

## INTRODUCCIÓN

### Antecedentes

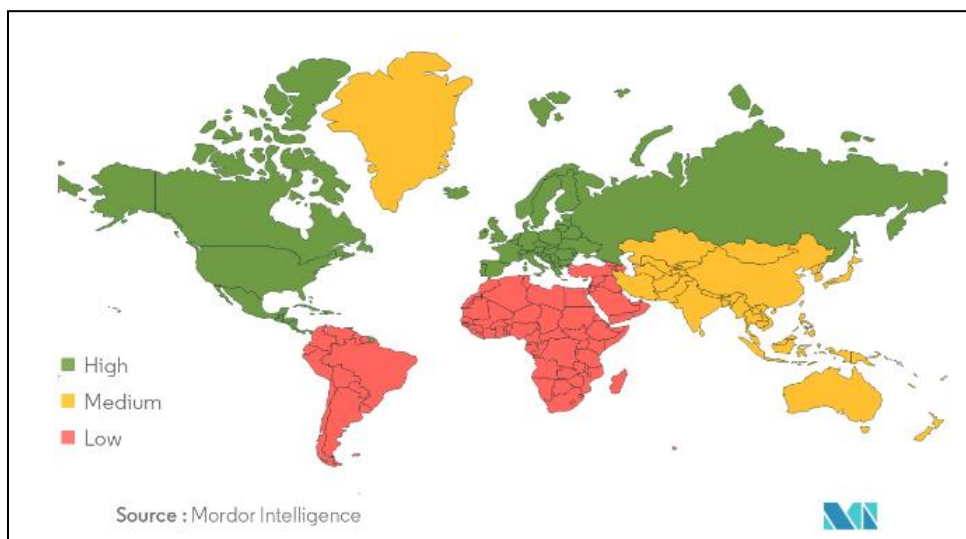
La fibra dietética, también conocida como fibra alimentaria o alimenticia, incluye las partes de los alimentos vegetales que el cuerpo no puede digerir o absorber. A diferencia de otros componentes de los alimentos, como las grasas, las proteínas o los carbohidratos, que el cuerpo descompone y absorbe, la fibra no es digerida por el cuerpo. En cambio, pasa relativamente intacta a través del estómago, el intestino delgado y el colon, y sale del cuerpo (Fundación Mayo para la Educación y la Investigación Médica, 2022).

La mayor conciencia de los consumidores sobre la salud ha despertado el interés en agregar ingredientes funcionales, como la fibra dietética, en alimentos populares como el pan. Se supone que las fibras dietéticas en los productos de panadería regulan y apoyan la flora intestinal y facilitan el proceso de digestión. Más comúnmente, las fibras dietéticas se incorporan a los productos de panadería para prolongar la frescura, gracias a su capacidad para retener agua, lo que reduce las pérdidas económicas. Las fibras pueden modificar el volumen de la hogaza de pan, su elasticidad, la suavidad de la miga y la firmeza de la hogaza. Con los avances tecnológicos, es mucho más fácil mantener frescos los productos de panadería durante más tiempo. Por lo tanto, se ha vuelto más fácil reemplazar las grasas y otros aditivos utilizados en la repostería con fibras dietéticas saludables sin comprometer la calidad y el sabor.

Los diversos beneficios para la salud de las fibras dietéticas son el principal factor que impulsa el mercado en Europa. El mercado también está impulsado por el aumento de la población que padece enfermedades cardíacas, diabetes tipo 2 y obesidad. Las dietas ricas en fibra insoluble ayudan a prevenir dos tipos de enfermedades intestinales, la diverticulosis y las hemorroides. Las principales aplicaciones de las fibras dietéticas en la región son alimentos fortificados/funcionales, bebidas, productos lácteos, panadería y confitería. El mayor consumo de cereales con fibra soluble como la avena, el pan y los productos de panadería en Europa ha aumentado el mercado de la fibra dietética soluble. En Europa, países como Alemania y Francia ostentan la mayor cuota de mercado, seguidos del Reino Unido, España e Italia.

## Ilustración 1

### *Dietary Fiber market Size*



*Notas.* Fuente: Mercado de fibra dietética: crecimiento, tendencias, impacto de covid-19 y pronósticos (2023 - 2028)

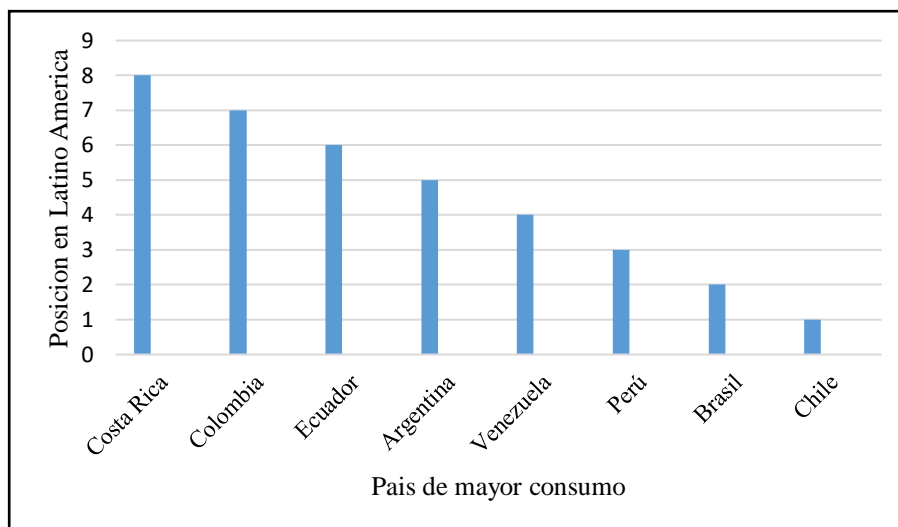
En la conferencia virtual Ingesta de fibra en diferentes países de América Latina, organizada por la Fundación Iberoamericana de Nutrición, Georgina Gómez, Catedrática e Investigadora en el Departamento de Bioquímica de la Universidad de Costa Rica, destaca la importancia del consumo de fibra.

La especialista señala que la fibra se puede obtener por diferentes grupos de alimentos como frutas, vegetales y granos enteros. Pues son alimentos que aportan un bajo contenido calórico y tienen un gran contenido de micronutrientes.

Para conocer el consumo de fibra en América Latina se analizó el Estudio Latino Americano de Nutrición y Salud (ELANS), que se llevó a cabo en ocho países de la región:

## Figura 1

### Consumo de fibra en América Latina



*Notas.* Fuente: The Food Tech 2023

El estudio tuvo más de 9 mil participantes de los ocho países, y los resultados indican que el consumo usual en hombres menores de 50 años es de 16.9 gramos. Resultado muy parecido a los hombres mayores de 50, quienes 16.6 gramos.

En el caso de las mujeres menores de 50 años, consumen de forma habitual 14.6 gramos, mientras que las mayores de 50 años consumen 14.9 gramos. Lo que quiere decir que tanto hombres como mujeres están consumiendo la mitad de la cantidad de consumo recomendada (García, 2023).

El consumo per cápita de cereales procesados en Bolivia es de 0,25 kilos por año, la mitad de lo que se come en los países de Sudamérica (0,5 kilos) y tres veces menos que el promedio en América Latina (0,8 kilos anuales).

Los datos fueron proporcionados a La Razón por Nestlé, multinacional suiza que comercializa sus productos en más de 130 países, lo que la convierte en uno de los principales actores del mercado mundial de alimentos.

“En Bolivia, los cereales aún no son parte de la canasta básica. Siguiendo los patrones de nuestras costumbres y tradiciones, existen otros alimentos que se consumen a primeras horas de la mañana, como parte del desayuno o la merienda boliviana”, explicó Nestlé Bolivia, que celebró el 7 de marzo el Día Mundial del Cereal (Velazquez, 2020).

## **Objetivos**

Los objetivos que se persiguen en la presente investigación son:

### ***Objetivo General***

Elaborar experimentalmente harina de cáscara de piña como fuente de fibra dietética en el Departamento de Tarija.

### ***Objetivos Específicos***

- Caracterizar la materia prima, con el fin de conocer sus propiedades físico químicas.
- Identificar las variables de operación del proceso de obtención de la harina de cáscara de piña con el fin de conocer cuáles son las variables que influyen en el proceso.
- Elaborar el proceso tecnológico experimental para la obtención de harina de cáscara de piña como fuente de fibra dietética.
- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del producto obtenido.
- Realizar el análisis sensorial organoléptico de la harina obtenida.
- Realizar el balance de materia y de energía de la fase experimental para la obtención de harina de cáscara de piña como fuente de fibra dietética.
- Determinar rendimientos del proceso tecnológico experimental para la obtención de harina de cáscara de piña como fuente de fibra dietética.
- Realizar un análisis de costos identificando y evaluando cada uno de los componentes de costos involucrados en el proceso, desde la recolección de las cáscaras hasta la comercialización del producto final, con el fin de determinar la viabilidad y rentabilidad económica.

## **Justificación**

### ***Justificación Económica***

La cáscara de piña es un desecho que existe en gran cantidad en los mercados de nuestra ciudad es de fácil adquisición y relativamente económico, en Bolivia aún no se desarrollaron productos donde se pueda aprovechar esta materia prima, lo que repercute en su bajo uso y consumo para la sociedad.

En este sentido se busca impulsar el consumo de la cáscara de piña para que la demanda crezca y pueda ser adquirida por la población, lo que repercutirá en la población que se dedica a la venta de piña pelada dando un valor a la cáscara y la generación de mayores ingresos.

### ***Justificación Social***

La gran cantidad de desechos que se generan anualmente ha originado un gran interés en el desarrollo y estudio de nuevos productos a partir de desechos que puedan generar un bien a la sociedad.

Los resultados de la investigación contribuirán a futuras investigaciones de industrialización de fibras, busca promover el consumo de fibra dietética como alimento saludable para una buena digestión, ya que la fibra reduce los niveles de colesterol y ayuda a controlar los niveles de azúcar en la sangre, teniendo una mejor calidad de vida y vivir más tiempo.

Por todo esto se tiene como enfoque la producción experimental de fibra de cascará de piña para su posterior industrialización en productos dietéticos, lo que permitirá promover el consumo regional, nacional e internacional.

### ***Justificación Tecnológica***

El desarrollo del presente trabajo aporta desarrollo de nuevas tecnologías que permitan llevar a cabo el proceso de elaboración de fibra dietética en condiciones determinadas para su posterior aplicación en productos saludables, altamente demandados en el mercado.

### ***Justificación Ambiental***

La contaminación por desechos de alimentos es una realidad palpable en la sociedad actual, no solo a la salud pública, sino también en la propagación de una gran variedad de animales roedores y perros que crean conflictos en los mercados.

Es así que también los procesos que se aplican en el proyecto son inofensivos al medio ambiente, debido a que su práctica no conlleva el uso de productos químicos que pongan en riesgo el medio ambiente.

### ***Justificación Personal***

Los saberes recibidos en la formación universitaria y que se ven encaminados a la profesionalización, serán aplicados para producir beneficios a la sociedad y ayudar a que las personas tengan una mejor calidad de vida.

**CAPÍTULO I**  
**MARCO TEÓRICO**

## CAPÍTULO 1

### Marco Teórico

#### *1.1 Características Generales de la Piña*

##### **1.1.1 Antecedentes Históricos**

Los grandes viajes oceánicos tuvieron consecuencias inesperadas en el ritmo al que se desplazaban las plantas entre los rincones más remotos del planeta. A partir de mediados del siglo XVI, las enormes distancias recorridas provocaron un cambio sin precedentes en la distribución de las especies vegetales. Los colonos y viajeros se llevaron plantas europeas y las introdujeron en América, África y Asia. Las plantas africanas se trasladaron a América y Asia, y las especies asiáticas se dispersaron por todos los continentes. Estas transferencias biológicas provocaron cambios globales en los hábitos alimentarios y las prácticas terapéuticas de las personas, además de dar lugar a nuevas oportunidades de negocio y formas de explotación de la tierra no probadas anteriormente. Originaria de Brasil, la piña, *Ananás comosus*, causaba una gran impresión en quienes la encontraban. Negándose a arraigar en las frías latitudes europeas, la fruta cruzó el océano Atlántico a bordo de barcos portugueses en busca de otros territorios con un clima adecuado (Carvalho, 2020)

En el siglo XVI, los comerciantes portugueses difundieron los cultivares Singapore Canning, Selangor Green y Perola desde la costa de Brasil hasta la Asia tropical y la costa de África. En los invernaderos europeos del siglo XIX se cultivó una diversidad más amplia, de los cuales sólo 'Queen' y 'Smooth Cayenne' han sobrevivido y se han difundido a las regiones de producción tropicales. La diversidad de cultivares amazónicos, mucho más amplia, aún no ha sido explotada (d'Eeckenbrugge, Duval, & Leal, 2018).

##### **1.1.2 Descripción Botánica**

###### *1.1.2.1. Taxonomía*

La información taxonómica de la piña es la siguiente:



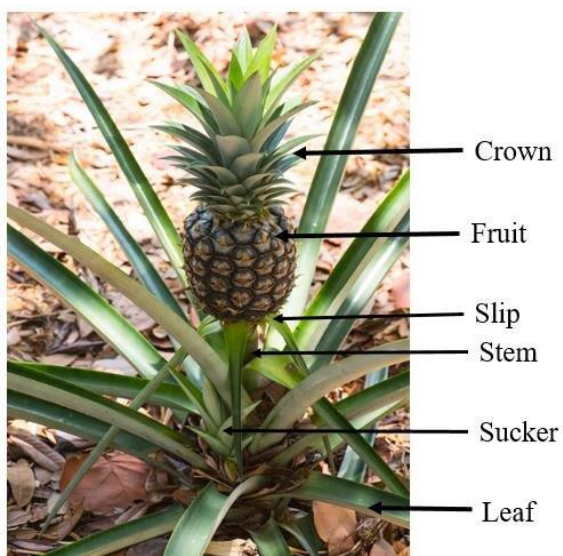
**Tabla 1***Información Taxonómica de piña*

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Angiospermae
Clase	Monocotyledonae
Orden	Poales
Familia	Bromeliaceae
Genero	Ananás
Especie	Ananas comosus

*Nota.* Fuente: (Teisson & Descroix, 2015)

**1.1.2.2. Morfología**

En ámbitos morfológicos se representa que la piña posee las siguientes partes para su composición estructural.

**Ilustración 2***Morfología de la piña*

*Notas.* Fuente: (Celine, Mohd, & Nadirul , 2023)

#### ***1.1.2.2.1. Planta.***

La piña (*Ananas comosus*) es una planta perenne herbácea de la familia Bromeliaceae (Czerwinski & Wierzbicka, 2020).

#### ***1.1.2.2.2. Tallo.***

En una estructura carnosa donde la planta guarda nutrientes, principalmente carbohidratos procesados por las hojas los que son transportados y almacenados en el tallo para la conversión en almidón. En el tallo se encuentran las yemas axilares las que ocurren en el axis de cada hoja, con el tiempo cuando crece el fruto estas se alargan desarrollando ramas laterales llamadas brotes e hijos (Fundacion de Desarrollo Agropecuario, INC. RD., 2018).

#### ***1.1.2.2.3. Hojas.***

Las hojas son alargadas, rígidas y puntiagudas, dispuestas en forma de roseta alrededor de un tallo central, pueden alcanzar hasta 1.5 metros de largo y de 3 a 6 cm de ancho, son de color verde oscuro con bordes espinosos, y algunas variedades presentan una coloración rojiza o púrpura en las puntas (Czerwinski & Wierzbicka, 2020).

### **Ilustración 3**

*Distribución de la espina y su densidad en la hoja*



*Notas.* (Journal OF horticulture and Postharvest Research, 2022)

#### ***1.1.2.2.4. Sistema Radicular.***

La piña posee raíces primarias que se desarrollan desde la base del tallo y numerosas raíces secundarias adventicias, las raíces de la piña son generalmente superficiales, extendiéndose principalmente en las capas superiores del suelo, hasta una profundidad de aproximadamente 30 a 50 cm., aunque son superficiales, las raíces se extienden lateralmente en un radio de 1 a 2 metros alrededor de la planta. Esto permite una eficiente absorción de agua y nutrientes, las raíces están adaptadas para absorber agua y nutrientes eficientemente en suelos bien drenados y ricos en materia orgánica, debido a su estructura superficial, las raíces pueden aprovechar la humedad de las lluvias ligeras, pero la planta es sensible a la sequía prolongada las raíces de la piña a menudo forman asociaciones simbióticas con hongos micorrícicos, lo que mejora la absorción de nutrientes, especialmente fósforo (García Ruiz & Morales Salinas, 2019).

#### ***1.1.2.2.5. Hijos.***

Los "hijos" de la piña son brotes vegetativos que se utilizan comúnmente para la propagación de la planta.

Hijos Basales (o Chupones): Brotes que emergen de la base de la planta madre, cerca del suelo. Estos son los más utilizados para la propagación.

Hijos Axilares (o Coronillas): Brotes que aparecen en las axilas de las hojas de la planta madre.

Hijos Aéreos (o Hijos de Corona): Brotes que se desarrollan en la parte superior del fruto, específicamente en la corona del fruto de la piña (Zhang & Li, 2021).

#### ***1.1.2.2.6. Inflorescencia.***

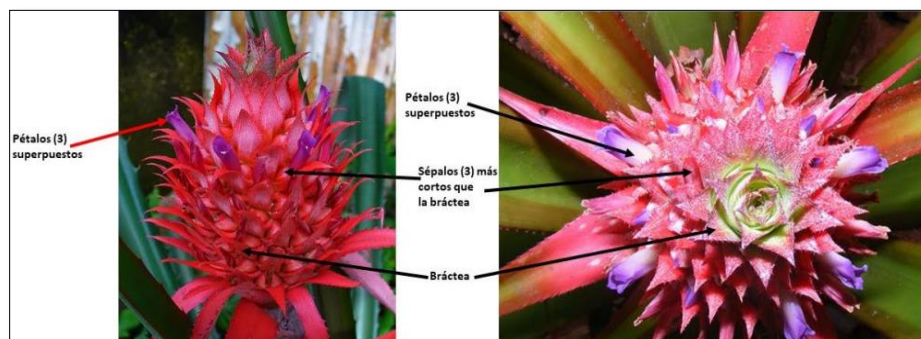
La inflorescencia es una espiga compacta compuesta por muchas pequeñas flores hermafroditas. Las flores son de color azul o púrpura, y cada una se convierte en una pequeña baya que se fusiona con las demás para formar el fruto compuesto (Vazquez Yanes & Hernandez Xolocotzi, 2019).

