_7	I_{12}	I_8-I_7	II_{12}	II_8-II_7	III_{12}	III_8-III_7	IV_{12}
CD	$\sum Y_{13}$	$Y_{10}-Y_9$	I_{13}	$I_{10}-I_9$	II_{13}	$II_{10}-II_9$	III_{13}	$III_{10}-III_9$	IV_{13}
ACD	$\sum Y_{14}$	$Y_{12}-Y_{11}$	I_{14}	$I_{12}-I_{11}$	II_{14}	$II_{12}-II_{11}$	III_{14}	$III_{12}-III_{11}$	IV_{14}
BCD	$\sum Y_{15}$	$Y_{14}-Y_{13}$	I_{15}	$I_{14}-I_{13}$	II_{15}	$II_{14}-II_{13}$	III_{15}	$III_{14}-III_{13}$	IV_{15}
ABCD	$\sum Y_{16}$	$Y_{16}-Y_{15}$	I_{16}	$I_{16}-I_{15}$	II_{16}	$II_{16}-II_{15}$	III_{16}	$III_{16}-III_{15}$	IV_{16}
	$\sum Y_{ij}$								

Fuente: Diseño y Análisis de Experimentos, 2002

La suma de la columna respuesta (R) $\sum Y_{ij}$ 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^k se calcula a base de las siguientes fórmulas:

$n = N^\circ$ de réplicas

Suma total de cuadrados:

$$SCT = \sum_{i=1} Y_{ij}^2 - \frac{(\sum Y_{ij})^2}{2^k * n} \quad (1)$$

Suma de los tratamientos o efectos

$$SS = \frac{(efecto)^2}{2^k * n} \quad (2)$$

Suma total del error

$$\begin{aligned} SSE = SCT - SS(a) - SS(b) - SS(ab) - SS(c) - SS(ac) - SS(bc) - SS(abc) \\ - SS(d) - SS(ad) - SS(bd) - SS(abd) - SS(cd) - SS(acd) \\ - SS(bcd) - SS(abcd) \end{aligned} \quad (3)$$

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 _{cal}
1	SC(T)	2 ^k 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 ^{k-1} 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).

$$N^{\circ} \text{ Variables} = 4$$

$$\text{Niveles} = 2$$

$$N^{\circ} \text{ de Experimentos} = 2^4 = 16$$

$$N^{\circ} \text{ de Experimentos} = 16$$

Como se realizarán 2 repeticiones entonces:

$$N^{\circ} \text{ de Experimentos} = 16 * 2 = 32$$

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

PRUEBA	V_z (ml)	P_{vacío} (mmHg)	t (min.)	T (°C)	VR (%SST)	VR (% Ac.)
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

PRUEBA	V_z (ml)	P_{vacío} (mmHg)	t (min.)	T (°C)	VR (%SST)	VR (% Ac.)
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

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

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

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).

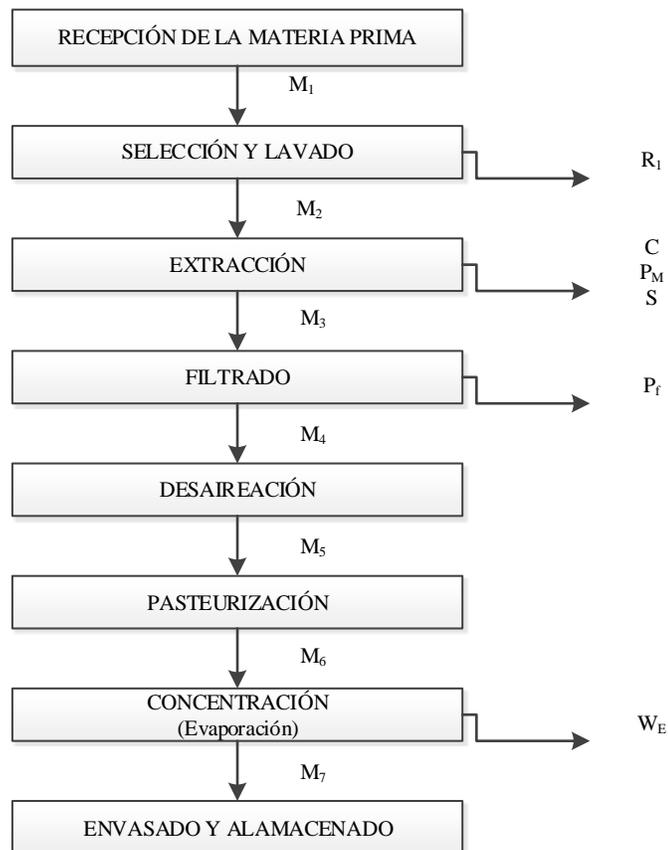
Se realizaron tres ensayos organolépticos para la degustación del producto en cuanto sabor, color y olor mediante panelistas no entrenados, los cuales se presenta en el capítulo IV (Análisis de Resultados).

