

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA**  
**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN**



**INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**  
**“DISEÑO DE UN SECADOR POR ATOMIZACION PARA**  
**LA OBTENCION DEL COLORANTE NATURAL DE SAUCO**  
**(*Sambucus peruviana*) A NIVEL BANCO”**

**AUTOR:**

**ING. Mg. LEONARDO FELIX MACHACA GONZALES**

**DOCENTE COLABORADOR:**

**ING. Mg. FABIO MANUEL RANGEL MORALES**

**PERIODO DE EJECUCIÓN: Del 01 de marzo al 31 de diciembre 2024**

**Resolución de aprobación N° 325-2024-R**

**Callao, 2024**

**PERU**

A small, handwritten signature in blue ink, located on the right side of the page. The signature is stylized and appears to be a name, possibly "J. P. [unclear]".

## ANEXO N° 13 A

### ESTRUCTURA DEL INFORME FINAL DE INVESTIGACION (CUANTITATIVO)

#### INFORMACION BASICA.

#### FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

#### UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

#### TITULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

“Diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco”

#### DOCENTE RESPONSABLE O INVESTIGADOR PRINCIPAL:

Mg. MACHACA GONZALES LEONARDO FÉLIX.

**CATEGORIA:**ASOCIADO / **DEDICACION:**EXCLUSIVA

**CONDICION:** NOMBRADO

**CÓDIGO ORCID:**0000-0003-0631-8549 / **DNI:** 07275983

#### DOCENTE COLABORADOR:

Mg. RANGEL MORALES FABIO RANGEL

**CATEGORIA:** AUXILIAR/**DEDICACION:**EXCLUSIVA

**CONDICION:** NOMBRADO

**CÓDIGO ORCID:**0000-0002-4967-1847/ **DNI:** 25618170

**ESTUDIANTE(S) DE APOYO:** Ninguno

**PERSONAL ADMINISTRATIVO:** Ninguno

**LUGAR DE EJECUCION:** Laboratorio de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

#### UNIDADES DE ANÁLISIS.

Fundamento de diseño del equipo

Procedimiento de diseño del equipo.

**TIPO DE INVESTIGACION:** Predictiva y Aplicativa

**ENFOQUE:** Cuantitativo

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:** Experimental y no experimental(Mixto)

**TEMA OCDE:** Ingeniería de procesos.

## **DEDICATORIA**

A los que tuvieron paciencia:

Mi esposa VILMA y mis hijos: VALERIA Y  
SEBASTIAN.

A mis estudiantes de la FIQ-UNAC

A handwritten signature in blue ink, located in the bottom right corner of the page. The signature is stylized and appears to be a personal name, possibly the author of the dedication.

## **Agradecimientos**

Mis agradecimientos al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional del Callao por la aprobación del trabajo de investigación y la asignación del Fondo Especial de Desarrollo Universitario (FEDU) para el financiamiento en el desarrollo del presente trabajo de investigación.



## INDICE

	Pág.
INDICE	1
INDICE DE CONTENIDO	3
INDICE DE TABLAS	3
INDICE DE FIGURAS	4
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN	7
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	10
1.1. Descripción de la realidad problemática.	11
1.2. Formulación del problema (general y específico).	11
1.2.1 Problema general.	11
1.2.2 Problemas específicos.	11
1.3. Objetivo (general y específicos)	11
1.3.1. Objetivo general.	11
1.3.2. Objetivos específicos.	11
1.4. Justificación	12
1.5. Limitantes.	13
1.6. Delimitantes	13
II. MARCO TEÓRICO.	14
2.1. Antecedentes: Internacionales y nacionales.	14
2.1.1. Antecedentes internacionales	14
2.1.2. Antecedentes nacionales	15
2.2. Bases teóricas	17
2.2.1. Sauco, sus características, usos y beneficios.	17
2.2.2. Colorantes naturales.	19
2.2.3. Secadores y tipos	21
2.2.4. Marco conceptual	24
2.3. Definición de términos básicos: Funcionales a la investigación Del problema	25

III. HIPOTESIS Y VARIABLES.	28
3.1. Hipótesis (general y específicos).	28
3.1.1. Operacionalización de la variable (Definición conceptual y operacional de la variables, Dimensiones, indicadores, índices/ítems, método y técnica)	28
IV. METODOLOGIA DEL PROYECTO.	31
4.1. Diseño metodológico.	31
4.2. Método de investigación.	31
4.3. Población y muestra.	32
4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado.	32
4.5. Técnicas e instrumento para la recolección de la información.	32
4.6. Análisis y procesamiento de datos.	32
4.7. Aspectos Éticos en investigación.	32
V. RESULTADOS.	45
5.1. Resultados descriptivos.	45
5.2. Resultados inferenciales.	45
5.3 Otro tipo de resultados	45
VI. DISCUSION DE RESULTADOS.	49
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	49
6.2. Contrastación de los resultados con otros resultados similares.	49
6.3. Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes.	51
VII. CONCLUSIONES	52
VIII. IMPACTO EN LA SOCIEDAD	54
IX.REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	55
ANEXOS.	59
Matriz de consistencia	59

TABLAS DE CONTENIDO  
ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de la variable.	23
Tabla 2 Datos de construcción del secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (Sambucus peruviana) a nivel banco	46



## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Secador	23
Figura 2	
Camara cónica de secado y sus componentes del secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco ( <i>Sambucus peruviana</i> ) a nivel banco	47
Figura 3. Componentes del secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco ( <i>Sambucus peruviana</i> ) a nivel banco y sus accesorios	48



## RESUMEN

El proceso de secado por atomización es el método más utilizado en las industrias alimentarias para producir colorantes naturales de frutas en polvo.

Se ha diseñado el secador por atomización para la obtención de colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco, para llevar a cabo experimentos y obtener datos directamente aplicables al diseño del secador industrial. Para el diseño del secador por atomización para la obtención de colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco, se realizaron cálculos de ingeniería de diseño, como el balance de materia, cinética de secado del colorante de sauco, y cálculos de ingeniería de detalles. El equipo diseñado contiene los elementos que constituyen un secador por atomización: sistema de alimentación, sistema dispersor, atomizador rotativo, cámara de secado, sistema recolector de sólidos y sistema de calentamiento de aire todo a escala banco y está basado en los datos obtenidos en este estudio. El equipo contiene: cámara de secado un recipiente cilíndrico con fondo cónico, y cerrado con un volumen de 22 litros de vidrio pyrex, con las siguientes dimensiones: diámetro de 34,20 cm, altura total de 49 cm, con 42 cm de la parte cilíndrica, fondo tipo cónica de 60° con 7 cm de altura, espesor del vidrio borosilicato de 6 mm, con una capacidad de 500 mL/h. Se ha empleado el modelo de diseño de un secador por atomización para productos alimenticios y se presentan los fundamentos y los procedimientos de diseño del secador en su conjunto. Finalmente se presentan los cálculos y criterios correspondientes para el diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco y, las especificaciones con los datos de construcción del secador se mencionan en el cuadro de resultados.

**Palabra claves:** Diseño, secador atomización, colorante sauco

## ABSTRACT

The spray drying process is the most widely used method in food industries to produce natural powdered fruit dyes.

The spray dryer for obtaining natural elderberry (*Sambucus peruviana*) dye at bench level has been designed to carry out experiments and obtain data directly applicable to the design of the industrial dryer. For the design of the spray dryer for obtaining natural elderberry (*Sambucus peruviana*) dye at bench level, engineering design calculations were performed, such as material balance, elderberry dye drying kinetics, and detailed engineering calculations. The designed equipment contains the elements that constitute a spray dryer: feeding system, dispersing system, rotary atomizer, drying chamber, solids collection system and air heating system, all at bench scale and is based on the data obtained in this study. The equipment contains: a drying chamber, a cylindrical container with a conical bottom, and closed with a volume of 22 liters of Pyrex glass, with the following dimensions: diameter of 34.20 cm, total height of 49 cm, with 42 cm of the cylindrical part, conical bottom of 60° with 7 cm of height, thickness of borosilicate glass of 6 mm, with a capacity of 500 mL/h. The design model of a spray dryer for food products has been used and the fundamentals and design procedures of the dryer as a whole are presented. Finally, the calculations and corresponding criteria for the design of a spray dryer for obtaining natural elderberry dye (*Sambucus peruviana*) at bench level are presented and the specifications with the construction data of the dryer are mentioned in the results table.

Keywords: Design, spray dryer, elderberry dye

## INTRODUCCION.

Muchos de los colorantes naturales son usados en la industria alimentaria, agroindustria y en la cosmética según la publicación de “FAO Natural colorants and dyestuffs”, que incluye una descripción de los principales colorantes que se comercializan internacionalmente, no hace mención de ninguna producción en los países europeos, con excepción del pimentón dulce de España y de Hungría, aunque este colorante es usado en productos alimenticios (CEMUE, 2006).

Debido a su rica y variada geografía, el Perú cuenta con un suelo ecológico diverso en el que desde la época prehispánica se han desarrollado un gran número de especies alimenticias con potencial nutritivo, nutrición y salud. Este es el caso de sauco (*Sambucus peruviana*), que tienen propiedades antioxidantes gracias a la pigmentación natural de la pulpa (Ojeda, 2003).

El secado por atomización es un proceso ampliamente utilizado en diferentes sectores industriales para obtener materiales granulados con unas propiedades determinadas, a partir del secado de suspensiones. Cada aplicación posterior del polvo atomizado requiere de una morfología y una microestructura adecuadas para cada uso. Las investigaciones llevados a cabo en este tipo de secado, han tenido por objetivo identificar qué condiciones del proceso dan lugar a gránulos esféricos o irregulares, huecos y con elevada porosidad o densos, y con buenas prestaciones mecánicas. Los estudios realizados en secadores por atomización a escala han comprobado la influencia de las condiciones del proceso en las propiedades medias del polvo atomizado. A partir de estos trabajos se puede inferir que las propiedades más importantes para tener en cuenta en este proceso de secado son: la temperatura del aire de secado, el tamaño inicial de las gotas, el contenido en sólidos de la suspensión y el tamaño de partícula y estado de aglomeración del material sólido. Por otro lado, en los secaderos por atomización se presentan las variaciones de la temperatura del secado y, de tamaños de gota dentro del chorro de material atomizado, lo que dificulta el análisis de los resultados. Los resultados más recientes establecen que se puede determinar la compacidad de los gránulos a partir de la cinética de secado, el tamaño final del gránulo y la fracción de empaquetamiento de los sólidos contenidos en la suspensión (Masters, 1991).

El proceso de secado por atomización es una operación básica que consiste en la transformación de una suspensión o disolución en un material seco particulado, mediante la atomización del primero en un medio caliente y seco (Barbosa,2000). El proceso de secado por atomización de gotas es el más utilizado en muchas aplicaciones industriales de los sectores cerámico, químico, alimentario, farmacéutico. Cada proceso industrial y uso posterior del polvo atomizado obtenido requiere de unas propiedades determinadas, que sean óptimas para la aplicación en el campo industrial. Así tenemos que, en industria farmacéutica desean producir gránulos huecos y porosos que actúen como portadores de fármacos. Por el contrario, para optimizar el proceso de proyección por plasma de materiales, es necesario hacer uso de gránulos de elevada densidad y compacidad. En el caso de la industria de detergentes, la microestructura interna y la porosidad de los gránulos también debe ser la adecuada para permitir la retención de agentes activos en su interior(Llanga,2018).

Dentro de las variables que influyen en el proceso de secado de la suspensión, son: densidad de la suspensión, contenido en sólidos, viscosidad, tensión superficial, temperatura de la suspensión, estado de desfloculación y distribución de tamaños de partícula de las materias primas; y las del equipo de secado: temperatura, caudal y humedad relativa del aire de secado, presión de inyección y el diámetro de salida del inyector. En los artículos revisados mencionan que, debido al elevado número de variables que influyen en la cinética de secado y en las propiedades del producto final se pueden obtener materiales granulados de características muy diferentes en función de las condiciones experimentales bajo las cuales se han llevado a cabo el proceso de secado. Es por esto, por lo que resulta de gran interés el hecho de poder controlar, cuantificar y modelar la influencia que ejerce cada variable en la cinética de secado y en las propiedades finales del gránulo, y así producir materiales de características óptimas para cada aplicación en cuestión. De las etapas presentes en el proceso de secado por atomización, es durante la evaporación cuando tienen lugar todas las transformaciones físico-estructurales que confieren al gránulo la microestructura y geometría final y, por lo tanto,

determina sus propiedades físicas. Asimismo, mencionan, que el estudio de dicha etapa resulta de gran interés con el fin de poder controlar y predecir las características del material resultante (Masters, 1991).

