

Universidad de Matanzas  
Sede Camilo Cienfuegos  
Facultad de Ciencias Técnicas  
Departamento de Química



## Trabajo de Diploma

*Trabajo de Diploma presentado en opción al título de Ingeniero Químico.*

**Título:** Evaluación del evaporador TASTE en el procesamiento de la piña en la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”.

**Autor:** Rotcéh Rodríguez Vera

**Tutores:**

MSc. Luis Alberto Olivera Díaz

UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”

MSc. Ana Edelys Santana Lantigua

Universidad de Matanzas

**Matanzas, Cuba**

**2021**

### **Declaración de autoridad**

Yo Rotcéh Rodríguez Vera declaro ser la autora de este trabajo de diploma y autorizo al departamento de Química e Ingeniería Química de la Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos” y a la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón” a utilizarlo de la manera que lo estime conveniente y a todo aquel que necesite su consulta, respetando el nombre del autor.

Para que así conste firma:

Rotcéh Rodríguez Vera

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Institución

---

Nombre del presidente del tribunal

---

Firma

---

Evaluación

---

Fecha

## **Pensamiento**

***“El verdadero valor de un ser humano puede hallarse en el grado hasta el cual ha conseguido liberarse de sí mismo”.***

***Albert Einstein***

## **Dedicatoria**

**A quien le debo lo que soy, porque mami, sin ti, no hubiese llegado hasta aquí...**

## **Agradecimientos**

El agradecimiento es uno de los gestos más dignos que puede manifestar el ser humano, es el reconocimiento más alto a aquellos que en un momento difícil nos tendieron su mano o nos ofrecieron su amor y comprensión...

Mami, papá, mamá, abuelo, gracias por guiarme, comprenderme y estar conmigo en mis aciertos y derrotas en esta aventura llamada vida. Este logro es también de ustedes. Son mi orgullo y mi razón de ser.

A mis hermanos, sin ustedes mi vida no sería lo mismo. Rashe gracias por no cansarte de mí y acompañarme siempre, eres la mejor hermana del mundo.

A mi tía, por todo lo enseñado y el cariño incondicional brindado.

A mis amigos por acompañarme en este sueño, darme ánimos y abrirme las puertas de su casa.

A toda mi familia, que directa o indirectamente formaron parte de esto.

A los profesores que formaron parte de mi educación, no solo como profesional, sino como ser humano, a mis tutores; Olivera gracias por su preocupación y paciencia.

Existen personas que siempre están ahí y que forman parte de mi vida... discúlpenme, agradecer no es tarea fácil si el conjunto de personas tiene un cardinal tan grande. A todos. Muchas Gracias.

## **Resumen**

La presente investigación tiene como objetivo proponer la evaluación de la capacidad de evaporación en el procesamiento de la piña en la Combinado Industrial "Héroes de Girón". Esta problemática surge debido a que existe un aumento de la producción de piña y por tanto sería necesario evaluar la capacidad de evaporación instalada. Para ello, se presentan los diferentes métodos utilizados para la concentración de alimentos. Se proponen los procedimientos a utilizar para la determinación de datos a escala de laboratorio. Se proponen además, metodologías para la caracterización estadística de la estación de evaporación. Se plantean las ecuaciones necesarias para la evaluación económica de la propuesta de inversión (ampliación del área de evaporación) si se demuestra un déficit de capacidad de evaporación. Se proponen resultados relacionados con la mejora de la capacidad de evaporación para evitar que existan paradas del proceso productivo que traen consigo afectaciones económicas por deterioro de la fruta.

## **Summary**

The present research aims to propose the evaluation of the evaporation capacity in the pineapple processing at the “Héroes de Girón” Industrial Combination. This problem arises because there is an increase in pineapple production and therefore it would be necessary to evaluate the installed evaporation capacity. For this, the different methods used for the concentration of food are presented. Procedures to be used for the determination of data on a laboratory scale are proposed. In addition, methodologies for the statistical characterization of the evaporation station are proposed. The equations necessary for the economic evaluation of the investment proposal (expansion of the evaporation area) are proposed if a deficit in evaporation capacity is demonstrated. Results related to the improvement of the evaporation capacity are proposed to avoid the production process stoppages that bring with them economic effects due to the deterioration of the fruit.

## Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1: Análisis bibliográfico.....	4
1.1 Los jugos de frutas tropicales. Sus características, calidad y concentración.....	4
1.1.1 Los jugos de frutas y concentrados .....	4
1.1.2 Características y calidad de la piña .....	5
1.2 Producción industrial de jugos y concentrados de frutas .....	5
1.2.1 Métodos para concentrar alimentos .....	6
1.3 Sistemas de evaporadores industriales.....	9
1.3.1 Objetivos de la operación de evaporación .....	10
1.3.2 Principios de funcionamiento de la evaporación al vacío de alimentos .....	11
1.3.3 Factores que afectan el proceso de evaporación .....	11
1.3.4 Factores que afectan la velocidad de evaporación .....	13
1.3.5 Evaporadores empleados en la industria alimentaria .....	15
1.4 Tipo de circulación de los evaporadores.....	16
1.4.1 Evaporación en múltiple efecto con circulación forzada .....	17
1.4.2 Capacidad de un evaporador .....	19
1.5 Características fundamentales de los evaporadores TASTE.....	20
Conclusiones parciales .....	21
Capítulo 2 Materiales y métodos.....	22
2.1. Descripción del proceso tecnológico de producción.....	22
2.1.1 Descripción de las diferentes etapas tecnológicas de la planta	24
2.1.2 Caracterización de los principales equipos .....	26
2.2 Determinación de los parámetros de sólidos solubles y temperatura de ebullición del jugo de piña en el laboratorio .....	29
2.2.1 Determinación del contenido de sólidos solubles del jugo de piña (grados Brix) .....	29
2.2.2 Determinación de la temperatura de ebullición del jugo de piña a diferentes concentraciones y presión atmosférica .....	30
2.3. Metodología para la evaluación estadística de la estación evaporadora .....	31
2.4. Ecuaciones de balance de materiales.....	32
2.4.1 Método de cálculo de instalaciones evaporadoras de múltiple efecto .....	32

<b>2.5 Metodología de cálculo para la evaluación económica de una propuesta de inversión para la ampliación del área de evaporación.....</b>	<b>38</b>
<b>Conclusiones parciales .....</b>	<b>42</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>43</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>44</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>45</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>50</b>

## Introducción

La mayor parte de la producción de frutas tropicales se origina en países en vía de desarrollo, en donde más del 50% de estos cultivos son de subsistencia de pequeños agricultores que manejan parcelas entre 1 a 5 Ha, contribuyendo directamente a la seguridad alimentaria y la nutrición en la mayoría de las zonas productoras (Orrego et al., 2020). Entre los años 2017 y 2018 se presentó un incremento de la producción de 3,8% en las dos regiones productoras principales del mundo; Asia y América Latina, debido al aumento del área cosechada (FAO, 2020). Se estima que para el periodo comprendido entre el 2019 y el 2028 se tendrá un crecimiento mesurado, aproximadamente del 2,8% en promedio, encabezando la lista el banano y seguido de frutas tropicales como el mango, la piña, la papaya, el aguacate, las pasifloras y los cítricos (FAO, 2020).

Estados Unidos es el principal país consumidor de piña del mundo. El siguiente mercado más importante es el europeo en el cual destacan países como Bélgica, Holanda Alemania, Italia, Reino Unido y Francia que, junto con los Estados Unidos importan dos terceras partes de piña fresca en el mercado internacional (Orrego et al., 2020).

Mientras tanto, Costa Rica es el principal exportador mundial de piña fresca, seguida de Bélgica y Holanda (dos países no productores de piña), a pesar de ser el cuarto productor mundial, detrás de Brasil (segundo mayor consumidor), Tailandia y Filipinas, quienes comercializan su producción fresca principalmente en Asia o a través de conservas y jugos.

El procesamiento de jugos cítricos es uno de los negocios agroindustriales más importantes en todo el mundo y la producción de jugos se incrementa sustancialmente cada año, tanto por el aumento de la demanda de estos productos como por el nivel tecnológico alcanzado por las industrias.

A partir del año 1967 se implementa en Cuba el Programa Nacional de Cítricos, que contempla como aspectos más relevantes: la concepción agroindustrial del proceso, la siembra de grandes áreas de cítricos, la incorporación de nuevos territorios a la producción y el desarrollo de la base científico-técnica (Anaya, 2015; Castillo, 2017).

En la actualidad la industria cubana dispone de cinco grandes plantas industriales con tecnología moderna, localizadas en las principales áreas productoras y distribuidas en las tres regiones del país: Pinar del Río, Ceballos, Contramaestre, Jagüey Grande e Isla de la Juventud, así como una planta más pequeña para la fabricación de aceites esenciales ubicada en Banes (Guzmán, 2015).

La UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón” (Anexo 1), procesa más del 60 % de todos los cítricos cubanos dedicados a la producción de jugos y otros subproductos, cosechados por la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”. Hace algunos años con la reorganización empresarial se hizo necesario la diversificación de las producciones, sembrando áreas de frutas tropicales entre las que se destaca el mango, la guayaba, la papaya y la piña. Su misión fundamental es, en completa armonía con el medio ambiente producir alimentos de la más alta calidad, con lo cual se garantiza el cumplimiento de los estándares del producto final que solicitan los clientes.

Esta industria cuenta con un Sistema de Calidad certificado por la Oficina Nacional de Normalización y la firma Francesa BVQI en la ISO 9002-1994 desde abril del 2001. En la actualidad su mercado fundamental es la Comunidad Económica Europea, es miembro del Control Voluntario para la Autenticidad de los jugos, y su objeto principal es la producción y comercialización de jugos simples, concentrados congelados y asépticos de naranja, toronja y piña. Además se producen aceites esenciales derivados de la naranja y la toronja, pulpas, pastas, néctares y conservas de frutas tropicales (mango, guayaba, y tomate).

Todos estos productos tienen un máximo de competitividad y calidad en el mercado mundial. Los niveles de producción vienen dados por un plan que corresponde con el nivel de frutas recibidas de la agricultura, a partir de las cuales se obtienen los diferentes productos finales del proceso, teniendo en cuenta los rendimientos de la fruta.

Este proceso consta de varias etapas tecnológicas, entre las que se destacan: recepción de frutas, lavado, prensado, tamizado, centrifugación, concentración, envasado y almacenamiento. La etapa de concentración es fundamental en esta industria, por ser los evaporadores la parte más importante de la

tecnología de la industria de concentrados de jugos de piña; se lleva a cabo en evaporadores del tipo TASTE y define en gran medida los volúmenes de producción a obtener y la calidad del producto final (jugo concentrado congelado de piña).

Con el incentivo de la siembra de la piña en el territorio se incrementó la producción en la última campaña y la industria comenzó a presentar dificultades en algunas áreas del proceso, por insuficiencia de capacidad, lo que ha provocado constantes paralizaciones, demorando el procesamiento de la fruta en el momento óptimo de rendimiento.

Por lo que a partir del planteamiento anterior, se propone como **Problema científico:** ¿Cómo determinar si la capacidad nominal del evaporador satisface los volúmenes actuales de procesamiento de la piña?

**Hipótesis:** Si se realiza una evaluación de la capacidad de evaporación para procesar los volúmenes actuales de producción, se podrán proponer soluciones tecnológicas que disminuyan las afectaciones y se fundamenta la ejecución de un proyecto de inversión.

**Objetivo general:** Proponer la evaluación de la capacidad de evaporación en el procesamiento de la piña en la UEB combinado industrial “Héroes de Girón”

**Objetivos específicos:**

1. Revisar bibliografía relacionada con la concentración de los jugos de frutas tropicales.
2. Proponer la metodología para la evaluación del proceso productivo de la planta en cuanto a la capacidad de evaporación requerida e instalada.
3. Proponer metodología para la valoración económica de la producción y de la inversión.