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



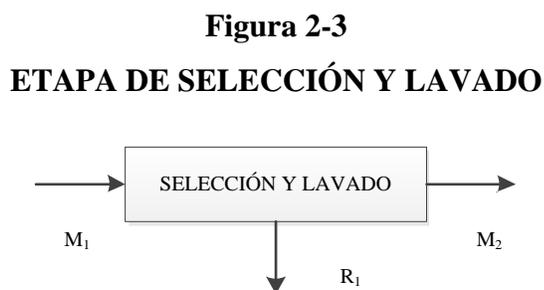
Fuente: Elaboración propia, 2016

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

Materia Prima	
Cantidad a Procesar	1000 kg
% de Pérdidas estimadas	2.5%

Balance Global:

$$M_1 = M_2 + R_1 \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Pérdidas por desecho:

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

De la ecuación 2.1 se calcula M_2 :

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

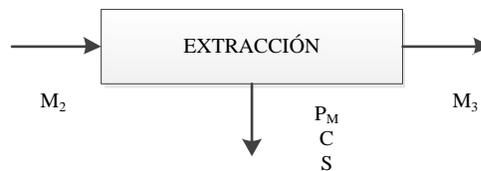
Masa de la materia prima después de la selección y lavado:

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

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:

$$M_2 = M_3 + P_M + C + S \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Cálculo de la masa de P_M , C y S:

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

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

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

De la ecuación 2.2 se calcula M_3 :

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

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

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

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

Por tanto se tiene:

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

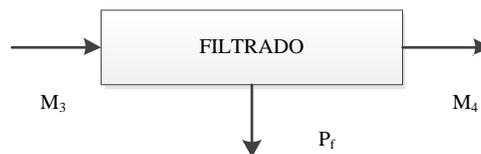
Masa de jugo obtenido después de la extracción:

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

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:

$$M_3 = M_4 + P_f \quad \text{Ec. (2.3)}$$

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

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

De la ecuación 2.3 se calcula M_4 :

$$M_4 = M_3 - P_f$$

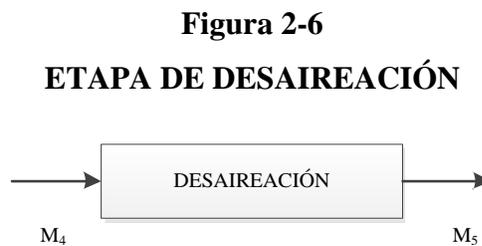
$$M_4 = 539.76 \text{ kg} - 5.40 \text{ kg} = 534.36 \text{ kg}$$

Masa de jugo obtenido después del filtrado:

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

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.



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:

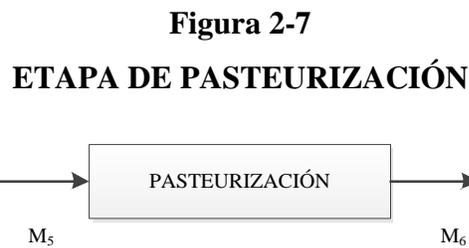
$$M_4 = M_5$$

Masa de jugo obtenido después de la des-aireación:

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

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:

$$M_5 = M_6$$

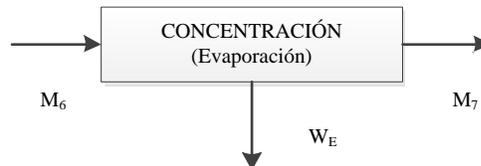
Masa de jugo obtenido después de la pasteurización:

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

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:

$$M_6 = M_7 + W_E \quad \text{Ec. (2.4)}$$

Balance parcial por componentes:

$$X_6 * M_6 = X_7 * M_7 + X_E * W_E \quad \text{Ec. (2.5)}$$

De la ecuación 2.5 se calcula M_7 :

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

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

Masa de jugo obtenido después de la concentración:

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

De la ecuación 2.4 se calcula W_E :

$$W_E = M_6 - M_7$$

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

Masa de agua evaporada en la concentración:

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

2.8 BALANCE DE ENERGÍA

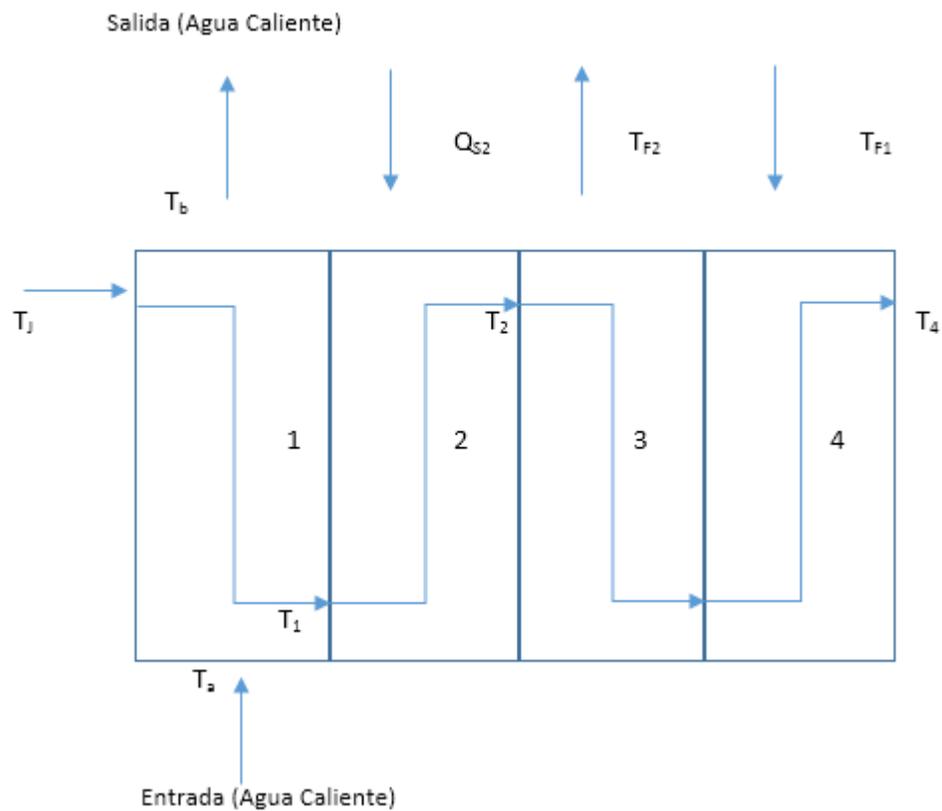
Es de gran importancia realizar un balance de energía en el proceso, para cuantificar la energía consumida del equipo involucrado en dicho proceso a escala industrial.

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.

Figura 2-9
ESQUEMA DEL PASTEURIZADOR



Fuente: Elaboración propia, 2016

Datos

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

Cálculo del calor del jugo:

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

$$Q = m * C_p * \Delta T \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Masa de jugo a la entrada del pasteurizador:

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

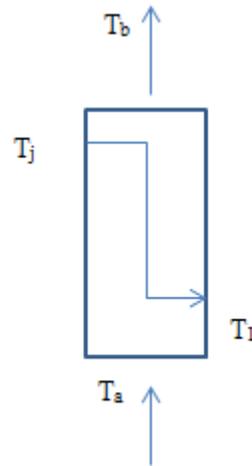
De la ecuación 2.6 se calcula Q:

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

Calor del jugo en la etapa 1 y 2:

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

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%:

$$Q = 35011.27 \text{ kcal} * 0.3 = 10503.38 \text{ kcal}$$

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

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:

$$Q_j = Q_A$$

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

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

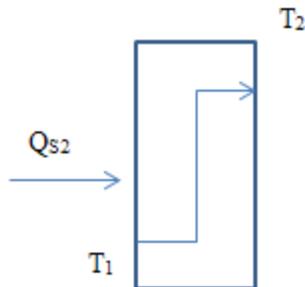
$$534.3 \text{ kg} * 0.91 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} * (39.6 - 18)^\circ\text{C} = m_A * 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} * (100 - 78.4)^\circ\text{C}$$

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

Masa agua requerida:

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

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%:

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

Calor suministrado en la etapa 2:

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

La temperatura en la etapa 2 es:

$$T_2 = 90^\circ C$$

Consumo de vapor en la etapa 2:

El calentamiento se efectúa mediante vapor de un caldero a 2.829 kg/cm² de presión y a una temperatura de 132°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:

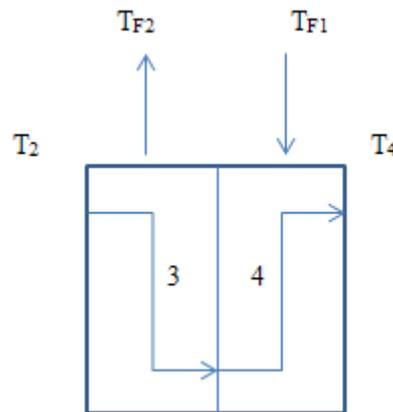
$$Q = m_v * (H_V - H_L) \quad \text{Ec. (2.7)}$$

$$24507.89 \text{ kcal} = m_v * (650.2732 - 132.4539) \text{ kcal/kg}$$

Masa de vapor consumido:

$$m_v = 47.33 \text{ kg}$$

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:

$$-Q_j = Q_F \quad \text{Ec. (2.8)}$$

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

$$-534.36 \text{ kg} * 0.91 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} * (T_4 - T_2) = m_F * 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} * (T_{F2} - T_{F1})$$

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

Masa de agua fría requerida:

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

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 kg/cm^2 de presión y una temperatura de 132°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:

$$Q = m * \Delta H \quad \text{Ec. (2.9)}$$

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

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

Calor requerido en el evaporador:

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

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

$$t = \frac{Q}{U * A * MLDT} \quad \text{Ec. (2.10)}$$

Donde

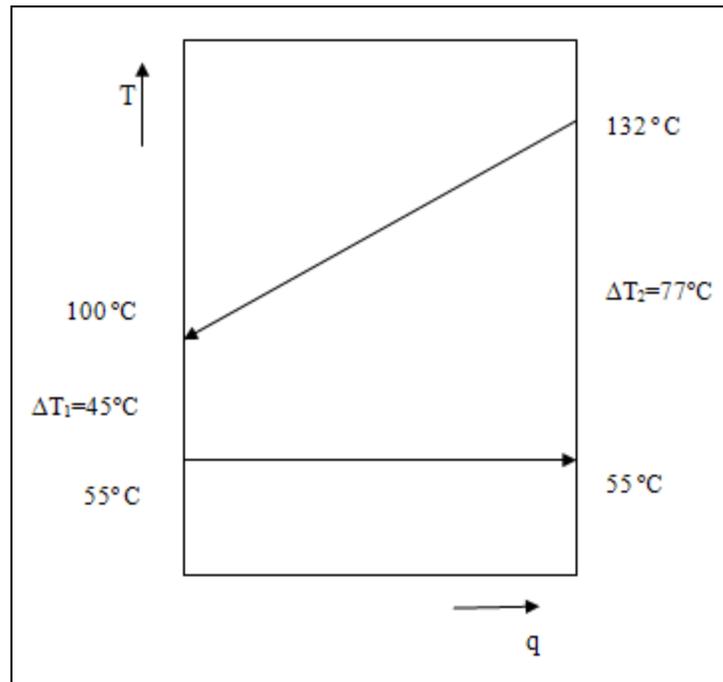
A = área de transferencia de calor = 3.644 m^2

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:

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

$$MLDT = 59.57^\circ C$$

De la ecuación 2.10 se calcula el tiempo requerido:

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

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

Cálculo del consumo horario de energía del evaporador:

$$Q_h = \frac{Q}{t} \quad \text{Ec. (2.11)}$$

$$Q_h = \frac{215777.51 \text{ kcal}}{1.62 \text{ h}} = 133195.99 \text{ kcal/h}$$

$$Q_h = 133195.99 \text{ kcal/h}$$

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

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

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

Masa de vapor requerida en el proceso:

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

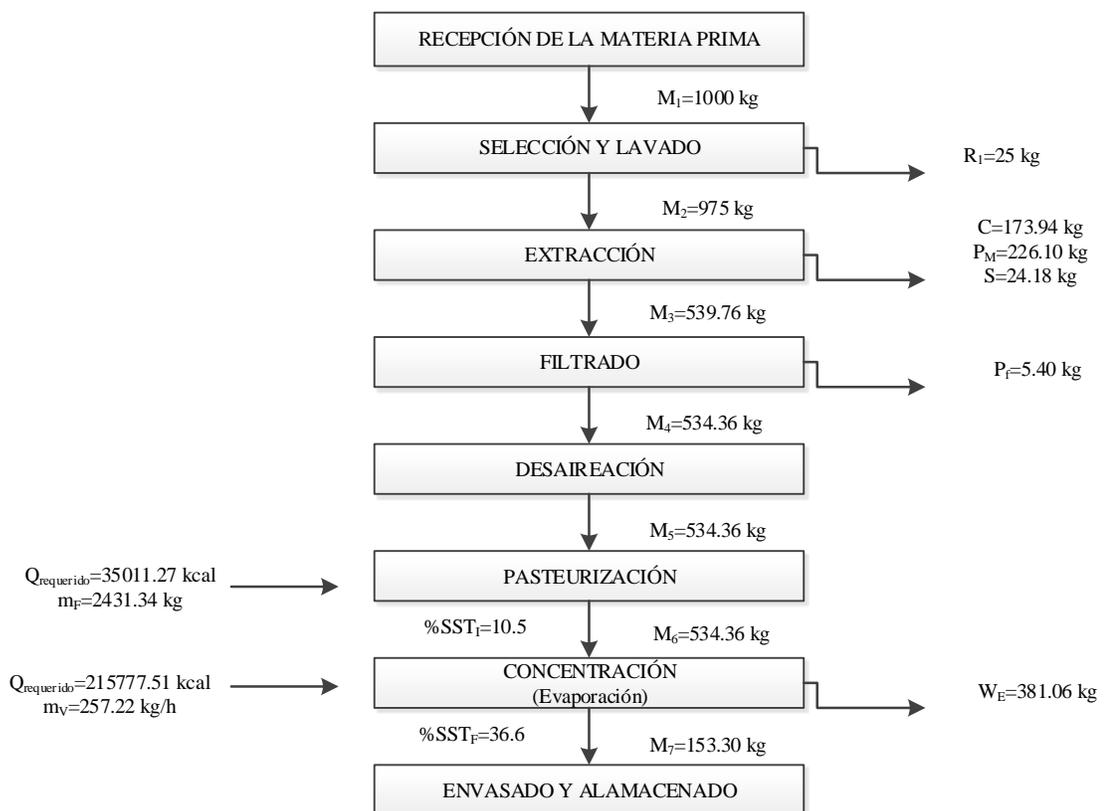
2.9 RESUMEN DEL BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA EN EL PROCESO