El secador por atomización puede utilizarse para las siguientes aplicaciones en el sector alimentario: zumos y frutas, cremas de patata, té, café, puré de tomate, levaduras, yogurt, derivados de soya, etc. En el caso de la pulpa de frutas en polvo, son productos obtenidos normalmente para formar parte de otras transformaciones como pueden ser: bebidas y refrescos en polvo, bebidas energéticas, gelatinas y purés, confitería, saborizantes para leche en polvo o batidos (Reyes, 2003).

La Ingeniería de diseño de secadores industriales, es la ciencia que desarrolla y enfoca los métodos para dimensionar el secador por atomización y las unidades que lo componen, es decir que nos proporciona los fundamentos para diseñar un secador industrial, de tal manera que éste cumpla con su objetivo: de obtener el colorante del sauco (*Sambucus peruviana*) en polvo para uso comercial (Colme, 2007).

A partir de aquí, se estima que el fundamento y procedimiento de diseño permite llegar al diseño de un secador para la obtención del colorante de sauco (*Sambucus peruviana*) en polvo a nivel banco (Machaca, 2013 y Walas, 1990).



## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

### 1.1. Descripción de la realidad problemática.-

El sauco, cuyo nombre científico es *Sambucus peruviana*, es originario del Perú, se encuentra en las regiones de Áncash, Lima, Huánuco, Junín, Huancavelica, Cusco y Apurímac. Las propiedades del saúco son muchas y se utilizan tanto las bayas como las flores y las hojas (Ojeda, 2003).

Las bayas son comestibles, después de cocinadas, y han sido utilizadas desde la antigüedad para hacer mermeladas, vinos, zumos. Tienen propiedades laxantes y depurativas y, contienen gran cantidad de vitamina C, ácidos orgánicos, tanino, azúcar invertido y algunas trazas de aceite esencial (Lock, 1997 y Colme, 2007).

El sauco es un fruto que en nuestro país carece de un procesamiento a nivel industrial. En nuestro país hay cerca de 4,6 TM/año disponibles para procesarla a nivel industrial, según el INEI, hay un alto porcentaje que pasa al consumo directo (63.5 %), y lo demás se pierde o se bota. Un menor porcentaje se vende al menudeo (boletín informativo, 2023).

Por eso, se busca comercializar el colorante en polvo extraída de la baya de sauco y generar el valor agregado para este producto. Para lo cual, se debe analizar el proceso de secado para obtener el colorante de sauco en polvo de uso comercial en secadores a nivel banco y luego escalar a nivel industrial (Colme), 2007).

Por lo tanto, es fundamental el diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco con el conocimiento de la ingeniería de diseño de secadores, empleando modelos matemáticos que describen las secuencias involucrados en el proceso de secado, obteniéndose productos de uso comercial, siendo esto, el objetivo primordial de expandir esta investigación al sector industrial para el desarrollo de tecnologías sostenibles.

Con el propósito de alcanzar los objetivos y metas que se pretenden, se propone diseñar un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.

## **1.2. Formulación del problema. –**

El diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco abarca varios aspectos, entre los cuales los más relevantes, y teniendo en cuenta a la descripción inicial del objeto de investigación, se podrá plantear la siguiente pregunta, tal como:

### **1.2.1. Problema general. -**

¿Cómo se diseñará el secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco?

### **1.2.2. Problemas Específicos.**

1. ¿Cómo será el proceso de secado por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*)?
2. ¿Cómo y con qué fundamento se diseñará el secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco?
3. ¿Cuál será el procedimiento para el diseño detallado del secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco?

## **1.3. Objetivos. -**

### **1.3.1. Objetivo General. -**

Diseñar un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

1. Evaluar el proceso de secado por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*).
2. Analizar el fundamento de diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.
3. Diseñar detalladamente el secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.

#### **1.4. Justificación. -**

La presente propuesta del proyecto de investigación se justifica por lo siguiente:

##### **1.4.1. Legal.**

La comisión del CODEX ALIMENTARIOUS, establecida por la FAO y la OMS en 1963, ha elaborado normas, directrices y códigos de prácticas alimentarias internacionales armonizadas destinadas a proteger la salud de los consumidores y asegurar practicas equitativas en el comercio de alimentos que pueden confiar. No existe una ley específica que restrinja la producción y exportación de colorantes naturales, más si se pudiera indicar que son materias de colorantes naturales de origen vegetal con la partida arancelaria 3203 (boletín informativo, 2023)

##### **1.4.2. Teórica**

El presente trabajo de investigación pretende implementar el fundamento y procedimiento de diseño del secador para la obtención de colorantes naturales, en el cual la metodología a utilizar constituye una implicancia de tipo teórico, experimental y observacional, asimismo el ordenamiento y sistematización teórica, que constituye un aporte científico para el planteamiento del problema. Se logrará profundizar el conocimiento del uso de secadores por atomización para la obtención del colorante de sauco (*Sambucus peruviana*) en polvo a escala industrial para uso comercial.

##### **1.4.3. Tecnológica**

Se pretende implementar el diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco, en el cual la metodología a utilizar constituye una implicancia de tipo teórico - experimental y observacional, asimismo el ordenamiento y sistematización teórica, que constituye un aporte científico para el planteamiento del problema. Los resultados van a contribuir con la búsqueda de la tecnología para el proceso de obtención del colorante de sauco (*Sambucus peruviana*) en polvo a nivel industrial, utilizando el extracto de la baya de sauco como la materia prima, que permita determinar las variables de diseño de un secador para la obtención del

colorante de sauco (*Sambucus peruviana*) en polvo a nivel industrial a las condiciones de operación viables para la producción del colorante de sauco en el sector alimentario con un alto valor económico en el mercado nacional e internacional, esto permitirá crear nuevas fuentes de trabajo para la población dando acceso a una mejor calidad de vida en las zonas productoras de sauco, debido a que, al revisar los antecedentes nacionales no se ha encontrado una tecnología para obtención del colorante de sauco en polvo implementada en el Perú.

### **1.5. Limitantes de la investigación (Teórica, temporal, espacial).**

#### **1.5.1. Teórica. -**

El diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco está limitado por los fundamentos y procedimiento de diseño de secadores por atomización que incluye el conocimiento de la termodinámica de las soluciones, de la cinética de secado, que incluye el transporte simultáneo de materia y calor controlado por el mecanismo convectivo que ocurre simultáneamente en el proceso de secado.

#### **1.5.2. Temporal. -**

La investigación tiene carácter teórico-experimental y observacional, pues se ha programado para ser desarrollado en el periodo aproximado de 1 año comprendido desde 01/03/2024 a 28/02/2025.

#### **1.5.3. Espacial. -**

El área que cubre la investigación tiene carácter tecnológico sustantivo, operativo, y comunicativo, porque propone alternativas de solución y busca el modelo matemático adecuado para el diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco, que mejore el rendimiento de obtención y optimice el costo de operación. Debido a ello, es necesario el previo conocimiento de principios científicos que den con una buena fundamentación para el diseño de un secador para la obtención del colorante de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.

## **II. MARCO TEORICO. -**

### **2.1. Antecedentes: Internacionales y nacionales. -**

Los antecedentes que se han encontrado en materia de investigación bibliográfica son los siguientes:

#### **2.1.1. Antecedentes internacionales. –**

Llanga (2018) ha desarrollado el rediseño de un secador por atomización para la obtención de colorante natural a partir de mora de castilla (*Rubus glaucus*). Se realizó el diagnóstico del equipo, el cual determinó una reparación media en el mismo, a causa de que el tanque de alimentación no fue el adecuado para almacenar alimentos, además la acumulación del producto en las paredes de la cámara de secado y del ciclón. Por otra parte, el transmisor de temperatura de operación del equipo evidenció variación descontrolada de la misma y el compresor se encontró aislado de la automatización del equipo, operando de forma manual.

Cruz (2015) han elaborado el diseño y construcción de un secador por atomización para obtener un colorante natural rojo en polvo, a partir del zumo de la remolacha, equipo diseñado para el laboratorio de procesos industriales de la Escuela de Ingeniería Química Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. El dimensionamiento del secador por atomización se realizó en base a las normas DIN (Deutsche Industrie Norm - Norma Industrial Alemana) y modelo de equipos NIRO; cuyos componentes principales son: ventilador regulable, sistema de calentamiento de aire, bomba de diafragma o dosificadora, sistema atomizador neumático, cámara de secado y ciclón.

Vera (2012) ha desarrollado una metodología de diseño simultáneo de proceso y control para un equipo de secado por atomización multiproducto para colorantes naturales, la metodología incluye la ejecución de seis pasos. Partió de la obtención del modelo semifísico de base fenomenológica que escribe las dinámicas de temperatura, humedad de los sólidos, humedad del aire a la salida. Asimismo, menciona que, la determinación de los parámetros del modelo fue realizado mediante datos experimentales propios y de la literatura, la validación del modelo fue realizado para el estado estacionario en un secador por atomización. También menciona que fue establecido los parámetros de control

para proceder con el análisis de controlabilidad mediante álgebra de Lie. La matriz de controlabilidad obtenida mediante álgebra de Lie, facilitó determinar el volumen y las dimensiones de la cámara de secado por atomización. Con esto ha logrado el diseño simultáneo del proceso y su control.

Guzmán (2002) han evaluado el secado por atomización del jugo de caña de azúcar con el fin de obtener un producto soluble a partir de jugo concentrado. Consideraron diferentes temperaturas de entrada de aire y concentraciones de jugo en un atomizador escala de laboratorio. Los mejores resultados que han encontraron fue para una temperatura de entrada de aire de 130°C y para una concentración de jugo de 40°Brix. Asimismo, menciona que este resultado es significativo en cuanto al rendimiento del producto, ya que su valor disminuye en un 20% cuando se trabaja a una misma concentración y a una temperatura de entrada de aire de 140°C. El polvo obtenido del secado por atomización del jugo de caña bajo condiciones establecidas podría entrar a competir con otros tipos de endulzantes.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales. -**

Ochoa (2023) han determinado los parámetros del secado por atomización en la microencapsulación de ácido carmínico con características apropiadas. La microencapsulación del ácido carmínico, primero se obtuvo los sólidos solubles y el ácido carmínico, como segundo paso determinó los parámetros óptimos de secado por microencapsulación del ácido carmínico, teniendo como variables independientes: La temperatura de secado  $T_1 = 150\text{ }^\circ\text{C}$  y  $T_2 = 200\text{ }^\circ\text{C}$  en la atomización y la concentración del agente encapsulante  $C_1 = 5\%$  y  $C_2 = 15\%$ . Las variables que se obtuvieron en el rendimiento de sólidos solubles, solubilidad, rendimiento de ácido cítrico, humedad, absorbancia y pH, por el método de diseño estadístico compuesto central que formuló 13 tratamientos utilizando como agente encapsulante a la maltodextrina, en la prueba de la solubilidad realizada se obtuvo una solubilidad total.

Ramos (2022) han expuesto que los residuos de escarificado de quinua se generan en gran cantidad en Bolivia y tienen un alto contenido de saponinas, compuestos con diversas propiedades que les dan un potencial uso en

cosmética, agricultura, salud y otros. Por esta razón, es importante contar con métodos para obtener extractos secos ricos en saponinas a partir de estos residuos. Por otro lado, los parámetros para el secado por aspersion de un extracto acuoso residual de un proceso de extracción hidroalcohólico EtOH:H<sub>2</sub>O (50:50) por 72 h, seguido de una eliminación del EtOH por rota evaporación. Para esto, se utilizó un diseño experimental factorial 2<sup>3</sup>, tomando como variables independientes: la concentración del extracto acuoso residual, la temperatura de secado y la velocidad del flujo de aire. Se determinó que las variables significativas para obtener un mayor rendimiento de extracción en el proceso de secado por aspersion son: la temperatura de secado (100°C) y la velocidad del flujo del aire (4192 rpm), con un flujo de alimentación de 8.0 mL/min. El producto seco obtenido tiene un rendimiento de 27.6% respecto a los residuos de quinua y 68.73 % de saponinas. La técnica de secado por aspersion demostró tener algunas ventajas respecto a la técnica de secado por liofilización, esto se puede observar tanto en el aumento del porcentaje de saponinas en el extracto seco obtenido como en la disminución del tiempo empleado para el secado.