## **Capítulo 1: Análisis bibliográfico**

En el presente capítulo se realiza una recopilación de información acerca de los fundamentos teóricos relacionados con la producción de jugos de frutas tropicales, sus características, calidad y concentración. Además se abordan el procesamiento de jugos de frutas para la obtención de concentrados, incluyendo los conceptos y principios básicos de los equipos y procedimientos empleados. Se presentan también en este capítulo los diferentes métodos de concentración, los sistemas de evaporación industrial y los factores que afectan la evaporación y la velocidad de evaporación.

### **1.1 Los jugos de frutas tropicales. Sus características, calidad y concentración.**

#### **1.1.1 Los jugos de frutas y concentrados**

Los jugos son productos usualmente para consumo directo y son obtenidos mediante la extracción del líquido celular de las frutas maduras. Son de gran valor nutritivo debido a que están enriquecidos con minerales, vitaminas y otros componentes benéficos para la salud humana. Desafortunadamente, durante el proceso industrial una gran parte de las características que determinan la calidad del producto fresco sufren una notable modificación debido al daño térmico y la oxidación química, que degradan los componentes más sensibles reduciendo la calidad del producto final (Ibarz y Falguera, 2014).

Según el Codex Alimentarius (2005), por zumo (jugo) de fruta, se entiende el líquido sin fermentar, pero fermentable, que se obtiene de la parte comestible de frutas de buen estado, debidamente maduras y frescas, o de las frutas que se han mantenido en buen estado por procedimientos adecuados, inclusive por tratamientos de superficie aplicados después de la cosecha.

Los jugos de frutas pueden ser clasificados en jugos sin pulpa (clarificados o de baja turbidez), y en jugos con pulpa. Aquellos que se obtienen mediante la eliminación de una parte importante de su contenido de agua, ya sea por evaporación o por congelación fraccionada, se definen como jugos concentrados. Los jugos se caracterizan refrigerados, congelados o estables a temperatura ambiente, en una amplia variedad de empaque (Jiménez, 2015).

### **1.1.2 Características y calidad de la piña**

La piña (*Ananas comosus* L. Merr.) es una de las frutas tropicales apreciada por su sabor, aroma y sus características nutritivas, constituye la tercera fruta más importante a nivel mundial después de los cítricos y plátano (García et al. 2011; Cerrato, 2013; FAO, 2016; Desiree et al. 2017). Es producida en zonas tropicales y subtropicales, las principales producciones se tienen en Costa Rica, Brasil, Filipinas, Tailandia e Indonesia (FAO, 2016). A pesar de que las frutas utilizadas para la extracción de jugo son generalmente las que no cumplen los estándares de calidad para la comercialización como fruta fresca, esto no implica que toda la fruta descartada del proceso de fruta fresca califique como apta para la industrialización (FAO, 2017).

La calidad del fruto de la piña depende en gran medida de las prácticas de cultivo que se siguieron durante su formación y desarrollo para lo cual es necesario un buen control de las plagas y enfermedades. La calidad de la piña estará determinada por variables físicas y químicas. Entre las variables físicas tenemos: el tamaño del fruto, firmeza, peso, el color del epicarpio, asimismo entre las variables químicas se encuentran: la cantidad de sólidos solubles (°Brix), la acidez titulable (%ácido cítrico) y el pH (Cerrato, 2013; Desiree et al. 2017).

### **1.2 Producción industrial de jugos y concentrados de frutas**

La producción industrial de jugos y concentrados de frutas, ha experimentado a nivel mundial un crecimiento sostenido en los últimos años; debido a los considerables beneficios económicos que reporta su comercialización. Prácticamente se pueden elaborar jugos, pulpas y concentrados de cualquier fruta; sin embargo, los de mayor demanda son los de frutas cítricas como la naranja y la toronja. También los jugos de frutas tropicales y vegetales, como los de tomate, guayaba, piña, papaya, mango, entre otros (Sinha, 2012; Díaz, 2017).

Los concentrados de jugos de frutas, debido a su baja actividad de agua, presentan mayor estabilidad que los jugos obtenidos de manera natural. La concentración de los jugos de frutas no sólo provee estabilidad microbiológica, sino que su empleo presenta una serie de ventajas bien definidas, frente al

método tradicional de utilizar de forma directa la fruta como materia prima, puesto que permite ampliar el tiempo de conservación, también disminuye costos en el empaque, transporte y distribución del producto terminado debido a la reducción en volumen por unidad de peso (Richardson, 2014). Además, actúan como reguladoras de los suministros de frutas y vegetales, porque se procesan en las épocas de cosecha, para utilizarlas en períodos de poca disponibilidad (Jiménez, 2015).

Los jugos de frutas y vegetales, al igual que otros alimentos, son sensibles al calor y sus viscosidades aumentan notablemente al concentrarlos. Frecuentemente, la materia sólida en suspensión presente en los jugos, tiende a adherirse a la superficie de calentamiento. Esto causa sobrecalentamientos que conducen a carbonizaciones y deterioro del material (Hui y Evranuz, 2015). Para reducir esta tendencia a la adhesión y disminuir el tiempo de residencia del producto en el evaporador, se precisan altas velocidades de circulación del fluido sobre la superficie de transferencia de calor. Así como también se requieren temperaturas bajas de operación y el empleo del vacío para la reducción de la temperatura de ebullición de la disolución (Varzakas y Tzia, 2014).

En la actualidad existen diversas tecnologías industriales para la concentración de los jugos de frutas. Son varios los tipos de concentradores existentes, pero los más efectivos y económicos son los de múltiple efecto con evaporación al vacío. Sin embargo, son las propiedades del fluido de alimentación las que determinan la elección del tipo de evaporador (Díaz, 2017).

### **1.2.1 Métodos para concentrar alimentos**

La concentración de jugos de frutas puede ser descrita como un proceso de separación y constituye una de las operaciones unitarias básicas del procesamiento de las frutas. En los procesos de concentración, el contenido de sólidos se incrementa hasta 65 y 75%, por lo que el producto final está aún en forma líquida. Durante los últimos sesenta años, varios métodos para la concentración de líquidos han sido desarrollados. Entre éstos, la concentración por evaporación, la concentración por congelación y la concentración por el uso de membranas (ósmosis inversa) han encontrado aplicación comercial para diferentes jugos de frutas (Sulc, 1984; ETAL/PROFIT, 2017).

### **1.2.1.1 Concentración por evaporación**

El primer jugo de fruta concentrado, producido a través de la evaporación con vacío, data de los inicios de 1920. Es probablemente el método más antiguo de concentración y aún en nuestros días está considerado como el más desarrollado, económicamente es el más favorable y ampliamente usado para la concentración de alimentos líquidos. Se deben tomar diferentes aspectos para el uso de evaporadores en la industria alimentaria (Sulc, 1984).

La elección de un evaporador apropiado para concentrar un material dado, depende de muchos factores, los cuales deben ser cuidadosamente ponderados para asegurar que los requerimientos del proceso y los costos capitales sean conocidos. Estos factores incluyen las propiedades del material de alimentación, los requerimientos de calidad del producto, las condiciones de operación y las consideraciones económicas (Ramteke et al. 1993).

Los jugos de frutas son producidos ya sea en forma de pulpa, turbios o claros, los cuales presentan considerables diferencias en sus características fisicoquímicas, contenido de sólidos suspendidos, concentración de pectinas, propiedades térmicas y reológicas de primordial importancia en el diseño del evaporador y optimización de los componentes de operación y procesamiento, tales como bombas, calentadores, evaporadores, etc. Estas propiedades térmicas de los jugos incluyen calor específico, entalpia, conductividad térmica y punto de ebullición (Choi y Okos, 1983).

La sensibilidad al calor es de particular importancia en la selección del evaporador, el cual afecta la calidad del concentrado. El daño del producto debido al calor es proporcional al tiempo de residencia en la superficie de calentamiento del evaporador, por lo que tiempos de residencia cortos son los más adecuados para jugos sensibles al calor (Sulc, 1984).

- **Concentración de jugos clarificados y turbios**

Los jugos despectinizados, clarificados y filtrados contienen sólo sólidos solubles en agua tales como azúcares, ácidos orgánicos, vitaminas, pigmentos, minerales y compuestos volátiles. La concentración de tales jugos puede ser llevada a cabo sin mayores problemas tecnológicos, debido a que el incremento en la viscosidad durante la evaporación no es muy grande. La

composición química de los jugos turbios es similar a la de los jugos claros, pero también contienen cantidades variables de partículas suspendidas, siendo mayormente sustancias pécticas, celulosa y hemicelulosa. Estos exhiben viscosidades mucho más altas, en comparación a los jugos claros. Para llevar a cabo la concentración de los jugos turbios, los evaporadores centrífugos o evaporadores con agitación son los más adecuados (Sulc, 1984; Kruspe, 2021).

- **Concentración de jugos con pulpa**

Debido a sus altos contenidos de partículas de pulpa suspendidas, los jugos con pulpa forman una masa muy viscosa durante la concentración resultando en contaminación y en una disminución en la velocidad de evaporación. Asimismo, el producto concentrado puede sufrir daño térmico, originando cambios en los parámetros de calidad, particularmente color y sabor. Los jugos con pulpa se comportan como fluidos pseudoplásticos y la viscosidad aparente de estos fluidos disminuye con un aumento en el esfuerzo cortante (Saravacos y Kostaropoulos 2016).

Durante la concentración por evaporación, los aromas volátiles de los jugos son parcial o completamente perdidos con el vapor de agua, deteriorando la calidad en el sabor del concentrado. Para mejorar el sabor, los jugos concentrados son mezclados con jugo fresco para compensar la pérdida de sabor durante la concentración. Con este método, el cual es ampliamente usado en la industria cítrica, el jugo es concentrado hasta 62°Brix y entonces es diluido a 42°Brix con jugo fresco. Sin embargo, este método no es conveniente cuando son requeridos jugos altamente concentrados (Ramteke et al. 1993).

### **1.2.1.2 Concentración por membranas**

La osmosis inversa (RO) y la ultrafiltración (UF) son los procesos de separación más versátiles en la industria alimentaria. La osmosis inversa esencialmente es un proceso de concentración, en el cual el agua es separada de los solutos de bajo peso molecular. La ultrafiltración es un proceso de fraccionamiento o clarificación, en el cual los solutos más pequeños son transportados a través de las membranas junto con el agua, y la membrana retiene sólo las moléculas grandes (por ejemplo, proteínas y coloides) dependiendo del tamaño de poro

de la membrana. La microfiltración es otro proceso de membrana, el cual es usado principalmente para la clarificación debido a su gran tamaño de poro (Ramteke et al. 1993).

El mecanismo de separación en la osmosis inversa es complejo y no puede ser explicado sólo por el tamaño molecular. El mecanismo preferencial de sorción-flujo capilar es la más lógica y probable explicación, en el cual el mecanismo toma en cuenta el modelo de flujo capilar y el mecanismo de difusión (Ramteke et al. 1993; Pastor, 2018).

La industria alimentaria está más interesada en la concentración sin cambio de fase o daño térmico, así como evitar indebidas pérdidas de sólidos y obtener considerable cantidad de retención de aroma a un costo competitivo con la evaporación. La ósmosis inversa cumple con estos criterios y se utiliza cada vez más para concentrar alimentos líquidos, particularmente leche y jugos de frutas.

### **1.2.1.3 Concentración por congelación**

La concentración por congelación se ha estudiado como un posible método para concentrar soluciones sensibles al calor, previo a un secado a baja temperatura. Ha sido aplicada con éxito para productos como jugo de naranja, café, cerveza, vino y otros líquidos donde la retención del aroma es importante Caperva. (2015).

La concentración por congelación es un método usado para obtener jugo concentrado de alta calidad a través de la eliminación del agua sin pérdida de volátiles (Schwartzberg, 1990). Este proceso evita las dificultades asociadas con los métodos de evaporación basados en calor. Es capaz de concentrar la mayoría de jugos sin apreciable pérdida del sabor, aroma, color o valor nutritivo. Aun así, la concentración por congelación no ha tenido amplia aceptación comercial debido a costos relativamente altos y baja aprobación.