### 1.1.2.2.7. Fruto.

El fruto de la piña es un sincarpio, formado por la fusión de los ovarios de múltiples flores. Es de forma cilíndrica, con una superficie escamosa de color amarillo dorado al madurar. Cada escama representa una flor individual (Czerwinski & Wierzbicka, 2020).

### Ilustración 4

#### *Características botánicas del fruto*



*Notas.* Fuente: (Ardiles, 2019)

### 1.1.2.2.8. Raíz

Las raíces se pueden clasificar en tres grupos según su origen:

- Raíces primarias: son las que tienen por origen el embrión de la semilla y por lo tanto existen solo sobre las semillas, desapareciendo para dar lugar a las siguientes.
- Raíces adventicias: son las que nacen del tejido muy vascularizado que separa el cilindro central de la corteza.
- Raíces secundarias: son ramas secundarias de las precedentes.
- La raíz de la piña solo detiene su crecimiento cuando encuentra condiciones desfavorables en el medio, severizando así la cofia, cuando las condiciones del medio vuelven a la normalidad de la cofia se desgarran por la presión que ejercen las células meristemáticas y produce una nueva prolongación de la raíz con formación de una nueva cofia (FDA Fundacion de desarrollo agropecuario, 2018).

### **1.1.3. Cultivo de piña**

#### ***1.1.3.1. Requerimientos climáticos***

La piña es una planta tropical que requiere condiciones climáticas específicas para su óptimo crecimiento y desarrollo.

##### ***1.1.3.1.1. Suelos***

La selección del suelo adecuado es crucial para el éxito del cultivo de piña. Aquí se detallan las características del suelo que son más favorables para el cultivo de piña:

- **Textura del Suelo:**

La piña se desarrolla mejor en suelos de textura ligera a media, como los suelos arenosos, franco-arenosos o franco-limosos. Es esencial que el suelo tenga buen drenaje para evitar el encharcamiento, ya que la piña es sensible al exceso de agua.

- **pH del Suelo:**

El pH ideal para el cultivo de piña es entre 4.5 y 6.5. La planta puede tolerar suelos ligeramente ácidos. Si el pH del suelo es demasiado bajo, se puede ajustar con la aplicación de cal agrícola.

- **Contenido de Materia Orgánica:**

Un alto contenido de materia orgánica es beneficioso ya que mejora la estructura del suelo, la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes. La incorporación de compost o estiércol bien descompuesto puede mejorar significativamente la calidad del suelo.

- **Fertilidad del Suelo:**

Los suelos deben ser ricos en nutrientes esenciales, especialmente nitrógeno, fósforo y potasio. La aplicación de fertilizantes puede ser necesaria para suplir deficiencias. Se recomienda realizar un análisis del suelo antes de la siembra para determinar la necesidad de fertilización y corrección de pH.

- **Profundidad del Suelo:**

La piña prefiere suelos con una capa arable profunda que permita el desarrollo adecuado de las raíces. Evitar suelos con capas compactadas o una capa freática alta.

- **Salinidad:**

La piña es moderadamente tolerante a la salinidad, pero los niveles altos de sal pueden afectar negativamente el crecimiento y la producción (Rodriguez & Sanchez, 2021).

#### ***1.1.3.1.2. Temperatura***

Los valores óptimos de crecimiento oscilan entre 27-30 ° C; temperatura menor a 22°C acelera la floración, pero disminuye el peso del fruto. Temperatura superior a 30 ° C tiende a quemar la epidermis del fruto (Ardiles, 2019).

#### ***1.1.3.1.3. Humedad***

Óptima la humedad relativa ideal para el cultivo de piña es del 70% al 80%. La alta humedad constante puede favorecer la aparición de enfermedades fúngicas (H. M. & Campos, 2019).

#### ***1.1.3.1.4. Precipitación***

El cultivo de piña requiere e 1600 a 3500 mm de precipitación anual, bien distribuidos durante el periodo de producción (Ardiles, 2019).

Un periodo seco durante la floración puede favorecer una mayor producción de frutos, mientras que el exceso de lluvias puede provocar problemas de enfermedades y pudrición de raíces (H. M. & Campos, 2019).

#### ***1.1.3.1.5. Época de siembra***

La época de siembra de la piña depende de varios factores climáticos y regionales. Generalmente, la siembra se planifica para asegurar que las condiciones climáticas favorezcan el crecimiento óptimo de la planta y la producción de frutos.

En regiones tropicales, la siembra puede realizarse en casi cualquier época del año, siempre que se disponga de suficiente riego durante las estaciones secas.

En regiones subtropicales, la siembra se realiza típicamente en primavera o verano para evitar los riesgos de heladas en invierno (Gomez & Perez, 2020).

#### **1.1.4. Rendimiento en Bolivia**

En Bolivia es el cuarto fruto más producido y se tiene registro del año 2016 que se produjo alrededor de 10 473 680 kg de Ananas comosus y que ese mismo año hubo una plantación de 3 500 ha de este fruto. En efecto, el 60% de toda esta producción es dirigida al mercado local como fruta fresca, el 25 a 30% es industrializado para productos alimenticios y el restante es exportado (Agencia Boliviana de Información ABI, 2017).

El rendimiento de la producción de piña en Bolivia también varía según las prácticas agrícolas, las condiciones climáticas y el tipo de suelo.

Según el (INIAF, 2015) Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal el rendimiento promedio de piña en Bolivia oscila entre 25 y 40 toneladas por hectárea, dependiendo de la región y las prácticas de manejo utilizadas.

Un reporte del (MDRyT, 2017) indica que, en regiones como Santa Cruz y Cochabamba, los rendimientos de piña pueden alcanzar hasta 50 toneladas por hectárea bajo condiciones óptimas de cultivo.

El (INE Instituto Nacional de Estadística, 2019) reporta un rendimiento promedio de 30 toneladas por hectárea en las principales zonas productoras de piña del país, destacando variaciones regionales significativas.

Un estudio realizado por la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno en Santa Cruz destaca que, con el uso de técnicas mejoradas y asistencia técnica, los rendimientos pueden superar las 45 toneladas por hectárea (Quintana & Perez, 2018).

#### **1.1.5. Usos y Aplicaciones de la Piña**

- Consumo Fresco y en Conserva

El consumo más común de la piña es en su forma fresca. Esta fruta es un complemento popular en ensaladas de frutas, postres y como un tentempié saludable debido a su sabor refrescante y su alto contenido de vitamina C y manganeso. Además, la piña fresca se

utiliza en la preparación de platos exóticos, como el cerdo agridulce y diversas recetas de cocina asiática.

La piña en conserva es otra forma significativa de consumo. Este método de preservación permite que la fruta se disfrute durante todo el año, independientemente de su estacionalidad. Las conservas de piña pueden encontrarse en varias formas, como rodajas, trozos y triturada, y se almacenan en su jugo o en almíbar. La piña en conserva es un ingrediente común en la repostería y la cocina, utilizada en la elaboración de pasteles, tartas y otros postres (El Plural, 2024).

- **Productos Derivados y Transformados**

Además del consumo directo, la piña se transforma en una variedad de productos alimenticios y bebidas. El jugo de piña es una bebida popular que puede encontrarse solo o mezclado con otros jugos de frutas. El jugo también puede fermentarse para producir productos como el vino de piña y el vinagre de piña.

Los productos lácteos, como los yogures y los helados, a menudo incluyen piña como un ingrediente saborizante. Los purés y concentrados de piña son utilizados como bases en la producción de estos productos, aportando no solo sabor sino también beneficios nutricionales.

La piña deshidratada es otro producto derivado popular. Se presenta en formas como rodajas o trozos y se consume como un aperitivo saludable. La deshidratación conserva la mayor parte de los nutrientes de la piña y ofrece una opción conveniente y de larga duración para su consumo (Bardman, 2022).

- **Aplicaciones Industriales y Farmacéuticas**

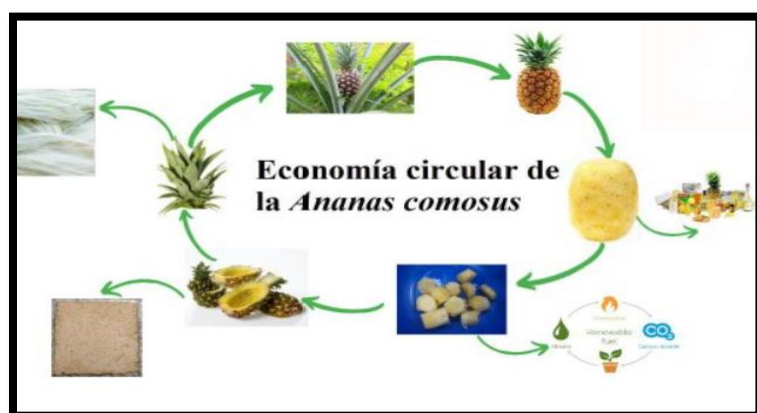
Más allá del ámbito alimentario, la piña tiene aplicaciones industriales notables. La bromelina, una enzima extraída de la piña, es utilizada en la industria farmacéutica por sus propiedades antiinflamatorias y digestivas. Estudios recientes han demostrado que la bromelina puede ayudar en la digestión de proteínas y tiene potencial en tratamientos médicos para reducir la inflamación y el dolor.



Las hojas de piña también se aprovechan en la industria. Pueden utilizarse como forraje para el ganado o procesarse para la producción de fibras naturales. Estas fibras se utilizan en la confección de textiles y en la producción de papel. Los subproductos de la piña, como la cáscara y las tortas derivadas de la extracción del jugo, son utilizados para la producción de abono orgánico y biogás, contribuyendo a una economía circular y sostenible (El Plural, 2024).

## Ilustración 5

### *Economía circular de las ananás comosus*



Notas. Fuente: (Morales Apaza, 2021)

### 1.1.6. Composición Química y Valor Nutricional de la Cáscara de Piña

#### 1.1.6.1. Cáscara

La cáscara de piña, que constituye una parte significativa del peso total de la fruta, es un subproducto de la industria de procesamiento de piña que ha demostrado tener un valor nutricional y químico considerable. Tradicionalmente considerada como un residuo, la cáscara de piña ha ganado atención en la investigación debido a su potencial como fuente de compuestos bioactivos y fibra dietética. La composición de la cáscara de piña incluye una mezcla compleja de fibras, vitaminas, minerales y antioxidantes, lo que la convierte en un ingrediente valioso para diversas aplicaciones industriales y alimentarias (Murcia, 2020).

#### ***1.1.6.1.1. Composición de la lignocelulosa***

La lignocelulosa es el componente principal de la biomasa vegetal, y la cáscara de piña no es una excepción. Este complejo polímero está compuesto principalmente por tres tipos de biopolímeros: celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa es el polímero más abundante, seguido por la hemicelulosa y la lignina, cada uno con una estructura y función específicas.

La celulosa es un polímero lineal de glucosa que proporciona rigidez y estructura a las paredes celulares de las plantas. Su alta resistencia mecánica y su capacidad para formar fibras fuertes la hacen crucial para la estructura de la cáscara. La hemicelulosa, por otro lado, es un polímero más complejo y ramificado, compuesto por una mezcla de azúcares de cinco y seis carbonos. Este componente actúa como un relleno que enlaza la celulosa y la lignina, proporcionando flexibilidad a la estructura.

La lignina es una molécula tridimensional y altamente ramificada formada por fenilpropanoides. Su función principal es proporcionar rigidez y resistencia al tejido vegetal, haciéndolo menos susceptible a la degradación por microorganismos y otros agentes externos. La lignina también actúa como una barrera protectora que rodea y fortalece las fibras de celulosa y hemicelulosa, contribuyendo a la durabilidad de la cáscara de piña (Agrovin, 2021).

#### ***1.1.6.1.2. Polisacáridos***

Los polisacáridos son uno de los componentes más importantes de la cáscara de piña, y juegan un papel crucial en su valor nutricional y funcional. La celulosa y la hemicelulosa son los polisacáridos predominantes en la cáscara de piña. La celulosa es un polisacárido lineal compuesto por unidades de glucosa unidas por enlaces  $\beta$ -1,4-glucosídicos, formando largas cadenas que se asocian entre sí mediante enlaces de hidrógeno para crear microfibrillas robustas. Estas microfibrillas son la base de la estructura de la pared celular y son responsables de la resistencia mecánica y la rigidez de la cáscara (Agrovin, 2021).

#### ***1.1.6.1.3. La celulosa***

La celulosa es el biopolímero más abundante en la cáscara de piña y es fundamental para su estructura y funcionalidad. Químicamente, la celulosa es un polímero lineal de D-glucosa, donde las unidades de glucosa están unidas por enlaces glucosídicos  $\beta$ -1,4. Esta disposición permite que las cadenas de celulosa formen largas microfibrillas mediante enlaces de hidrógeno

intra e intermoleculares, otorgando una estructura cristalina que es altamente resistente a la degradación química y biológica.

La celulosa no solo proporciona rigidez y soporte estructural a la cáscara de piña, sino que también tiene aplicaciones importantes en la industria. Por ejemplo, la celulosa extraída de la cáscara de piña puede utilizarse en la producción de papel y textiles, así como en la fabricación de bioplásticos y otros materiales biodegradables. En el ámbito de la salud y la nutrición, la celulosa es valorada por su capacidad para mejorar la salud digestiva al actuar como una fibra dietética insoluble que promueve el tránsito intestinal y previene el estreñimiento (Tejedor, 2020).

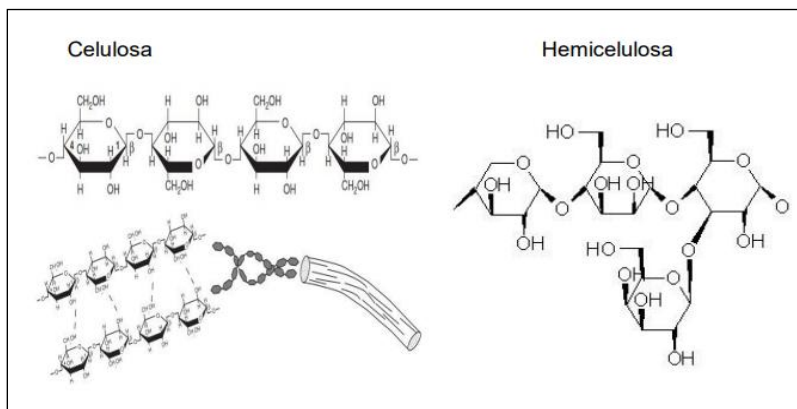
#### ***1.1.6.1.4. La hemicelulosa***

La hemicelulosa es uno de los principales componentes de la cáscara de piña y desempeña un papel esencial en la estructura y funcionalidad de la pared celular. A diferencia de la celulosa, que es un polímero lineal, la hemicelulosa es un polisacárido heterogéneo y altamente ramificado compuesto por varios tipos de azúcares. Estos incluyen pentosas como la xilosa y la arabinosa, así como hexosas como la glucosa, la manosa y la galactosa. Esta complejidad estructural permite que la hemicelulosa interactúe con la celulosa y la lignina, proporcionando cohesión y flexibilidad a la matriz de la pared celular.

La hemicelulosa tiene varias funciones biológicas y aplicaciones industriales. En términos de nutrición, actúa como una fibra dietética soluble que puede fermentar en el intestino grueso, produciendo ácidos grasos de cadena corta beneficiosos para la salud intestinal. Además, la hemicelulosa puede retener agua, lo que mejora la textura y la jugosidad de los alimentos. En la industria, se utiliza en la producción de bioplásticos y en la fabricación de aditivos alimentarios debido a sus propiedades viscosas y su capacidad para formar geles. La extracción y utilización de la hemicelulosa de la cáscara de piña pueden contribuir a la creación de productos más sostenibles y a la reducción de residuos industriales (SALGADO, 2019) .

## Ilustración 6

### *Estructura de la celulosa y hemicelulosa*



*Nota.* Fuente: (Perez, Muñoz-Dorado, De la Rubia, & Martínez)

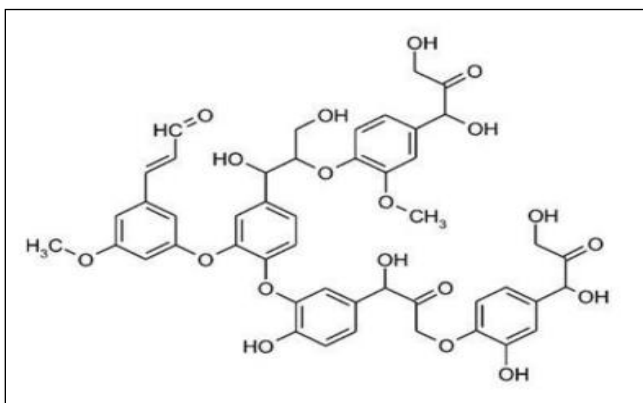
#### **1.1.6.1.5. La lignina**

La lignina es otro componente crucial de la cáscara de piña y es uno de los polímeros orgánicos más abundantes en la naturaleza. Este heteropolímero tridimensional está compuesto por unidades fenilpropanoides y tiene una estructura altamente ramificada y amorfa. La lignina proporciona rigidez y resistencia a las paredes celulares, haciéndolas menos permeables y más resistentes a la degradación química y biológica. Su función principal es actuar como un "cemento" que une y fortalece las fibras de celulosa y hemicelulosa, contribuyendo a la integridad estructural de la planta.

Desde el punto de vista industrial, la lignina tiene múltiples aplicaciones. Se utiliza como precursor en la producción de productos químicos y materiales avanzados, como adhesivos, resinas y polímeros biodegradables. Además, la lignina puede ser transformada en biochar y utilizada como un mejorador de suelos, contribuyendo a la agricultura sostenible. En la industria energética, la lignina puede ser convertida en biocombustibles, proporcionando una fuente renovable de energía. La investigación reciente se ha centrado en la valorización de la lignina extraída de residuos agrícolas, como la cáscara de piña, para desarrollar productos de alto valor añadido y reducir el impacto ambiental (Maceda, 2021).

## Ilustración 7

### *Estructura de la lignina*



*Notas.* Fuente: (Perez, Muñoz-Dorado, De la Rubia, & Martinez)

#### ***1.1.6.1.6. Otras sustancias.***

Además de la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, la cáscara de piña contiene una variedad de otras sustancias que contribuyen a su valor nutricional y funcional. Entre estas sustancias se encuentran los compuestos fenólicos, las vitaminas, los minerales y los antioxidantes. Los compuestos fenólicos, como los ácidos fenólicos y los flavonoides, son conocidos por sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Estos compuestos ayudan a proteger las células del daño oxidativo y pueden contribuir a la prevención de enfermedades crónicas como el cáncer y las enfermedades cardiovasculares.