Arenas (2021) se han encargado de importar el líquido de hidratante para la piel de agua de rosas búlgaras con ácido hialurónico en galoneras de 3.78 litros del País de Bulgaria del puerto de Burgas a Callao y posteriormente será convertido en un hidratante atomizador el cual se comercializará en los distritos de San Miguel, Jesús María y Cercado de Lima que son pertenecientes a nuestro mercado objetivo que es Lima Centro. Por otro lado, los insumos que se importaran abundan mucho en el país escogido en este caso Bulgaria, principalmente el agua de rosas y el tipo de rosas que utilizaremos será la Damascena por lo mismo que sus cultivos tienen un proceso natural y están libres de pesticidas. Luego de importar la materia prima la cual será entregada por la empresa Alteya Organic esta pasará por un proceso de envasado y embalado el cual será tercerizado por la empresa Amfora Packaging obteniendo, así como producto final un líquido hidratante para la piel de agua de rosas búlgaras con ácido hialurónico en atomizador en un frasco de 100ml que será comercializado en Lima Centro.

Álvarez (2015) han evaluado el efecto de la microencapsulación del extracto de betaninas del Beta vulgaris por atomización en sus propiedades funcionales para su uso como colorante natural, para lo cual se obtuvo el extracto de betalaínas de la betarraga por medio acuoso en una relación 1:2, este se concentró hasta los 19,5° Brix, luego se microencapsuló con maltodextrina (10 dextrosa equivalente) a concentraciones (10%, 15% y 20%) mediante un secado por atomización con el Mini Spray Dryer B-290 a diferentes temperaturas de entrada de aire (130 °C, 140 °C y 150 °C), en el producto atomizado se caracterizó su propiedades funcionales y fisicoquímicas; con respecto a la higroscopicidad (%), solubilidad (%) e índice de insolubilidad (%) .

Machaca (2007) ha diseñado y construido el extractor sólido líquido multipropósito a nivel banco para el estudio de extracción de variedades de aceites esenciales.

Todo el conjunto de este extractor diseñado consta de: Hervidor, calentador eléctrico, cesta metálica para materiales vegetales, extractor propiamente dicho, condensador, unidad colectora del producto (Florentino), manguera metálica flexible para vapor, estructura metálica, sistema de control de temperatura y presión del hervidor y extractor.

Para el diseño del extractor propiamente dicho ha empleado el modelo de extractor de lecho fijo con flujo pistón del vapor o solvente y el modelo Soxhlet empleando diversos materiales vegetales.

Finalmente presenta los cálculos y criterios correspondientes para el diseño de cada una de las partes que componen todo el equipo de extracción sólido líquido multipropósito a escala banco para aceites esenciales.

## **2.2. Bases teóricas. -**

### **2.2.1. Sauco, características, usos y beneficios. -**

Nombre Común: Sauco

Género y Especie: Sambucus peruviana H.B.K

**Familia:** Caprifoliaceae

**Parte Empleada:** frutos

**Distribución:** El Sauco es una planta originaria del Perú y regiones adyacentes. Se distribuye desde Argentina hasta Costa Rica. En el Perú, el sauco tiene un amplio rango altitudinal, desde los 2,800 hasta los 3,900 msnm., según la zona del país, pero el óptimo está entre 3,200 y los 3,800 msnm., encontrándose en los departamentos de Ancash, Lima, Huánuco, Junín, Cusco y Apurímac (Lock, 1994).

**Composición química y valor nutricional:** Las flores de Sambucus peruviana contienen esencia butirosa constituida de un terpeno y una resina. La corteza contiene un alcaloide, la sambucina, acompañada de una resina. Las hojas también tienen un alcaloide (García, 2003).

**Descripción:** El Sauco es un arbusto o árbol, normalmente de 3-6 m de altura. En buenas condiciones llega a alcanzar hasta 12 m de altura. Sus tallos tiernos son poco resistentes, debido a su médula esponjosa; pero los fustes añosos se endurecen tanto que constituyen una de las maderas más fuertes y apreciadas para construcciones rurales. Tronco cilíndrico, a veces torcido, con copa irregular y de color verde claro característico. Las hojas son compuestas, de 7-9 foliolos imparipinnadas, foliolos oblongos y puntiagudos en el ápice, bordes aserrados, de 4-16 cm de largo y 3-7 cm de ancho. Las flores están dispuestas en corimbos vistosos, de color blanco, ligeramente fragantes e irritantes. Los frutos son bayas esféricas de 5-6 mm de diámetro. Inicialmente de color verde y rojinegro al madurar. Dispuestos como racimos de uva, cada uno con peso que oscila entre los 180 a 415 gramos (Fernández, 1998.)

**Ecología y adaptación:** El sauco tiene un amplio rango altitudinal: desde los 2800 hasta los 3900 msnm., según la zona del país, pero el óptimo está entre 3200 y los 3800 msnm. Se le encuentra principalmente en los Departamentos de Ancash, Lima, Huánuco, Junín, Cusco y Apurímac. Las heladas no le afectan mayormente. Llega a producir fruta durante varias decenas de años. Nunca se le encuentra en estado silvestre (problema de la infertilidad de la semilla) por lo que siempre es cultivado: al lado de las casas, en patios y corrales, y a la orilla de las chacras. Es una especie poco exigente en suelos, aunque desarrolla mejor en suelos profundos, francos y limosos, con pH neutro a ligeramente alcalino. Requiere de buena humedad (riego), por lo que normalmente se le encuentra



plantado al borde de acequias, en cercos de chacra, y en huertos, mezclado por ejemplo con manzanos y membrillos. El *Sambucus peruviana* se distribuye en el Perú en Lima, Huánuco y Cusco. También en Bolivia hasta el norte de Argentina. Formas de utilización: El sauco que se cultiva en el Ecuador tiene uso medicinal y el sauco del Perú es más importante por sus frutos que sirven para la pequeña industria campesina. El tronco es como leña, aunque no es de buena calidad: necesita bastante tiempo para secarse y hace mucho humo. Su madera es dura y de considerable duración. En artesanía se emplean sus tallos jóvenes para hacer quenás y sopladores para atizar el fuego. El sauco del Perú *S. peruviana* produce un fruto muy comestible de agradable sabor, se pueden consumir frescos, siendo bastante ricos en vitamina C. Sin embargo, su mayor uso es en forma de mermelada. También al igual que las hojas, se emplea para teñir de azul metálico, por ejemplo, los vinos. En algunos lugares de la Sierra las flores se utilizan para preparar un refresco, remojándolas en un poco de vinagre blanco, con la adición de agua y azúcar; en cocimiento como sudorífico, y mezcladas con jabón como parches para favorecer la supuración (García, 2003).

#### **Usos:**

- Afecciones de la vejiga y próstata: cocimiento de flores con manzanilla, alhucema y leche.
- Hidropesía: hojas en ensalada y cocimiento de la raíz.
- Antipalúdico: cocimiento de las hojas.
- Alcoholismo: cocimiento de las ramas florecidas.
- Purgante: zumo de las hojas o cocción de la corteza.
- Infecciones bucales: cocimiento de los frutos.
- Galactóforo: aplicación de hojas maceradas.
- Afecciones a la garganta: gargarismos con la infusión de las hojas.
- Antilactogogo: emplasto de las hojas sobre el seno.
- Depurativo: infusión de las flores secas.
- Antirreumático: la infusión de las flores secas con miel de abejas.
- Tos: la infusión de las flores secas.
- Madurativo de tumores: emplasto de las hojas soasadas.
- Vulnerario: las hojas soasadas en heridas gangrenosas.

- Almorranas: emplasto de las hojas soasadas

### **2.2.2. Colorantes naturales.**

Son pigmentos coloreados obtenidos de materia prima vegetal. Según la legislación de los Estados Unidos no necesitan el certificado de pureza FDA. Según su composición química se puede clasificar en: flavonoides, carotenoides, melanoidinas, porfirinas, betaninas, quinoides y otros. (Bueno, 2000).

Los colorantes naturales parecen tener una importancia creciente en reemplazo de cada vez más colorantes artificiales, pues la legislación limita el uso de éstos para la industria alimentaria, farmacéuticos y cosméticos en general

Los colorantes se pueden clasificar según su origen: existen dos tipos:

- 1) Colorantes orgánicos, provenientes de vegetales (raíces, corteza, hojas, flores y frutos) y animales;
- 2) Colorantes inorgánicos, de minerales. 18 En el caso de los colorantes naturales cuya fuente son las plantas, éstos son producidos por su misma actividad fisiológica o por transformaciones artificiales de sustancias provenientes de algún vegetal.

Son aquellos colorantes que suelen utilizarse en la industria alimentaria, con el propósito de conservar y optimizar las propiedades organolépticas de otros subproductos que se puedan llegar a comercializar. Además, genera un valor agregado al producto añadido (Enríquez et.al., 2023).

El color de las antocianinas varía de acuerdo con su estructura, pH, concentración, solvente, temperatura y otras sustancias que puedan interactuar con ellas. La copigmentación permite que las antocianinas sean más azules, brillantes y estables. Las antocianinas tienen como núcleo base a los flavonoides. Proporciona colores que van de rojos a azules, un claro ejemplo son las uvas moradas, manzanas, berenjena, etc.

Al pertenecer al grupo de flavonoides, los cuales son pigmentos hidrosolubles, atraen a insectos polinizadores por la brillantez de sus colores. Posee un

mecanismo de defensa para los frutos que lo poseen combatiendo efectos de la radiación ultravioleta, contaminación viral y microbiana (Garzón, 2008).

### **2.2.3. Secadores y tipos.-**

Se define al equipo que participa en procesos térmicos, en los cuales existe un intercambio de calor y masa. Facilitando dicha operación energética indispensable para los procesos de la industria agroalimentaria; estos procesos se encuentran necesarios para la preservación de enzimas e inhibición de microorganismos patógenos que puedan llegar a perjudicar la producción (Bermúdez et.al., 2004).

Dentro de ello, se encuentra dos métodos; los cuales a su vez contiene a los distintos tipos de secadores.

#### **1. Método directo.-**

Se encuentran definidos como los métodos que logran por su propia la fuente de energía el secado, como lo es en el caso del secado tradicional de alimentos en exposición a la luz solar (Ruiz et.al., 2016). Teniendo en consideración lo siguiente:

- 1) El secado es realizado por la transferencia de calor por convección entre el sólido húmedo y un gas caliente, esto implica quitarle la humedad restante al sólido para proceder a realizar la evaporación.
- 2) El medio de calefacción más eficiente es el aire calentado por vapor, gases de combustión, una atmósfera inerte calentada, como el nitrógeno, o un vapor sobrecalentado, como el vapor de agua.
- 3) Las temperaturas de secado pueden oscilar entre los 25 °C hasta cerca de los 800 °C.
- 4) La eficiencia de los secadores crecerá directamente proporcional al aumento de la temperatura del ingreso del gas de secado hacia la temperatura fija de salida.
- 5) Los secadores directos discontinuos poseen un costo de operación mucho más elevado que los indirectos.

### **a. Secadores de compartimientos, bandejas o cabina.-**

Comprende una cabina aislada que por dentro posee un ventilador para la circulación del aire a través de un calentador; este a su vez sale por una rejilla de láminas ajustables y es dirigido, ya sea horizontalmente entre bandejas cargadas de alimento o verticalmente a través de las bandejas perforadas y el alimento. Los calentadores de aire se encuentran clasificados como: quemadores directos de gas, serpentines calentados por vapor o, en los modelos más pequeños, calentadores de resistencia eléctrica (Bermúdez et.al.,2004).