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



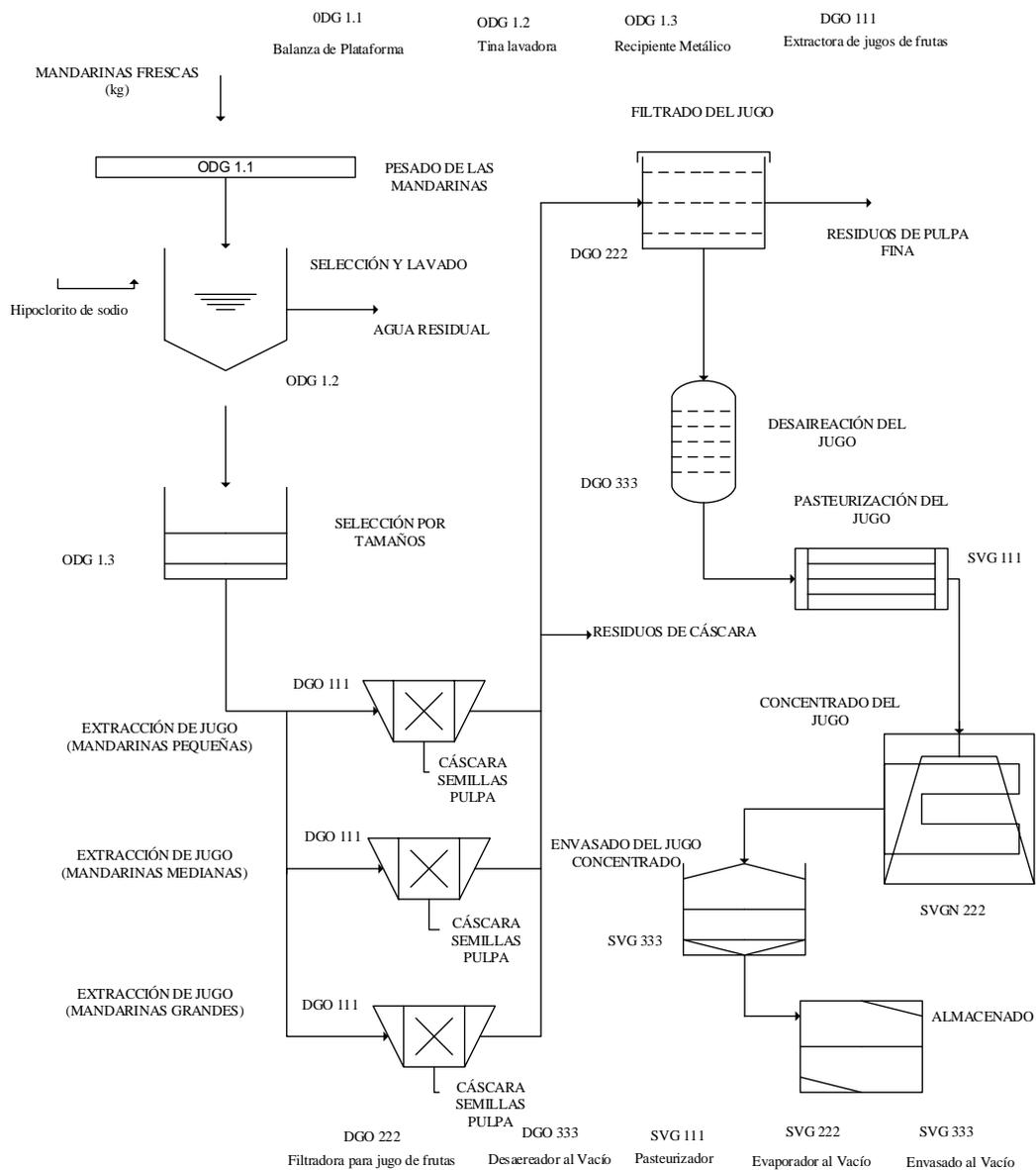
Fuente: Elaboración propia, 2016

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

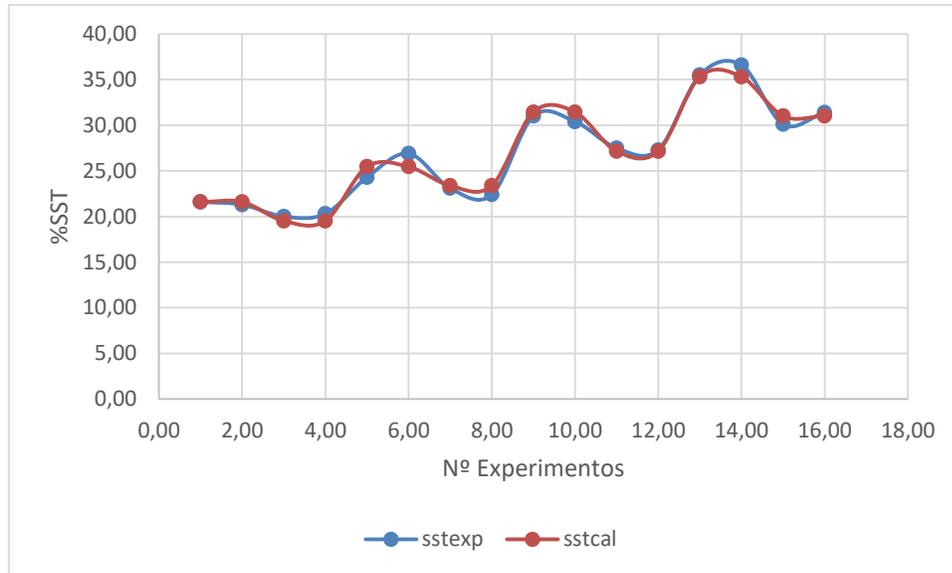
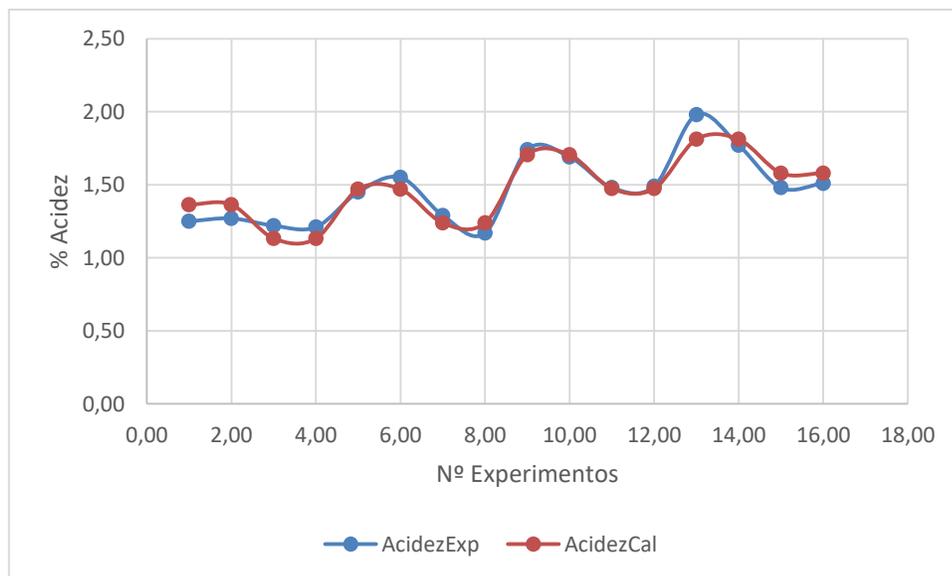


Gráfico 3-2
% Acidez vs N° Experimentos



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

V_z (ml)	P_{vacío} (mmHg)	t (min.)	T (°C)	%SST	% Ac.
-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 ^a	10	41,742	76,984	0,000
Intersección	11540,131	1	11540,131	21034,642	0,000
V _z	40,641	1	40,641	74,077	0,000*
P _{vacío}	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 _z -P _{vacío}	0,276	1	0,276	0,502	0,510

V_z-t	3,151	1	3,151	5,743	0,062
V_z-T	4,951	1	4,951	9,024	0,030*
$P_{\text{vacío}}-t$	1,626	1	1,626	2,963	0,146
$P_{\text{vacío}}-T$	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_z)

Presión de vacío ($P_{\text{vacío}}$)

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