## **1.3 Sistemas de evaporadores industriales**

Un evaporador consiste básicamente en un intercambiador de calor capaz de hervir la solución a concentrar. Las partes esenciales del mismo son la cámara de calefacción y la cámara de evaporación. Las dos cámaras están separadas por la superficie sólida de los tubos, a través de la cual tiene lugar el

intercambio de calor con la finalidad de que el componente más volátil pueda ser retirado en forma de vapor, dejando como resultado una solución más concentrada (Márquez, 2015). La forma y la disposición de estas cámaras se diseñan para que la eficiencia sea máxima, dando lugar a distintos tipos de evaporadores.

Los sistemas de evaporadores industriales normalmente constan de un intercambiador de calor para la evaporación de la sustancia a concentrar (en la industria de los alimentos normalmente se utiliza como medio de calentamiento el vapor saturado); un separador en el que el vapor se aparta de la fase líquida concentrada (en los sistemas que operan a presión atmosférica el separador puede omitirse); y un condensador, para condensar el vapor y eliminar el agua condensada del sistema (Bischoff y Gravois, 2003; HRS, 2021).

En los evaporadores la condensación ocurre sobre la superficie exterior de tubos dispuestos verticalmente u horizontalmente. El vapor al ser alimentado fluye por fuera de los conjuntos de tubos o calandrias, para poco a poco entrar en contacto con la superficie y comenzar la transferencia de calor, mientras que en el exterior de los mismos se condensa el vapor calefactor. Dentro de los tubos se produce la evaporación parcial y el producto que se está concentrado permanece en contacto con el vapor que se genera. Las calandrias o conjunto de tubos que atraviesan la cámara de vapor frecuentemente poseen un tubo de retorno. Los dos fluidos, tanto el producto como su vapor tienen diferentes sentidos de flujo, por lo que la salida del concentrado ocurre por la parte inferior de los tubos y el vapor generado sale por la parte superior del evaporador, aunque la disposición de estos puede variar según la configuración y utilización de los mismos.

### **1.3.1 Objetivos de la operación de evaporación**

Según Ramaswamy (2006) la evaporación es una operación unitaria empleada para remover agua en forma de vapor de sustancias líquidas diluidas, con el fin de obtener un producto concentrado. La misma se realiza por medio de la adición de calor al producto líquido a concentrar, para llevarlo a su temperatura de ebullición y vaporizar una parte del solvente (McCabe et al., 2007).

La concentración se logra al aprovechar la diferencia de volatilidad entre el agua y los solutos. Esta operación requiere de un evaporador o varios evaporadores dispuestos en un arreglo específico, el cual está limitado por las características fisicoquímicas de la materia prima y del producto que se desea obtener. Como fuente calórica se emplea generalmente el vapor de agua; el cual se pone en contacto con el producto a través de una superficie calefactora (Castillo, 2017).

### **1.3.2 Principios de funcionamiento de la evaporación al vacío de alimentos**

La evaporación al vacío consiste en reducir la presión del interior del espacio de evaporación en el evaporador por debajo de la presión atmosférica, esto permite disminuir la temperatura de ebullición del líquido a evaporar, lo que a su vez reduce la cantidad de calor a aportar en el proceso de ebullición y la porción de energía a eliminar durante la condensación; permite además otras ventajas técnicas como la de poder destilar líquidos con alto punto de ebullición, evitar la descomposición de sustancias sensibles a la temperatura (Perry, 2001; Jara, 2020).

La mencionada operación permite tratar efluentes que mediante técnicas fisicoquímicas o biológicas no son viables. Hace posible la reducción del volumen de residuos líquidos, la concentración de desechos corrosivos o incrustantes, la reutilización del agua recuperada y la implantación de un sistema de vertido cero. Tiene amplia aplicación en la industria alimentaria especialmente para productos que requieren ser almacenados y preservados por períodos prolongados sin sufrir deterioro o descomposición y para la desalinización del agua salada. Es utilizado de forma industrial, para preparar productos como la leche evaporada, pastas de tomate, jugos concentrados de frutas, en la deshidratación de huevos, entre otras aplicaciones (Smith, 2011).

### **1.3.3 Factores que afectan el proceso de evaporación**

Según Ayala (2019), existen diversos factores que afectan el proceso de evaporación, que deben ser tenidos en cuenta al momento de realizar el diseño de los evaporadores como lo son las propiedades del líquido a concentrar las cuales se desglosarán a continuación:

**Concentración del líquido.** La alimentación juega un papel importante en el diseño de los evaporadores ya que es común encontrar que esta entra al equipo de forma lo suficientemente diluida asemejándose a las propiedades que pueda tener el agua, a medida que el tiempo de residencia en el evaporador aumenta, la solución se concentra y su viscosidad y densidad pueden elevarse de manera notoria hasta que la solución llega al punto de saturación.

**Aumento de la viscosidad.** La solución forma una película delgada alrededor de la superficie de transferencia de calor que se traduce en una resistencia conocida como incrustación disminuyendo así el coeficiente de transferencia de calor. A dicha película se le denomina fouling y debe ser continuamente removida para garantizar la efectividad del evaporador (McCabe et al., 2007).

**Solubilidad.** Al realizar la evaporación del solvente, la concentración de soluto aumenta de tal forma que puede llegar a la sobresaturación, una vez se llega a este punto se presenta la formación de cristales los cuales ocasionan una obstrucción de los tubos por los cuales circula. Para determinar la cantidad de soluto que puede contener cierta cantidad de solvente a una temperatura específica existen las denominadas curvas de solubilidad, las cuales son una herramienta que proporciona información necesaria a la hora de realizar el diseño del evaporador.

**Formación de espuma.** Durante la evaporación algunas sustancias forman espumas, como lo es el caso de las soluciones causticas; en la industria alimenticia la leche y algunas soluciones que contienen ácidos grasos entre otras. Dicha espuma es arrastrada por el vapor producido y puede llevar consigo una cantidad de sólidos lo cual hace que la operación no sea la óptima (Padilla, 2013).

**Sensibilidad térmica de los materiales.** Productos químicos finos, farmacéuticos y alimentos sufren reacciones indeseadas al ser calentadas a temperaturas moderadas durante relativamente tiempos cortos. Tal es el caso expuesto por Forero y Vélez (2013) en donde los alimentos que son sometidos a concentración por evaporación en la que usan como fuente energética vapor sufren reacciones indeseadas de pardeamiento no enzimático, lo que causa un

cambio en las propiedades organolépticas como lo son el color, sabor, olor y textura (Del Cisne, 2017).

**Temperatura de ebullición.** La presión de vapor de la mayor parte de las disoluciones acuosas es menor que la del agua a la misma temperatura. Por tanto, para una presión dada, la temperatura de ebullición de las disoluciones es mayor que la del agua pura. Para disoluciones concentradas la elevación del punto de ebullición se obtiene mejor a partir de una regla empírica conocida como regla de Duhring, según la cual la temperatura de ebullición de una determinada disolución es una función lineal de la temperatura de ebullición del agua pura a la misma presión.

**Presión.** La presión juega un papel fundamental al momento de operar ya que el punto de ebullición está dado por la presión de vapor del fluido y la presión del sistema, por ende, al operar a bajas presiones las temperaturas de ebullición disminuirá y se requerirá de menor cantidad de energía que debe adquirir el fluido para lograr superar la presión del sistema.

**Formación de incrustaciones.** El coeficiente global de transferencia de calor se ve afectado por cada una de las películas que se opongan a la transferencia de calor, una de ellas es la que produce por adhesión a la superficie de calentamiento, que con el tiempo puede llegar a obstaculizar el paso de fluido, es por esto que se recomienda realizar una limpieza profunda con el fin de evitar la formación de dicha película y por ende se necesite mayor cantidad de energía para lograr la evaporación del solvente.

#### **1.3.4 Factores que afectan la velocidad de evaporación**

La velocidad de evaporación es el tiempo que transcurre al realizarse la transferencia de calor al fluido a concentrar y de igual manera a la transferencia de materia desde el alimento hacia la corriente de vapor. Según Padilla (2013) existen diferentes factores que influyen sobre la velocidad de evaporación como lo son:

- Diferencia de temperatura entre la fuente de energía y el líquido en ebullición.
- Área de transferencia de calor.
- Película superficial.

- Coeficiente global de transferencia de calor.
- Resistencia a la transferencia de calor.

**Diferencia de temperaturas:** El fluido a concentrar aumenta su viscosidad con respecto al tiempo debido a que se está removiendo el contenido de solvente volátil presente en la mezcla quedando así el sólido no volátil presente en la solución ocasionando un aumento en el punto de ebullición de la mezcla y por ende la diferencia de temperatura entre el líquido a evaporar y la fuente de calefacción disminuye, haciendo que la velocidad de evaporación disminuya.

Con el fin de garantizar que la diferencia de temperaturas se mantenga de forma constante, generalmente se hace uso de elementos que permitan operar a vacío haciendo que el punto de ebullición de la mezcla a evaporar descienda.

Por otra parte, se hace uso de las diferentes configuraciones a las cuales puede operar el equipo, como lo es alimentar en paralelo, mixto o en contra corriente con el fin de hacer más grade esta diferencia de temperaturas.

**Área de transferencia de calor:** Está directamente relacionada con el coeficiente global de transferencia de calor en el cual se tiene en cuenta todas las resistencias que se presentan a la hora de realizar el intercambio térmico dentro de las que se destacan la formación de incrustaciones producidas por la falta de limpieza de los equipos y el mal uso que se le da a los mismos, formando una capa que impide la correcta transferencia de calor. A mayor área, mayor capacidad de intercambio de calor y mayor velocidad de evaporación, (Serafini, 2016).

**Resistencia a la transferencia de calor:** La resistencia a la transmisión de calor en el evaporador suele ser debida principalmente a la capa superficial del líquido. En muchos alimentos la viscosidad aumenta a medida que progresa su concentración, lo que disminuye la velocidad de transferencia de calor, además de permanecer el alimento más tiempo en contacto con las superficies calefactoras, lo que actúa en detrimento de su calidad.

**Coeficiente global de transferencia de calor (U):** Las propiedades físicas de los fluidos (vapor de calentamiento y el alimento), la conductividad térmica del material del intercambiador de calor, las paredes del evaporador y el régimen del flujo (espesor capa convectiva) afectan la velocidad de evaporación.

### 1.3.5 Evaporadores empleados en la industria alimentaria

Según Ortalá (2018) en la industria alimentaria se utilizan diferentes tipos de evaporadores, los más utilizados son:

**Evaporador discontinuo:** Es un evaporador muy simple y quizás el más antiguo de los utilizados en la industria alimentaria. El alimento se calienta en un recipiente esférico rodeado de una camisa calefactora con vapor de agua. El recipiente puede conectarse a un sistema de vacío o abrirse directamente a la atmósfera. La velocidad de transmisión de calor es baja, por lo que el tiempo de residencia del alimento en el evaporador puede ser largo. Este hecho, junto con la discontinuidad en la alimentación hace que este tipo de evaporadores no sean muy utilizados a nivel industrial, siendo más útiles a escala laboratorio.

**Evaporador de circulación natural:** El alimento se calienta en la base y asciende por los tubos. El vapor de disolvente generado facilita la ascensión de la disolución. Esta circulación natural sólo se consigue si los tubos no son excesivamente largos (1 o 2 metros de longitud). El alimento puede recircularse para concentrarse más.

**Evaporador de película ascendente:** Para alimentos líquidos de baja viscosidad pueden utilizarse evaporadores de película ascendente. Están constituidos por tubos largos (entre 10 y 15 metros de longitud) por cuyo interior asciende el alimento arrastrado por el vapor de disolvente generado. Esta ascensión sólo se consigue si el alimento circula en forma de película sobre la pared de los tubos, siendo necesaria una diferencia de temperatura entre el producto y el vapor de calefacción de al menos 14°C.

**Evaporador de película descendente:** En estos evaporadores, el alimento desciende por gravedad por los tubos en forma de fina película. Para conseguir una buena distribución en los tubos, se utilizan boquillas pulverizadoras.

**Evaporador de película ascendente/descendente:** La calandria está dividida longitudinalmente en dos secciones. Primeramente, la disolución asciende por los tubos de forma similar a un evaporador de circulación ascendente. Cuando la disolución está más concentrada y no es posible la circulación ascendente, pasa a la segunda parte de la calandria donde desciende por gravedad.