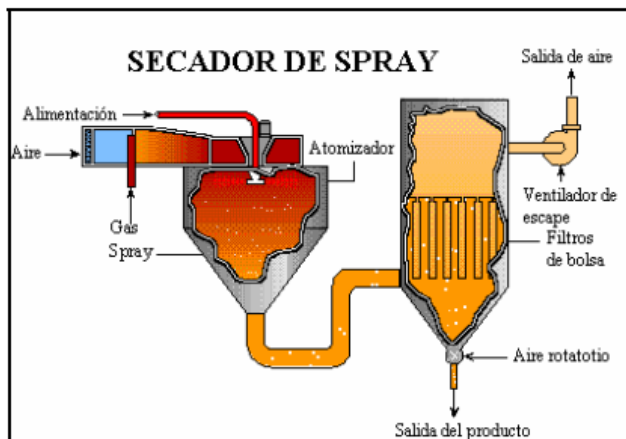
### **b. Secadores de túnel**

También llamados desecadores, su forma de producción es semicontinua y de alta calidad en frutas y verduras desecadas. Sus medidas son: 24 m. de longitud con una sección transversal rectangular o cuadrada de unos 2 por 2 m. El producto húmedo se dispone uniformemente sobre bandejas que se apilan sobre carros, dejando el espacio necesario entre ellas para que circule el aire. El flujo de aire puede ser concurrente, a contracorriente o cruzado (Marcilla et.al., 1999).

### **c. Secador por atomización.-**

El agua de una suspensión de finas gotas o partículas de una disolución o suspensión se puede evaporar, produciendo una nebulización (Spray) de las mismas en una cámara por donde se hace circular gases calientes. Este proceso resulta adecuado para el secado de materiales que tienen baja estabilidad térmica, como ocurre en la leche, el café, el plasma, ciertos polímeros, etc. En este tipo de secadores hay que atomizar y distribuir el material bajo condiciones controladas, lo cual se observa en los costos de operación (Marcilla et.al., 1999). Ver figura 1.

La atomización líquida en pequeñas gotas se puede desarrollar de dos formas, ya sea por presión o energía centrífuga. Estos tipos de equipos usados incluyen atomizadores neumático, boquilla de presión, configuraciones de discos giratorios y recientemente dos boquillas y boquilla sónica.



**Figura 1.** *Secador Spray.* tomada de Marcilla et.al., 1999

El propósito principal de esta fase es crear la máxima superficie de transferencia de calor entre el aire seco y el líquido para optimizar la transferencia de masa y calor.

La elección de la configuración del secador por atomización dependerá de la naturaleza y la viscosidad del producto y sus características deseadas del producto seco. Esto se encuentra proporcionalmente establecido entre la energía suministrada, más finas serán las gotas formadas. Para la misma cantidad de energía y el tamaño de las partículas formadas, que incrementan la velocidad de alimentación (Ferrari et.al., 2012).

## 2. Métodos indirectos

Según Bermúdez et.al. (2004) ha establecido que el método indirecto es aquel en el cual una fuente de energía externa calienta el medio secante. Las características generales operatorias de los secadores indirectos son las siguientes:

- 1) Los secadores indirectos que utilizan vapor condensante por lo general son de una elevada eficiencia, esto se debe al calor que es suministrado en relación a la demanda. Sin embargo, la eficiencia disminuye de modo apreciable cuando se presentan contenidos bastante depreciables en relación a la humedad final.
- 2) Los secadores indirectos pueden tratar materiales productores de polvo con gran facilidad a comparación de los secadores directos.

3) La operación de los secadores indirectos se diferencia constantemente por algún método de agitación para mejorar el contacto entre la superficie metálica caliente y el material húmedo.

**a. Secadores rotativos.-**

Para este tipo de secador, el producto húmedo se hace girar en una cámara cilíndrica por la que se introduce aire caliente mientras el producto se mantiene en agitación. La cámara cilíndrica se instala sobre rodillos quedando ligeramente inclinada, esto permite que el aire puede fluir paralelamente o a contracorriente respecto a la dirección del movimiento de los sólidos (Morejón et.al., 2020).

**b. Secadores de rodillo.-**

Es un secador indirecta que constan de un rodillo hueco, de superficie perfectamente lisa, calentado interiormente por vapor o resistencias, que gira arrastrado por la hoja continua del material (Morejón et.al., 2020).

**2.2.4. Marco conceptual. -**

En el presente trabajo se investigará y analizará las condiciones óptimas del proceso de secado por atomización del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) en polvo, y en base a ello diseñar un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.

En un equipo llamado secador, la obtención del colorante sauco (*Sambucus peruviana*) en polvo a nivel banco, consiste en la remoción o la eliminación de la humedad de la suspensión del extracto de sauco involucrando los fenómenos de transferencia de masa y calor en forma simultánea. Esto implica la elección de un proceso de secado o la deshidratación que satisfaga las normas de productos establecidos y la instalación de un equipo que asegure el buen rendimiento en el proceso de obtención del colorante de sauco (*Sambucus peruviana*) en polvo a nivel banco, primero se analizara el proceso de secado por atomización a nivel banco, y se hacen una comparación entre los resultados obtenidos para finalmente predecir las variables de diseño a escala Industrial. Por consiguiente, el diseño final del equipo no es un proceso a priori, sino que está dado a través de una realimentación.

También se evaluarán las diversas alternativas de diseño del secador por atomización y sus unidades, en función de las alternativas seleccionadas para dar mayor estabilidad y/o mejores propiedades al producto.

Luego de analizar el proceso de obtención del colorante de sauco (*Sambucus peruviana*) en polvo a nivel banco incluyendo el balance de materia y energía, la cinética y el tiempo de secado, se inicia con el planteamiento de las variables de diseño del equipo, calculando la capacidad o volumen, que nos conduce a la obtención de datos reales para el dimensionamiento detallado del secador por atomizador para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco, es decir la determinación de la geometría del secador, de lo cual se obtienen los datos de construcción, luego se determinaran las especificaciones de los materiales a usar para la construcción del secador, y este sería el procedimiento para el diseño del equipo de secado. Asimismo, el proceso de secado para la obtención del colorante de sauco (*Sambucus peruviana*) en polvo a nivel banco, seguiremos los pasos de los trabajos similares anteriormente planteados incluyendo todo el cálculo en el diseño de un secador para la obtención del colorante de sauco (*Sambucus peruviana*) en polvo a nivel banco.

Finalmente se evaluará experimentalmente el impacto de todas las variables que afectan al diseño del secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco, incluyendo materias primas y/o tiempo de secado para dar con las condiciones óptimas de operación, y de esta manera aportar una tecnología selectiva técnica y económicamente rentable.

### **2.3. Definiciones de términos básicos. -**

**Diseñar.** - Consiste en delinear una figura cualquiera, dar forma a un objeto cualquiera, describir las cualidades de un objeto, dimensionar a un objeto, determinar el volumen o la capacidad del objeto. Desarrollar un proceso siguiendo una secuencia

**Tecnología-** Es el conjunto de reglas técnicas que se apoyan en un fundamento científico, necesarias para la fabricación de uno o más productos, y para establecer una empresa con ese fin (El saber hacer)

**Parámetros Óptimos.-** Son estándares medibles que sirven para controlar los factores durante el procesamiento y/o elaboración de los alimentos.

**Sauco-** Es un fruto similar a las uva, de sabor muy ligeramente ácido, en consumo de manera fresca, como también transformado en néctares y mermeladas

**Cinética del secado´.-** La cinética del secado de un material no es más que la dependencia de la humedad del material y de la intensidad de evaporación con el tiempo o variables relacionadas con este, como la propia humedad o las dimensiones del equipo.

**Procesos. –** Secuencia de un conjunto de fases sucesivas de un fenómeno natural o artificial.

**secado. –** El secado o la desecación es la operación que consiste en separar mediante procedimientos no mecánicos un líquido de un sólido que lo retiene físicamente.

**Secar.-** Es la eliminación de agua de un sólido, líquido o gas

**Proceso de secado. –** Consiste en la remoción de la humedad de una sustancia involucrando los fenómenos de transferencia de masa y calor en forma simultánea.

**Secador. -** Recipiente o sistema donde ocurre la eliminación del agua o la humedad en el proceso de secado

**Atomizar.** Dividir en partes sumamente pequeño, pulverizar especialmente un líquido.

**Extracto.** Sustancia resultante de la evaporación de ciertas disoluciones.

**Acuoso.** Que contiene agua, fruta acuosa, abundante en agua.

**Evaporación.** Se refiere a la eliminación del agua de una solución acuosa.

**Deshidratar.** Privar de agua a un organismo o a una cosa.

**Diseño detallado de ingeniería. -**

Es el conjunto de cálculos matemáticos, diagramas detallados y hojas de especificaciones que se deben llevar a cabo para producir planos y documentos

complementarios que sirvan posteriormente para la adquisición, instalación, fabricación de equipos, así como secadores, extractores, tanques a presión, intercambiadores, hornos, tuberías.

**Modelo cinético.-** Es el modelo matemático que explica el estudio de algún fenómeno en movimiento.

**Diseño de secador por atomización.-**

Diseñar secadores por atomización, consiste en determinar la capacidad del sistema para transformar el la suspensión en polvo mediante las condiciones de operación establecidas, es decir, con el tamaño determinado debe lograr la eficiencia deseada.



### **III. HIPOTESIS Y VARIABLES. -**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **Hipótesis General. -**

La aplicación del fundamento de la ingeniería de diseño de secadores incide de manera significativa en el diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.

##### **Hipótesis Específica. -**

1. La aplicación de los fundamentos de la ingeniería de procesos difusionales nos permitirá analizar el proceso de secado por atomización del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*).
2. La aplicación de los fundamentos de la ingeniería de diseño bien formulada nos permitirá evaluar las variables, y el modelo de diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.
3. La aplicación del procedimiento de diseño de ingeniería de detalles nos permitirá diseñar detalladamente el secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.

#### **3.1.1. Operacionalización de la variable**

##### **1. Definición conceptual de las variables. -**

Las variables son las siguientes:

$$X = f (Y_1, Y_2)$$

##### **Variable dependiente:**

**X** = Diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.

##### **Variables independientes:**

**Y<sub>1</sub>** = Proceso de secado por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*).

**Y<sub>2</sub>** = Fundamento y procedimiento de la ingeniería de diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.

##### **Variables intervinientes:**

- Rendimiento de secado.
- Eficiencia del equipo

**2. Operacional de la variable (dimensiones, indicadores, índices, métodos y técnica). -**

La definición operacional de la variable para el proyecto de investigación se muestra en la tabla 1.



**Tabla 1**  
Operacionalización de variable

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
X = Diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco ( <i>Sambucus peruviana</i> ) a nivel banco.	m <sup>3</sup>  m m	- Volumen del secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco ( <i>Sambucus peruviana</i> ) a nivel banco. - Altura del equipo - Diámetro del equipo	Lógico-hipotético-deductivo Analítico. Observacional - experimental. Modelación
VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Y <sub>1</sub> = Proceso de secado por atomización para la obtención del colorante natural de sauco ( <i>Sambucus peruviana</i> ).	Mol/m <sup>3</sup> s	Velocidad de secado para la obtención del colorante de sauco ( <i>Sambucus peruviana</i> ) en polvo.	Lógico- hipotético deductivo. Observacional-experimental. Analítico. Modelación.
Y <sub>2</sub> = Fundamento y procedimiento de la ingeniería de diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco ( <i>Sambucus peruviana</i> ) a nivel banco.	m <sup>3</sup> /s  atm, °C h	a) Flujo de alimentación del extracto del colorante de sauco. b) Condición de operación (presión, temperatura). c) Tiempo de secado	Lógico- hipotético deductivo. Observacional-experimental. Analítico. Modelación.

## **IV.- METODOLOGIA DEL PROYECTO.**

### **4.1. Diseño metodológico.**

El presente trabajo es una investigación predictiva y aplicada, y se encuentra ubicado dentro del área de Ingeniería y tecnología química con la codificación de acuerdo con la UNESCO 3303.09 otros (diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco), porque responde a los fundamentos de la Ingeniería de diseño y a los aspectos tecnológicos industriales.

El diseño metodológico ha consistido en:

a) Investigación bibliográfica:

Revisión de la bibliografía sobre el diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.

Búsqueda, recopilación, organización, valoración, crítica, selección e información bibliográfica sobre proceso y cinética de secado por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) en polvo.

b) Análisis del proceso y de la cinética de secado para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) en polvo.

c) Análisis y diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco

d) Determinación del modelo y de las variables de diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.

e) Diseño detallado de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel.