La cáscara de piña también es rica en vitamina C, que es un potente antioxidante y es esencial para la salud del sistema inmunológico, la piel y los tejidos conectivos. Otros minerales presentes en la cáscara incluyen el calcio, el magnesio y el potasio, que son importantes para la salud ósea, la función muscular y la regulación de la presión arterial. Además, la cáscara de piña contiene pequeñas cantidades de bromelina, una enzima proteolítica que ayuda en la digestión de proteínas y tiene propiedades antiinflamatorias (Izquierdo, 2024).

**Tabla 2***Composición química próxima de la cáscara de piña fresca y seca*

Parámetros	Húmeda	Seca
Humedad (%)	71.07	27.43
Sólidos totales (%)	29.03	72.57
Parámetros	Húmeda	Seca
pH	4.70	4.70
% en base seca		
Celulosa	11.20	12.00
Hemicelulosa	7.00	6.50
Pectina	6.70	7.10
Sólidos en éter solubles	6.10	6.70
Proteína	3.13	3.30
Azúcares reductores	25.80	27.80
Azúcares no reductores	5.70	4.90
Lignina	11.52	11.00
Ácidos grasos volátiles (mg/L)	800	650

*Nota.* Fuente: (Swaroop Rani & Krishna, 2004)

### **1.1.7. Variedades de piñas producidas en Bolivia**

Bolivia es un país con una diversidad ecológica notable que favorece la producción de varias variedades de piña, una fruta tropical ampliamente cultivada en regiones cálidas y húmedas. Las condiciones climáticas y de suelo de Bolivia son propicias para el cultivo de esta fruta, permitiendo la producción de variedades que se destacan por su calidad, sabor y valor comercial. Entre las variedades más prominentes cultivadas en Bolivia se encuentran la Pucallpa, la Champaca y la MD2 (Thermtest, 2021). Cada una de estas variedades tiene características únicas que las hacen adecuadas para diferentes mercados y aplicaciones.

#### **1.1.7.1. Pucallpa**

La piña Variedad Pucallpa es ampliamente conocida en Bolivia y es una de las variedades preferidas tanto para el consumo local como para la exportación. Esta variedad se caracteriza por su tamaño grande, con frutos que pueden pesar entre 1.1 y 2.5 kilogramos para el mercado de exportación y hasta 6 kilogramos en el mercado nacional. La Pucallpa tiene una cáscara de color morado cuando está en los primeros grados de maduración, que cambia a un anaranjado-rojizo al alcanzar la madurez total.

El sabor de la piña Pucallpa es dulce y su pulpa es jugosa, con un contenido de azúcar que llega a 11.5° Brix al momento de la cosecha para exportación. Este nivel de dulzura la hace muy atractiva para los consumidores y adecuada para diversas preparaciones culinarias, tanto frescas como procesadas. Además, la Pucallpa es valorada por su alta resistencia al transporte y su durabilidad, lo que la convierte en una opción ideal para la exportación a mercados internacionales. La combinación de estas características asegura que la Pucallpa siga siendo una de las variedades más importantes y comercialmente viables de Bolivia (Aguirre, 2023) .

### **Ilustración 8**

*Piña variedad Pucallpa*



*Notas.* Fuente: (Manual de producción de piña para su exportación, 2014)

#### ***1.1.7.2. Champaca***

La piña Champaca es otra variedad destacada en la producción boliviana. Esta variedad se distingue por su forma cilíndrica y su pulpa fibrosa de color amarillo cremoso. Durante el proceso de maduración, la cáscara de la piña Champaca adquiere un color anaranjado-amarillo y su sabor se vuelve extremadamente dulce, alcanzando hasta 15° Brix. Los frutos de la Champaca son generalmente más pequeños que los de la Pucallpa, con un peso que varía entre 1.5 y 3.0 kilogramos.

La textura fibrosa de la Champaca la hace especialmente adecuada para su consumo fresco, así como para su uso en jugos y otras preparaciones culinarias. Además, su alta concentración de azúcar y su sabor distintivo la hacen popular en el mercado local. La Champaca también tiene una buena resistencia a las enfermedades y plagas comunes, lo que facilita su

cultivo y reduce la necesidad de pesticidas, contribuyendo así a prácticas agrícolas más sostenibles. Esta variedad es un ejemplo de cómo la adaptación a las condiciones locales y las preferencias del mercado pueden llevar al desarrollo de productos agrícolas de alta calidad y demanda (Aguirre, 2023) .

### **Ilustración 9**

#### *Piña Champaca*



*Notas.* Fuente: (Manual de producción de piña para su exportación, 2014)

#### **1.1.7.3. MD2**

La piña MD2, también conocida como la "piña dorada", es una de las variedades más populares a nivel mundial, y Bolivia no es una excepción en su cultivo. La MD2 se ha ganado su reputación debido a su dulzura excepcional, con niveles de azúcar que oscilan entre 15 y 17° Brix. Este alto contenido de azúcar, junto con su aroma y sabor distintivos, ha conquistado el paladar de consumidores en todo el mundo.

La pulpa de la piña MD2 es firme y de color amarillo-naranja, con un sabor exquisito que es altamente apreciado en el mercado internacional. Los frutos tienen una forma cilíndrica con hombros bien formados y un peso que varía entre 1.3 y 2.5 kilogramos. Además de su sabor y textura, la MD2 se destaca por su larga vida útil y su resistencia al transporte, lo que la convierte en una opción preferida para la exportación.

En Bolivia, la MD2 se cultiva principalmente para mercados de exportación debido a su alto valor comercial. Su cultivo requiere condiciones específicas de suelo y clima, así como prácticas agrícolas precisas para asegurar la calidad del fruto. La popularidad de la MD2 en el



mercado global ha incentivado a los productores bolivianos a adoptar técnicas de cultivo avanzadas y sostenibles para mantener la competitividad y satisfacer la demanda internacional (ISSUU, 2020)

### **Ilustración 10**

*Piña variedad MD2*



*Notas.* Fuente: (Manual de producción de piña para su exportación, 2014)

#### **1.2. Fibra**

La fibra es un componente esencial en la dieta humana que se encuentra en alimentos de origen vegetal, incluyendo las frutas tropicales como la piña. La fibra es crucial para mantener una digestión saludable y prevenir diversas enfermedades crónicas, como la diabetes tipo 2, enfermedades cardíacas y ciertos tipos de cáncer (Gonzales, 2020). En la piña, la fibra se presenta en cantidades moderadas y es una mezcla de fibra soluble e insoluble. La fibra insoluble ayuda a promover el tránsito intestinal, mientras que la fibra soluble puede ayudar a reducir los niveles de colesterol en sangre y controlar el azúcar en sangre.

##### **1.2.1. Fibra Dietética**

La fibra dietética se refiere a las partes de las plantas que no pueden ser digeridas o absorbidas por el cuerpo humano, pero que desempeñan un papel crucial en la salud digestiva. En la piña, la fibra dietética incluye componentes como la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. La fibra dietética es importante porque ayuda a regular el tránsito intestinal, previene el estreñimiento y contribuye a la salud intestinal al actuar como prebiótico, alimentando a las bacterias beneficiosas en el intestino (AREVALO, 2019). Comparada con otras frutas tropicales,

la piña proporciona una cantidad significativa de fibra dietética, aunque algunas frutas como el mango y la papaya pueden contener cantidades ligeramente mayores.

#### ***1.2.1.1. Celulosa.***

La celulosa es un tipo de fibra dietética insoluble que se encuentra en las paredes celulares de las plantas. En la piña, la celulosa forma parte de la estructura de la fruta, contribuyendo a su textura firme y crujiente. La celulosa no es digerible por el sistema digestivo humano, pero es vital para mantener el movimiento regular de los intestinos y prevenir el estreñimiento. Además, la celulosa puede ayudar a mantener un peso saludable al aumentar la sensación de saciedad (Siebtech, 2022). Comparada con otras frutas tropicales, la piña tiene un contenido de celulosa moderado, lo que la hace adecuada para incluir en una dieta equilibrada.

#### ***1.2.1.2. Hemicelulosa.***

La hemicelulosa es un polisacárido complejo que, a diferencia de la celulosa, es más fácilmente degradado por las bacterias intestinales. En la piña, la hemicelulosa contribuye a la estructura de la pared celular y proporciona beneficios para la salud similares a los de la celulosa, pero también tiene la capacidad de retener agua y formar una masa gelatinosa en el intestino (PARED CELULAR, 2023). Esto ayuda a suavizar las heces y facilitar el tránsito intestinal. Comparada con otras frutas tropicales como el mango y la guayaba, la piña contiene cantidades comparables de hemicelulosa, haciendo de ella una buena fuente de esta fibra dietética.

#### ***1.2.1.3. Rafinosa.***

La rafinosa es un trisacárido compuesto por galactosa, glucosa y fructosa. Se encuentra en pequeñas cantidades en muchas plantas y es conocida por ser un oligosacárido que no puede ser digerido por las enzimas humanas, pero es fermentado por las bacterias en el intestino grueso. Aunque no es abundante en la piña, la presencia de rafinosa contribuye a su perfil de fibra dietética, proporcionando beneficios prebióticos al alimentar a las bacterias beneficiosas del intestino (Klein, 2022). Comparada con otras frutas tropicales, la cantidad de rafinosa en la piña es relativamente baja.

#### ***1.2.1.4. Estafinosa.***

La estafinosa es un tetrasacárido relacionado estructuralmente con la rafinosa y, al igual que esta, no es digerible por las enzimas humanas. Se encuentra en menor medida en la piña y actúa como un prebiótico, fomentando el crecimiento de bacterias beneficiosas en el intestino. La fermentación de estafinosa por las bacterias intestinales produce ácidos grasos de cadena corta, que son beneficiosos para la salud del colon. En comparación con otras frutas tropicales, la piña contiene estafinosa en cantidades similares o menores (Izquierdo, 2024).

Polisacáridos no estructurales:

#### ***1.2.1.5. Gomas.***

Las gomas son polisacáridos complejos que forman soluciones viscosas y son secretadas por plantas como respuesta a lesiones. Aunque no son un componente mayoritario en la piña, las gomas presentes contribuyen a su perfil de fibra soluble, ayudando a regular los niveles de azúcar en sangre y colesterol. En comparación con otras frutas tropicales, la piña tiene un contenido moderado de gomas, que puede ser beneficioso para la salud cardiovascular (Pasquel, 2019).

#### ***1.2.1.6. Mucílagos.***

Los mucílagos son polisacáridos solubles en agua que tienen la capacidad de formar geles y retener agua, proporcionando una textura viscosa. En la piña, los mucílagos son menos abundantes pero contribuyen a su capacidad de retención de agua y a sus propiedades digestivas. Estos componentes ayudan a suavizar las heces y facilitar el tránsito intestinal. Comparada con otras frutas tropicales como la papaya, la piña tiene un contenido menor de mucílagos (Pasquel, 2019).

Sustancias estructurales no polisacáridos:

#### ***1.2.1.7. Ligninas.***

Las ligninas son polímeros complejos que proporcionan rigidez y resistencia a las paredes celulares de las plantas. En la piña, las ligninas forman parte de la fibra dietética insoluble y no son digeribles por los humanos, pero son importantes para la salud digestiva (Aguirre, 2023). Las

ligninas ayudan a aumentar el volumen de las heces y facilitan el tránsito intestinal, además de actuar como antioxidantes. Comparada con otras frutas tropicales, la piña tiene un contenido moderado de ligninas, similar al de frutas como el mango y la guayaba.

#### ***1.2.1.8. Otras sustancias.***

Además de las fibras mencionadas, la cáscara de piña contiene una variedad de otras sustancias que contribuyen a su valor nutricional y funcional. Estas incluyen compuestos fenólicos, vitaminas y minerales. Los compuestos fenólicos, como los flavonoides y los ácidos fenólicos, son conocidos por sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, ayudando a proteger el cuerpo contra el daño oxidativo y reduciendo el riesgo de enfermedades crónicas (Aguirre, 2023). La cáscara de piña también es una fuente rica en vitamina C y manganeso, que son esenciales para la salud del sistema inmunológico y la formación de tejido conectivo. En comparación con otras frutas tropicales, la piña ofrece un perfil balanceado de estos nutrientes adicionales, contribuyendo a una dieta saludable y variada.

### **1.2.3. Aporte a la salud Humana**

La cáscara de piña, a menudo desechada como residuo, es en realidad una fuente rica de nutrientes y compuestos bioactivos que pueden aportar numerosos beneficios para la salud humana. El consumo de fibra dietética, como la encontrada en la cáscara de piña, está asociado con la mejora de la salud digestiva, la prevención de enfermedades crónicas y el mantenimiento de un peso saludable. Además de la fibra, la cáscara de piña contiene vitaminas, minerales y antioxidantes que contribuyen al bienestar general y pueden ayudar a prevenir diversas condiciones de salud (Ramírez, 2021).

#### ***1.2.3.1. Propiedades Hemicelulosa.***

La hemicelulosa es un componente crucial de la fibra dietética que se encuentra en la cáscara de piña. Este polisacárido complejo es más fácilmente degradable por las bacterias intestinales que la celulosa, y sus beneficios para la salud son notables. La hemicelulosa actúa principalmente como una fibra soluble que puede retener agua y formar una masa gelatinosa en el intestino. Esto ayuda a suavizar las heces y facilita su paso a través del tracto digestivo, lo que puede prevenir el estreñimiento y promover la regularidad intestinal (Nelly, 2020).

### ***1.2.3.2. Propiedades Pectinas.***

Las pectinas son otro tipo de fibra soluble que se encuentra en la cáscara de piña y son conocidas por sus múltiples beneficios para la salud. Las pectinas tienen la capacidad de formar geles en presencia de agua, lo que les permite retener agua y aumentar el volumen de las heces. Esto no solo ayuda a prevenir el estreñimiento, sino que también promueve una digestión saludable al facilitar el tránsito intestinal. Además, las pectinas pueden ayudar a aumentar la viscosidad del contenido intestinal, lo que ralentiza la digestión y la absorción de nutrientes, proporcionando una liberación más sostenida de glucosa en la sangre.

Las pectinas también tienen propiedades que pueden mejorar la salud cardiovascular. Al formar geles, las pectinas pueden atrapar ácidos biliares en el intestino y aumentar su excreción, lo que obliga al cuerpo a utilizar el colesterol para producir más ácidos biliares, reduciendo así los niveles de colesterol en sangre. Esto puede disminuir el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares, como la aterosclerosis. Además, las pectinas pueden ayudar a reducir la presión arterial al mejorar la función de los vasos sanguíneos y reducir la inflamación (Gómez, 2024).

### ***1.2.3.3. harina sin gluten y apto para celíacos***

La utilización y el consumo de harinas sin gluten en la industria alimentaria se ha expandido debido al aumento de población que requiere seguir una dieta estricta por temas de salud o que buscan una dieta más sana, y se espera que esta tendencia continúe en el futuro.

El gluten es una proteína que se encuentra en el trigo, cebada, centeno y avena (aunque la avena en sí misma no contiene gluten, puede estar contaminada durante el procesamiento) (Woomer & Adedeji, 2020).

La harina de cáscara de piña no solo es libre de gluten, sino que también es rica en fibra dietética, lo que la convierte en un ingrediente funcional para la elaboración de productos de panadería y repostería sin gluten. La fibra en la harina de cáscara de piña puede mejorar la textura y la humedad de los productos horneados, compensando algunas de las deficiencias comunes en las harinas sin gluten tradicionales. Además, la harina de cáscara de piña aporta vitaminas, minerales y antioxidantes, enriqueciendo el perfil nutricional de los alimentos sin gluten (Gómez, 2024).

### ***1.3. Proceso de Obtención de Harinas***

La obtención de harinas a partir de la cáscara de piña implica una serie de procesos cuidadosamente controlados para garantizar la calidad y seguridad del producto final. Este proceso incluye etapas como la limpieza, el secado, la molienda, el tamizado, el envasado y el almacenamiento. Cada una de estas etapas es crucial para asegurar que la harina resultante sea adecuada para el consumo humano y mantenga sus propiedades nutricionales y funcionales (Velarde, 2019).

#### **1.3.1. Limpieza**

La limpieza es el primer paso en el proceso de obtención de harina de cáscara de piña. Esta etapa es esencial para eliminar cualquier impureza, como tierra, residuos de pesticidas y otros contaminantes que puedan estar presentes en la cáscara. La limpieza generalmente se realiza utilizando una combinación de métodos mecánicos y químicos. Las cáscaras de piña se lavan con agua potable y, en algunos casos, se utilizan soluciones desinfectantes para asegurar la eliminación de microorganismos patógenos. La limpieza adecuada no solo mejora la calidad del producto final, sino que también prolonga su vida útil y asegura su seguridad para el consumo humano (Gómez, 2024).

#### **1.3.2. Secado**

Una vez limpias, las cáscaras de piña deben ser secadas para reducir su contenido de humedad. El secado es una etapa crítica que afecta la calidad de la harina final. El objetivo es disminuir el contenido de humedad a un nivel que impida el crecimiento de microorganismos y el deterioro del producto. Existen varios métodos de secado, incluyendo el secado al sol, el secado en horno y el secado mediante deshidratadores eléctricos (Murcia, 2020)

#### **1.3.3. Molienda**

La molienda es el proceso de reducción del tamaño de las cáscaras secas para obtener una harina fina y homogénea. Este proceso se realiza utilizando diferentes tipos de molinos, como molinos de martillo, molinos de rodillos y molinos de bolas. La elección del molino depende de la consistencia deseada de la harina y de la capacidad de producción. La molienda debe ser eficiente para asegurar que la harina tenga un tamaño de partícula uniforme, lo que es importante para sus propiedades funcionales y aplicaciones en la industria alimentaria. La molienda también

aumenta la superficie de la cáscara, lo que puede mejorar la biodisponibilidad de los nutrientes cuando se consume (TECNAL, 2023).

#### **1.3.4 Tamizado**

Después de la molienda, la harina de cáscara de piña se tamiza para separar las partículas de diferentes tamaños y eliminar cualquier material no deseado que no haya sido adecuadamente molido. El tamizado se realiza utilizando tamices de diferentes mallas que permiten la separación de la harina en diferentes grados de finura. Este proceso asegura que la harina tenga una consistencia uniforme y cumple con las especificaciones requeridas para su uso en diversas aplicaciones alimentarias. El tamizado también puede mejorar la calidad del producto final al eliminar partículas grandes que podrían afectar la textura y el rendimiento de la harina (TECNAL, 2023).