**Evaporador de circulación forzada:** Estos evaporadores se utilizan cuando la disolución a concentrar tiene alta viscosidad, lo que impide una circulación natural. En estos equipos, la presión en la calandria es superior a la del separador de corrientes, lo que se consigue con una columna de líquido a la salida de la calandria. En estas condiciones, la disolución en la calandria solo se calienta, sin evaporarse el disolvente. Al llegar el líquido al separador de corrientes y bajar la presión, el disolvente sufre una evaporación flash y, por tanto, un enfriamiento.

**Evaporador de película agitada:** Es un tipo de evaporador de película descendente donde la disolución circula por un tubo que contiene un agitador interno. A medida que el líquido desciende aumenta la turbulencia por efecto de las aspas, lo que aumenta el coeficiente global de transmisión de calor e impide, al mismo tiempo, la deposición de partículas sobre la pared del tubo. Este tipo de evaporadores es muy útil cuando se trabaja con disoluciones muy viscosas.

#### **1.4 Tipo de circulación de los evaporadores**

Existen dos tipos de circulación, natural y forzada; la primera, en la que por diferencia de presión y ayudados por la gravedad, el fluido pasa de un efecto a otro sin la necesidad de hacer uso de equipos que impulsen el mismo, tal es el caso de la concentración de leche expuesto por Morrison (2015) en donde se ve la necesidad de hacer pasar de manera rápida la leche por un evaporador de película descendente ya que al aumentar el tiempo de contacto entre la fuente de calor y la corriente de leche, que puede producir una disminución de 1,3% la cantidad de sólidos presentes en la misma. Para el caso de la circulación forzada, se hace uso de un equipo de bombeo para garantizar que el fluido circule de manera uniforme por el evaporador.

Comúnmente se hace uso de este tipo de circulación cuando el fluido se torna cada vez más viscoso como lo expuesto por Heluane (2013), en donde hacen alusión al uso de evaporadores en la industria azucarera, resaltando que al tratarse de un fluido que adquiere una gran viscosidad al concentrarse se debe hacer uso de bombas, además de realizar 2 paradas semanales para realizar limpieza y evitar la formación de incrustaciones que causan una disminución en la eficiencia del equipo.

### **1.4.1 Evaporación en múltiple efecto con circulación forzada**

Normalmente las velocidades de transmisión de calor son aceptables en los evaporadores de circulación natural, debido a que cuando se forma vapor en los tubos la velocidad de circulación del líquido aumenta. Pero cuando se tratan líquidos muy viscosos el coeficiente global de transmisión de calor puede disminuir de forma que la operación deje de ser viable económicamente. Por ello se utilizan evaporadores de circulación forzada, en los que la velocidad del líquido es mayor que en circulación natural (Gómez, 2019).

Estos evaporadores son diseñados para la evaporación de productos con alto contenido en materia sólida y/o alta viscosidad (Gemina, 2017).

- Concentración de zumo de tomate.
- Concentración de fruta.
- Concentrado de frutas tropicales (mango, papaya...).
- Concentración de frutos rojos (fresa, arándanos...).
- Aplicable en todos los sectores de la industria alimentaria donde se necesite eliminar parte del agua de la materia prima y conservar sus propiedades organolépticas intactas.

#### **Elementos principales:**

Son tres las principales consideraciones a tener en cuenta en el diseño de un evaporador: la transferencia de calor, la separación líquido-vapor y la eficiencia del consumo energético (Gemina, 2017).

Las unidades donde la transferencia térmica tiene lugar se llaman unidades de calentamiento o “calandria” (intercambiadores de calor multitubulares). Los separadores líquido-vapor son llamados “cámaras flash” o “tanques de separación”.

“Cuerpo” es el término que utilizamos para el módulo básico de un evaporador, comprendiendo éste una calandria y una cámara flash.

El término efecto lo utilizamos para describir el cuerpo donde se extrae vapor de la materia prima operando con el mismo punto de ebullición.

El evaporador de efecto múltiple es un sistema de evaporación donde el vapor extraído de la materia prima en un efecto es usado como medio de calentamiento para el siguiente efecto a una presión menor.

El calentamiento del producto se realiza a través de la recirculación del mismo en el intercambiador del calor para luego ser parcialmente evaporado cuando la presión es reducida en la cámara flash. El líquido producido es generalmente calentado solo unos cuantos grados por cada pasada a través del intercambiador de calor. Para mantener una buena transferencia de calor dentro del intercambiador es necesario tener un alto valor en el flujo de recirculación.

Con el aumento de efectos se logra aumentar las capacidades de trabajo a la vez que se optimiza la relación entre consumo energético y producción.

#### **Ventajas y características constructivas, (Gemina, 2017).**

- Diseño de los intercambiadores de calor adaptado a la aplicación y al producto a concentrar.
- Cámaras de expansión de grandes dimensiones, diseñadas para evitar los fenómenos de arrastre (pérdidas por arrastre resultan de la presencia de gotas de producto en el vapor que no pueden ser separadas a causa de la velocidad de éste), salpicaduras y espumas con la consecuente pérdida de producto.
- Las cámaras incorporan sistema de limpieza.
- Bombas de circulación de rotor centrífugo que aseguran grandes caudales combinados con excelentes valores de altura.
- Diseño modular: un intercambiador de un simple efecto o doble efecto puede ser ampliado en el futuro gracias a su estructura, ideada para aumentar la producción y disminuir los costes de inversiones futuras.
- Con estos evaporadores de múltiple efecto, los efectos pueden ser neutralizados de manera que un triple o un doble efecto puede convertirse en un simple efecto. Esto es útil para producciones menores o para el propio funcionamiento del multi-efecto, ya que no hay desperdicios de producto cuando se está terminando la producción.

- Condensadores directos o indirectos en función del tamaño del evaporador. Bajas pérdidas de carga, elevado coeficiente de intercambio térmico y elevado caudal de circulación.
- Reducidos coeficientes de incrustación y ensuciamiento que reducen la frecuencia de ciclos de limpieza.
- Ausencia de ruidos y vibraciones, menores esfuerzos en las uniones, tuberías y soldaduras que a largo plazo alargan la vida del equipo.
- Materiales de primera calidad: aceros AISI 304 y AISI 316. Calidad y fiabilidad: válvulas y bombas de primeras marcas del mercado.
- Control del grado brix (concentración) con refractómetro de alta calidad y precisión.
- Bajos costes en piezas de repuesto y mantenimiento

#### **1.4.2 Capacidad de un evaporador**

La velocidad de transmisión de calor ( $q$ ) que sucede en la superficie de calefacción de un evaporador está dada por el producto entre el área de transferencia de calor, el coeficiente global de transferencia de calor ( $U$ ) y la diferencia de temperatura entre la entrada y salida de la corriente que intercambiará calor (Padilla, 2013).

La capacidad de un evaporador depende del estado en que se encuentre la alimentación, así pues, si ésta se encuentra a la temperatura que corresponde a la ebullición de fluido a la presión del sistema, todo el calor que esta posee estará disponible para realizar la evaporación y por ende la capacidad será proporcional a  $q$ ; si dicha alimentación se encuentra fría, es decir por debajo del punto de ebullición, la energía que debe ser suministrada para llegar a la ebullición hará que la capacidad disminuya ya que parte de la energía no se está utilizando para el proceso de evaporación. Por otro lado, si la alimentación se encuentra a una temperatura superior a la de ebullición, una parte de ella se evaporará espontáneamente y por ende la capacidad será muy superior, a este fenómeno se le denota como evaporación flash (Ayala, 2013; Abud et al., 2017).

## **1.5 Características fundamentales de los evaporadores TASTE**

El evaporador TASTE (Anexo 2) es ampliamente utilizado para concentrar tanto los jugos turbios como los claros, entre los que se pueden mencionar naranja, toronja, mandarina, limón, lima, piña, uva, manzana, fruta bomba y aloe; obteniéndose un producto con daños térmicos considerablemente menores que en cualquier otro proceso de evaporación (EETA, 2016).

Estas máquinas aplican el principio de regulación de la temperatura por vacío, para lograr que la temperatura de ebullición sea más baja de la que sería a la presión atmosférica normal. Los productos obtenidos presentan una alta concentración, conservando su color y calidad requerida en el mercado. Estos jugos en su origen tienen un contenido de agua de aproximadamente el 90% y 10% de sólidos soluble total o °Brix.

Los jugos procesados en estos evaporadores se evalúan en términos de °Brix, el cual determina la medida del porcentaje del peso de sólidos solubles (los azúcares y los ácidos) en una muestra de jugo, comparada con el peso de la muestra entera (gravedad específica). Una solución de 65 °Brix contiene 65 g de sólido disuelto por 100 g de líquido (Castillo, 2017).

Los modelos más difundidos de evaporadores TASTE poseen varias fases de concentración y calentamiento. En este sistema de evaporación el jugo es precalentado antes de entrar a la primera columna de evaporación, para elevar su temperatura en la entrada del primer efecto y aprovechar al máximo el vapor de caldera. Además, el vapor se usa más de una vez antes de perderse en la condensación (Castillo, 2017).

Los evaporadores TASTE están conformados por: varios haces de tubos o calandrias en el interior de cada etapa, separadores de vapor, precalentadores, un condensador barométrico y varios enfriadores rápidos del concentrado obtenido.

**Entre las ventajas de estos evaporadores se puede destacar:**

- Baja inversión capital.
- Máquinas sin contratiempos mecánicos.
- Pasteurización del jugo durante la evaporación.

- Recogida de esencias.
- Producción de concentrado de alta calidad.
- Los requerimientos de potencia eléctrica son menores que con otros tipos evaporadores.
- Flexibilidad del evaporador (reducción del caudal de alimentación hasta en un 80%).
- Bajo mantenimiento.
- Bajo costo de instalación (la máquina es ensamblada horizontalmente y se levanta en posición vertical en la planta).

En la actualidad existe una gran cantidad de evaporadores TASTE instalados en plantas de jugo en todo el mundo. Entre los países que cuentan con más de 10 plantas de procesamiento con evaporadores de esta arquitectura se encuentran: Estados Unidos, Brasil, China, México, Japón, Italia, Australia e Israel. La mayoría del resto de países productores de cítrico como Cuba, Sudáfrica, España y Tailandia también poseen plantas de concentrado de este tipo (FAOSTAT, 2017).

### **Conclusiones parciales**

1. La industria del procesamiento de jugos de frutas tropicales es uno de los negocios agroindustriales más importantes del mundo y Cuba no está exenta de ello.
2. En el procesamiento industrial de jugos de frutas, la evaporación constituye una operación importante, tiene el propósito de obtener los concentrados y alcanzar los parámetros de calidad requeridos.
3. Para un mejor uso de la energía disponible se utilizan evaporadores de múltiples efectos, estos reducen el consumo de vapor e incrementan la eficiencia del equipo.
4. Los procesos de obtención de jugo concentrado son procesos multivariables cuya supervisión y control es indispensable para obtener un producto de calidad de acuerdo a los estándares de la industria.

## Capítulo 2 Materiales y métodos

En el presente capítulo se realiza una descripción y evaluación del proceso productivo de la planta procesadora de jugo concentrado congelado de piña. Se realiza el análisis de la disciplina tecnológica, se describen las metodologías para el cálculo en instalaciones evaporadoras de múltiple efecto, y se plantea el procedimiento para la caracterización estadística de la operación del evaporador. Además, se presenta la metodología en el análisis de la factibilidad económica para la inversión propuesta.

### 2.1. Descripción del proceso tecnológico de producción

Las frutas son transportadas (anexo 3) desde el frente de cosecha a través de camiones hasta la industria, luego se procede a su pesaje en la báscula, continuando hasta el área de recepción donde se descargan, en este sitio es tomado al azar una muestra, para analizar algunos parámetros de calidad de las frutas, se determina la cantidad (%) de sólidos solubles (Brix), acidez y contenido de jugo. Desde el área de descargue son transportadas y elevadas por cintas transportadoras y elevadores de cangilones hasta los silos pasando por una mesa de preselección donde son separados las piedras, palos, pedúnculos que puedan traer desde el campo. Después de un almacenamiento temporal en los silos, la fruta es trasladada por canal de agua hasta la línea de trabajo constituida por:

Una lavadora, en este equipo las frutas son lavadas con agua tratada con hipoclorito de sodio, el contenido de cloro en el agua tiene que ser de 0.5 – 1.0 p.p.m para eliminar posibles bacterias o microorganismos presentes en las frutas. El recorrido continúa, subiendo las frutas por un elevador de cangilones hasta el transportador inclinado que alimenta la prensa.