**4.2. Método de investigación.-** Según la definición de método de investigación, son las estrategias o técnicas utilizadas en la recolección de datos o de evidencias para el análisis (Wentz, 2014; McLaren, 2014; Creswell, 2013; Hernández-Sampieri et. al. Y Kalain, 2008). De acuerdo con esta definición el trabajo de investigación diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus*

*peruviana*) a nivel banco, se ha utilizado los siguientes métodos de investigación:

Método cuantitativo

Método observacional-experimental

Método lógico-hipotético-deductivo.

Método analítico.

Método de la modelación

#### **4.3. Población y muestra. -**

El criterio de población y muestra no es aplicable al presente trabajo por ser una investigación sustantiva tecnológica comunicativa.

#### **4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado. -**

El presente trabajo de investigación tiene como lugar de estudio el Laboratorio de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao en el periodo de 10 meses (01/03/2024 al 31/12/2024).

#### **4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información. -**

Las técnicas del procedimiento lógico que se utilizará para la recolección de la información serán:

- Técnica deductivo, observacional y cuantitativo de evaluación del proceso de de secado para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.
- Técnica experimental, y observacional para la determinación de los parámetros de diseño de un secador por atomización.
- Técnica cuantitativa de ingeniería de diseño, para el diseño detallado del secado por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.

#### **4.6. Plan de trabajo de campo o gabinete.-**

- a) Análisis del proceso de secado por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.
- b) Análisis y diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.

#### **4.7. Análisis y procesamiento de datos.**

En el trabajo de investigación, el procesamiento de datos se ha llevado a cabo mediante las siguientes unidades de análisis:

**4.7.1. Fundamento de diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.** La aplicación del fundamento de la ingeniería de diseño de secadores incide de manera significativa en el diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) nivel banco.

En el secador por atomización el agua de una suspensión de finas gotas o partículas de una disolución o suspensión se puede evaporar, produciendo una nebulización (Spray) de las mismas en una cámara por donde se hace circular gases calientes. Este proceso resulta adecuado para el secado de materiales que tienen baja estabilidad térmica, como ocurre en la leche, el café, el plasma, ciertos polímeros, etc. En este tipo de secadores hay que atomizar y distribuir el material bajo condiciones controladas, lo cual se observa en los costos de operación (Marcilla et.al., 1999). Ver figura 1.

La atomización líquida en pequeñas gotas se puede desarrollar de dos formas, ya sea por presión o energía centrífuga. Estos tipos de equipos usados incluyen atomizadores neumático, boquilla de presión, configuraciones de discos giratorios y recientemente dos boquillas y boquilla sónica.

El propósito principal de esta fase es crear la máxima superficie de transferencia de calor entre el aire seco y el líquido para optimizar la transferencia de masa y calor.

El mecanismo de secado por atomización fue investigado por Seltzer, y Sttelmeyer (1950), ellos notaron que en la mayoría de los secadores hay una zona primaria y secundaria de secado.

En la zona primaria la mayoría de la humedad es extraída por un consecuente caída de temperatura; mientras que en la zona secundaria el aire experimenta una pequeña caída de temperatura, y en los secadores comerciales la zona primaria de secado se produce aproximadamente a tres pies de radio que rodea al disco rotatorio. Si el material no está suficientemente seco su trayectoria a través del secador puede acumularse sobre las paredes de este. Cuando el secado es normal es decir manteniendo constante la temperatura de ingreso como la salida del aire; estos investigadores mencionan que el secado por atomización tiene lugar en dos periodos: periodo de velocidad constante y periodo de velocidad decreciente.

Como las partículas son finamente divididas en la cámara de secado el tiempo de residencia implicado en cada una de estas etapas es pequeño.

Masters(1991), menciona que en el periodo de la velocidad constante sucede que la evaporación tiene lugar en la superficie de la partícula, donde la velocidad de evaporación es controlada por la velocidad de difusión del vapor a través de la película del aire que lo rodea. En esta etapa el secado donde la fuerza impulsora principal es la diferencia de temperaturas entre la temperatura del aire que lo rodea y la temperatura de la partícula, consideran como la temperatura del bulbo húmedo del aire de entrada. En esta fase la velocidad de difusión del agua a través de la partícula es capaz de ser más grande o igual que la velocidad de evaporación. Mientras más alta es la temperatura del aire de secado y el más alto de la concentración de la carga; más corto será el periodo de la velocidad constante.

Cuando la velocidad de difusión del agua a través de la partícula ya no es capaz de mantener la superficie de la partícula saturada entonces la velocidad de difusión llega a ser el factor de control y entra en el periodo de la velocidad decreciente, en este periodo la evaporación tiene lugar en algunos planos bajos de la superficie de la partícula.



Cuando la velocidad de difusión del vapor es menor que la velocidad de evaporación, entonces se forma vapor dentro de la partícula y cuando la superficie de la partícula está en la etapa plástica puede causar expansión y reventar formando el típico agujero de las partículas secas por este método.

En el periodo de la velocidad decreciente que la temperatura de la partícula comienza a mantener por encima de la temperatura del bulbo húmedo y aproximarse a la temperatura del aire que lo rodea.

El estudio de secado por atomización es el método más económico para materiales que requieren secado instantáneo, en este caso es para el secado del extracto de sauco, porque sus propiedades físicas se adaptan a este tipo de secado.

El corazón de la operación es la atomización de la carga dentro del secado por el disco atomizador, después de lo cual el aire calentado entra en contacto íntimo con el fino atomizado dando un secado rápido.

En el calefactor del aire es calentado a la temperatura de 60° y una salida de 30° para cada muestra, el aire caliente pasa a la cámara de secado donde se evapora la humedad requerida enfriándose a una temperatura de salida.

El producto seco y el aire son separados en el conector, y como hay partículas finas que son arrastradas por el aire caliente son atrapadas en el ciclón.

A diferencia de la mayoría de otros métodos de secado este método exige al diseñador considerar operaciones importantes además del secado, y estas operaciones generalmente son mezcla y agitación en el recipiente de preparación para que de esta manera la carga que ingresa al atomizador sea adecuadamente; después de la preparación pasa al bombeo y la colección de polvos a través de los ciclones (García, 2012)

La elección de la configuración del secador por atomización dependerá de la naturaleza y la viscosidad del producto y sus características deseadas del producto seco. Esto se encuentra proporcionalmente establecido entre la energía suministrada, más finas serán las gotas formadas. Para la misma cantidad de energía y el tamaño de las partículas formadas, que incrementan la velocidad de alimentación (Ferrari et.al., 2012).



Es un método para producir un polvo seco a partir de un líquido o suspensión mediante el secado rápido con un gas caliente es secado por atomización . El secado por atomización es el método preferido de secado de muchos materiales sensibles al calor, como alimentos y productos farmacéuticos. La razón para secar por atomización algunos productos industriales como los catalizadores se debe a una distribución uniforme del tamaño de partículas. El medio de secado es el aire calentado; sin embargo, si el líquido es un disolvente inflamable como el etanol o el producto es sensible al oxígeno, se utiliza nitrógeno (Mujundar, 2007).

El secador por atomización utiliza un flujo de aire caliente para evaporar el líquido atomizado en pequeñas gotas. Estas gotas se generan mediante un atomizador y son expuestas a un flujo de aire caliente, lo que resulta en un secado rápido (Keey, 1992).

#### **4.7.2. Procedimiento de diseño detallado del secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) nivel banco.**

El diseño de un secador por atomización es crucial para garantizar la eficiencia en el proceso de secado de líquidos a polvo. Aquí se presenta el procedimiento de diseño para obtener los datos y las especificaciones técnicas para la construcción de un secador por atomización.

El tipo de secador para la obtención del colorante del sauco (*Sambucus peruviana*) en polvo para uso comercial se ha seleccionado al secador por atomización de rodete, tomando los datos de los parámetros de operación obtenidos a nivel de laboratorio para este tipo de proceso por los investigadores que realizamos el presente trabajo investigación.

Por otro lado, la cantidad necesaria de materia prima y el aire de secado para el diseño del secador por atomización han sido determinados en base a la cantidad calculada por balance estequiométrico, cuya capacidad aproximada es de 1500 ml/h de extracto de sauco, y un flujo de aire 5m<sup>3</sup> /h, por el criterio de escala banco de Richard P. Palluzi, (Ullman's Encyclopedia of industrial Chemistry Sixth Edition 2003).

**1) Bases de diseño:**

**a) Producto:** Colorante natural de sauco en polvo

**b) Escala de producción:** a nivel banco

**c) Tipo de proceso:** Secado por atomización.

**d) Condiciones de operación:**

- $F_B$  = Flujo de alimentación del extracto de sauco
- $F_B$  = 500 mL/h.
- Tiempo de secado, y de calentamiento: 2,0 horas (calculado experimentalmente)
- Que debe ser sometido a la correspondiente operación de secado a la temperatura de 60 °C y a la presión atmosférica (dato práctico).
- Velocidad del aire caliente: 1m/s (dato práctico)
- Condiciones de calentamiento:  
Temperatura inicial: 20 °C  
Temperatura final: 60 °C

Humedad en la producción final: 1%

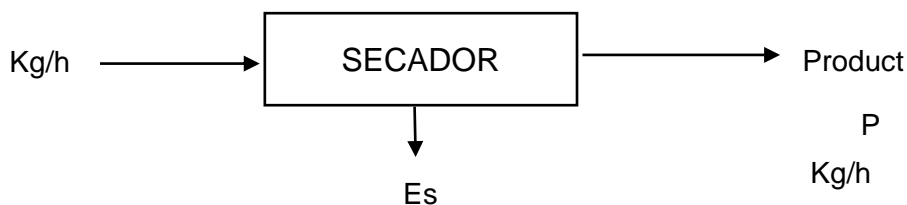
1) Tiempo: 7 h

2) Producto final: 1,5 Kg /h

**2) Calculo de la capacidad**

Balance de materia en la operación de secado por atomización:

Cálculo de la alimentación al secador:



Donde:

F = Flujo de entrada del extracto de sauco.

P = Producto final Kg/h

Es= Cantidad de agua que debe evaporarse

$X_f$  = Fracción molar del flujo de entrada: 40%

$X_p$  = Fracción molar del producto: (99% de sólidos totales en polvo)

Balance global:

$$F = P \dots \dots (1)$$

Balance de componente:

$$X_f \cdot F = X_p \cdot P \dots \dots (2)$$

De la ecuación (2) se tiene:

$$0.40 \times F = 0.99 \times 1,5 \text{ kg/h.}$$

$$F = 3.71 \text{ Kg/h} \times 1 \text{ l/1.13 Kg.}$$

$$F = 3,37 \text{ l/h}$$

Alimentación o rata de solución de entrada =

$$F = 3,37 \text{ l/h}$$

Balance en el secador:

$$F = E_s + P \dots \dots (3)$$

$$E_s = F - P$$

$$E_s = (3.71 - 3,3) \text{ Kg/h} = 0,41 \text{ Kg/h}$$

Cálculo de la cantidad de aire necesario:

La cantidad de aire necesario para extraer el agua a evaporarse en el secador se calcula de siguiente manera:

Asumiendo que las condiciones ambientales del Callao son:

Temperatura promedio: 15,5°C (invierno)

Humedad relativa (Hr) promedio: 90%

Humedad absoluta (Ha), leída de la carta Psicométrica es: 0.008 Kg de agua/Kg de aire seco.

El aire debe ser limpio y exento de CO<sub>2</sub>; para lo cual se debe usar un filtro de aire.

Condiciones de ingreso:

Temperatura: 60 °F = 15,5 °C

$Ha_1 = 0.008 \text{ Kg de agua/ Kg de aire seco,}$

Esto pasará por el secador.

En la carta Psicométrica seguirá una línea de enfriamiento adiabático.

Cálculo de la temperatura de saturación ( $T_s$ )

$$T_s = 32,2 \text{ °C} = 90 \text{ °F}$$

Con  $T_s = 32,2 \text{ °C}$ , se obtiene de la carta psicométrica la:

$Ha_2 = 0.02 \text{ Kg de agua/Kg de aire seco.}$



El agua extraída por el aire será:

$$(0.02 - 0.008) \frac{\text{Kg. de agua}}{\text{Kg. de aire seco}} = 0.012 \text{ Kg de agua / Kg de aire seco,}$$

Debemos extraer 0,41 Kg. de agua/hora, luego la cantidad de aire necesario será:

$$0.41 \frac{\text{Kg de agua}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ Kg de aire seco}}{0.012 \text{ Kg de agua}} =$$

34,2 Kg. de aire/h. ó 75,33 lb. de aire/h.