#### **1.3.5. Envasado**

El envasado es una etapa crucial para mantener la calidad y seguridad de la harina de cáscara de piña. Una vez tamizada, la harina se envasa en condiciones higiénicas para evitar la contaminación. Los envases deben ser herméticos para proteger la harina de la humedad, el aire y los contaminantes externos. Los materiales de envasado comunes incluyen bolsas de polietileno, bolsas de papel recubiertas y contenedores plásticos sellados. El envasado adecuado asegura que la harina mantenga su frescura, valor nutricional y funcionalidad durante su vida útil. Además, el etiquetado correcto del envase con información sobre el contenido, fecha de producción y vida útil es importante para el cumplimiento de las normativas de seguridad alimentaria (Tinoco, 2022).

#### **1.3.6. Almacenamiento**

El almacenamiento adecuado de la harina de cáscara de piña es fundamental para preservar su calidad a lo largo del tiempo. La harina debe almacenarse en un lugar fresco, seco y oscuro para evitar la exposición a la luz, el calor y la humedad, que pueden causar el deterioro del producto. Es esencial que las condiciones de almacenamiento prevengan la proliferación de microorganismos y la infestación por plagas. Los almacenes deben estar bien ventilados y limpios, y las bolsas de harina deben colocarse sobre pallets para evitar el contacto directo con el

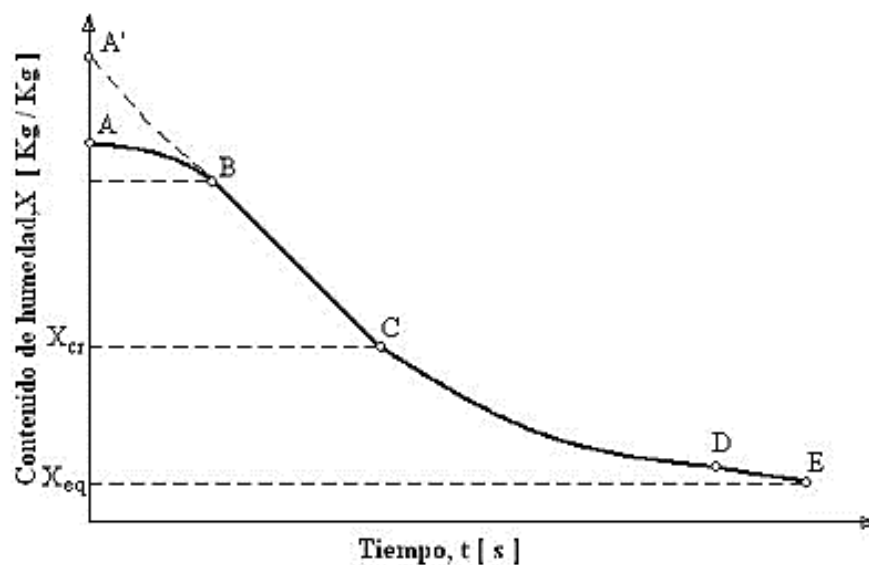
suelo. La rotación regular del stock y el monitoreo de las condiciones de almacenamiento ayudan a mantener la frescura y la seguridad de la harina de cáscara de piña (Tinoco, 2022).

#### 1.4. Curvas de Secado

Las curvas de secado son representaciones gráficas que muestran la relación entre el contenido de humedad de un material y el tiempo durante el proceso de secado. Estas curvas son esenciales para entender cómo cambia el contenido de humedad del material a medida que se aplica calor y se elimina el agua. En el caso de la cáscara de piña, las curvas de secado ayudan a determinar las condiciones óptimas para reducir la humedad sin degradar los nutrientes y las propiedades funcionales de la harina resultante (Thermtest, 2021).

#### Ilustración 11

*Curva de secado*



*Nota.* Fuente: (Dávila Nava 2004)

De acuerdo a la curva, en el periodo inicial de secado, el cambio de humedad en el material está ilustrado en el tramo A-B, al terminar este primer periodo, el secado toma una forma lineal del tipo  $X = f(t)$ , en este periodo B-C la velocidad de secado es constante.

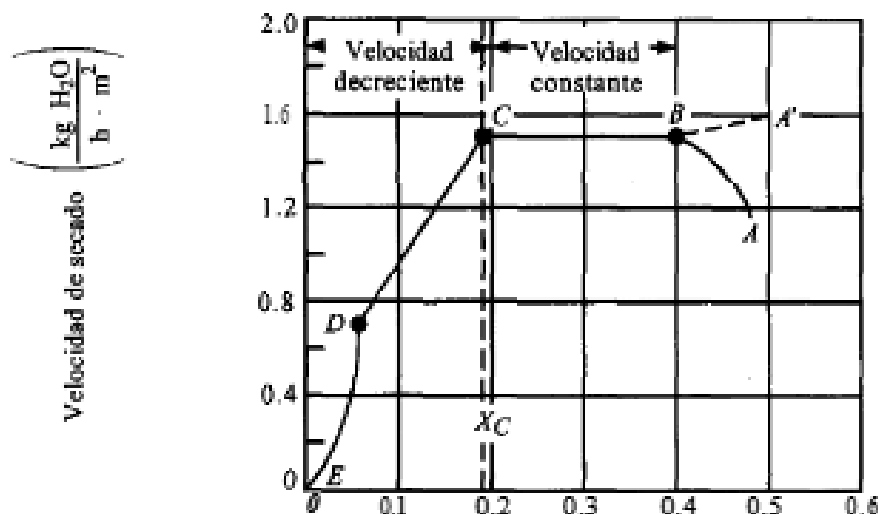
El secado se mantiene igual por un tiempo hasta que llega a un punto crítico C en donde la línea tiende a curvarse formando una asíntota con el contenido de humedad  $X_{eq}$  donde es el valor



mínimo de humedad en el proceso de secado, lo que significa que el punto E no es tocado. (Moreno, 2016)

### Ilustración 12

*Curva de velocidad de secado*



*Nota.* Fuente: (Geankoplis 1998)

Una curva de secado típica tiene tres fases: la fase de calentamiento inicial, la fase de velocidad constante y la fase de velocidad decreciente. Durante la fase de calentamiento inicial, el material se calienta y la tasa de evaporación del agua aumenta hasta alcanzar un punto máximo. En la fase de velocidad constante, la tasa de secado se mantiene estable mientras el agua libre se evapora. Finalmente, en la fase de velocidad decreciente, la tasa de secado disminuye a medida que el contenido de humedad del material se acerca a su punto de equilibrio, y el agua restante está más fuertemente ligada a la estructura del material (Thermtest, 2021).

#### 1.4.2. Cinética de Secado

La cinética de secado se refiere a la velocidad a la cual el agua se elimina del material durante el proceso de secado. Este aspecto es crucial para diseñar y optimizar procesos industriales de secado. La cinética de secado está influenciada por varios factores, incluyendo la temperatura, la velocidad del aire, la humedad relativa del aire y las propiedades del material.

Para la cáscara de piña, la cinética de secado puede variar significativamente dependiendo de su contenido inicial de humedad y la estructura de la lignocelulosa. Generalmente, el secado rápido a altas temperaturas puede reducir el tiempo de procesamiento, pero también puede aumentar el riesgo de degradación térmica de los compuestos bioactivos y los nutrientes (Tinoco, 2022)

Se define la velocidad de secado por la pérdida de humedad del sólido húmedo en la unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial  $-(dX/dt)$  operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire cuyas condiciones (temperatura, presión, humedad y velocidad) permanecen con el tiempo. Analíticamente, la velocidad de secado se refiere a la unidad de área de superficie de secado, de acuerdo con la ecuación (Facultad Regional de Haedo, s.f.).

**Ecuación 1. Velocidad de secado**

$$W = \frac{SS}{A} \left( -\frac{dX}{dt} \right)$$

SS= Peso de sólido seco

A= Área de la Superficie expuesta

W= Velocidad de secado

Para la optimización del proceso de secado en términos de calidad del producto y coste de la operación, se hace necesaria la predicción de la velocidad de secado con la ayuda de modelos adecuados.

**1.4.3. Factores que Intervienen en el proceso de Secado**

El proceso de secado de la cáscara de piña está influenciado por varios factores que deben ser controlados cuidadosamente para optimizar la eficiencia del secado y la calidad del producto final. Estos factores incluyen el aire como agente secante, la temperatura del aire, la

velocidad del aire, la humedad relativa del aire y las características del material a secar (Tinoco, 2022).

#### ***1.4.3.1. Aire como Agente Secante***

El aire es el agente secante más comúnmente utilizado en el secado de alimentos, incluyendo la cáscara de piña. El aire caliente se utiliza para transferir calor al material, lo que provoca la evaporación del agua. La capacidad del aire para secar depende de su temperatura, velocidad y humedad relativa. Un aire más caliente puede transportar más vapor de agua, lo que aumenta la eficiencia del secado. Sin embargo, un aire demasiado caliente puede dañar los nutrientes sensibles al calor.

La velocidad del aire también es crucial, ya que un flujo de aire más rápido puede remover más rápidamente el vapor de agua de la superficie del material, mejorando la tasa de secado (Tinoco, 2022).

#### ***1.4.3.2. Temperatura del Aire***

La temperatura del aire es uno de los factores más importantes en el proceso de secado. A medida que aumenta la temperatura del aire, la capacidad del aire para retener vapor de agua también aumenta, lo que puede acelerar el proceso de secado. Sin embargo, la temperatura debe ser cuidadosamente controlada para evitar la degradación térmica de los compuestos sensibles al calor en la cáscara de piña.

La temperatura óptima de secado para la cáscara de piña suele estar en un rango que permite una rápida evaporación del agua sin comprometer la integridad nutricional del material. Temperaturas demasiado altas pueden causar la caramelización de los azúcares y la desnaturalización de las proteínas, mientras que temperaturas demasiado bajas pueden resultar en un secado ineficiente y prolongado. La selección de la temperatura adecuada es, por lo tanto, un balance entre eficiencia y preservación de la calidad (Mann, 2020).

### ***1.5. Agua en los Alimentos***

El agua es un componente fundamental de los alimentos, desempeñando múltiples roles cruciales en la calidad, la seguridad y la estabilidad de los productos alimenticios.

Aproximadamente el 70-90% del peso de muchas frutas y verduras, incluida la piña, es agua.

Este alto contenido de agua influye en la textura, el sabor y la apariencia de los alimentos, además de ser esencial para las reacciones bioquímicas que ocurren durante el almacenamiento y procesamiento.

El agua en los alimentos se encuentra en dos formas principales: agua libre y agua ligada. El agua libre es aquella que no está firmemente unida a los componentes del alimento y puede evaporarse fácilmente. Esta forma de agua es la más importante desde el punto de vista microbiológico, ya que está disponible para el crecimiento de microorganismos. El agua ligada, por otro lado, está firmemente unida a las moléculas del alimento, como las proteínas y los carbohidratos, y no está disponible para la actividad microbiológica (AREVALO, 2019).

La actividad del agua ( $A_w$ ) es una medida crítica que indica la disponibilidad de agua para reacciones químicas y el crecimiento de microorganismos. Los alimentos con alta actividad de agua, como las frutas frescas, son más susceptibles al deterioro microbiológico. Reducir la actividad del agua mediante procesos como el secado y la deshidratación es esencial para prolongar la vida útil de los alimentos. Además, el control de la actividad del agua es crucial para mantener la calidad sensorial y nutricional de los productos alimenticios (Serrate, 2019).

### ***1.6. Contenido de Humedad***

El contenido de humedad en los alimentos se refiere a la cantidad total de agua presente en un alimento, expresada como un porcentaje del peso total del alimento. Este parámetro es crucial para determinar la calidad, la estabilidad y la vida útil de los productos alimenticios. En el caso de la piña, el contenido de humedad es particularmente alto, lo que la hace susceptible a la descomposición microbiológica y a la degradación enzimática.

El contenido de humedad puede expresarse en base húmeda o seca. El contenido de humedad en base húmeda se calcula como el peso del agua dividido por el peso total del alimento, mientras que el contenido de humedad en base seca se calcula como el peso del agua dividido por el peso del material seco. La determinación precisa del contenido de humedad es fundamental para el control de calidad en la industria alimentaria y se puede realizar mediante varios métodos, como la secado en horno, la destilación y el uso de sensores de humedad (Mendez, 2023).

**Contenido de humedad en base húmeda**, es el contenido de agua en relación con la masa total húmeda del sólido y se expresa de acuerdo a la siguiente ecuación:

**Ecuación 2.** *Contenido de humedad en base húmeda.*

$$X_{bh} = \frac{Kg \text{ de agua}}{Kg \text{ de SS} + Kg \text{ de agua}}$$

**El contenido de humedad en base seca**, es el contenido de agua con relación a la masa total seca del sólido y se expresa de acuerdo a la siguiente ecuación:

**Ecuación 3** *Contenido de humedad en base seca*

$$X_{bs} = \frac{Kg \text{ de agua}}{Kg \text{ de SS}}$$

### **1.7. Contenido de Humedad en el Aire Seco**

El contenido de humedad en el aire seco, o humedad relativa, es una medida de la cantidad de vapor de agua presente en el aire en relación con la cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede contener a una temperatura específica. La humedad relativa es un factor crucial en el proceso de secado de alimentos, ya que afecta la eficiencia con la que el agua puede evaporarse del material secado.

Durante el secado, el aire seco con baja humedad relativa tiene una mayor capacidad para absorber vapor de agua del alimento, acelerando el proceso de secado. Por otro lado, un aire con alta humedad relativa es menos eficiente para el secado, ya que está más cerca de su punto de saturación y tiene una capacidad limitada para absorber más agua. Por esta razón, controlar la humedad relativa del aire es esencial para optimizar el proceso de secado y asegurar una eliminación eficiente de la humedad del alimento.

El control del contenido de humedad en el aire seco es también importante durante el almacenamiento de alimentos. Mantener un ambiente con baja humedad relativa en los almacenes ayuda a prevenir la reabsorción de humedad por los productos deshidratados, como la harina de cáscara de piña. Esto es crucial para evitar la proliferación de microorganismos y mantener la calidad y la seguridad del producto durante su vida útil (Serrate, 2019).

## 1.8. Equipos para Molienda

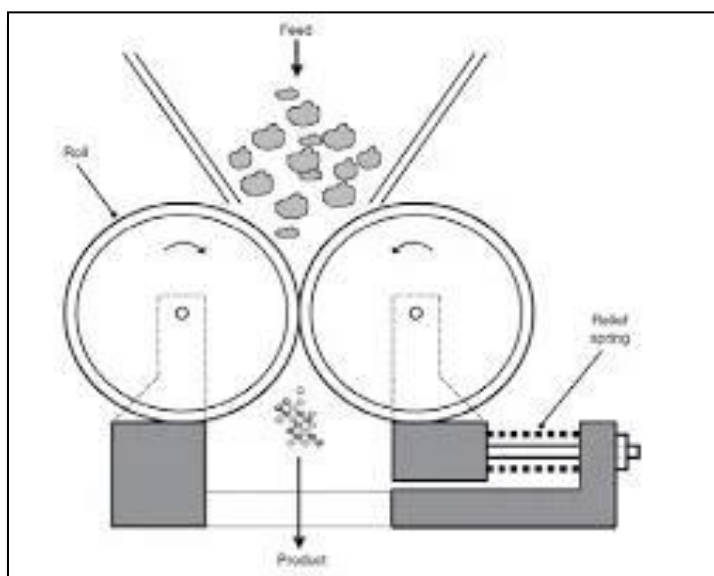
La molienda es un proceso esencial en la producción de harina de cáscara de piña y otros productos derivados de plantas. Este proceso implica la reducción del tamaño de las partículas del material seco para obtener una consistencia fina y homogénea que es adecuada para su uso en diversas aplicaciones alimentarias e industriales. La eficiencia de la molienda y la calidad del producto final dependen en gran medida de los equipos utilizados (Murcia, 2020). Existen varios tipos de molinos que se utilizan comúnmente en la industria alimentaria, cada uno con características específicas que los hacen adecuados para diferentes materiales y fines.

### 1.8.1 Molino de Rodillo de Gruesos (crusher)

El molino de rodillo de gruesos, o crusher, es un equipo utilizado para la molienda inicial de materiales gruesos y duros. Este molino consta de dos rodillos de acero que giran en direcciones opuestas y comprimen el material entre ellos. La distancia entre los rodillos puede ajustarse para controlar el tamaño de las partículas resultantes. Los rodillos pueden ser lisos, corrugados o dentados, dependiendo de la naturaleza del material a moler (Serrate, 2019).

#### Ilustración 13

*Molinos de gruesos a rodillo*



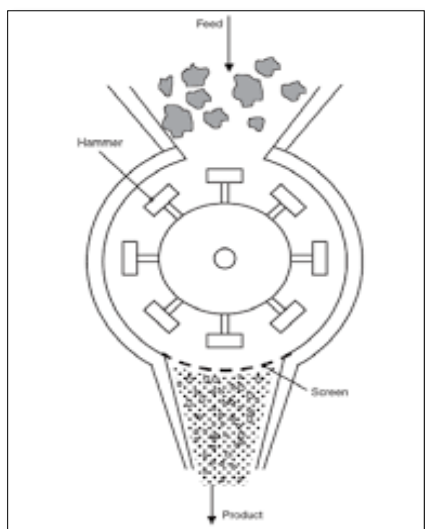
*Nota:* Fuente: Ortega-Rivas, 2005

### 1.8.2 Molino de Martillo

El molino de martillo es uno de los equipos de molienda más versátiles y utilizados en la industria alimentaria. Este molino utiliza un rotor de alta velocidad equipado con martillos oscilantes que impactan y rompen el material en partículas más pequeñas. La molienda en un molino de martillo es principalmente por impacto, pero también puede incluir fuerzas de cizallamiento y atrición (Viera, 2022).

#### Ilustración 14

*Molino de Martillos*



*Notas.* Fuente: Ortega-Rivas, 2005.

### 1.8.3. Molinos de Disco de Atrición

Los molinos de disco de atrición utilizan discos abrasivos que giran a alta velocidad para moler el material. Estos discos pueden estar configurados en varias formas, incluyendo discos simples y dobles, y el material se muele entre las superficies de los discos. La distancia entre los discos y la velocidad de rotación pueden ajustarse para controlar el tamaño de las partículas resultantes.

Los molinos de disco de atrición son eficaces para la molienda fina y ultrafina de materiales, incluidos los alimentos. Son especialmente adecuados para la molienda de materiales secos y frágiles, y pueden producir partículas de tamaño muy pequeño con una distribución

uniforme. Este tipo de molino es ideal para la producción de harina de cáscara de piña con una textura fina y homogénea, adecuada para su uso en productos alimentarios y suplementos nutricionales (Siebtech, 2022).