A partir del jugo extraído se obtienen dos productos mediante procesos diferentes:

Obtención de jugo concentrado congelado

Obtención de jugo simple

**Jugo Concentrado Congelado:** al jugo obtenido en la prensa se le separa la pulpa grosera en los tamizadores, el jugo tamizado se impulsa a través de una

centrífuga clarificadora para disminuir el contenido de pulpa hasta un valor deseado y enviado al evaporador, equipo en el cual por intercambio con vapor de agua se le extrae al jugo, la esencia y el agua que este contiene. Al evaporarse gran parte del agua que contenía el jugo se obtiene concentrado. Este jugo es enviado a los tanques de ajuste cada uno de 20 000 L y previstos de agitadores con el objetivo de homogenizar el lote, si el concentrado queda pasado de °Brix previsto se le agrega agua de la que se separó del jugo en el concentrador, y si queda por debajo del °Brix se le añade concentrado hasta llevarlo al valor adecuado. Estos tanques están contruidos de acero inoxidable y presentan un doble forro por donde circula amoníaco como agente refrigerante para mantener su temperatura, ajustado el °Brix, y el lote homogéneo, el jugo concentrado se bombea hacia la llenadora, donde el producto es envasado en dos bolsas de nylon que van dentro de los bidones, una vez llenas las bolsas con el peso requerido, se amarran con un atalazo, posterior a esto es tapado el bidón, asegurada su tapa y almacenados en las cámaras frías a -15 °C, listos para su exportación.

**Jugo Simple Congelado:** al jugo obtenido en la prensa se le separa la pulpa grosera en los tamizadores, el jugo tamizado se impulsa a través de una centrífuga clarificadora para disminuir el contenido de pulpa hasta un valor deseado a diferencia del proceso anterior este no pasa por los evaporadores sino que de forma natural se envasa en tanques de 10 000 litros donde se prepara el lote, con los requisitos adecuados y mediante una bomba se alimenta un intercambiador de calor donde se pasteriza el jugo en intercambio con vapor, con el objetivo de darle el tratamiento térmico adecuado y así eliminar microorganismos y bacterias. El jugo de piña es pasterizado a una temperatura que oscila entre 98 – 102 °C, con retención de 10 segundos. El jugo que entra al pasterizador es precalentado, posteriormente es sometido a un primer enfriamiento con agua de torre, y después pasa por otros dos intercambiadores de calor a placas que utiliza como agente refrigerante el glicol para enfriarse hasta 4 °C, ya con esta temperatura se puede envasar y el flujo es bombeado a la llenadora, se envasa en dos bolsas de nylon que van dentro de los bidones, una vez llenas las bolsas con el peso requerido se

amarran con un atalazo, posterior a esto es tapado el bidón, asegurada su tapa y almacenados en las cámaras frías a  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para su posterior exportación.

2.1.1 Descripción de las diferentes etapas tecnológicas de la planta.

### **Lavado de frutas**

Descripción de la operación:

La fruta almacenada se somete a un proceso de lavado con agua a temperatura ambiente para eliminar las suciedades u otras sustancias que afectan su limpieza.

### **Prensa**

1. Descripción de la operación:

Las piñas caen por gravedad en la prensa las cuales son prensadas para obtener el jugo, la parte sólida va al sinfín de desecho para alimento animal.

### **Tamizado**

1. Descripción de la operación:

El jugo bruto procedente de la prensa, alimenta por bombeo a los tamizadores, con el objetivo de eliminar las partículas groseras y disminuir el contenido de pulpa.

### **Centrifugación**

1. Descripción de la operación:

El jugo tamizado se impulsa a través de una centrífuga clarificadora cuando es necesario disminuir el contenido de pulpa hasta un valor deseado.

### **Concentración**

Descripción de la Operación:

El jugo recién extraído se concentra en uno de los tres evaporadores existentes para este fin, según el caudal de jugo a evaporar.

### **Ajuste**

1. Descripción de la operación:

El concentrado obtenido puede ser ajustado, en función de su posterior uso, en ambos casos se requiera que el producto esté en depósitos donde sea posible su homogenización para evitar variaciones en las características físicas y químicas debido a las distintas características de la materia prima. Se utiliza el sistema de enfriamiento para la conservación del producto en caso de sufrir paradas prolongadas.

### **Rotulado de bidones**

Descripción de la operación:

Los bidones metálicos se rotulan manualmente declarando la siguiente información:

Nombre del producto

Empresa productora

Empresa exportadora

Peso neto

Peso bruto

Tara

No. del lote

No. del bidón

Sólidos solubles

Marcas gráficas de identificación

### **Envasado**

Descripción de la operación:

El jugo concentrado congelado se envasa en bidones de acero con peso neto de 245 kg con dos bolsas de polietileno para evitar el contacto del producto con otra superficie.

Las bolsas de polietileno estarán limpias y sin roturas.

Cada bidón tendrá marcado la información del lote, así como las marcas gráficas acorde a lo establecido en las Instrucciones de Trabajo.

## **Almacenamiento**

Descripción de la operación:

Los bidones se colocan en paletas y se conducen a las cámaras de enfriamiento de - 15°C, donde estará hasta tanto no tome la temperatura máxima para poder ser transportado para la exportación.

## **Transportación**

1. Descripción de la operación:

El producto se transportará en vehículos refrigerados. Cuando el tiempo de transportación no excede las 6 horas se podrá transportar en otros vehículos tapando adecuadamente los bidones.

2.1.2 Caracterización de los principales equipos.

Son varios los equipos que forman parte de la configuración tecnológica de la planta de producción, dentro de los principales se encuentran:

### **Prensa**

Prensa horizontal revestida en acero negro con bandeja y partes en contacto con el producto de acero inoxidable, malla inoxidable de 0.8 mm. Para su buen funcionamiento en general, es importante velar que los parámetros fundamentales de operación estén en los valores adecuados, por ejemplo:

La presión (6 bar) y caudal de aire (14 l/min).

Sus dimensiones son aproximadamente 1.75 m de ancho, 6.20 m de largo y 1 m de altura. Esta máquina es capaz de procesar 6 - 8 ton de fruta en una hora. Este sistema de extracción garantiza buena calidad en los jugos obtenidos, y está ubicada en el área de extracción. Para la recolección del jugo hay un tanque de almacenamiento de 3000 litros de capacidad de acero inoxidable y el jugo es bombeado a los tamizadores por una bomba centrífuga.

### **Tamizadores**

En cada una de las líneas existe un tubo colector que recoge por gravedad el jugo procedente de las cajas de jugo de los extractores, posteriormente pasa por 4 tamizadores de jugo donde este es filtrado y se elimina la pulpa grosera, contruidos de acero inoxidable, lleva incorporado un controlador neumático

de salida de pulpa incluyendo controlador y manómetro de 3 Kg./cm<sup>2</sup> máximo, en esta operación se controla la presión en el tamizador, la fibra rápida (ajuste del tamizador) y la pulpilla (o presencia de pulpa grosera en el jugo) controlando así el normal funcionamiento de los tamizadores.

### **Centrifuga**

En la separación de sólidos y fluidos de diferentes densidades se utiliza la fuerza centrífuga reemplazando la fuerza de gravedad, dando como resultado una más rápida sedimentación. Esta fuerza es la que causa la sedimentación de las partículas más pesadas a través de la película de líquido, y hace que la fase ligera vaya hacia el centro y la fase pesada hacia fuera o sea hacia las paredes.

Clarificación:

Tiene como objetivo obtener un efluente puro, es decir, centrifugación del jugo para obtener uno de menor contenido de pulpa.

La estructura es de hierro fundido y la parte en contacto con el jugo de acero inoxidable AISI 316.

Entre los parámetros de operación para su buen funcionamiento son:

Presión de agua de maniobra (13 kg/cm<sup>2</sup>)

Presión de aire (6 kg/cm<sup>2</sup>).

Tiempo de descarga parciales 10 min.

Tiempo de descargas totales 1 h.

### **Evaporadores**

Los evaporadores TASTE (Termo Acceleration Short Time Evaporator), son los encargados de concentrar el jugo obtenido de la fruta, estos aplican el principio de reducción de la temperatura de ebullición por enrarecimiento (vacío) del aire. Se obtienen productos concentrados sin deterioro de sus características organolépticas.

Estos son evaporadores de múltiplo efecto que quiere decir que el vapor se usa más de una vez antes de perderse en la condensación. Están compuestos por

varias etapas de evaporación que son cuerpos con un haz de tubos dentro de una coraza.

En estos intercambiadores es importante el control de varios parámetros de operación para su buen funcionamiento como son:

Caudal de vapor (4 500 kg/h)

Presión de vapor (13 kg/cm<sup>2</sup>)

Presión del vacío (- 0.9 kg/cm<sup>2</sup>)

Temperatura a la salida (máximo 15 °C).

La estructura de estos equipos es de acero al carbono, las tuberías y accesorios que están en contacto con el producto son de acero inoxidable 316. Para evitar la corrosión en las partes de acero común se prepara la superficie y se recubre con pinturas primarias y secundarias epóxicas cada cierto tiempo.

Las dimensiones aproximadas de estos equipos son:

Largo: 7 m

Ancho: 5 m

Altura aproximada: 30 m

La capacidad de evaporación total es de 40 000 lb/h de agua evaporada.

### **Llenadora**

Después de estandarizado el lote con las características de calidad requeridas el jugo concentrado es bombeado hacia la llenadora, este equipo es semiautomático y es donde se envasa el producto terminado en bidones de 200L, estos pasan a almacenarse en cámaras de congelación para su posterior exportación. Está formada por un sistema de válvulas automáticas que funcionan según la señal de unos sensores o celdas de carga que se encuentran en la báscula para garantizar que cada bidón tenga el peso requerido. Esta construida de acero inoxidable AISI 316 resistente a la corrosión. Tiene una capacidad de 15 t/h. Pertenece al área de llenado, solo funciona cuando se envasan los productos terminados. (Departamento de Tecnología, revisión 2015).

## **2.2 Determinación de los parámetros de sólidos solubles y temperatura de ebullición del jugo de piña en el laboratorio**

Para la determinar estos parámetros se toman valores en diferentes etapas del proceso para realizar los análisis a escala de laboratorio de la temperatura de evaporación a diferentes Brix.

### **2.2.1 Determinación del contenido de sólidos solubles del jugo de piña (grados Brix)**

#### 1. Objetivo y alcance

El presente procedimiento establece el método de ensayo para la determinación del contenido de sólidos solubles por refractometría en jugos de frutas y vegetales.

#### 2. Generalidades

- El ensayo se realizará por duplicado y se calculará el promedio de sus resultados.
- Por agua se entenderá agua para análisis.
- Los medios de medición deben estar verificados y aptos para su uso.

#### 3. Fundamento del método

El método se basa en la medida directa del ángulo límite de refracción, manteniéndose las sustancias dentro de las condiciones de isotropismo y transferencia.

#### 4. Equipamiento

- Refractómetro digital de mano o de mesa, de precisión  $\pm 0.5$  % de sólidos solubles.
- Termómetro de líquido en vidrio con un intervalo de 0 a 50°C, con precisión de  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ .

#### 5. Procedimiento

##### 5.1. Preparación de la porción de ensayo

- Para productos líquidos, semilíquidos y pastosos se trabaja directamente con la muestra homogeneizada.

- Para productos que constan de una fase sólida y una líquida, se toma una porción de la muestra de ensayo y se coloca en un pedazo de papel de filtración rápida o en un pedazo de algodón, se espera que exude.