Cálculo de cantidad de calor necesario para el secado.

Para secadores por atomización aparecen datos de funcionamiento en el texto de Liddell . El calor asumido en este secador varía entre 2,000 a 5,000 BTU/lb.

De agua evaporada para una temperatura de 140 °F, luego:

$$0,41 \frac{\text{Kg de agua}}{\text{h}} \text{ ó } \frac{0,904 \text{ lbs de agua a evaporarse}}{\text{h}}$$
$$0,904 \frac{\text{lbs. de agua evap.}}{\text{h}} \times 200 \frac{\text{BTU}}{\text{lbs. de agua evap.}}$$

Cantidad de calor necesario = 180,8 BTU/h ó 45,6 Kcal/h,

Este es un dato práctico donde se considera las pérdidas por radiación y conducción, etc.

Cálculo del tiempo de secado:

Cálculo del período de secado constante (Constant rate); En términos de transferencia de calor la velocidad de evaporación está dado por:

$$\frac{dw}{d\theta} = \frac{2\pi k_f D_p (T_a - T_s)}{\lambda}, \text{ donde:}$$

Kf = Conductividad térmica de la película, gota (como agua) a una temperatura de bulbo húmedo de 80°F=0.38 BTU/ft-h-°F

Dp = Diámetro promedio de la gota.

Ta = Temperatura del medio de secado = 140 °F

Ts=Temperatura en la superficie de la partícula (calculando), 90°F

λ = Calor latente de evaporación = 1,022 BTU/lb.

Cálculo del tamaño de gota:

Según la ecuación de Marshall (Chem. Eng. Pág. 47.-Pag 50, 1-60; 1954)

$$\frac{x}{r} = 0.4 \left[ \frac{m}{\rho \cdot N \cdot r^2} \right]^{0.6} \cdot \left[ \frac{\mu}{m} \right]^{0.2} \cdot \left[ \frac{\sigma \cdot \rho_1 \cdot L_w}{m^2} \right]^{0.1}$$

Datos:

r= Radio del atomizador: 0.25 ft.

N=Velocidad del disco: 15,000 RPM.

Lw=Longitud de la circunferencia mojada:

$$2\pi r = 1.571 \text{ ft.}$$

u =Asumiendo aproximadamente 1.6 cp.=0.067 lb ó 0.067 lb/ft-min.

$\sigma$  = Asumiendo la tensión superficial del agua a 70 °F = 577 lbm/min<sup>2</sup>

$\rho_1$  = Densidad del líquido

N = R. P. M.

$\rho_1$  = 1.3 gr/c.c. ó 81.08 lbm/ft<sup>3</sup> (densidad del líquido acuoso al 60%)

$\dot{m}$  =Carga

$\dot{m}$  =19.82 lbm/min

m = Velocidad de la masa por unidad de longitud de la circunferencia mojada

$$m = \frac{\dot{m}}{L_w} = \frac{19.82 \text{ lbm/min.}}{1.57 \text{ ft}} = 12.62 \text{ lbm/ ft-min.}$$

Reemplazando los valores los valores en la ecuación se tiene:

$$\begin{aligned} X &= 0.4 \times 0.25 \text{ ft} \left[ \frac{12.62}{81.08 \times 15,000 \times (0.25)^2} \right]^{0.6} \cdot \left[ \frac{0.067}{12.62} \right]^{0.2} \cdot \left[ \frac{577 \times 81.08 \times 1.571}{(12.62)^2} \right]^{0.1} \\ &= 3.495 \times 10^{-4} \text{ ft} \times \frac{0.3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} \times \frac{1 \text{ micra}}{10^{-6} \text{ m}} = 106.5 \mu \\ &= 106.5 \mu \end{aligned}$$

Cálculo del diámetro final de la partícula:

Según Marshall y Crosby (1958 Chem.Eng. Preg.Junio)

$$\frac{Dp_2}{Dp_1} = \sqrt[3]{\frac{\rho_1 \cdot Co}{\rho_2 \cdot Cf}}, \text{ donde:}$$

$Dp_2$  = Diámetro final de la partícula seca

$Dp_1$  = Diámetro de las gotas iniciales (106.5)

$\rho_1$  =Densidad inicial de la suspensión (1.3 gr/c.c.)

$\rho_2$  =Densidad final del sólido seco (0.5 gr/c.c.)

Co = Concentración inicial del sólido (60%).

Cf = Concentración final del sólido (99%),



Con estos datos hallaremos el diámetro final y que será también aproximadamente al final del constant rate.

$$Dp_2 = \sqrt[3]{\frac{1.3 \times 60\%}{0.5 \times 99\%}} = 124\mu$$

$$Dp_{promedio} = \frac{106.5 + 124}{2} = 115.2\mu$$

Usando este diámetro promedio de la gota, la velocidad promedio de evaporación en el periodo de constant rate es reemplazado en la ecuación:

$$\frac{dw}{d\theta} = \frac{2\pi \times 0.3 \frac{BTU}{ft-h-^{\circ}F} \times 115.2 \times 10^{-4} cm. (302 - 113)^{\circ}F}{1,022 \frac{BTU}{lb} \times 30.48 \frac{cm}{ft}}$$

$$\frac{dw}{d\theta} = 1.669 \times 10^{-4} \frac{lb}{h} \cong 0.0758 \frac{g}{h}$$

En este periodo se puede decir que por estar la superficie de la gota completamente mojada predominará la conductividad térmica del agua.

El contenido de la humedad inicial de la gota (g) es:

%Humedad inicial del líquido x Volumen x densidad=

$$0.4 \times \frac{4}{3} \pi r_1^3 \rho_1 = 0.4 \times \frac{4}{3} \pi \left( \frac{106.5}{2} \times 10^4 \right)^3 cm^3 \times 3.29 \times 10^{-7} g$$

Como el contenido de humedad en el punto crítico (30%) de la humedad relativa es asumida por Masters.

$$0.4 \times \frac{4}{3} \pi r_1^3 \rho_1 = 0.4 \times \frac{4}{3} \pi \left( \frac{106.5}{2} \times 10^4 \right)^3 cm^3 \times 3.29 \times 10^{-7} g$$

$$\left( \frac{30}{70} \right) \times \frac{4}{3} \left( \frac{106.5}{2} \times 10^4 \right)^3 cm^3 \times 0.5 \frac{g}{cm^3}$$

Humedad final=  $1.3553 \times 10^{-7} g$

La cantidad de humedad a ser extraída en el período de constant rate es:

$$(3.29 \times 10^{-7} - 1.355 \times 10^{-7} = 1.935 \times 10^{-7} g)$$

Por lo tanto, el tiempo requerido ( $\theta_R$ )=  $\frac{\text{Humedad extraída}}{\text{Velocidad de evaporación}}$

$$\theta_R = \frac{1.935 \times 10^{-7} g}{0.0758 g/h} = 2.554 \times 10^{-6} h$$

$$\theta_R = 9.19 \times 10^{-3} s \cong 0.01 s$$

Cálculo del período de falling rate:

La velocidad de extracción de humedad en el período de falling rate es diferenciando la ecuación siguiente:

$$\theta_R = \frac{\kappa (Dp_2')^2 \cdot \rho_S (W_c - W_o)}{12 k_f x \Delta T}, \text{ donde:}$$

$$\theta_f = 6,948 \times 10^{-5} s \cong 0.250 s$$

El tiempo total de secado es:

$$\theta_t = \theta_f + \theta_R = 0,26 \text{ segundos.}$$

### 3.) Dimensionamiento.

Diseño de la cámara:

Nos permite establecer este diseño la estimación del tamaño de la cámara de secado. Según los datos prácticos la capacidad de evaporación por pie cubico de cámara en un secador por atomización es según el texto Liddell donde el factor de capacidad es

$$0,1 \text{ a } 3,0 \frac{\text{lbs. de agua evap.}}{\text{h} - \text{ft}^3 \text{ de camara}}$$

Usando un factor a la temperatura de aire de entrada será 0.58, este factor depende de la temperatura del aire de entrada, este autor menciona que cuanto mas alto es la temperatura del aire más alto será la capacidad de evaporativo.

Luego se obtiene:

$$\frac{0.41 \text{ lbs. de agua evap/ h.}}{0.58 \text{ lbs. de agua evap./h} - \text{ft}^3 \text{ de camara}}$$

Volumen = 0.7062 ft<sup>3</sup> de cámara.

Este es el volumen de la cámara de secado y según las dimensiones esquemáticas de la cámara de secador por atomización según Jhon Perry 4ta ed. proporciona las siguientes dimensiones:

$$V = 0.175\pi D^3$$

Relacion: D/ H = 0.7

$$0.7062 \text{ ft}^3 = 0.175 \pi D^3$$

$$D = 1.12 \text{ ft} = 34.2 \text{ cm}$$

$$H = 50 \text{ cm}$$

#### 4.) Especificaciones

Datos operativos:

Debe tener los siguientes:

- 1) Una cámara de secado de forma cilíndrica con fondo cónico de boro silicato (pyrex), con entradas tangenciales de aire frío, para mantener frías las paredes de la cámara de secado.
- 2) Un atomizador centrífugo de una velocidad de 15,000 RPM, hecho de acero especial. El atomizador es impulsado por una correa de transmisión en V, por un motor; todas las partes del atomizador expuestas al líquido y al polvo son de acero inoxidable, el atomizador debe llevar 18 paletas.
- 3) Dispersador de aire, especialmente diseñado para la distribución del aire dentro de la cámara de secado por las cuatro laterales y alrededor del disco giratorio
- 4) Calentador de aire por medio de resistencia de un quemador de aire.
- 5) Un conducto para el aire de secado desde la entrada del aire hasta la cámara hecha de acero dúctil galvanizado.
- 6) Un conducto de salida de aire desde la cámara de secado hasta medio ambiente.
- 7) Un ventilador para el transporte de aire a través del secador de rociado completo con correas de transmisión en V y motor.
- 8) Un filtro de aire para la limpieza del aire del aire de secado que se colocara a la entrada del aire.

#### 5) Datos de construcción:

Recipiente de la cámara de secado:

Diámetro : 34,2 cm.

Altura total del secador : 50 cm.

Altura de parte cilíndrica: 43 cm.

Fondo principal tipo cónico :

Volumen del fondo : 1100 mL.

Altura del fondo : 7 cm.

Espesor del vidrio boro silicato para el fondo y parte cilíndrica: 6 mm

Motor eléctrico : Potencia : 1500 kW.

Camisa de calentamiento del reactor

Tensión: 220 V

Velocidad del aire: 0 a 30 m/h

Temperatura máxima de entrada: 200° C

Temperatura mínima de salida: 20°

Potencia del calentador: 1300 W

Tiempo medio de residencia: 1 a 1.5 seg

Volumen mínimo de muestra: 20 mm

Área de transferencia de calor, Ah: 990 cm<sup>2</sup>

Diámetro equivalente, De : 17,053 cm

Jw= espesor de la camisa de calentamiento: 2 cm

Longitud de la camisa de calentamiento : 26,70 cm.



## **V. RESULTADOS**

### **5.1. Resultados descriptivos. -**

No es del caso su aplicación al presente trabajo de investigación, puesto que los resultados descriptivos son aquellos resultados recopilados en unos valores numéricos al aplicar:

- a) Medidas de centralización: moda, media, mediana, deciles, cuartiles, y percentiles.
- b) Medidas de dispersión: desviación típica, varianza, rango, rango intercuartílico.
- c) Medidas de forma: coeficiente de variación de Pearson.
- d) Relación entre variables: coeficiente de correlación lineal, recta de regresión.

### **5.2. Resultados inferenciales. -**

Los resultados inferenciales son provenientes de la muestra de una población del diseño metodológico, el cual se apoya fuertemente en el cálculo de probabilidades, debido a este criterio de población y muestra no fue aplicado a este trabajo de investigación, por lo cual no es del caso.

### **5.3. Otro tipo de resultados de acuerdo con la naturaleza del problema y la hipótesis.**

En el presente trabajo de investigación los resultados se han obtenido aplicando el fundamento y el procedimiento de la ingeniería de diseño detallado para el diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco, los cuales se muestran en las tablas de resultados en la tabla 2, figura 2 y figura 3.