#### **1.8.4. Molinos de Tambor**

Los molinos de tambor, también conocidos como molinos de bolas o molinos de barras, son equipos de molienda que utilizan un tambor cilíndrico giratorio lleno de medios de molienda, como bolas de acero o barras. A medida que el tambor gira, los medios de molienda se elevan y caen sobre el material, rompiéndolo en partículas más pequeñas mediante impacto y fricción (Energostel, s.f.).

#### **1.8.5. Elementos Importantes en la Molienda**

Varios factores y elementos son cruciales para la eficiencia y efectividad del proceso de molienda. Estos incluyen:

- **Velocidad Crítica:** La velocidad a la que el molino opera para garantizar una molienda eficiente sin que los medios de molienda se adhieran a las paredes del molino.
- **Tamaño Máximo de los Elementos Moledores:** El tamaño de las bolas, martillos o rodillos utilizados en el molino, que afecta el tamaño final de las partículas.
- **Volumen de Carga:** La cantidad de material y medios de molienda presentes en el molino, que influye en la eficiencia del proceso.
- **Tipo de Molienda (Húmeda o Seca):** La elección entre molienda en condiciones húmedas o secas, que puede afectar la eficiencia de la molienda y la calidad del producto final (Energostel, s.f.).

### ***1.9. Pardeamiento***

El pardeamiento es un fenómeno común en los alimentos que afecta su color, sabor y valor nutricional. Este proceso puede ser enzimático o no enzimático, y ocurre durante el almacenamiento, procesamiento y cocción de los alimentos. En el caso de la cáscara de piña, el pardeamiento puede afectar negativamente la apariencia y calidad del producto final, lo que es especialmente relevante en la producción de harina de cáscara de piña.



El pardeamiento enzimático es causado por la acción de enzimas como la polifenol oxidasa, que cataliza la oxidación de compuestos fenólicos a quinonas, las cuales se polimerizan para formar melaninas de color marrón. Este tipo de pardeamiento es común en frutas y verduras frescas. El pardeamiento no enzimático, por otro lado, incluye reacciones como la caramelización y la reacción de Maillard, que ocurren durante la cocción y el procesamiento térmico. Ambas formas de pardeamiento pueden reducir la calidad visual y organoléptica de los alimentos, así como su valor nutricional (UPV, 2020) .

### **1.9.1. Pardeamiento Enzimático de Cáscara de Piña y el Efecto que Causa en el Producto Final**

El pardeamiento de la cáscara de piña es un proceso químico conocido como pardeamiento enzimático o pardeamiento no enzimático. Este fenómeno ocurre cuando se corta o expone la piña a condiciones que activan enzimas y/o reacciones químicas que conducen a cambios en el color de la fruta.

En el caso del pardeamiento enzimático, las enzimas presentes en la cáscara de piña, como el polifenol oxidasa, pueden reaccionar con compuestos fenólicos y oxígeno del aire. Esto conduce a la formación de pigmentos oscuros, como la melanina, que son responsables del cambio de color de la cáscara.

El pardeamiento no enzimático, por otro lado, puede ocurrir debido a reacciones químicas entre los azúcares y los compuestos presentes en la piña cuando se somete a calor, como en el proceso de deshidratación.

En cuanto al efecto que esto puede tener en la harina de cáscara de piña, dependerá de cómo se procese y almacene la cáscara antes de convertirla en harina. Si la cáscara se oxida y se produce un pardeamiento excesivo antes de la elaboración de la harina, es posible que afecte negativamente el color final del producto. Esto puede resultar en una harina de color más oscuro de lo deseado, lo cual podría ser estéticamente menos atractivo.

Para minimizar el pardeamiento en la harina de cáscara de piña, se pueden tomar medidas como la aplicación de antioxidantes o la manipulación del pH durante el proceso de elaboración. Además, un adecuado almacenamiento y procesamiento de la piña pueden ayudar a preservar la calidad de la cáscara y, por ende, de la harina resultante (Mayorga Gross, 2013).

Existen numerosos medios para impedir el pardeamiento enzimático entre los más comunes se encuentran:

- Tratamiento térmico
- Agentes químicos
- Sulfitos
- Ácido ascórbico
- Ácido cítrico

Debido a la poca sensibilidad al pardeamiento enzimático que presentan los alimentos troceados, estos cambios están relacionados principalmente con la oxidación de los compuestos de los mismos (Denoya, 2012).

### **1.9.2. Metabisulfito de sodio como agente antioxidante para evitar el pardeamiento.**

El uso de metabisulfito de sodio como antioxidante para prevenir el oscurecimiento de los productos alimenticios ha sido objeto de diversos estudios de investigación. (Mogollon, Lizarazo, & Quintero, 2010) investigaron la actividad e inhibición de la polifenoloxidasas en lulo (*Solanum quitoense lam*) y encontraron que el metabisulfito de sodio inhibía efectivamente la actividad enzimática, evitando así el oscurecimiento del fruto. En una línea similar, (Rosa, y otros, 2013) validaron un método rápido y eficaz para determinar nitrato y nitrito en productos cárnicos, destacando el potencial del metabisulfito de sodio como antioxidante en la conservación de la carne. Además, (García Procaccini, Monti, & Huarte, 2016) demostraron la utilización de compuestos químicos, incluido el metabisulfito de sodio, para mantener la calidad de productos de papa mínimamente procesados, enfatizando su efectividad para prevenir el oscurecimiento y preservar la calidad del producto.

Sin embargo, si bien estos estudios han arrojado luz sobre la eficacia del metabisulfito de sodio como antioxidante, todavía existen lagunas de conocimiento que justifican una mayor investigación. Por ejemplo, (Escobar, y otros, 2022) discutieron la extracción de mucílago de la cáscara de cacao para su uso en la clarificación del jugo de caña de azúcar, indicando el potencial de los antioxidantes naturales como alternativa a los compuestos sintéticos. Esto sugiere una posible dirección de investigación futura para explorar fuentes naturales de antioxidantes para la

conservación de alimentos, incluida la eficacia comparativa del metabisulfito de sodio frente a los antioxidantes naturales.

Además, (Cardona, Ossa, Rodriguez, Cortes, & Sanchez Hoyos, 2022) se centraron en la optimización de una formulación antioxidante mediante la técnica de impregnación al vacío para mejorar el color del palmito de iraca. Este estudio destaca la necesidad de seguir investigando técnicas innovadoras para la aplicación del metabisulfito de sodio como antioxidante, particularmente en diferentes matrices de alimentos y métodos de procesamiento.

El metabisulfito de sodio es un agente antioxidante ampliamente utilizado en la industria alimentaria para prevenir el pardeamiento enzimático. Este compuesto actúa inhibiendo la actividad de la polifenol oxidasa y reduciendo los compuestos quinónicos formados durante la oxidación de los fenólicos. El metabisulfito de sodio se añade a menudo durante el procesamiento de frutas y vegetales para mantener su color y calidad visual (UPV, 2020).

### ***1.10. Características Organolépticas***

Las características organolépticas de un alimento se refieren a sus atributos sensoriales, incluyendo el color, aroma, sabor, textura y apariencia general. Estos atributos son cruciales para la aceptación del consumidor y el éxito comercial de los productos alimenticios. En el caso de la harina de cáscara de piña, mantener y mejorar sus características organolépticas es esencial para su aceptación en el mercado.

El color es una de las características organolépticas más visibles y puede influir significativamente en la percepción del consumidor. La harina de cáscara de piña debe tener un color claro y uniforme, libre de manchas oscuras causadas por el pardeamiento enzimático (UPV, 2020)

### ***1.11. Caracterización Funcional***

#### **1.11.1. Capacidad de Hinchamiento (Ch)**

La capacidad de hinchamiento se determina al colocar la muestra en exceso de agua, hasta que este alcance un estado de equilibrio y bajo condiciones controladas de temperatura y tiempo de contacto. Seguidamente, se determina el volumen de la cama de fibra hinchada.

Esta propiedad depende de factores como la composición química de la fibra, así como de características estructurales como la porosidad y la cristalinidad (Raghavendra, y otros, 2006). Se ha reportado una relación entre la capacidad de hinchamiento y el nivel de almidón, especialmente de cadenas de amilopectinas (Yalegama, Karunaratne, Sivakanesan , & Chithrangani, 20013). Esta propiedad también es empleada para proporcionar información útil para el desarrollo de productos (Benitez, y otros, 2013).

Es la capacidad del producto para aumentar su volumen en presencia de un exceso de agua (Umaña, Lopera, & Gallardo , 2013).

**Ecuación 4** *Capacidad de Hinchamiento*

$$CH = \frac{Vf (ml)}{\text{Peso de muestra } (g)}$$

Donde:

$Vf = \text{volumen final}$

**1.11.2. Capacidad de Retención de Agua (CRA)**

La capacidad de retención de agua (CRA) es una medida de la cantidad de agua que la harina puede retener después de haber sido hidratada y sometida a presión. Esta propiedad es crucial para productos alimenticios que requieren una alta retención de humedad para mantener su textura y frescura durante el almacenamiento y el consumo.

La CRA se evalúa midiendo la cantidad de agua que permanece en la harina después de un proceso de hidratación y centrifugación (Velarde, 2019)

Es un término frecuentemente utilizado para describir la habilidad para retener agua aun cuando se aplican presiones distintas a él.

**Ecuación 5** *Capacidad de Retención de Agua*

$$CRA = \frac{RH (g) - RS (g)}{RS (g)}$$

Donde:

$RH = \text{Residuo Humedo}$

$RS = \text{Residuo seco}$

El porcentaje de material soluble se calcula indirectamente de la CRA con la siguiente expresión matemática (Umaña, Lopera, & Gallardo, 2013).

**Ecuación 6** *Porcentaje de solubilidad*

$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{\text{Peso muestra (g)} - RS (g)}{\text{peso de muestra}}$$

### 1.11.3 Capacidad de Absorción de Agua (CCA)

La capacidad de absorción de agua (CCA) es la cantidad de agua que la harina puede absorber y retener en su estructura. Esta propiedad es importante para productos alimenticios que requieren una alta absorción de humedad para mejorar su textura, viscosidad y estabilidad. La CCA se mide en términos del peso de agua absorbida por unidad de peso de harina (Klein, 2022).

**Ecuación 7** *Capacidad Retención de Agua*

$$CCA = \frac{\text{Peso sedimento (g)} - \text{Peso muestra (g)}}{\text{Peso muestra (g)}}$$

### 1.11.4. Capacidad de Absorción de Aceite (OAC)

La capacidad de absorción de aceite (OAC) es una medida de la cantidad de aceite que la harina puede absorber y retener. Esta propiedad es importante para productos alimenticios que requieren una alta absorción de grasa para mejorar su sabor, textura y estabilidad. La OAC se mide en términos del peso de aceite absorbido por unidad de peso de harina.

Una alta capacidad de absorción de aceite puede ser beneficiosa para productos como aderezos, productos fritos y snacks, donde una mayor absorción de grasa puede mejorar la palatabilidad y la textura. La harina de cáscara de piña, con su estructura fibrosa, puede tener una

capacidad de absorción de aceite significativa, mejorando la funcionalidad de estos productos alimenticios (Ramírez, 2021)

### ***1.12. Mercado de Fibra Dietética: Crecimiento, Tendencias, Impacto de Covid-19 y***

#### ***Pronósticos (2023 - 2028)***

El mercado de fibra dietética ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas, impulsado por la creciente concienciación sobre la salud y la nutrición. La fibra dietética es esencial para la salud digestiva y se ha relacionado con la prevención de diversas enfermedades crónicas, como la diabetes, las enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer. Con el aumento de las enfermedades relacionadas con el estilo de vida y la obesidad, la demanda de productos ricos en fibra ha aumentado considerablemente (Tejedor, 2020).

El impacto de la pandemia de COVID-19 ha acelerado algunas de estas tendencias. Durante la pandemia, los consumidores han mostrado un mayor interés por los alimentos saludables que fortalecen el sistema inmunológico y mejoran la salud general. Esto ha llevado a un aumento en la demanda de productos ricos en fibra dietética. Además, la pandemia ha impulsado el crecimiento del comercio electrónico y la venta de productos alimenticios saludables en línea, lo que ha facilitado el acceso a estos productos para una mayor parte de la población (Tetra Pak, 2020).

#### **1.12.1. Visión general del mercado**

El mercado global de fibra dietética se valora en miles de millones de dólares y está compuesto por una amplia variedad de productos que incluyen fibras solubles e insolubles, provenientes de diferentes fuentes vegetales. Las fibras solubles, como la pectina y el betaglucano, son conocidas por sus beneficios para la salud cardiovascular y la regulación del azúcar en sangre, mientras que las fibras insolubles, como la celulosa y la lignina, son esenciales para la salud digestiva.

América del Norte y Europa representan los mercados más grandes para la fibra dietética, debido a la alta concienciación sobre la salud y la disponibilidad de productos fortificados con fibra. Sin embargo, se espera que la región de Asia-Pacífico experimente el crecimiento más rápido durante el período de pronóstico, impulsada por el aumento de la población urbana, la creciente clase media y la adopción de estilos de vida más saludables.

El mercado está impulsado por varios factores, incluyendo la demanda creciente de alimentos funcionales y bebidas, el aumento en la prevalencia de enfermedades crónicas, y las iniciativas gubernamentales para promover una alimentación saludable. Los consumidores buscan cada vez más productos que ofrezcan beneficios adicionales para la salud, lo que ha llevado a un aumento en la fortificación de alimentos con fibra dietética y el desarrollo de suplementos dietéticos (Mordor Intelligence, 2024).

### **1.12.2. Usos y Mercado de la Harina de Cáscara de Piña**

La harina de cáscara de piña es una fuente rica y sostenible de fibra dietética que ha encontrado aplicaciones en diversas industrias alimentarias. Esta harina no solo ofrece beneficios nutricionales, sino que también contribuye a la sostenibilidad al utilizar un subproducto de la industria de procesamiento de piña. La harina de cáscara de piña puede utilizarse en la elaboración de productos de panadería, cereales, barras energéticas, bebidas y suplementos dietéticos, entre otros.

La demanda de harina de cáscara de piña ha aumentado debido a su alto contenido de fibra y sus propiedades funcionales. Además de mejorar la salud digestiva, la fibra de cáscara de piña puede ayudar a controlar el peso, reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y mejorar la regulación del azúcar en sangre. La inclusión de esta harina en productos alimenticios puede mejorar su textura, humedad y vida útil, lo que la convierte en un ingrediente valioso para los fabricantes de alimentos.

El mercado de la harina de cáscara de piña también se beneficia de las tendencias hacia una mayor sostenibilidad y reducción de desperdicios alimentarios. Utilizar cáscaras de piña que de otro modo se desecharían para producir harina contribuye a una economía circular y reduce el impacto ambiental de la producción de piña. Esta sostenibilidad, junto con los beneficios para la salud, hace que la harina de cáscara de piña sea atractiva tanto para los consumidores conscientes de la salud como para los fabricantes que buscan ingredientes innovadores y sostenibles (KATHERINE, 2022).





## **CAPÍTULO II**

### **PARTE EXPERIMENTAL**

## CAPÍTULO II

### 2.1. Proceso Tecnológico Experimental

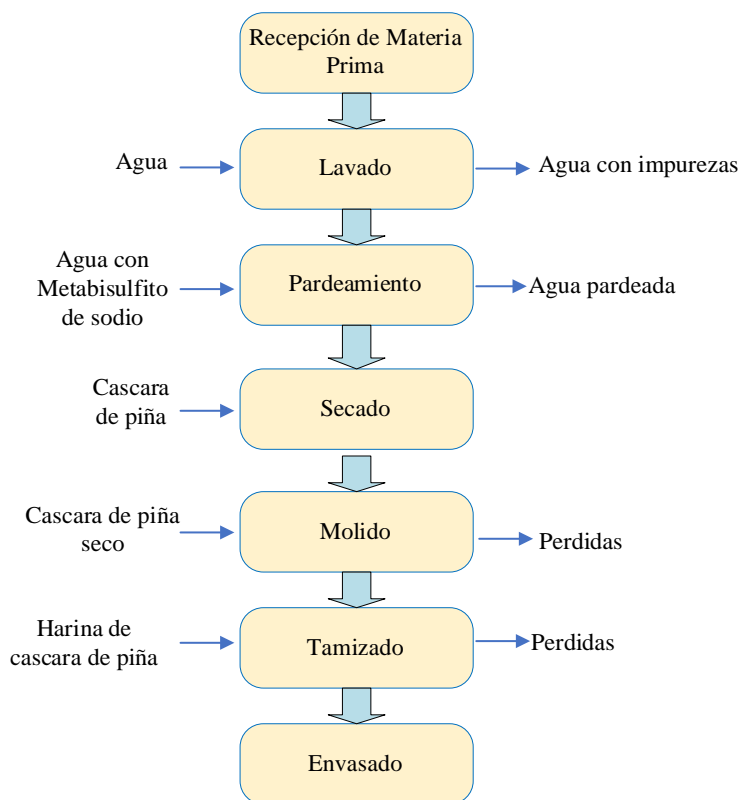
#### 2.1.1. Diagrama de flujo de proceso de la harina de cáscara de piña

El proceso de elaboración de harina de cáscara de piña se combina en etapas de lavado, pardeamiento enzimático, secado, molienda, tamizado, envasado.

A continuación, se hace una descripción de las operaciones empleadas para el desarrollo de la harina de cáscara de piña.

#### Figura 2

Diagrama de flujo de proceso de harina de cáscara de piña



Notas. Fuente: (Elaboración propia, 2023)

### 2.1.2. Equipos y materiales

Los siguientes equipos y materiales mencionados son esenciales para llevar a cabo este proyecto

**Tabla 3**

*Equipos y Materiales Utilizados en el Proyecto*

Equipos	Materiales
Balanza analítica	Fuente de plástico
Estufa a bandejas	Balde plástico
Molino de martillos	Envase plástico para el vacío
Vibrador tamiz	
Envasadora al vacío	

Nota. Fuente: (Elaboración propia, 2023)

### 2.2. Diseño Estadístico De Experimentos.

Se determinaron las variables que se modificaron para observar y cuantificar el efecto que tengan sobre los resultados obtenidos, como son la temperatura y tiempo de secado de la cáscara de piña, debido a que la combinación de estas influye directamente en el proceso de molienda, sobre la variable respuesta que es humedad.

Es así que el modelo factorial manejado es un diseño  $3^2$  el cual se compone de dos factores y tres niveles como se presenta a continuación:

**Tabla 4***Factores y Niveles del Diseño Factorial del Experimento*

Factores	Niveles		
	Bajo	Medio	Alto
Temperatura de secado (° C)	-1	0	+1
Tiempo de secado (horas)	-1	0	+1

Nota. Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Respecto a los valores especificados para cada nivel, se seleccionó bajas temperaturas debido a evitar las propiedades de desnaturalización y el oscurecimiento de las propiedades sensoriales del producto final.