## 5.2 . Determinación

- Se coloca en el prisma de medición una o dos gotas de la porción de ensayo y se procede a efectuar la lectura.
- Para productos de elevada acidez, como los jugos cítricos, se efectúa la corrección adicional por acidez.
- Cuando sea necesario ajustar por temperatura, según el refractómetro que se utilice, se efectúa la corrección por temperatura.

## 6. Expresión de los resultados

El resultado obtenido se expresa en por ciento de sólidos solubles.

## 7. Aproximación de los resultados

Los resultados se dan aproximados hasta la décima.

### **2.2.2 Determinación de la temperatura de ebullición del jugo de piña a diferentes concentraciones y presión atmosférica**

#### **Descripción de la instalación.**

1. Balón de destilación de 200 ml.
2. Condensador liso.
3. Mechero
4. Beaker de 500 ml
5. Termómetro de rango 0 – 200 °C con error de +/- 0.1°C
6. Soporte universal.

#### **Técnica operatoria.**

1. Comprobar la limpieza del equipo.
2. Verter 100 ml del líquido en estudio en el balón de destilación.
3. Colocar el termómetro en la tapa del balón de destilación de forma tal que sea fácil realizar las lecturas de la temperatura en el mismo.

4. Encender el mechero y colocarlo en el centro del fondo del balón con la llama ajustada.
5. Realizar la lectura de la temperatura en el momento en que caigan las primeras gotas del condensado del líquido y la temperatura se mantenga constante.
6. Realizar el experimento varias veces con diferencia de temperaturas de 1°C y determinar el promedio de las lecturas.
7. Desmontar el equipamiento y limpiar todos los utensilios de trabajo.

### **2.3. Metodología para la evaluación estadística de la estación evaporadora**

Con la finalidad de obtener criterios que caractericen de forma estadística el funcionamiento de este equipo y permita detectar las desviaciones significativas de los parámetros de operación normados, se realiza un estudio estadístico a través de la media, la desviación estándar, el coeficiente de variación y las cartas de control.

A través de la ecuación (2.1) se determina la media de la muestra.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad 2.1$$

Donde:

$x_i$ : Valor de la variable x en la medición i.

$n$ : Tamaño de la muestra.

$\bar{x}$ : Media de la muestra.

A través de la ecuación (2.2) se determina la desviación estándar de la muestra.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad 2.2$$

Donde:

$\bar{x}$  : Media de la variable x.

$n$  : Número de mediciones.

S: desviación estándar.

El coeficiente de variación (CV) se determina a partir de la ecuación (2.3), es otra medida de la variabilidad. Se recomienda que sea menor que un 12%.

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} * 100 \quad 2.3$$

Las cartas de control son gráficos cronológicos, que sirven para poder analizar el comportamiento de los diferentes procesos y poder prever posibles fallos de producción mediante métodos estadísticos. La correcta aplicación de esta herramienta aumenta la eficiencia y la productividad del trabajo, y permite detectar cambios y tendencias importantes en los procesos (Pérez, 2009).

#### 2.4. Ecuaciones de balance de materiales

$$H_2O_{evap} = JN - JC \quad 2.4$$

$$JN * \text{°Bx}_{JN} = JC * \text{°Bx}_{JC} \quad 2.5$$

$$JN = m * \% \text{ de jugo en peso de las frutas} * n \quad 2.6$$

$$H_2O_{evap} = JN - \left( \frac{JN * \text{°Bx}_{JN}}{\text{°Bx}_{JC}} \right) \quad 2.7$$

$$H_2O_{evap} = JN * \left( 1 - \frac{\text{°Bx}_{JN}}{\text{°Bx}_{JC}} \right) \quad 2.8$$

Donde:

$H_2O_{evap}$ : Flujo de agua evaporada (kg/h).

JN: Flujo de jugo natural (kg/h).

JC: Flujo de jugo concentrado (kg/h).

$\text{°Bx}_{JC}$ : Brix del jugo concentrado.

$\text{°Bx}_{JN}$ : Brix del jugo natural.

$m$  : Masa de fruta (kg).

$n$  : Número de extractores.

##### 2.4.1 Método de cálculo de instalaciones evaporadoras de múltiple efecto

Aplicando el método de cálculo de instalaciones evaporadoras de efecto múltiple desarrollado por Pavlov (1981); con el propósito de conocer los requerimientos del evaporador.

1. Determinación de la cantidad de agua evaporada en los cuerpos de la instalación a través de la ecuación (2.9).

$$W = \left(1 - \frac{X_{in}}{X_f}\right) \quad 2.9$$

Donde:

$X_{in}$ : Fracción másica de la sustancia disuelta en la solución inicial.

$X_f$ : Fracción másica de la sustancia disuelta en la solución final.

$W$ : Flujo másico del agua evaporada (kg/h).

2. Distribución de la carga por los cuerpos, se calcula a través de la ecuación (2.10).

$$W_n = \frac{W}{n} \quad 2.10$$

Donde:

$n$  : Número de etapas de la instalación.

$W$  : Flujo másico del agua evaporada (kg/s).

3. Cálculo de las concentraciones de la solución en los cuerpos.

- Se determina la cantidad de solución que pasa de un cuerpo a otro.

$$G_n = G_{in} - W_n \quad 2.11$$

Donde

$G_{in}$ : Flujo másico de la solución inicial (kg/s).

$n$ : referido al número del cuerpo.

- Se determinan las concentraciones.

$$x_n = \frac{G_{in} * X_{in}}{G_{in} - W_n} \quad 2.12$$

4. Distribución de salto de presiones:

- Se determina la diferencia entre la presión del vapor calentador (en el cuerpo I) y la del vapor en el condensador barométrico.

$$\Delta P = 12.659 \text{ atm (Se ha prefijado) (Snyder y Biot, 2004).}$$

- Se distribuye este salto de presiones en partes iguales entre los cuerpos, es decir, se divide esta cantidad entre el número de cuerpos de la instalación.

$$\Delta P = \frac{\Delta P_{fijado}}{n} \quad 2.13$$

Donde:

n: Número de cuerpos.

- Se determinan las presiones absolutas correspondientes a los cuerpos de forma sucesiva, partiendo del último cuerpo (que tendrá su presión prefijada) y sumándole el salto determinado en el paso anterior.
- En las tablas con características de vapores, (Anexo 4) se hallan las temperaturas del vapor de agua saturado y los calores específicos de vaporización para las presiones absolutas adoptadas en los cuerpos; estas temperaturas serán precisamente las temperaturas de condensación de los vapores secundarios en los cuerpos.

#### 5. Cálculo de las pérdidas térmicas en los cuerpos.

- Debidas a la depresión.

A través de la ecuación (2.14) se calculan las pérdidas térmicas por concentración.

$$\Delta T_{\text{depresión}} = T_{eb(\text{soluc})} - T_{eb(H_2O)} \quad 2.14$$

Donde:

$T_{eb(\text{soluc})}$ : Temperatura de ebullición del jugo de piña a presión atmosférica, (°C).

$T_{eb(H_2O)}$ : Temperatura de ebullición del agua a presión atmosférica, (°C).

Para simplificar el cálculo no se precisa la depresión de temperatura relacionada con la diferencia entre la presión en los cuerpos y la atmosférica.

- Debidas al efecto hidrostático

Con la ecuación (2.15) se calculan las pérdidas térmicas debido al efecto hidrostático.

$$\Delta T_{hidrostatico} = T_m - T_{eb} \quad 2.15$$

Donde:

$T_{eb}$ : Temperatura de ebullición del agua a la presión de operación del efecto (Ps), (°C).

$T_m$ : Temperatura de ebullición del agua a la presión en la capa media del líquido (Pm), (°C).

La presión en la capa media del líquido se calcula a partir de la ecuación (2.16).

$$P_m = P_s + \Delta P_h \quad 2.16$$

Donde:

Ps: Presión de saturación del vapor en el efecto del evaporador, (MPa).

$\Delta P_h$ : Caída de presión hidrostática, (MPa).

Se considera que la distancia desde el nivel superior del líquido en el aparato hasta el centro de la superficie de calentamiento bañada por el líquido es igual a 0,7 m.

La caída de presión hidrostática se calcula a partir de la ecuación (2.17).

$$\Delta P_h = \rho * g * H_m \quad 2.17$$

Donde:

Hm: Altura desde el nivel superior del líquido en el evaporador hasta el centro de la superficie de calentamiento bañada por el líquido, (m).

g: Constante de aceleración de la gravedad, (9,8 m/s<sup>2</sup>).

Para determinar la densidad del jugo de piña ( $\rho$ ), se utiliza la ecuación (2.18), que depende de los valores de concentración de los sólidos solubles y la temperatura de la disolución (Choi y Okos, 1986).

$$\rho = \rho_w * (1 - X_s) + \rho_s * X_s \quad 2.18$$

Donde:

$$\rho_w = 999.89 - 0.06033 * T - 0.00367 * T^2 \quad 2.19$$

$$\rho_w = 1469.3 + 0.5467 * T - 0.06965 * T^2 \quad 2.20$$

$\rho_w$ : Densidad del agua presente en el jugo de piña, (kg/m<sup>3</sup>).

$\rho_s$ : Densidad de los sólidos solubles presentes en el jugo de piña, (kg/m<sup>3</sup>).

$X_s$ : Fracción másica de sólidos solubles en el jugo de piña (°Brix).

T: Temperatura de ebullición de la disolución del jugo de piña, (°C).

- Debidas a la resistencia hidrodinámica

Las pérdidas térmicas debidas a la resistencia hidrodinámica, es un incremento de la temperatura ocasionado por la fricción resultante de la circulación del fluido. Se considera que para evaporadores químicos los valores se encuentran entre 1 – 1,5 °C producto a que esta pérdida es casi imposible de determinar (Kern, 1999).

$$\Delta T_{hidrodinámica} = (1 - 1,5^{\circ}\text{C}) * n_{intervalos} \quad 2.21$$

Donde:

$n_{intervalos}$  : Número de intervalos. En total hay cinco intervalos (I-II, II-III, III-IV, IV-V, V- condensador).

- La suma de todas las pérdidas de temperatura para la instalación en conjunto se calcula por la ecuación (2.22).

$$\sum \Delta T_{pérdidas} = \Delta T_{depresión} + \Delta T_{hidrostático} + \Delta T_{hidrodinámica} \quad 2.22$$

## 6. Diferencia útil de temperatura

La diferencia útil de temperatura se calcula por la ecuación (2.23), y es diferencia entre la diferencia de temperatura total y la suma de todas las pérdidas de temperatura de la instalación.

$$\Delta T_{útil} = \Delta T_{total} - \Delta T_{pérdidas} \quad 2.23$$

Donde:

$\Delta T_{total}$ : Diferencia entre las temperaturas total del vapor calentador y la del vapor saturado en el último cuerpo, (°C).

$\Delta T_{pérdidas}$ : Suma de todas las pérdidas de temperatura para la instalación en conjunto, (°C).

$\Delta T_{útil}$ : Diferencias útiles de temperaturas por los cuerpos (°C).

7. Determinación de los coeficientes de transmisión del calor por los cuerpos.

La experiencia ha demostrado que  $U$  depende de las propiedades de la disolución, del medio de calentamiento, de la geometría de la superficie y del tipo de evaporador. Estos coeficientes pueden encontrarse en la literatura especializada según el tipo de fluido. (McCabe et al., 2007).

8. Composición de los balances térmicos para los cuerpos (sin tener en cuenta las pérdidas de calor).

Dadas las condiciones del sistema el jugo se suministra para concentrarlo por vaporización calentado hasta la temperatura de ebullición en el cuerpo I, a través de la ecuación (2.24), y para los cuerpos restantes se calcula a través de la ecuación (2.25).

$$q_1 = W_1 * r_1 \quad 2.24$$

Donde:

$q_1$ : Cantidad de calor transmitido en el cuerpo 1, (W).

$r_1$  : Calor de vaporización (J/kg).

$W_1$ : Flujo másico de vapor directo que se consume en el primer efecto, (kg/h).

$$q_n = W_n * r_n - G_{n-1} * c_{n-1} * (T_{n-1} - T_n) \quad 2.25$$

Donde:

$q$ : Cantidad de calor transmitido, (W).

$r$ : Calor de vaporización (J/kg).