		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

3.3.1 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)

Origen	Suma de Cuadrados tipo III	gl	Media Cuadrática	F	Significación
Modelo	0,792 ^a	10	0,079	13,358	0,005
Intersección	34,663	1	34,663	5849,003	0,000
V _z	0,214	1	0,214	36,095	0,002*
P _{vacío}	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 _z -P _{vacío}	0,000	1	0,000	0,026	0,877
V _z -t	0,035	1	0,035	5,932	0,059
V _z -T	0,022	1	0,022	3,671	0,114
P _{vacío} -t	0,002	1	0,002	0,305	0,605
P _{vacío} -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_z)

Presión de vacío (P_{vacío})

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

Volumen zumo (ml)	Presión vacío (mmHg)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
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)**

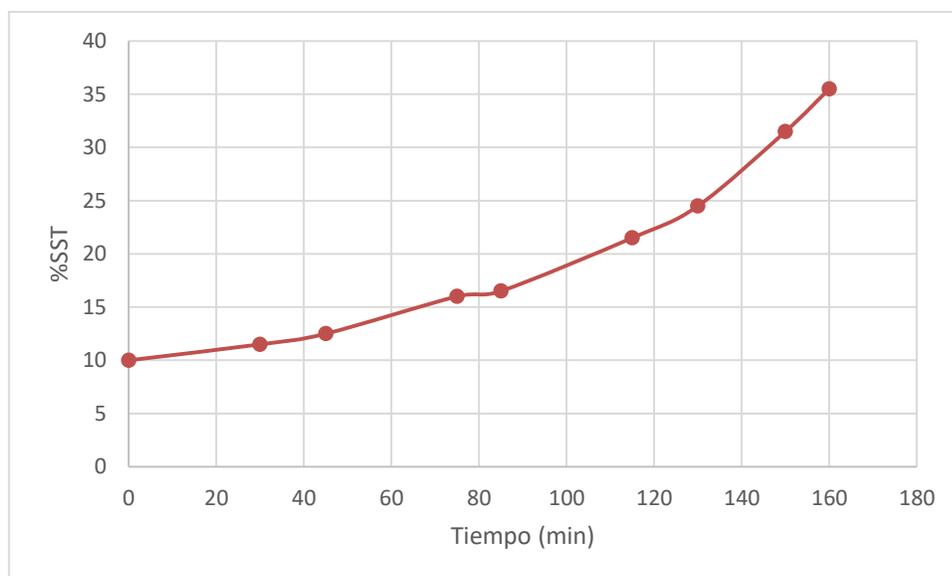
En la tabla III-8 se presenta los datos del tiempo y el %SST obtenidos y en el gráfico 3-3 la curva de variación del %SST con respecto al tiempo.