Los siguiente son los valores asignados a los niveles del proceso experimental:

**Tabla 5***Valores asignados a los niveles del proceso experimental*

Factores	Niveles		
	Bajo	Medio	Alto
Temperatura de secado (° C)	50	60	70
Tiempo de secado (horas)	6	7	8

Nota. Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Además, se consideran como variables respuesta la humedad, una variable que tiene un impacto significativo en la calidad y estabilidad de la harina, así como el rendimiento de la transformación de la cáscara a harina en el proceso de elaboración y evaluación sensorial del producto final. Estos criterios facilitaron la identificación de la combinación óptima de factores que conduzcan a un producto no solo de calidad y estabilidad, sino también aceptable para el consumo humano. Dentro del marco de un diseño de  $3^2$ , se llevarán a cabo 9 combinaciones con repetición.

La tabla que sigue presenta todas las posibles combinaciones que serán exploradas entre las variables sometidas a prueba.

**Tabla 6**

*Diseño factorial para el proceso experimental*

N° de Experimentos	Temperatura de secado (°C)	Tiempo de secado (h)	Rendimiento de la harina obtenida
1	-1	-1	R1
2	-1	0	R2
3	-1	+1	R3
4	0	-1	R4
5	0	0	R5
6	0	+1	R6
7	+1	-1	R7
8	+1	0	R8
9	+1	+1	R9

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Es así que se establece las siguientes hipótesis:

Ha: la temperatura y/o el tiempo de secado de la cáscara de piña influyen en el rendimiento del proceso de obtención de harina de cáscara de piña.

Por otro lado, se presenta la hipótesis nula:

Ho: Ni la temperatura y ni el tiempo de secado de la cáscara de piña influyen en el rendimiento del proceso de obtención de harina de cáscara de piña.

El modelo es el siguiente:

**Ecuación 8** *Modelo de diseño factorial*

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

$\mu$  = efecto medio global

$\alpha_i$  = efecto incremental sobre la media causado por el nivel i del factor de temperatura

$\beta_j$  = efecto incremental sobre la media causado por el nivel j del tiempo

$\alpha\beta_{ijk}$  = efecto incremental sobre la media causado por la interacción del nivel de la temperatura y el nivel j del tiempo

$\varepsilon_{ijk}$  = termino del error

Cada termino en la ecuación representa una contribución a la variable respuesta. La interpretación de estos coeficientes dependerá de la naturaleza específica de los factores y de la respuesta que se está estudiando.

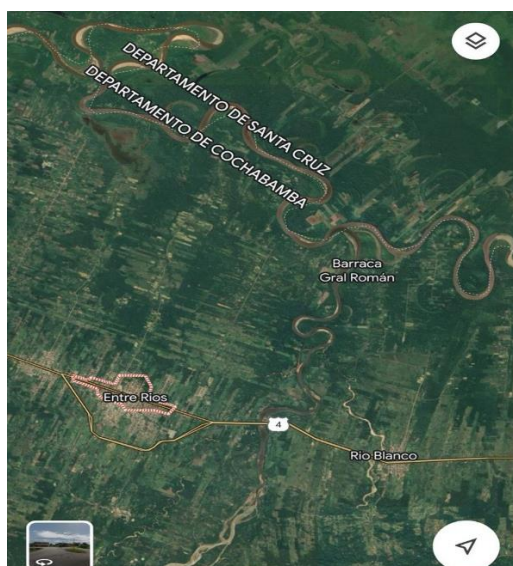
## 2.3. Descripción y Caracterización de la Materia Prima

### 2.3.1 Adquisición de la cáscara de piña

La piña una exquisita fruta tropical, encuentra su camino desde los campos del municipio de Entre Ríos en el trópico de Cochabamba hasta el mercado campesino de Tarija.

### Ilustración 15

*Mapa Municipio Entre Ríos Cochabamba*



*Notas.* Fuente: Google Maps 2024

En el mercado campesino de Tarija, las hábiles manos de las señoras vendedoras se convierten en artífices al pelar las piñas con destreza, ofreciendo a los clientes la comodidad de disfrutar de esta fruta sin preocuparse por la tarea de la preparación en casa.

Este enfoque en la utilización integral de la piña, tanto en su pulpa como en su cáscara, refleja no solo la sabiduría práctica de las vendedoras locales, sino también un compromiso con la sostenibilidad y la maximización de los recursos. En el mercado campesino de Tarija, cada parte de la piña encuentra su propósito, transformando este simple acto de pelar frutas en una historia de valor agregado y respeto por los productos locales.

### **Ilustración 16**

*Materia prima adquirida del mercado campesino*



*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

#### ***3.3.2 Caracterización organoléptica de la cáscara de piña***

La caracterización organoléptica de la cáscara de piña implica evaluar sus propiedades sensoriales a través de los sentidos, como la vista, el olfato, el gusto y el tacto. A continuación, se presenta una descripción organoléptica detallada:

- **Aspecto Visual:**

1. **Color:** La cáscara de piña presenta un color verde o amarillo intenso, con posibles variaciones en función del grado de madurez. La superficie exterior puede tener zonas más oscuras debido a la presencia de pequeñas manchas o irregularidades naturales.

2. Textura: La textura de la cáscara es rugosa y fibrosa, con una apariencia externa que refleja su origen natural.
- Aroma:
    1. Fragancia Fresca: La cáscara de piña emite un aroma fresco y dulce característico de la fruta madura. Puede tener notas cítricas y tropicales que contribuyen a su perfil aromático distintivo.
  - Sabor:
    1. Dulzura Natural: El sabor inicial es predominantemente dulce, con matices de la dulzura natural de la piña. Puede estar acompañado de un ligero toque ácido que añade complejidad al perfil de sabor.
    2. Fibrosidad: La cáscara puede tener una textura fibrosa, especialmente en su parte más externa, que aporta una sensación agradable al masticar.

Es importante destacar que la caracterización organoléptica puede variar según la variedad de piña, el grado de madurez, el procesamiento y otros factores. Esta evaluación sensorial proporciona una comprensión detallada de las cualidades perceptibles de la cáscara de piña y puede ser valiosa en la formulación de productos alimenticios o en la toma de decisiones en la industria alimentaria (Brow, 2018).

### ***2.3.3 Caracterización fisicoquímica de la cáscara de piña***

Se llevo a cabo un análisis fisicoquímico de caracterización de la cáscara de piña en las instalaciones de CEANID (Centro de Análisis Investigación y Desarrollo). Este estudio implicó la evaluación de aspectos fundamentales de sus propiedades, con el objetivo de obtener una comprensión detallada de su composición y características.

En la determinación de fibra dietética los análisis se llevaron a la ciudad de La Paz a INLASA (Instituto Nacional de Laboratorios de Salud "Dr. Néstor Morales Villazón")

Los hallazgos de este estudio no solo contribuyen al conocimiento científico en el campo de la alimentación, sino que también pueden tener aplicaciones prácticas en la formulación de productos, la optimización de procesos y el desarrollo de tecnologías relacionadas.



## **2.4. Desarrollo del Proceso Experimental**

El desarrollo de este proyecto de investigación para la operación de secado se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Alimentos de la carrera de Ingeniería de Alimentos y para las operaciones posteriores en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Carrera de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

### ***2.4.1. Elaboración de la harina de cáscara de piña***

#### **2.4.1.1. Selección de la cáscara de piña**

La calidad de la Piña, a utilizar deben ser piñas frescas y libres de contaminación microbiana. La fruta debe ser de buena calidad, sin signos de deterioro o enfermedad. La procedencia de la piña debe ser de fuentes confiables y certificadas que aseguren buenas prácticas agrícolas (Castro & Gonzales , 2020).

Una vez comprada, las cáscaras se someten a una cuidadosa inspección visual para identificar cualquier imperfección o residuo no deseado. Se realiza una separación meticulosa, eliminando cualquier parte de la cáscara que no cumpla con la caracterización organoléptica. Este paso es esencial para garantizar la pureza del producto final.

#### **2.4.1.2. Lavado de la cáscara de piña**

La materia prima debe ser lavada cuidadosamente para eliminar residuos de tierra, pesticidas y otros contaminantes superficiales. Se puede utilizar una solución desinfectante adecuada (como una solución de cloro) para reducir la carga microbiana en la superficie de la fruta (Smit & Johnson, 2021).

En primer lugar, las cáscaras de piña adquiridas en el mercado campesino son sometidas a un lavado con agua corriente. Este paso inicial tiene como objetivo eliminar cualquier residuo superficial, tierra o impureza que pueda estar presente en la superficie de la cáscara.

Luego, se empleó un cepillo con cerdas de plástico para realizar un cepillado detallado de la cáscara de la piña.

Posterior al lavado, se procedió a desmenuzar la cáscara de piña, cortándola por sus ranuras naturales. Las cáscaras desmenuzadas manteniendo su forma cuadrada natural con un

largo aproximado de 1.3 cm. y se redujeron a un grosor aproximado de 0.5 cm. Esto para optimizar el proceso de secado, asegurando una deshidratación uniforme y eficiente.

### **Ilustración 17**

#### *Lavado con cepillo*



*Notas.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

El lavado con agua y cepillado con cerdas de plástico no solo cumple con los estándares de higiene requeridos, sino que también ayuda a mantener la integridad de la cáscara de la piña. Este proceso es parte integral de la preparación de la cáscara para su consumo, asegurando que el producto final entregue no solo un sabor delicioso sino también la confianza en términos de calidad y seguridad alimentaria (Wilson, 2018).

#### **2.4.1.3. Despardeamiento**

El metabisulfito de sodio es un conservante comúnmente utilizado en la industria alimentaria. Sin embargo, su uso debe ser cuidadosamente controlado debido a los posibles efectos adversos para la salud, como reacciones alérgicas en personas sensibles a los sulfitos (Food Control Journal, 2020).

La cáscara de piña ha sido sometida a un proceso de despardeamiento mediante un remojo en una solución específica. Para llevar a cabo este procedimiento, se sumergió la cáscara de piña en 1 litro de agua destilada, a la que se añadieron 10 ml de metabisulfito de sodio. Este proceso de remojo se prolongó durante 10 minutos, durante los cuales la solución actuó para evitar el pardeamiento y desinfectar la cáscara de piña.

#### **2.4.1.4. Secado de la Cáscara de Piña**

La temperatura y el tiempo de secado son cruciales para asegurar la eliminación de patógenos y prevenir la degradación de nutrientes. Generalmente, temperaturas entre 50-70 °C son efectivas para la mayoría de los propósitos de secado sin comprometer la calidad del producto. Es necesario monitorear y controlar estos parámetros para garantizar que el producto final esté libre de microorganismos dañinos (Journal of Food Processing and Preservation, 2021).

El ambiente de secado debe mantenerse limpio y libre de contaminantes. Es importante implementar prácticas de higiene y sanidad, como la limpieza regular de equipos y superficies. La manipulación adecuada de la materia antes y después del secado es fundamental para prevenir la contaminación cruzada con patógenos (Food Control, 2020).

La capacitación continua del personal en prácticas de inocuidad alimentaria y la implementación de auditorías regulares son componentes clave de un sistema Evaluación de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP) efectivo (Journal of Food Quality, 2019).

En primer lugar, las cáscaras de piña seleccionadas se colocan uniformemente sobre las bandejas del secador, asegurando una distribución adecuada para facilitar el proceso de secado. El secador a bandejas se encarga de aplicar un flujo controlado de aire caliente a través de las cáscaras, acelerando la evaporación de la humedad y preservando así las propiedades naturales de la fruta.

Durante el periodo de secado, se hicieron nueve combinaciones con una repetición, a temperaturas de 50 °C, 60 °C, 70°C, y tiempos de 6 h, 7h, y 8h se monitorea de cerca la temperatura y tiempo para garantizar condiciones óptimas.

La cantidad inicial es de 200g. para cada experimento, que es más fácil de manipular, la cual se va pesando y registrando en intervalos de 30 min.

## Ilustración 18

*Secado estufa a bandejas.*



*Notas.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Este cuidado es esencial para mantener la calidad del producto final y para lograr un nivel de humedad específico que permita un almacenamiento prolongado sin comprometer las características organolépticas de la cáscara de piña.

El registro del tiempo de secado de la muestra y el registro de la variación de la masa se muestra a continuación, considerando como ejemplo el experimento No 9 (70 °C; 8h)

**Tabla 7**

*Variación de masa en función del tiempo para 70°C en 8 h.*

N°	TIEMPO (h)	MASA (g)
1	00:00	200,33
2	00:30	151,04
3	01:00	101,75
4	01:30	84,03
5	02:00	66,3
6	02:30	51,05
7	03:00	35,8
8	03:30	32,62

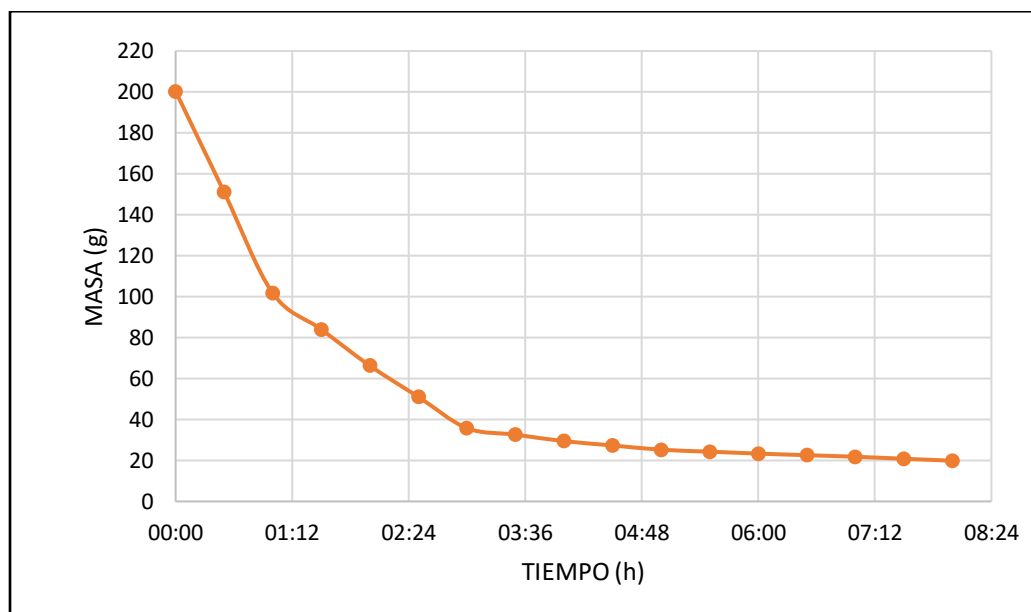
N°	TIEMPO (h)	MASA (g)
9	04:00	29,43
10	04:30	27,34
11	05:00	25,24
12	05:30	24,3
13	06:00	23,35
14	06:30	22,58
15	07:00	21,8
16	07:30	20,83
17	08:00	19,86

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

En el siguiente gráfico se exhibe la curva de variación de masa durante el proceso de secado, tomando en consideración las condiciones específicas de 70° C y un tiempo total de 8 horas. Esta representación gráfica ilustra la evolución de la masa a lo largo del tiempo, proporcionando una visión detallada de cómo el material se seca bajo estas condiciones particulares.

**Figura 3**

*Curva de variación de masa en función del tiempo para 70°C en 8h.*

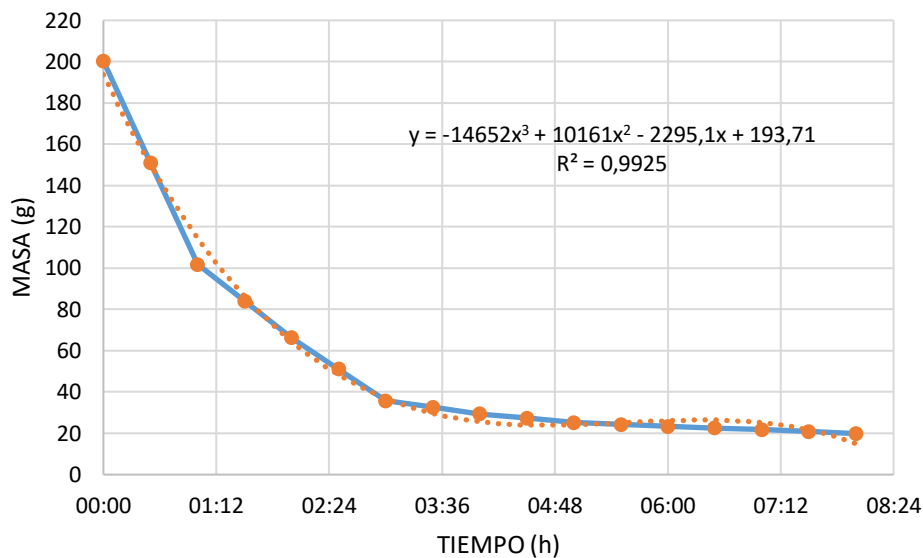


*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Para encontrar la ecuación que represente la variación de la masa en respecto al tiempo se debe tomar un modelo matemático que se ajuste a la; en este sentido, se proyecta una curva de tendencia que se ajuste a los datos obtenidos, a fin de hallar la ecuación resultante a la variación respecto al tiempo:

**Figura 4**

*Ajuste de la curva para la variación de masa en función del tiempo para 70°C en 8h.*



*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

La ecuación resultante que describe la variación de la masa en función del tiempo es la Ecuación 9, que representa el ajuste de la curva de pérdida de humedad respecto al tiempo:

**Ecuación 9.** *Ecuación de ajuste de la curva de Pérdida de Humedad en Función del Tiempo*

$$y = 14652x^3 + 10161x^2 - 2295,1x + 193,71$$

Este ajuste se evidencia con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,9925$ , lo cual indica un excelente ajuste de la curva con respecto a los datos recopilados.

#### **2.4.1.4.1. Determinación de la humedad en base seca**

Para determinar el contenido de humedad expresado en base seca, se emplea la siguiente fórmula:

**Ecuación 10.** *Humedad Expresada en Base Seca*

$$\%X_{bs} = \frac{m_{H2O}}{m_s} * 100$$

Al aplicar esta fórmula al primer conjunto de datos, se obtendrá el valor específico del contenido de humedad expresado en base seca para ese momento particular del proceso. Este enfoque proporciona una medida precisa y estandarizada de la humedad, esencial para comprender las características del material bajo estudio y su proceso de secado.