$W$ : Flujo másico de vapor directo consumido, (kg/h).

$T$ : Temperatura (°C).

$G$ : Flujo másico del jugo, (kg/h).

$c$ : Calor específico (J/kg°C).

$n$ : Referido al cuerpo que se calcula.

9. Flujo de vapor calentador en el cuerpo I, se calcula a través de la ecuación (2.26) y flujo específico de vapor, a través de la ecuación (2.27).

$$G_{vap.cal} = \frac{q_1}{r_1} \quad 2.26$$

$$d = \frac{G_{vap.cal}}{W} \quad 2.27$$

10. Distribución de la diferencia útil de temperaturas entre los cuerpos

Se hace en dos variantes: partiendo de la condición de que la superficie total sea la mínima ( $\sqrt{q/U_D}$ ) y de la condición de que los cuerpos tengan una misma superficie ( $q/U_D$ ).

$$\Delta T = \frac{\Delta T_{\acute{u}til} * \sqrt{q/U_D * 103}}{\sum \sqrt{q/U_D * 103}} \quad 2.28$$

Donde:

$\sqrt{q/U_D * 103}$ : Es un factor de proporcionalidad.

$\Delta T_{\acute{u}til}$ : Diferencias útiles de temperaturas por los cuerpos ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$\Delta T$ : Distribución de las diferencias útiles de temperaturas por los cuerpos ( $^{\circ}\text{C}$ ).

11. Determinación del área de la superficie de calentamiento.

Para calcular el área de transferencia de calor se emplea la ecuación (2.29), (McCabe et al. 2007).

$$A = \frac{q}{U_D * \Delta T} \quad 2.29$$

Donde:

A: Área de la superficie de transmisión del calor ( $\text{m}^2$ ).

$U_D$ : Coeficiente global de transmisión de calor ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ).

q: Cantidad de calor transmitido, (W).

$\Delta T$ : Distribución de las diferencias útiles de temperaturas por los cuerpos ( $^{\circ}\text{C}$ ).

## **2.5 Metodología de cálculo para la evaluación económica de una propuesta de inversión para la ampliación del área de evaporación**

Para realizar una evaluación para una propuesta de inversión se realiza el análisis de la factibilidad de la misma, para lo cual es necesario aplicar una metodología de cálculos económicos con la consiguiente determinación de diferentes indicadores.

Partiendo del costo de adquisición del equipamiento puede estimarse por diferentes métodos el costo total de la inversión inicial. Un método rápido,

aproximado y apropiado al nivel de precisión requerido es el planteado por Brizuela, (1987).

$$I_{total} = \text{Capital inmovilizado} = 1,4 * C_{adq total} \quad 2.30$$

Existen diversos criterios para evaluar la eficiencia de la producción, los indicadores más conocidos son ganancia (G), rentabilidad (Rn) y costo por peso producido (C/\$).

### Ganancia.

La obtención de ganancia es una condición indispensable para considerar que la producción es eficiente. Se determina la ganancia a partir de la expresión siguiente:

$$G = VP - CP \quad 2.31$$

Donde:

G: Ganancia (\$/año).

CP: Costo de producción con amortización (\$/año).

VP: Valor de la producción (\$/año).

El valor de la producción (VP) se determina como:

$$VP = \text{pup} * N \quad 2.32$$

El costo de producción (CP) se calcula empleando la siguiente expresión:

$$CP = CF + CV \quad 2.33$$

$$CP = CF + \text{cuv} * N \quad 2.34$$

La amortización (A) se determina como:

$$A = \frac{Ii}{Td} \quad 2.35$$

Donde:

pup: Precio unitario del producto (\$/t).

N: Volumen de producción real (t/año).

CF: Costos fijos amortizados (\$/año).

cuv: Costo unitario variable (\$/u).

A: Amortización (\$/año)

li: Inversión inicial (\$).

Td: Tiempo de vida útil (años).

### Rentabilidad.

La rentabilidad de un proceso productivo se determina como:

$$Rn = \frac{G}{CP} * 100 \quad 2.36$$

Donde:

Rn: Rentabilidad (%).

G: Ganancia (\$/año), se tiene en cuenta la amortización.

CP: Costo de producción amortizado (\$/año).

### Costo por peso de producción (C/\$).

El costo por peso caracteriza el volumen de los gastos de producción y se calcula como la relación entre el costo de producción y el valor de la producción, expresándose ambas magnitudes en iguales unidades de medidas. Lo más favorable es que el costo por peso sea lo menor posible. En términos económicos es lo que se gasta en producir un peso del valor de la producción. Se determina como:

$$Costo/Peso = \frac{CP}{VP} \quad 2.37$$

Donde:

VP: Valor de producción (\$/año).

El valor obtenido debe ser menor que 1.

CP: Costo de producción total (\$/año).

Estimar la rentabilidad de una inversión supone conocer si se ganará dinero en ella, es decir si el flujo de caja obtenido compensa todos los egresos hechos sea por inversión o costos; si esto se da, se puede decir que una inversión es rentable. Existen diversos criterios para evaluar la rentabilidad de una inversión, los indicadores más conocidos son, el por ciento de retorno (%Ret),

plazo de recuperación de la inversión (PRI), valor actual neto (VAN) y tasa interna de rentabilidad (TIR).

#### % del Retorno de la Inversión.

Representa el retorno de la inversión a través de la ganancia cada año, es un indicador de seguridad adicional que tiene que cumplirse para ser aprobado un proyecto. Se determina por la expresión:

$$\%Ret = \frac{G}{Ii} * 100 \quad 2.38$$

Donde:

G: Ganancia sin amortización (\$/año).

Ii: Inversión (\$).

#### Plazo de Recuperación de la Inversión (PRI).

Significa el tiempo que demora el inversionista en recuperar la inversión. El mismo es considerado un indicador que mide tanto el pago del proyecto como también el riesgo relativo ya que permite anticipar los eventos en un corto plazo. Este se determina como:

$$PRI = \frac{Ii}{G} \quad 2.39$$

Donde:

PRI: Plazo de recuperación de la inversión.

G: Ganancia sin amortización (\$/año).

Ii: Inversión (\$).

#### Valor Actual Neto (VAN).

El VAN de una inversión entiende la suma de los valores actualizados de todos los flujos netos de caja esperados del proyecto, deducido el valor de la inversión inicial. Si un proyecto de inversión tiene un VAN positivo, el proyecto es rentable. Entre dos o más proyectos, el más rentable es el que tenga un VAN más alto. Para obtener este valor se realiza la tabla de flujo de caja, considerándose un 15% de interés y 15 años de vida útil. Se determina mediante la ecuación:

$$VAN(+) = S_0 + \frac{S_1}{(1+i_1)^1} + \frac{S_2}{(1+i_1)^2} + \dots + \frac{S_n}{(1+i_1)^n} \quad 2.40$$

Donde:

VAN (+): es el valor actual neto positivo (\$).

S: es el movimiento de fondos (\$).

$i_1$ : es el interés (15%).

### Tasa Interna de Retorno (TIR).

La TIR de una inversión, está definida como la tasa de interés para la cual el valor actual neto es igual a cero. El TIR es la tasa de descuento que ayuda el valor presente de los flujos futuros de efectivos esperados o ingresos con el costo inicial del proyecto. Se determina como:

$$TIR = i_1 - \frac{VAN(+)*(i_1-i_2)}{VAN(+)-VAN(-)} \quad 2.41$$

El valor de TIR obtenido debe ser mayor que el interés vigente.

Donde:

TIR: Tasa interna de retorno (%).

VAN (+): Valor actual neto positivo (\$).

VAN (-): Valor actual neto negativo (\$).

$i_1$  Interés para el cual el VAN se hace positivo.

$i_2$ : Interés para el cual el VAN se hace negativo (\$).

### **Conclusiones parciales**

1. En este capítulo se presenta la metodología que se debe utilizar para realizar la evaluación del evaporador con la cual se determina la capacidad de evaporación y se propone además los pasos a seguir para hacer la valoración económica de la inversión prevista en el área de concentración.

## Conclusiones

La investigación ha estado dirigida fundamentalmente a la propuesta de una metodología para la evaluación de la capacidad de evaporación en el procesamiento de la piña en la UEB combinado industrial “Héroes de Girón”, a criterio de la autora se deben destacar las siguientes conclusiones:

1. La utilización de la metodología propuesta para la evaluación de la capacidad de evaporación en el procesamiento de los volúmenes actuales de producción de concentrado de piña, se puede brindar soluciones tecnológicas para disminuir las afectaciones en el área de concentración.
2. Si se realizan todos los pasos presentes en la metodología para la valoración económica de la producción, se puede fundamentar la ejecución del proyecto de inversión.
3. Con la evaluación del proceso productivo de la planta en cuanto a la capacidad requerida e instalada, se puede demostrar a través de balances de materiales en el área de evaporación, si se cubren las necesidades de capacidad de evaporación requerida para los volúmenes de fruta suministrados.
4. La realización de la evaluación estadística de los datos de los registros de control en el área de evaporación, se puede determinar si los valores cumplen con los rangos normados.

## **Recomendaciones**

Se recomienda que:

1. Aplicar la metodología propuesta para lograr la correcta evaluación del área de evaporación.
2. Darle continuidad al trabajo para así brindar soluciones tecnológicas que disminuyan las posibles afectaciones en el área de concentración y efectuar el proyecto de inversión para la ampliación del área de evaporación de la planta de producción, solucionando los problemas ocasionados debido a la capacidad, en el menor tiempo posible.

## Bibliografía

1. Abud Díaz, D. J., Durango Peluffo, P. R., y Ramos Querrero, N. E. (2017). *Diseño, construcción y puesta en marcha de un evaporador de doble efecto de serpentín horizontal para el laboratorio de operaciones unitarias*. (Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Químico), Universidad de San Aventura, Cartagena.
2. Aguiar, P.; Escobar, M.J. y Pássaro, C.P. (2012). *Cítricos: cultivo, poscosecha e industrialización*. Serie Lasallista Investigación y Ciencia, Colombia.
3. Anaya, B. (2015). *Las cadenas productivas con impacto económico y social: el caso de los cítricos en Cuba*. *Economía y Desarrollo*, 154 (1): 105-117.
4. Ayala Padilla, L. E. (2019). *Planteamiento metodológico para el diagnóstico de las condiciones de operación de planta de evaporación bajo condiciones de diseño establecidas por el fabricante*. (Proyecto Integral de Grado para optar el título de: Ingeniero Químico), Bogotá.
5. Brizuela, E. (1987) *Aspectos fundamentales del diseño de plantas industriales*. Tomo I y II. Editorial ISPJAE. La Habana.
6. Bischoff, K.P. and Gravois, K.A. (2003). *The development of new sugarcane varieties at the LSU AgCenter*. *Journal American Society of Sugar Cane Technologists*, Estados Unidos: 142–164.
7. Castillo Pérez, V. (2017). *Propuesta de instrumentación para el evaporador TASTE FOMESA del Combinado Agroindustrial “Victoria de Girón”*. (Trabajo de Diploma), Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Las Villas. Cuba.
8. Ceci, L.N. and Lorenzo, J.E. (2010). *Use of enzymes for non-citrus fruit juice production*. In Bayindrili, A. eds. *Enzymes in fruit and vegetable processing: chemistry and engineering applications*. CRC Press, Florida.
9. Cerrato, I. (2013). *Manual de producción de piña*. [En línea]. Disponible: <http://pronagro.sag.gob.hn/>.
10. Choi I. and Okos M. R. (1983). *The thermal properties of liquids foods*. Paper no. Winter meeting ASAE. Chicago, IL.
11. Codex Alimentarius. (2005). *Norma general del CODEX para zumos (jugos) y néctares de frutas*. (CODEX STAN 247-2005), USA.