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

Tiempo (minutos)	%SST (°Brix)
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)**

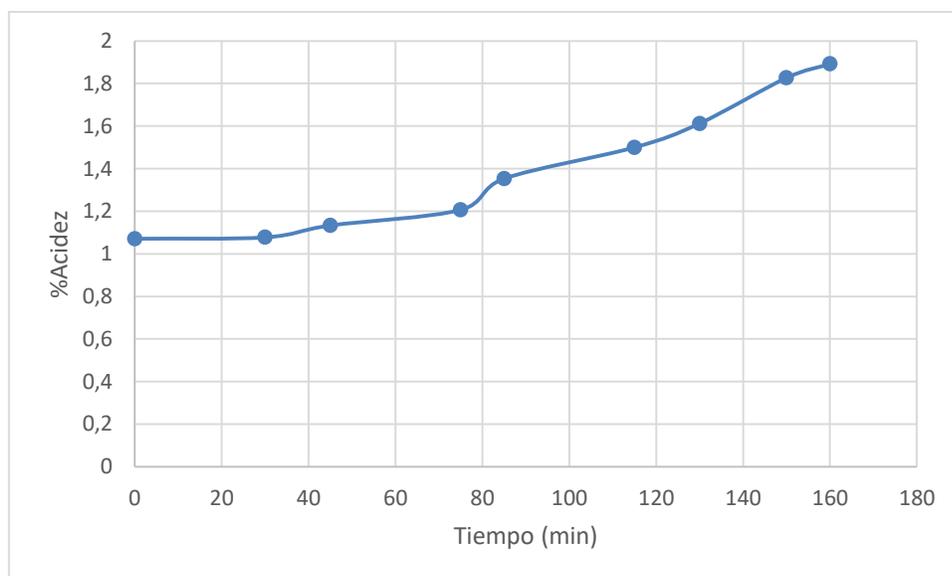
En la tabla III-9 se presenta los datos del tiempo y el % de Acidez obtenidos y en el gráfico 3-4 la curva de variación del % de acidez con respecto al tiempo.

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

Tiempo (minutos)	Acidez (%)
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.

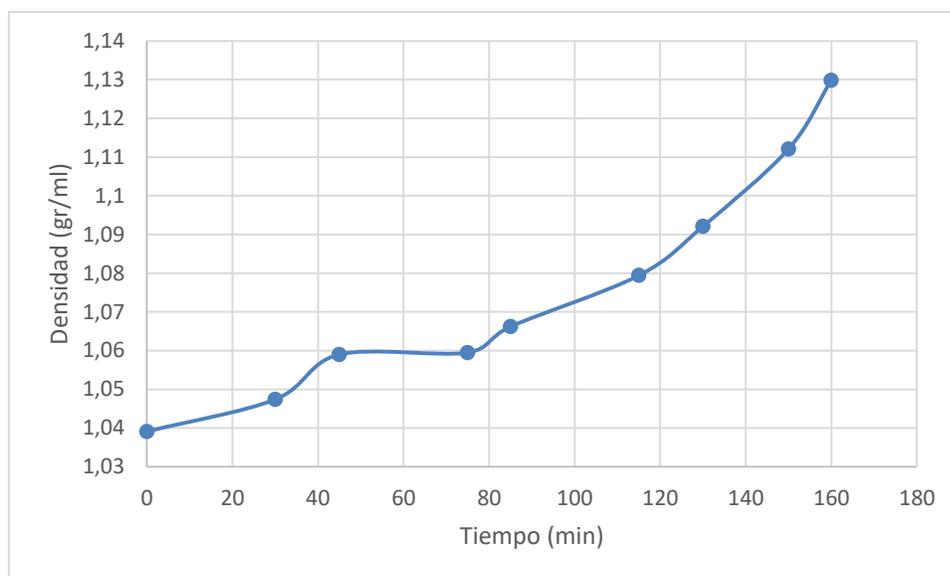
Tabla III-10

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

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
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

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
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)	5×10^2	8×10^2
Coliformes Totales	UFC (gr o ml)	<10	-
Mohos y Levaduras	UFC (gr o ml)	1×10^2	2×10^2