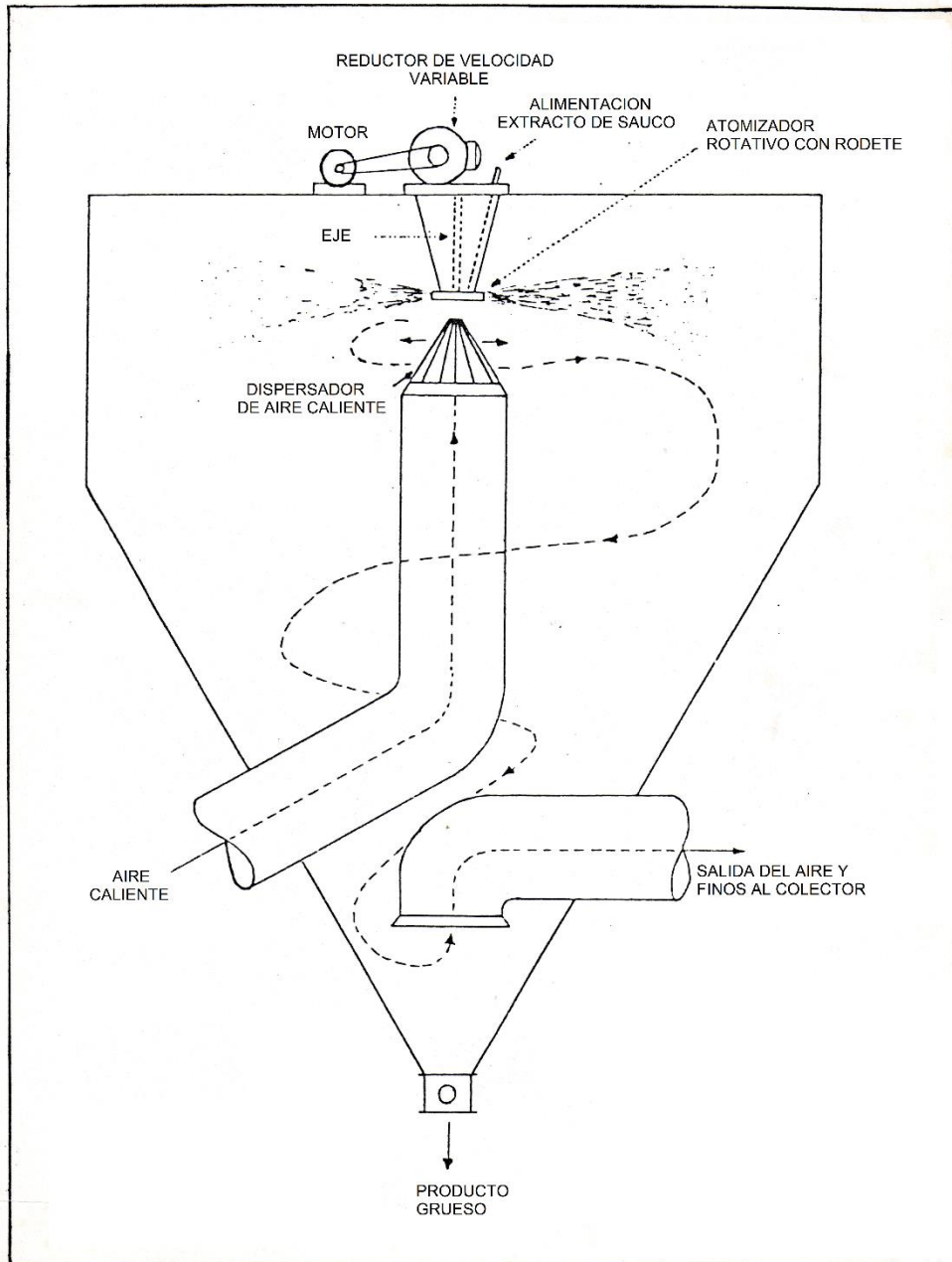


**Tabla 2.** *Datos de construcción del secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (Sambucus peruviana) a nivel banco*

<b>COMPONENTES DEL REACTOR TANQUE</b>	<b>DIMENSIONES Y UNIDADES</b>
Flujo de alimentación del extracto de sauco	500 mL /h
Velocidad del aire	1 m/s
Volumen del secador	22 L
Diámetro del secador	34, 20 cm
Altura total del secador	50 cm
Altura de la parte cilíndrica	43 cm
Fondo tipo cónico:	
Volumen del fondo	1100 mL.
Altura del fondo	7 cm
Espesor del recipiente de vidrio boro silicato de la parte cilíndrica	6 mm
Espesor del recipiente de vidrio boro silicato del fondo tipo cónico	6 mm
Potencia del motor	1500 W
Potencia del calentador	1500 W

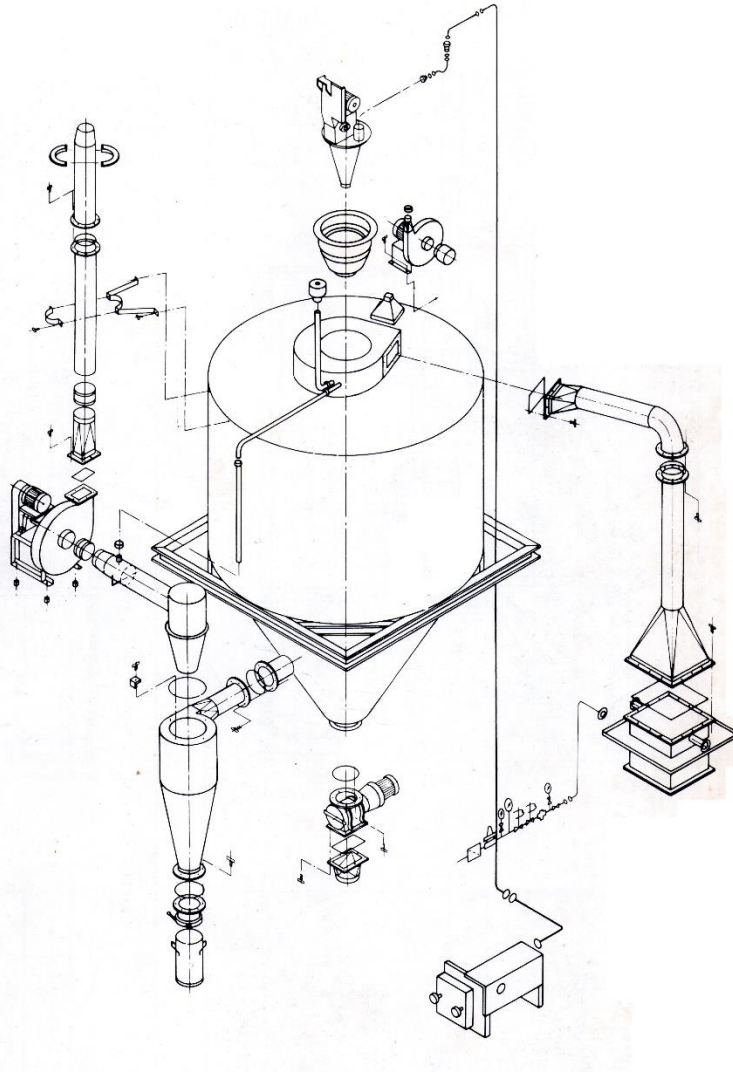
**Figura 2**

*Camara cónica de secado y sus componentes del secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco*



**Figura 3**

*Componentes del secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco y sus accesorios*



## VI. DISCUSION DE RESULTADOS

### 6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados. -

El equipo de secador por atomización a nivel banco puede instalarse sobre el mobiliario del laboratorio o colocarse en el suelo, según sea necesario. La potencia es de solo 1,5 KW, tiene solo 80 mm de alto y la cantidad mínima de material es de 20 ML, por lo que es muy conveniente para la preparación del material, tiene una buena capacidad de expansión. Puede agregar un módulo de vacío y un módulo de sistema de circulación de nitrógeno según sus necesidades en una etapa posterior, para adaptar así el secado por aspersion de solventes orgánicos y materiales sensibles al calor.

Se han evaluado los parámetros que influyen en el diseño del secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco, considerando la escala de producción a nivel banco, condición de operación, propiedades físicas del extracto de sauco se ha evaluado la temperatura de secado a 60° C, la influencia de la velocidad del aire

La ventaja del equipo diseñado radica que permite determinar las variables del diseño del secador por atomización para la obtención de colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a las condiciones de operación a escala banco, con estos parámetros se debe diseñar el secador a escala industrial para la producción del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) y comercializar con un alto valor económico en el mercado nacional e internacional, puesto que el reto tecnológico está en el escalamiento del secador de escala banco a escala industrial.

El secado por atomización preserva la calidad del producto porque el secado es tan rápido y todo el material esta siempre húmedo en la zona caliente del secado de modo que no llega a sobrecalentar y malograrse el producto seco porque los gases se enfrían lo suficiente por el proceso de evaporación.

### 6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares. -

Mondragón (2013) ha estudiado el proceso de secado por atomización: formación de gránulos y cinética de secado de gotas, menciona que el proceso de secado por atomización es una operación unitaria que interviene en

numerosas aplicaciones industriales. Para cada aplicación en concreto, el material granulado resultante debe poseer unas propiedades determinadas que dependen de las condiciones en las que se lleve a cabo el secado por atomización, y cuya dependencia debe conocerse para así optimizar la calidad del material obtenido. Asimismo, menciona que, el gran número de variables que influyen en los procesos de transferencia de materia y energía que tienen lugar, y en la formación del material granulado, han hecho necesario el análisis en detalle del proceso de secado. También menciona que a lo largo de los años han sido muchos los estudios realizados sobre el secado por atomización y la influencia de las variables del proceso en la cinética de secado y las propiedades del material granulado obtenido, para todo tipo de materiales.

Hurtado (2003) ha estudiado la técnica de secado por atomización los alimentos deshidratados, en especial los de la zona andina y dentro de ellos el tomate de árbol, que representan un interés comercial ya sea para consumo directo, complemento de otros alimentos o productos farmacéuticos. donde un líquido (jugo concentrado), se transforma en un producto seco pulverulento, para lo cual ha manipulado las variables de mayor incidencia dentro de la operación de secado. Asimismo, menciona que , es necesario emplear un agente encapsulante y un tratamiento enzimático para contrarrestar los efectos de la temperatura y reducir la viscosidad del jugo de tomate concentrado. También indican que las variables de salida como tamaño de partícula y humedad final fueron determinados por microscopía electrónica de barrido ambiental y método gravimétrico, respectivamente. Se obtienen distribuciones de tamaño de partícula en función de la temperatura de entrada y la concentración, esta última determinada por los grados Brix.

Machaca (2007) ha diseñado y construido el extractor sólido líquido multipropósito a nivel banco para el estudio de extracción de variedades de aceites esenciales, asimismo, menciona que todo el conjunto de este extractor diseñado consta de: Hervidor, calentador eléctrico, cesta metálica para materiales vegetales, extractor propiamente dicho, condensador, unidad

colectora del producto (Florentino), manguera metálica flexible para vapor, estructura metálica, sistema de control de temperatura y presión del hervidor y extractor.

También indica que para el diseño del extractor propiamente dicho ha empleado el modelo de extractor de lecho fijo con flujo pistón del vapor del solvente y el modelo Soxhlet empleando diversos materiales vegetales.

Finalmente, presenta los cálculos y criterios correspondientes para el diseño de cada una de las partes que componen todo el equipo de extracción sólido líquido multipropósito a escala banco para aceites esenciales.

**6.3. Responsabilidad ética.** - El presente trabajo de investigación es netamente teórico-experimental, y se ha procedido con mucha responsabilidad ética en su desarrollo especialmente en la obtención y análisis de los datos y de variables de diseño del secador por atomización a nivel banco.

## VII. CONCLUSIONES

Se ha diseñado el secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco para llevar a cabo experimentos y obtener datos directamente aplicables al diseño del secador industrial.

Se ha analizado el proceso y la cinética del secado por atomización del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) determinándose que la temperatura del secado fue de 60° y la velocidad del aire de 1 m/s.