12. Del Cisne Flores Salazar, E. (2017). *Diseño de una planta para el procesamiento de concentrado de maracuyá (passiflora edulis) por evaporación osmótica*. (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial), Escuela Politécnica Nacional, Quito.
13. Desiree, S., Deysi, P.-J., Pérez, C. M., y Yajaira, G. (2017). *Evaluación de la calidad de la materia prima para la elaboración de concentrado de piña*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Revista Científica A.S.A.
14. Díaz Pineda, J. (2017). *Evaluación del evaporador de múltiple efecto empleado en el procesamiento de tomate en el combinado industrial Héroes de Girón*. (Trabajo de diploma presentado para optar por el título de Ingeniero Químico), Universidad de Matanzas., Matanzas, Cuba.
15. Equipamiento E Tecnología de Alimentos, (2016). *Sistemas Evaporativos para Industria de Alimentos*. Brasil.
16. ETAL/PROFIT. (2017). *Evaporador T.A.S.T.E. Concentrador de baixa temperatura (BT) para sucos tropicais*. <https://www.google.com/?sa=t&source=web&rct=https://www.etaltecnologia.com.br/upload/EVAP>
17. FAOSTAT. (2017). *Datos normalizados*. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>.
18. Forero Longas, F., y Vélez Pasos, C. A. (2013). *Optimización de la concentración por evaporación osmótica del jugo de maracuyá (passiflora edulis)*. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
19. García, Y., Pérez J., García A., Hernández, A. (2011). *Determinación de las propiedades de calidad de la piña (Ananas Comosus) variedad Cayena Lisa almacenada a temperatura ambiente*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 20(1): 62-65.
20. Gémina. (2017). *Evaporadores de circulación forzada*. Procesos Alimentarios, S.L., from <https://www.google.com/?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.gemina.es/files/catalogue>.
21. Gómez Caturla, J. (2019). *Diseño de una unidad de evaporación multiefecto para la concentración de zumo de granada* (Tesis de Grado), Universitat Politècnica de València, España.

22. Heluane, H., Blanco, A., Hernández, M. R. (2013). *Planteamiento operativo de redes de evaporación*. En: Iberoamerican Journal of Industrial Engineering. vol. 5, no. 9, p. 358-375.
23. HRS. (2021). Heat Exchangers. Sistemas para concentración y evaporación. [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjc6ubJ8qf0AhUCtjEKHYmfC4QQFn\\_oECAIQAw&url=https%3A%2F%2Fwww.hrs-heatexchangers.com%2Fes%2Fsistemas%2Fsistemas-de-procesamiento-termico-para-la-industria-medioambiental%2Fsistemas-para-concentracion-y- evaporacion%2F%23%3A~%3Atext%3DLa%2520evaporaci%25C3%25B3n%2520es%2520una%2520manera%2Cproducto%2520final%2520concentrado%2520y%2520agua.&usg=AOvVaw1HWCviZGg\\_4DnHAJwIxT64](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjc6ubJ8qf0AhUCtjEKHYmfC4QQFn_oECAIQAw&url=https%3A%2F%2Fwww.hrs-heatexchangers.com%2Fes%2Fsistemas%2Fsistemas-de-procesamiento-termico-para-la-industria-medioambiental%2Fsistemas-para-concentracion-y- evaporacion%2F%23%3A~%3Atext%3DLa%2520evaporaci%25C3%25B3n%2520es%2520una%2520manera%2Cproducto%2520final%2520concentrado%2520y%2520agua.&usg=AOvVaw1HWCviZGg_4DnHAJwIxT64)
24. Hui, Y. and Evranuz, E. (2015). *Handbook of Vegetable Preservation and Processing*. 2da ed. New York: Editorial Taylor and Francis Group and CRC Press.
25. Ibarz, A and Falguera, V. (2014). *Juice Processing: Quality, Safety and Value – Added Opportunities*. New York: Editorial Taylor and Francis Group and CRC Press.
26. Jara, J. (2020). Evaporación al vacío. <https://es.scribd.com/document/472496624/5-Evaporacion-al-vacio>
27. Jiménez Herrera, M. G. (2015). *Desarrollo de una pulpa para uso industrial a partir de los residuos generados durante el procesamiento de jugo de piña en la empresa Florida Products S.A.* (Tesis de Grado), Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio.
28. Kern, D. Q. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor*. México: Editorial McGraw-Hill.
29. Kruspe, M. (2021). Concentración de Jugos Clarificados y Turbios. Los Jugos Despectinizados. <https://es.scribd.com/document/496681224/Concentracion-de-jugos-clarificados-y-turbios-Los-jugos-despectinizados>
30. Márquez, D. (2015). *Automatización de un prototipo tipo evaporador para la obtención de concentrado de naranja*. (Tesis de grado). Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional, México.

31. McCabe, W.; Smith, J. y Harriott, P. (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. (McGraw-Hill. Ed. 7ma ed.) México.
32. Morrison, K. R. (2015). *Reduction of fouling in falling-film evaporators by desing*. En: Food and Bioproducts Processing. Jan.Vol.93, P. 211-216.
33. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. FAO. (2016). *Producción de piña en el mundo* [Documento en línea]. Disponible: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/ QC/S>.
34. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. (2017). *Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina*. Boletín 2.
35. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. (2020). *Major tropical fruits - Preliminary market results 2019*. Rome, 3–4.
36. Orrego, C. E., Salgado Mayra, N., y Diaz, S. (2020). Productividad y Competitividad Frutícola Andina. Producto 9. Estudio de mercado interno y externo de la fruta fresca y sus derivados. FONTAGRO. <http://www.fontagro.org>.
37. Ortalá Ortalá, M. D., Fito Suñer, P., y Castro Giráldez, M. (2018). *Tipos de evaporadores en la industria alimentaria*.
38. Padilla, B. (2013). *Diseño de un evaporador tipo marmita con agitador y serpentín interno para la elaboración de diversos alimentos en planta piloto*. Universidad de San Carlos De Guatemala.
39. Pastor Navarro, C.; González Martínez, M. C. (2018). Concentración por membranas mediante ósmosis inversa de un alimento líquido. <https://riunet.upv.es/handle/10251/102419>
40. Pávlov, K. F. (1981). *Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química*. Traducción al español. Editorial Mir. Moscú.
41. Pérez, C. (2009). *Control Estadístico de la Calidad: Teoría, práctica y aplicaciones informáticas*. 2da ed. Madrid: Editorial RA-MA.
42. Perry, R. H y Green, D. W. (2001). *Manual del Ingeniero Químico*. (7ma ed.). Editorial: McGraw Hill. España.
43. Ramaswamy, H. (2006). *Food Processing: Principles and Applications*. 1ra Edición, Editorial CRC Press, New York.

44. Ramteke R. S., Singh N. I., Rekha M. N. and Eipeson W. E. (1993). *Methods for concentration of fruit juices: A critical evaluation. Journal of Food Science and Technology.* 30: 391-402.
45. Richardson, P. (2014). *Thermal Technologies in Food Processing.* Cambridge: Editorial Woodhead Publishing Limited.
46. Saravacos, G. y Kostaropoulos, A. (2016). *Handbook of Food Processing Equipment.* (2da ed.) New York: Editorial Springer.
47. Schwartzberg H. G. and Rao M. A. (1990). *Food freeze concentration. In; Biotechnology and food process engineering.* Marcel Dekker, New York.
48. Serafini, H. (2016). *Evaporación al vacío.* from <https://www.google.com/?sa=t&source=web&rct=j&url=https://es.scribd.com/doc/315063199/Evaporacion>.
49. Sinha, N. et al. (2012). *Handbook of Fruits and Fruit Processing.* 2da ed. New Jersey: Editorial John Wiley & Sons.
50. Smith, P. G. (2011). *Introduction to Food Process Engineering.* New York: Editorial Springer.
51. Snyder, P. y Biot, J. (2004). *Manual de operación del evaporador de concentrado cítrico TASTE 60k 7-9.* Revisión N°0.
52. Sulc, C. (1984). *Fruit juice concentration and aroma separation.* *Confructa* 28: 258-318.
53. Caperva. (2015). *Concentración por congelación.* Process Technology. España. <https://www.caperva.com/concentracion-por-congelacion-sulzer-en-anuga-food-tec-2015/#:~:text=La%20concentraci%C3%B3n%20por%20congelaci%C3%B3n%20permite,de%20la%20fase%20I%20C3%ADquida%20restante.&text=Posibilidad%20de%20concentrar%20productos%20sensibles,cerrados%20y%20llenos%20de%20I%20C3%ADquido>
54. Varzakas, T. y Tzia, C. (2014). *Food Engineering Handbook: Food Engineering Fundamentals.* New York: Editorial Taylor and Francis Group and CRC Press.

## Anexos

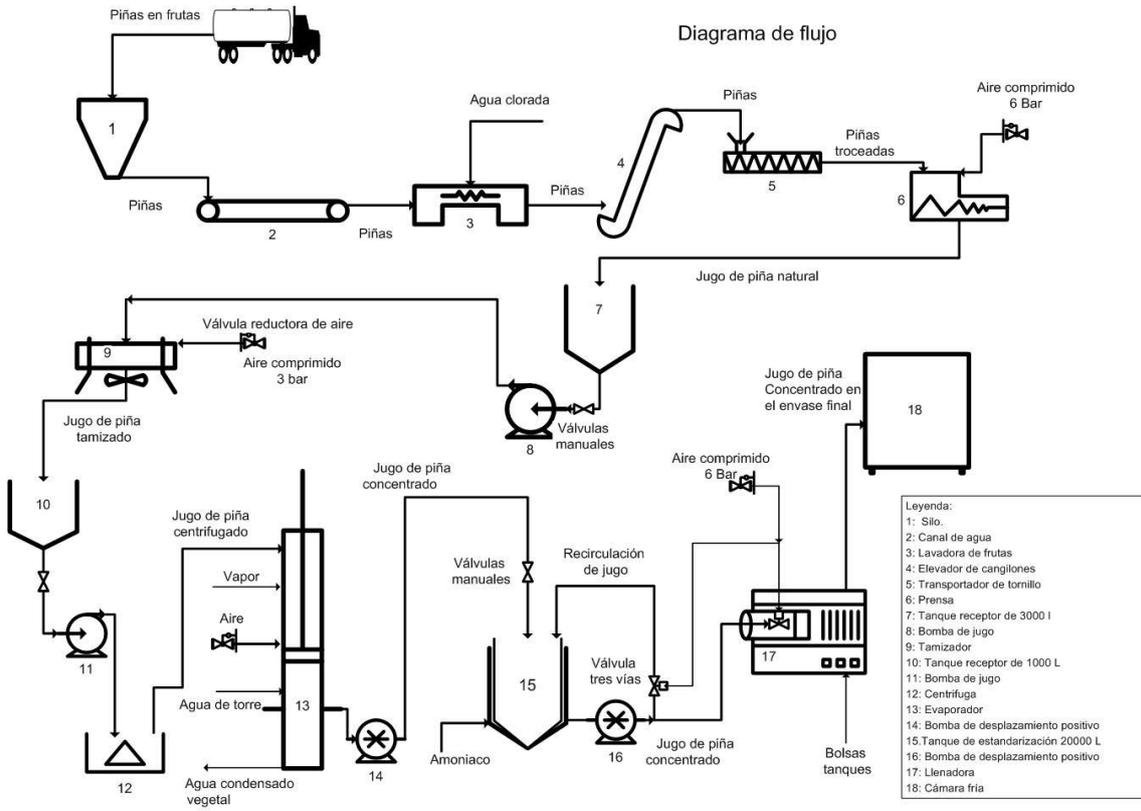
Anexo 1: Vista aérea de la UEB combinado industrial “Héroes de Girón”  
Municipio Jagüey Grande.



Anexo 2: Evaporador T.A.S.T.E. de la UEB combinado industrial “Héroes de Girón”.



Anexo 3: Diagrama de flujo del proceso de producción del concentrado congelado de piña.



Anexo 4: Tabla de temperaturas y calores específicos de vaporización del vapor de agua respecto a la presión de los cuerpos.

<b>Cuerpos</b>	<b>Presión(atm)</b>	<b>Temperatura del vapor saturado (°C)</b>	<b>Calor específico de vaporización(r) (Kj/Kg)</b>
1	0,171	180,26	2019,5
2	2,703	168,358	2061,14
3	5,235	152,756	2119,64
4	7,766	128,91	2182,1
5	10,298	56,162	2188,39
vs	12,830	190,337	1983,38

Fuente: tabla LVII Pávlov (1981)