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

Panelistas	% Sabor
GP1	28,13
GP2	29,64
GP3	29,64

Fuente: Elaboración propia, 2016

Tabla III-16

% Aceptación en cuanto al Color

Panelistas	% Color
GP1	21,67
GP2	21,10
GP3	20,60

Fuente: Elaboración propia, 2016

Tabla III-17

% Aceptación en cuanto al Olor

Panelistas	% Olor
GP1	21,10
GP2	21,67
GP3	22,23

Fuente: Elaboración propia, 2016

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

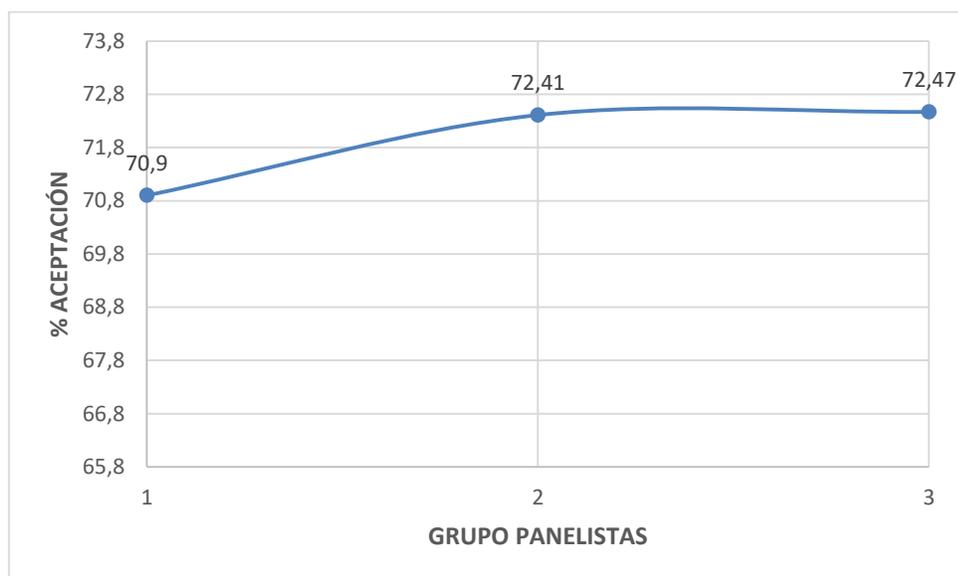
Tabla III-18
% Aceptación del Producto Obtenido

Panelistas	Sabor 40%	Color 30%	Aroma 30%	% Total
GP1	28,13	21,67	21,10	70,90
GP2	29,64	21,10	21,67	72,41
GP3	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

PARÁMETRO	TÉCNICA y/o MÉTDO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO
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	

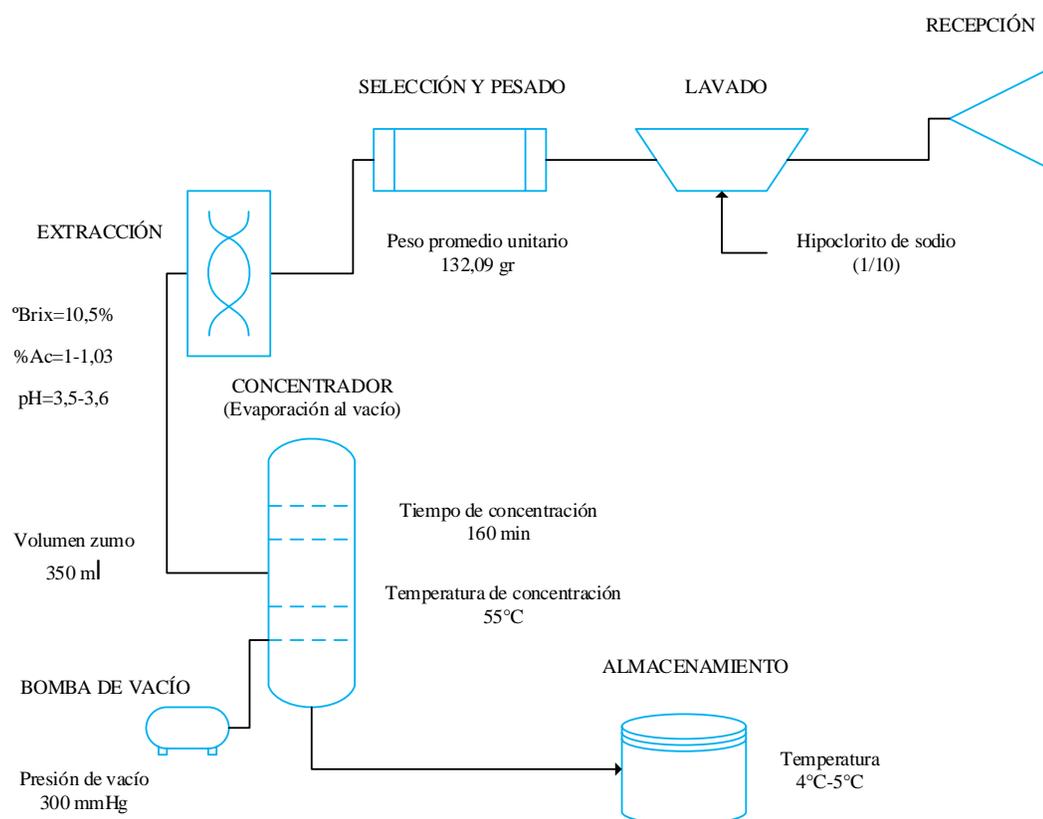
Fuente: Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), 2016

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 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.