**Tabla 8**

*Variación de la humedad expresada en base seca del proceso de secado de cáscara de piña*

*70°C y 8h.*

N°	TIEMPO (h)	MASA (g)	X (Kg H <sub>2</sub> O/Kg Ss)
1	00:00	200,33	9,087
2	00:30	151,04	6,605
3	01:00	101,75	4,123
4	01:30	84,03	3,231
5	02:00	66,3	2,338
6	02:30	51,05	1,570
7	03:00	35,8	0,803
8	03:30	32,62	0,642
9	04:00	29,43	0,482
10	04:30	27,34	0,377
11	05:00	25,24	0,271
12	05:30	24,3	0,224
13	06:00	23,35	0,176
14	06:30	22,58	0,137
15	07:00	21,8	0,098
16	07:30	20,83	0,049
17	08:00	19,86	0,000

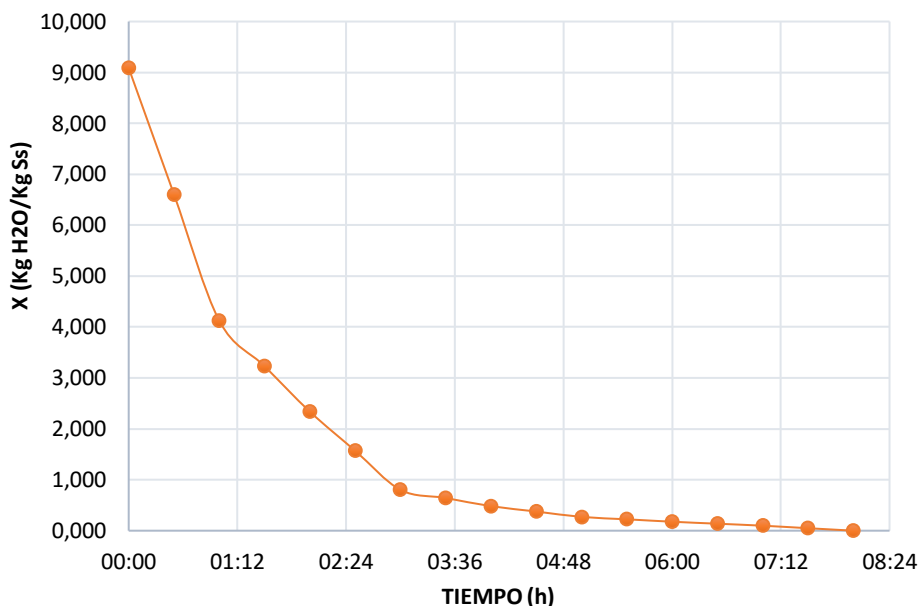
*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

En el gráfico siguiente se muestra la evolución de la cantidad de humedad ajustada en base seca a lo largo del tiempo. Este gráfico proporciona una visualización clara de cómo varía la humedad de la muestra en función del tiempo, teniendo en cuenta la fórmula mencionada previamente según (Martines & Leonel, 2010).



**Figura 5**

*Curva de variación de la humedad Expresada en base seca del proceso de Secado de cáscara de piña 70°C y 8h.*



*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Tal como se evidencia en la Figura 6, la curva exhibe inicialmente un comportamiento de pérdida de humedad prácticamente lineal. No obstante, hacia el extremo medio de la curva, se observa que la disminución de la humedad se torna más gradual. Este fenómeno se atribuye al hecho de que, en este punto específico, únicamente persiste agua no ligada en la muestra.

Este cambio en la tasa de pérdida de humedad sugiere una transición en las características de la cáscara de piña. La presencia exclusiva de agua no ligada al final de la curva puede indicar un estado particular en el proceso de secado, revelando información valiosa sobre las propiedades del material y su comportamiento ante las condiciones específicas del tratamiento térmico.

#### 2.4.1.4.2. Determinación de la humedad en base húmeda

Al examinar el gráfico que ilustra la fluctuación de la humedad en términos de base seca en relación con el tiempo durante el experimento llevado a cabo a 70 °C con una duración de 8 horas, se desprende que:

#### Ecuación 11. Humedad Expresada en base Húmeda

$$\%X_{bh} = \frac{m_{H2O}}{m_s + m_{H2O}}$$

Es relevante subrayar que la cantidad en términos de base húmeda puede expresarse tanto en Kg de H<sub>2</sub>O por Kg de sólido húmedo como en el porcentaje de masa de agua en relación con la masa total de la muestra. Mientras tanto, el contenido de humedad en base seca adquiere significado únicamente al expresarse en formato decimal, dado que representa una proporción entre los componentes del material (Martines & Leonel, 2010).

#### Tabla 9

*Variación de la humedad Expresada en base húmeda del proceso de Secado de cáscara de piña 70°C y 8h.*

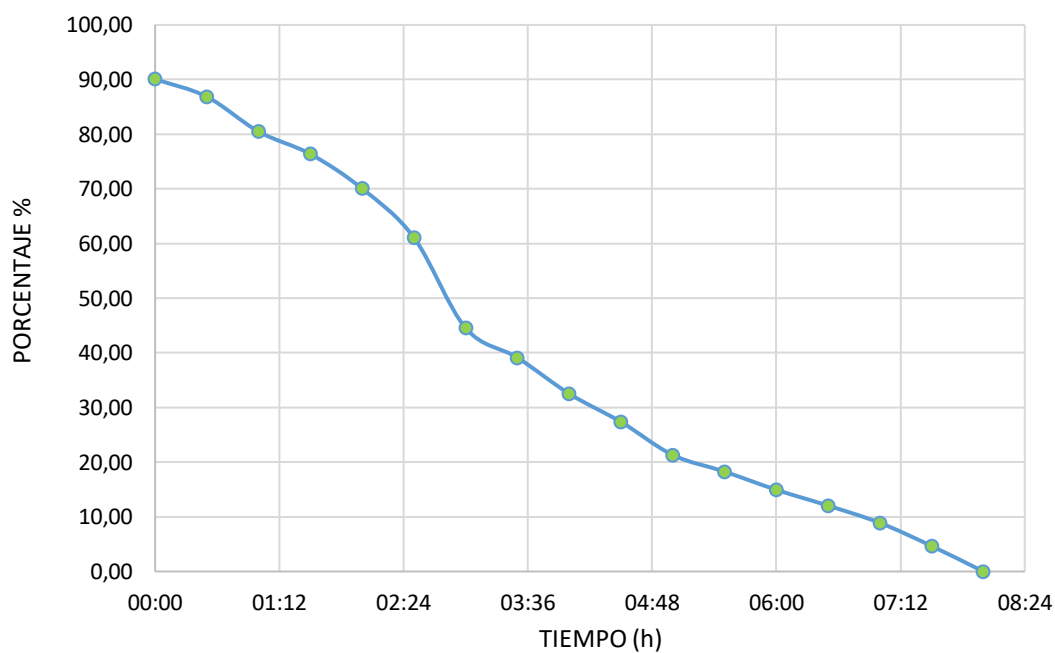
No	TIEMPO (h)	MASA (g)	X (KgH <sub>2</sub> O/Kg Sh)	PORCENTAJE %
1	00:00	200,33	0,901	90,09
2	00:30	151,04	0,869	86,85
3	01:00	101,75	0,805	80,48
4	01:30	84,03	0,764	76,37
5	02:00	66,3	0,700	70,05
6	02:30	51,05	0,611	61,10
7	03:00	35,8	0,445	44,53
8	03:30	32,62	0,391	39,12
9	04:00	29,43	0,325	32,52
10	04:30	27,34	0,274	27,36

No	TIEMPO (h)	MASA (g)	X (KgH <sub>2</sub> O/Kg Sh)	PORCENTAJE %
11	05:00	25,24	0,213	21,32
12	05:30	24,3	0,183	18,27
13	06:00	23,35	0,149	14,95
14	06:30	22,58	0,120	12,05
15	07:00	21,8	0,089	8,90
16	07:30	20,83	0,047	4,66
17	08:00	19,86	0,000	0,00

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

### Figura 6

*Curva de variación del Contenido de humedad Expresada en base húmeda del proceso de Secado de cáscara de piña 70°C y 8h.*



*Nota.*

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

La curva de variación del contenido de humedad expresada en base húmeda durante el proceso de secado de cáscara de piña muestra una disminución gradual en la cantidad de agua

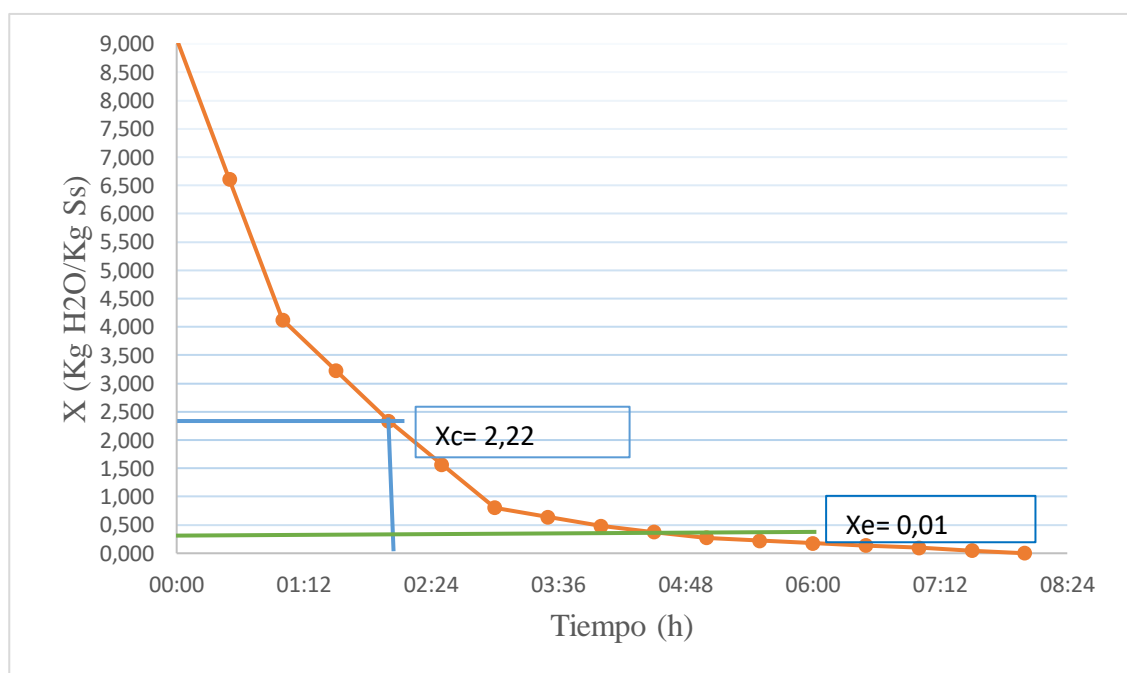
presente. Inicialmente, se observa una fase de secado más lenta, probablemente debido al proceso de calentamiento de la muestra. A medida que avanza el tiempo, la curva indica una aceleración en la pérdida de humedad, indicando una fase de evaporación más intensa. Finalmente, la curva se estabiliza, señalando el punto en el cual se ha alcanzado un equilibrio y la cáscara de piña ha alcanzado un nivel deseado de contenido de humedad reducido.

#### 2.4.1.4.3. Determinación de la Humedad Crítica y Humedad de Equilibrio

A partir del gráfico que representa la variación de la humedad en términos de base seca en función del tiempo durante el experimento realizado a 70°C y con una duración de 8 horas, se puede deducir que:

#### Figura 7

*Determinación de la humedad crítica y humedad de equilibrio*



*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

La gráfica revela dos fases distintas en el proceso de secado: una fase antecrítica y otra postcrítica. Durante la fase antecrítica, se observa que la velocidad de secado se mantiene constante. Este periodo se caracteriza por la ausencia de agua superficial en el sólido, lo que impide mantener una eliminación constante de agua. En este punto, la eliminación de agua se inicia a partir del agua ligada en el sólido. La transferencia de humedad ocurre desde el interior del sólido hacia la superficie.

A medida que la humedad desciende por debajo del umbral crítico  $X_c$ , la eliminación de agua ligada continúa hasta alcanzar la humedad de equilibrio  $X_e$ . En este punto, la presión de vapor en el grano se iguala a la presión de vapor del agua en el entorno circundante. Este cambio marca la transición a la fase postcrítica, donde la velocidad de secado disminuye gradualmente. En resumen, la gráfica proporciona una representación visual de estos dos periodos cruciales en el proceso de secado y cómo evoluciona la eliminación de la humedad en el material sólido.

#### ***2.4.1.4.4. Determinación de la Cinética de Secado***

La cinética de secado es un factor crítico en numerosos procesos industriales y agrícolas, y su comprensión es esencial para mejorar la eficiencia de estos procesos. El método de tres puntos se revela como una herramienta valiosa para analizar la velocidad de secado a lo largo del tiempo, permitiendo una evaluación más detallada de los cambios en la humedad.

Para determinar la cinética de secado en cada punto, se calculó la pendiente en función del tiempo. La pendiente obtenida en el primer punto proporciona información sobre la velocidad inicial de secado, mientras que las pendientes en los puntos intermedio y final indican posibles cambios en la velocidad a lo largo del proceso.

**Ecuación 12.** *Aproximación por diferencia hacia atrás*

$$Y_0 = \frac{-3y_0 + 4y_1 - y_2}{2h}$$

**Ecuación 13.** *Aproximación por diferencia central*

$$y_1 = \frac{-y_0 + y_2}{2h}$$

**Ecuación 14.** *Aproximación por diferencia hacia adelante*

$$y_2 = \frac{y_0 - 4y_1 + 3y_2}{2h}$$

Este enfoque permite una comprensión más profunda de la dinámica del secado, facilitando la identificación de posibles cuellos de botella o áreas de mejora en los procesos de secado. La aplicación del método de tres puntos para analizar la cinética de secado se revela como una herramienta valiosa para optimizar y perfeccionar procesos industriales y agrícolas, contribuyendo así a la eficiencia y sostenibilidad de dichos procesos.

Es así que aplicando mencionado método con los valores obtenidos en el contenido de humedad expresado en base seca se obtiene lo siguiente:

**Tabla 10***Resultado de la diferenciación numérica por el método de tres puntos*

X (Kg H <sub>2</sub> O/Kg Ss)	Y <sub>0</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	(dX/dY)
9,087	-4,96			4,96
6,605	-6,55	-4,964		5,76
4,123	-1,78	-3,374	-4,964	3,37
3,231	-1,91	-1,785	-0,195	1,30
2,338	-1,54	-1,661	-1,786	1,66
1,570	-2,14	-1,536	-1,411	1,70
0,803	-0,32	-0,928	-1,536	0,93
0,642	-0,38	-0,321	0,288	0,14
0,482	-0,21	-0,266	-0,322	0,27
0,377	-0,27	-0,211	-0,155	0,21
0,271	-0,09	-0,153	-0,212	0,15
0,224	-0,10	-0,095	-0,036	0,08
0,176	-0,08	-0,087	-0,096	0,09
0,137	-0,07	-0,078	-0,068	0,07
0,098		-0,088	-0,079	0,08
0,049		-0,098	-0,107	0,10
0,000			-0,098	0,10

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Para analizar el comportamiento de la velocidad de secado en la prueba bajo condiciones de 70° C durante un periodo de 8 horas, es necesario emplear la ecuación 5 utilizando los datos recabados de la tabla 12, que registra la variación de la humedad en relación con el tiempo.

**Ecuación 15.** *Velocidad de secado*

$$W = \frac{Ss}{A} \left( -\frac{dX}{dY} \right)$$

Donde:

W= velocidad de secado (Kg/h m<sup>2</sup>)

A: área de superficie= 0,4212 m<sup>2</sup>

Ss: masa del solido seco= 0,01986

De esta manera se resuelve los siguientes resultados:

**Tabla 11**

*Datos de velocidad de secado*

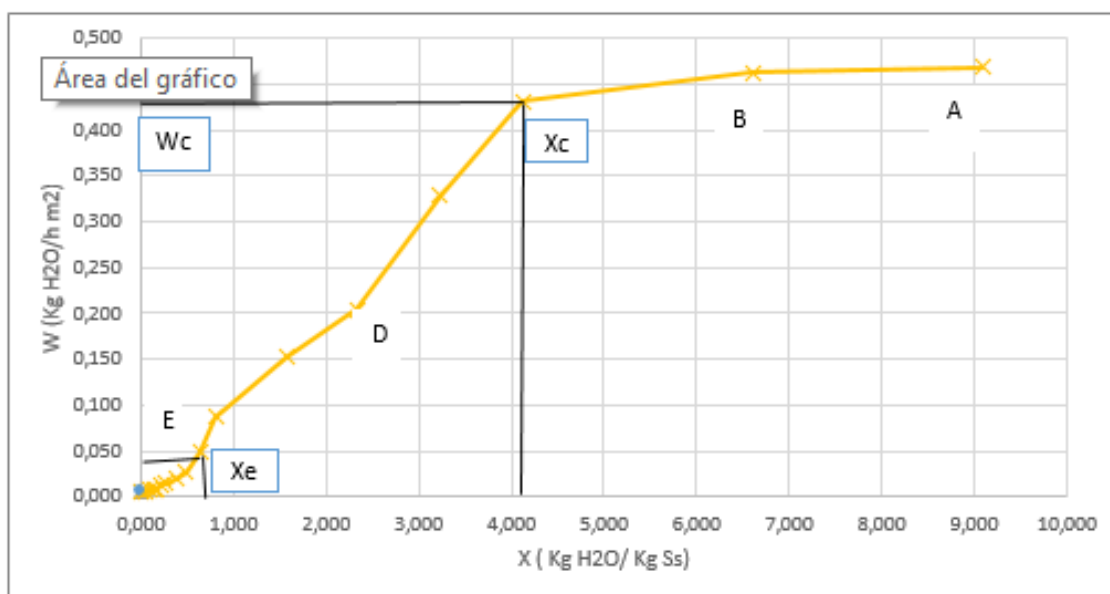
Tiempo (h)	X (Kg H2O/KgSs)	W (kg/m2*h)
00:00	9,087	0,2340
00:30	6,605	0,2715
01:00	4,123	0,1591
01:30	3,231	0,0611
02:00	2,338	0,0783
02:30	1,570	0,0800
03:00	0,803	0,0437
03:30	0,642	0,0064
04:00	0,482	0,0125
04:30	0,377	0,0100
05:00	0,271	0,0072

Tiempo (h)	X (Kg H2O/KgSs)	W (kg/m2*h)
06:00	0,176	0,0041
06:30	0,137	0,0034
07:00	0,098	0,0039
07:30	0,049	0,0048
08:00	0,000	0,0046

Nota. Fuente: (Elaboración propia, 2023)

### Figura 8

Curva de velocidad de secado en función al Contenido de humedad



Nota. Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Punto A, a Punto B: el punto A representa el comienzo del proceso de secado, donde la cáscara de piña tiene una alta humedad libre. En este punto, la temperatura del sólido es más baja que en etapas posteriores y la velocidad de evaporación está en aumento. La humedad libre es aquella que se puede eliminar fácilmente mediante el proceso de secado.