Se ha analizado el fundamento de diseño de un el secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco en base a este análisis, y me permitido plantear el siguiente modelo:

$$V_R = 0.175 \pi D^3 \quad .$$

Se ha diseñado detalladamente el diseño de un el secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco, y se han obtenido el siguiente resultado: El secador consta de un recipiente cilíndrico, abocinado, y cerrado de vidrio boro silicato, con un volumen de 22 litros, con las siguientes dimensiones: diámetro de 34.2 cm, altura total del secador de 50 cm, altura de la parte cilíndrica 43 cm, fondo tipo cónico con 7 cm de altura, espesor del vidrio boro silicato 6 mm para la construcción de la parte cilíndrica y fondo abocinado, potencia del calentador 1500 W.

## RECOMENDACIONES. -

**Al concluir el presente trabajo de investigación, se recomienda:**

Construir el secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco con los datos de construcción y las especificaciones técnicas obtenidas como resultados del diseño detallado para tener como un prototipo en el estudio del secado por atomización para la obtención del colorante natural del sauco a nivel industrial.

Realizar el estudio de escalamiento a nivel industrial con los datos de diseño detallado obtenidos a escala banco.

Realizar investigaciones para evaluar las condiciones de operación a nivel piloto, y luego a escala industrial con sus respectivos instrumentos de control.

Realizar investigaciones el diseño de secadores por atomización aplicados a la industrialización de productos que contengan colorantes naturales



### **VIII. IMPACTO EN LA SOCIEDAD.-**

Permitirá crear nuevas fuentes de trabajo para la población dando acceso a una mejor calidad de vida en las zonas productoras de sauco, debido a que, al revisar los antecedentes nacionales no se ha encontrado una tecnología para obtención del colorante de sauco en polvo implementada en el Perú.



## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS. –

- ABERS, J. E.; WROLSTAD, R. E. Causative factors of color deterioration in strawberry preserves during processing and storage. *Journal of Food Science*, 1979, 44:75-78, 81.
- ÁLVAREZ, R. J., Y VELIZ, J. D. Microencapsulación del extracto de betanina del beta vulgaris por atomización y evaluación de sus propiedades funcionales como colorante natural, 2015.
- A.O.A.C. INTERNATIONAL. Official Methods of Analysis. Décima sexta edición y cuarta revisión. Washington D.C. 1998.
- ARZUBIALDES, K. Trabajo final para la obtención del título profesional." Obtención y caracterización de colorantes naturales a partir de la especie *Brosimum rubescens taubert*" (palisangre), 2009.
- BADUI, S. Química de los Alimentos. Segunda Reimpresión. Longman de México Editores, S.A. de C.V. México. 1995. diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.
- diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (*Sambucus peruviana*) a nivel banco.
- BARBOSA, G; VEGA, H. Deshidratación de Alimentos. Primera Edición. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza- España, 2000, 295 p.
- BERMÚDEZ, J. L., Y MAÍZ, V. Diseño y construcción de un secador de alimentos de origen vegetal en el estado Amazonas (Bachelor's thesis), 2004.
- BOLETÍN INFORMATIVO. Alternativas Tecnológicas, AT-001-2023
- BRENNAN, J.; BUTTER, J.; COWEL, N.; Y LILLY, A. Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos. Primera edición. Editorial Acribia. Zaragoza – España, 1980.
- CAI, Y. Z.; SUN, M.; WU, H. X.; HUANG, R. H.; CORKE, H. Characterization and quantification of betacyanin pigments from diverse amaranthus species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1998, 46:2063-2070.



- CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray dried *Amaranthus* betacyanin pigments. *Journal of Food Science*, 2000 65(6): 1248-1252.
- CALVO, M. *Bioquímica de los Alimentos. Otros pigmentos*, 2008. Disponible en:  
<http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/pigmentos/otroscolores.html>
- CEMUE-PIAPYME. *Productos vegetales naturales de uso en cosmética e higiene personal (nutracéuticos)*, 2008. Disponible en:  
[http://www.economia.gob.mx/swb/work/models/economia/Resource/968/1/images/investigacion\\_mercado\\_productos\\_vegetales\\_naturales\\_cosmetica\\_higiene\\_personal\\_UE.pdf](http://www.economia.gob.mx/swb/work/models/economia/Resource/968/1/images/investigacion_mercado_productos_vegetales_naturales_cosmetica_higiene_personal_UE.pdf).
- COLOME, F. *Obtención del colorante de Dioscórea trifida (Sachapapa morada) por atomización*. Tesis facultad de industrias alimentarias. Universidad de la Amazonia peruana. Iquitos, 2007, pp.1-15.
- CRUZ CERÓN, L. G., & HINOJOSA ROJAS, K. L. *Diseño y construcción de un secador por atomización para la obtención de colorante natural a partir de la remolacha (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.)*, 2015.
- FERNÁNDEZ, N. *Estudio de la Extracción y Pre Purificación de Antocianinas de Maíz Morado (Zea mays L.)*. Trabajo Profesional. Facultad de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú., 1995, Pp 14-55.
- FERRARI, C, S. MARCONI, AND J. AGUIRRE. *Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder*. *Drying Technology*, 2012, 30:154-163.
- GARCÍA, K. *Obtención del Extracto en Polvo a partir de (Mandevilla RYS) (clavo huasca) Mediante Secado por Atomización*, 2012.
- GEANKOPLIS, J. *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. Primera reimpresión. Compañía editorial continental, S.A. México D. F. – México, 1999.
- LOCK O. *Colorantes Naturales*. Primera Edición. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú, 1997. pp.137-163.

- LOCK O. Investigación Fotoquímica Métodos en el estudio de productos naturales. Segunda Edición. Fondo Editorial. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú, 1994.
- LLANGA URQUIZO, E. T. *Rediseño del secador por atomización para la obtención de colorante natural a partir de mora de castilla (Rubus glaucus)* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo), 2018.
- MACHACA, L. *Diseño del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (Cannabis sativa L) a nivel banco*. Trabajo de Investigación presentado al VRI-UNAC, Callao-Perú, 2021.
- MACHACA, L. *Texto: Diseño de Plantas Químicas (Volumen I)*, Trabajo de Investigación presentado al VRI - UNAC, Callao-Perú, 2013.
- MADRID, V. A. Los aditivos en los alimentos según la Unión Europea y la Legislación Española. Primera Edición. Madrid, España, 2000.
- MASTERS, K. *Spray Drying Handbook*. Longman Scientific and Technical, 1991.
- MARKHAN, K.R. *Techniques of Flavonoid Identification*. Academic Press, London, 1982.
- MARCILLA, A. Introducción a las operaciones de separación, TEMA 6, Secado, 1999 [Documento en línea]. Disponible <http://www.ua.es/>. (Consulta: 2003, Abril 18)
- MARTÍNEZ, A. Flavonoides. Facultad de Química Farmacéutica. Universidad de Antioquia. Medellín, 2005.
- MOREJÓN, Y., SILVA, D., Y REYES, Y. Diseño de un secador industrial tipo cilindro rotatorio para granos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 2020,29(3), 62-74.
- OJEDA, D. Antocianinas Totales, Fenólicos Totales y Actividad Antioxidante de las Cascaras de Tres Variedades de Camote Morado (*Ipomoea batatas* (L). Larri). Trabajo Profesional. Facultad de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú, 2003. Pp 17-51.

- OCHOA, P., Y COSINGA, Y. Microencapsulación de ácido carmínico mediante secado por atomización, 2003.
- PINO, G. *Metodología de la Investigación*. Editorial. San Marcos, (2da. Edición) Lima, Perú, 2006 p. 187.
- RAMOS, E., GUTIÉRREZ, A., FLORES, Y., LOZANO, M., CHURA, L., MAMANI, R., Y ALMANZA, R. Determinación de parámetros de secado por aspersión para la obtención de extracto seco rico en Saponinas de residuos de escarificado de Quinoa. *Revista Boliviana de Química*, 2022, 39(4), 1-12.
- REYES, E. Atomización de Alimentos. Memoria Descriptiva. Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos – Perú, 2003, 85 p.
- RIVEROS, H. Y ROSAS, L. *El método científico aplicado a las ciencias experimentales*. Editorial Trillas, México, 1990, p.62.
- ROSALES, J. Influencia de la temperatura y velocidad de aire en la cinética de degradación de las antocianinas del sauco (*Sambucus peruviana* H.B.K) durante el secado por convección. Tesis (Título de ingeniero en industrias alimentarias). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2016.
- RUIZ, L. Investigación experimentales. Monografía. Oaxaca de Juárez. México, 2019.
- RUIZ SEPA, L. R. Diseño de un secador de bandejas para la deshidratación de plátano en la Parroquia Veracruz del Cantón Pastaza (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo), 2016.
- YANZA HURTADO, Erik. Diseño de un secador por atomización a nivel piloto para jugo concentrado de tomate de árbol. [en línea] 2003 [Fecha consulta : 10 de diciembre 2024].
- WALAS, STANLEY M. Chemical process equipment: selection and design. (No Title), 1988.

WISNIAK, J.; NAVARRETE, E. Epoxidation of fish oil, kinetic and optimization model. *Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development*, 1970, vol. 9, no 1, p. 33-41.

## ANEXOS.

Matriz de consistencia: DISEÑO DE UN SECADOR POR ATOMIZACION PARA LA OBTENCIÓN DEL COLORANTE NATURAL DE SAUCO (*Sambucus peruviana*) A NIVEL BANCO

FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION
<p><b>Problema General</b></p> <p>¿Cómo se diseñará el secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) a nivel banco?</p> <p><b>Problemas Específicos.</b></p> <p>1. ¿Cómo es el proceso de secado por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) en polvo?</p> <p>2. ¿Cómo y con qué fundamento se diseñará el secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) a nivel banco?</p> <p>3. ¿Cómo se diseñará detalladamente el secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) a nivel banco?</p>	<p><b>Objetivo General. -</b></p> <p>Diseñar el secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) a nivel banco.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>1. Analizar el proceso de secado por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) en polvo.</p> <p>2. Analizar el fundamento de diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) a nivel banco.</p> <p>3. Diseñar detalladamente el secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) a nivel banco.</p>	<p><b>Hipótesis General. -</b></p> <p>La aplicación del fundamento de la ingeniería de diseño de secadores incide de manera significativa en el diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) a nivel banco.</p> <p>Hipótesis Específica. -</p> <p>1. La aplicación de los fundamentos de la ingeniería de procesos difusionales nos permitirá analizar el proceso de secado por atomización del colorante natural de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) en polvo.</p> <p>2. La aplicación de los fundamentos de la ingeniería de diseño bien formulada nos permitirá evaluar las variables, y el modelo de diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) a nivel banco.</p> <p>3. La aplicación del procedimiento de diseño de ingeniería de detalles nos permitirá diseñar detalladamente el secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) a nivel banco.</p>	<p>Las variables son las siguientes: <math>X = f(Y_1, Y_2)</math></p> <p><b>Variable dependiente:</b></p> <p><b>X =</b> Diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) a nivel banco.</p> <p><b>Variables independientes:</b> <math>Y_1 =</math> Proceso de secado por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) en polvo. <math>Y_2 =</math> Fundamento y procedimiento de la ingeniería de diseño de secador por atomización para la obtención del colorante de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) a nivel banco.</p> <p><b>Variables intervinientes:</b> Rendimiento de secado. Eficiencia del equipo</p>	<p>Se utilizará la siguiente metodología:</p> <p><b>Tipo de la Investigación. -</b></p> <p>El presente trabajo es una investigación predictiva, aplicativa, y comunicativa, se encuentra ubicado dentro del área de Ingeniería y tecnología química con la codificación de acuerdo con la UNESCO 3303.09 otros (Diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) a nivel banco.</p> <p><b>Diseño de la investigación. -</b></p> <p><b>a)</b> Investigación bibliográfica: Revisión de la bibliografía sobre el diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) a nivel banco.</p> <p><b>b)</b> Búsqueda, recopilación, organización, valoración, crítica, selección e información bibliográfica sobre procesos y cinética de secado por atomización para la obtención del colorante natural de sauco</p> <p><b>c)</b> Diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) a nivel banco</p> <p><b>d)</b> Determinación del modelo y de las variables de diseño de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) a nivel banco.</p> <p><b>e)</b> Diseño detallado de un secador por atomización para la obtención del colorante natural de sauco (<i>Sambucus peruviana</i>) a nivel banco.</p>