En este punto B, la temperatura de la superficie de la cáscara de piña alcanza su valor de equilibrio, lo que significa que ha alcanzado una temperatura constante. Esto puede indicar que el proceso de secado ha alcanzado una etapa estable en términos de temperatura.



Punto C a Punto D: A partir del punto C, la pendiente de la curva empieza disminuir, reflejando una velocidad de secado decreciente.

Notable disminución en la velocidad de secado, la humedad interna se vuelve el factor limitante.

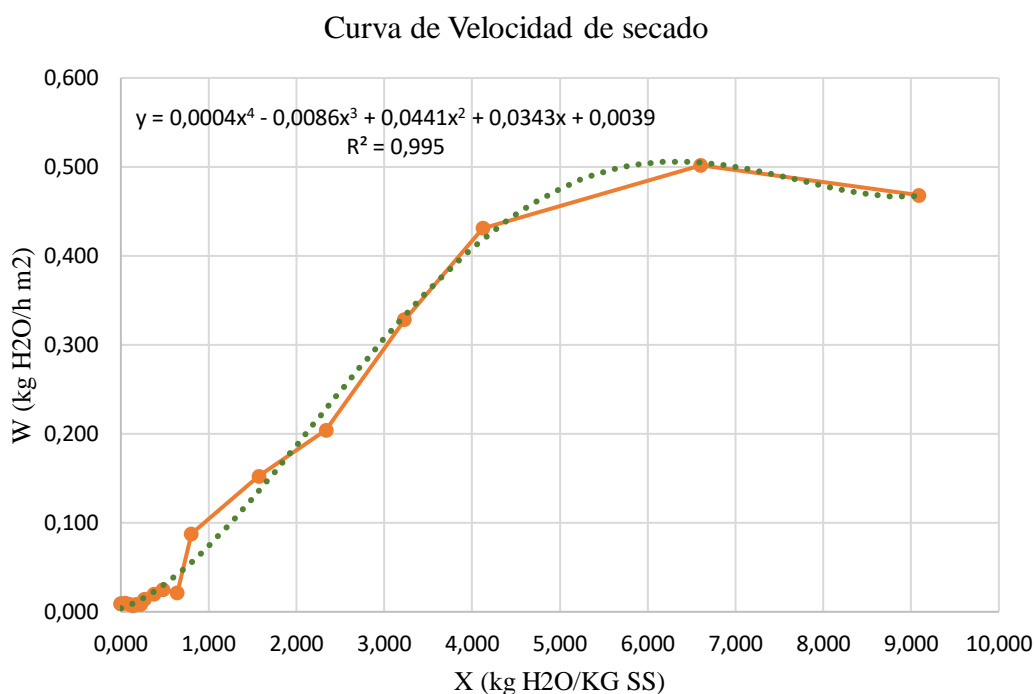
Punto D a Punto E: Velocidad muy baja y decreciente, predominio de humedad residual fuertemente ligada.

La comprensión y el análisis de estos puntos permiten optimizar el proceso de secado, ajustando las condiciones operativas para maximizar la eficiencia y la calidad del producto final.

Para hallar el modelo que represente el comportamiento de la curva de secado, se procede a representar la siguiente figura:

### Figura 9

*Representación del modelo de la curva de secado 70°C y 8h.*



*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

La representación matemática que describe como cambia el contenido de humedad en la cáscara de piña en el proceso de secado es la siguiente:

**Ecuación 16** *Ecuación de la curva de secado*

$$y = 0.0004x^4 - 0.0086x^3 + 0,0441x^2 + 0.0343x + 0.0039$$

Este modelo se utilizará para predecir el comportamiento de la cáscara de piña, lo que es crucial para el diseño y la optimización del proceso de secado.

**2.4.1.5. Molienda de las cáscara de piña**

El proceso de molido requiere estrictos controles de inocuidad alimentaria para garantizar que el producto final sea seguro para el consumo.

Limpiar y desinfectar los molinos y otros equipos antes y después de su uso para prevenir la contaminación. Mantener una temperatura adecuada durante el molido para evitar el crecimiento de microorganismos (Calatayud & Katz, 2019).

En esta etapa del proceso, las cáscaras secas de piña se introducen en la tolva del molino a martillos hasta 50% a manera de regular la entrada de alimentación. Este equipo utiliza una serie de martillos giratorios para golpear y triturar las cáscaras, reduciéndolas a un tamaño más pequeño y homogéneo, para la recepción de la harina se acopla una bolsa de polietileno tal como se ve en la figura. La velocidad y la presión controladas garantizan un molido uniforme, manteniendo la integridad de los compuestos naturales presentes en la cáscara de piña.

## **Ilustración 19**

### *Molido de cáscara de piña*



*Notas.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

El resultado de este proceso es un polvo o una textura molida que se pasa a pesar, presenta propiedades ideales para su uso en diversas aplicaciones culinarias e industriales. El molino a martillos no solo logra la reducción deseada en tamaño de partícula, sino que también permite un control preciso sobre la consistencia del producto final.

#### ***2.4.1.6. Tamizado de la harina de cáscara de piña***

El tamizado de cáscara de piña es un proceso crucial para obtener productos homogéneos y libres de contaminantes.

Limpiar y desinfectar los tamices y otros equipos antes y después de su uso para prevenir la contaminación. Establecer un programa regular de limpieza y desinfección durante las operaciones para mantener los equipos en condiciones higiénicas (Calatayud & Katz, 2019).

Para llevar a cabo el tamizado de la harina, se colocó una cantidad de harina de cáscara de piña en la tamizadora vibratoria, trabajando con cuatro series de tamices con mallas de diferentes aberturas ordenadas de forma descendente como se describe a continuación:

**Tabla 12***Tamices utilizados en la harina de cáscara de piña*

No de malla en mm UNE	Designación de tamiz ASTM
1	18
0,5	35
0,25	60
0,063	230

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Se configuró el proceso para operar a 125 revoluciones por minuto (rpm) durante un período de 15 minutos.

**Ecuación 17** *Porcentaje de Retención*

$$\% \text{ Retencion} = \frac{\text{Masa retenida}}{\text{Masa total}} * 100$$

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retencion}$$

El proceso se programó a 125 rpm durante 15 min para el ensayo No 9 en 8 h. en 70°C.

**Tabla 13***Porcentaje de Retención en el proceso de Tamizado de la harina de cáscara de piña*

N° de tamiz ASTM	N° de malla (mm)	Masa Retenida (g)	% Retención	% Pasa
18	1	0,068	0,045	99,955
35	0,5	46,279	30,853	69,147
60	0,25	70,493	46,995	53,005
230	0,063	9,725	6,483	93,517
Colector		29,802	19,868	80,132

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

#### ***2.4.1.7. Envasado de la harina de cáscara de piña***

Almacenar el producto tamizado en condiciones controladas de temperatura y humedad para prevenir la recontaminación y el crecimiento de microorganismos. Utilizar empaques adecuados que protejan el producto tamizado de la humedad y otros contaminantes.

Al seguir estas prácticas, se puede asegurar que el proceso se realice de manera segura, produciendo un producto final que sea seguro para el consumo y cumpla con los estándares de inocuidad alimentaria (Navarro, Mejia, & Chedid, 2018).

El envasado de harina de cáscara de piña en una envasadora al vacío con bolsas de plástico es un proceso clave para preservar la frescura y la calidad de este producto derivado. Este método de envasado al vacío ofrece una solución eficiente que contribuye a prolongar la vida útil de la harina mientras se conservan sus propiedades naturales.

Con las bolsas cargadas, el siguiente paso implica la introducción del conjunto en la envasadora al vacío. Este equipo utiliza tecnología de succión para extraer el aire de la bolsa, creando un entorno sellado herméticamente. La eliminación del oxígeno es crucial, ya que ayuda a reducir la oxidación de la harina y a prevenir la presencia de microorganismos, garantizando así la frescura y la calidad del producto.

El envasado al vacío no solo preserva la calidad organoléptica de la harina de cáscara de piña, sino que también contribuye a la conservación de sus nutrientes esenciales. La eliminación del aire optimiza el espacio de almacenamiento y facilita la gestión del producto a nivel logístico.

## Ilustración 20

### *Envasado de cáscara de piña*



*Notas.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

## 2.5. Balance de Materia y Energía

### 2.5.1. Balance de Materia

Para el balance de materia en el proceso de harina de cáscara de piña se realiza la cuantificación de cada flujo en cada etapa del proceso desde a recepción de materia prima hasta el envasado del producto final

Para cada etapa se obtuvieron rendimientos de manera experimental y tomando una base de cálculo además de los de los resultados experimentales obtenidos se realizó todo el balance.

### Tabla 14

#### *Perdidas en cada etapa del Balance de Materia*

Perdidas en selección de materia prima	5%
Perdidas de Materia prima en lavado	2%
Relación de agua usada en lavado	4 a 1 en masa con la cáscara de piña
Perdidas de materia prima en pardeado	0%

Perdidas en selección de materia prima	5%
Relación de agua destilada usada en pardeamiento	5 a 1 en masa con respecto a la cáscara de piña
% de meta sulfito usado en agua de pardeamiento	100 a 1 en masa respecto de la cantidad de agua destilado
% de masa separado como humedad en secado	90.08%
% de perdidas en molienda	3%
% de perdidas en tamizado	2.047%

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

### **Tabla 15**

#### *Nomenclatura utilizada en el Balance de Materia*

Abreviatura	Representación
MCI	Masa de cáscara Inicial
MCNA	Masa de cáscara no apta
MCS	Masa de cáscara seleccionada
ALC	Masa de Agua de lavado de cáscara
ALI	Masa de agua de lavado con impurezas
MCPL	Masa de cáscara de piña lavada
MAP	Masa de agua de pardeado
MAPR	Masa de agua de pardeado residual
MCPP	Masa de cáscara de piña pardeada
MAE	Masa de agua evaporada en secador
MCPS	Masa de cáscara de piña seca
MPM	Masa de cáscara perdida en molienda
MCPM	Masa de cáscara de piña molida
MPT	Masa de cáscara perdida en el tamizado
MCPT	Masa de cáscara de piña tamizada
MHCP	Masa de harina de cáscara de piña

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

### 2.5.1.1. Recepción de Materia prima

Base de cálculo 1000 gr



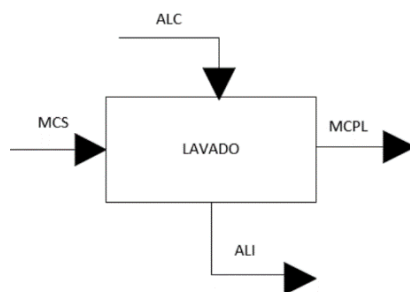
Al tener una pérdida de 5 % se calculará estas pérdidas

$$MCSI = MCS + MCNA$$

$$MCSC = 1000 * 5\% = 50\text{gr}$$

$$MCS = 1000 - 50 = 950\text{ gr}$$

### 2.5.1.2. Lavado de Cáscara



Balance global en la etapa

$$MCS + ALC = MCPL + ALI$$

Como se tiene una relación de 4 a 1 (agua de Lavado: cáscara de piña)

$$ALC = 4 * 950 = 3800\text{ gr agua}$$

Al tener una pérdida de 2 % de materia prima en lavado se tiene un 98 % de cáscara lavada que pasa a la siguiente etapa

$$MCPL = 950 * 98\% = 931\text{gr}$$

La pérdida sale con el agua de lavado, por tanto

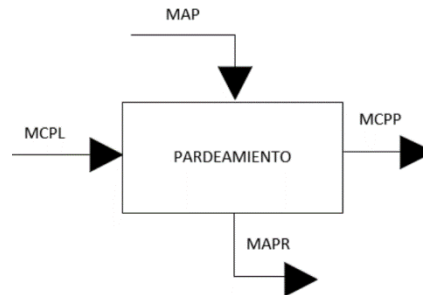
$$ALI = MCS + ALC - MCPL$$



$$ALI=950+3800-931=3819 \text{ gr}$$

La cual contiene 3800 gr de agua y 19 gr de impurezas

### 2.5.1.3. Etapa de pardeamiento



Balace global en la etapa

$$MCPL+MAP=MAPR+MCPP$$

Como se tiene una relación de 5 a 1 (agua de pardeado: cáscara de piña)

$$5 * 931 = 4655 \text{ gr agua destilada}$$

El agua pardeada tiene un contenido de metabisulfito de sodio en una relación de 100 a 1 con el agua destilada:

$$4655 \text{ gr agua destilada} * \frac{1}{100} = 46.55 \text{ gr de metabisulfito}$$

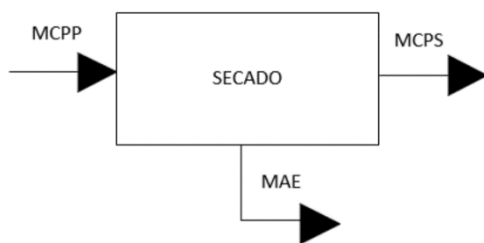
Con estos dos flujos obtenemos el agua total de pardeamiento

$$MAP=4655+46.55=4701.55 \text{ gr}$$

En esta etapa no se tiene perdida de cáscara, por tanto:

$$MCPP=931 \text{ gr.}$$

#### 2.5.1.4. Etapa de secado



Para esta etapa se elimina el 90 % de masa de cáscara de piña en forma de agua evaporada

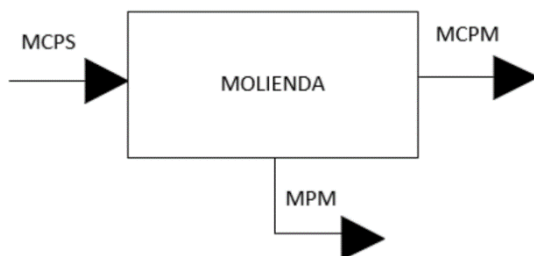
$$MAE = 90 * MCPP$$

$$MAE = 90\% * 931\text{gr} = 837.9\text{gr}$$

$$MCPS = MCPP - MAE$$

$$MCPS = 931 - 837.9 = 93.1\text{gr}$$

#### 2.5.1.5. Etapa de molienda



Las pérdidas de esta etapa representan un 3 % y a partir de este valor se calculará lo demás

$$MPM = 3\% * MCPS$$

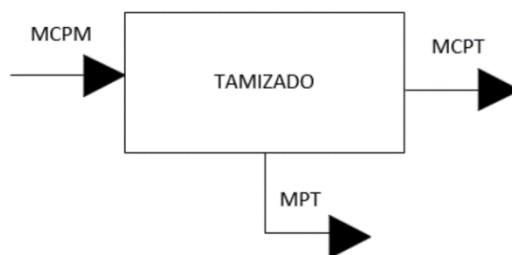
$$MPM = 3\% * 93.1\text{ gr} = 2.793\text{ gr}$$

$$MCPS = MCPM + MPM$$

$$MCPM = MCPS - MPM$$

$$MCPM = 93.1 - 2.793 = 90.307\text{ gr}$$

### 2.5.1.6. Etapa de tamizado



Las pérdidas en tamizado debido a un tamaño inadecuado son de 2.047%

$$MPT = MCPM * 2.047\%$$

$$MPT = 90.307 * 2.047\% = 1.848 \text{ gr Perdido}$$

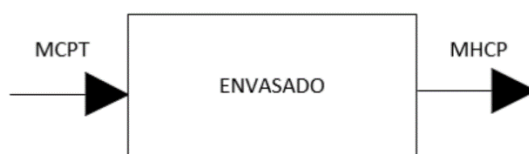
Según el balance global

$$MCPM = MCPT + MPT$$

$$MCPT = MCPM - MPT$$

$$MCPT = 90.307 - 1.848 = 88.459 \text{ gr}$$

En la etapa de envasado no se tiene pérdidas significativas de producto



$$MCPT = MHCP = 88.459 \text{ gr}$$

### 2.5.1.7. Balance de masa global del proceso

El balance global del proceso se realizará tomando en cuenta todos los flujos de entrada y los flujos de salida del proceso

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$MCSI + ALC + MAP = MCNA + ALI + MAPR + MAE + MPM + MPT$$

$$1000 + 3800 + 4701 = 50 + 3819 + 4701.55 + 837.9 + 2.793 + 1.848 + 88.459$$

$$9501.55 = 9501.55$$

### 2.5.2. Balance de energía

Para el balance de energía serán considerados los procesos que involucren un intercambio de energía

**Tabla 16**

*Nomenclatura para-Balance de Energía*

Abreviatura	Representación
MCPD	Masa de cáscara de piña pardeada
MAE	Masa de agua evaporada en secador
MCPD	Masa de cáscara de piña seca
C <sub>p</sub>	Capacidad Calorífica
T	Temperatura

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Para el proceso todas las etapas involucran una temperatura ambiente, exceptuando la etapa de secado ya que se evapora el agua en esta etapa mediante calentamiento en un secador eléctrico

#### 2.5.2.1. Balance de energía general

$$E_{cinetica} + E_{potencial} + \Delta U = Q + W$$

La energía cinética y energía potencia se pueden considerar despreciables

$$E_{cinetica} = 0$$

$$E_{potencial} = 0$$

Debido a que no se tiene un cambio de presión ni cambio de volumen el proceso en estado estacionario se puede deducir que:

$$W=0$$

Con estas simplificaciones se obtiene lo siguiente

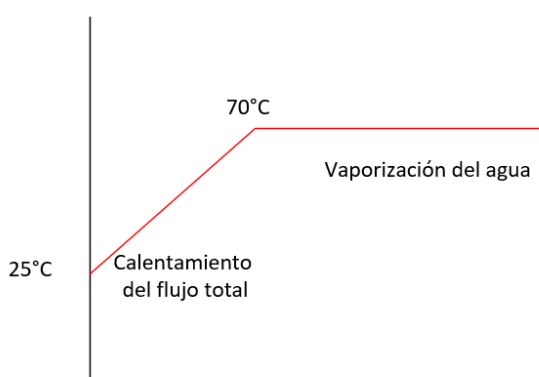
$$\Delta U = Q$$

Lo que representa que el balance de energía estar en función al calor a presión constante

### 2.5.2.2. Cálculo del calor

Para el cálculo del calor se tomará en cuenta el calentamiento y la vaporización del agua

$$Q_{total} = Q_{calentamiento} + Q_{vaporizacion}$$



**Tabla 17**

*Cálculo del calor*

Cp de cáscara de piña húmeda Kj/kg C	3.52
Cp de cáscara de agua Kj/kg k	1
Temperatura inicial °C	25
Temperatura final °C	70
Calor latente de vaporización de agua kj/kg	542.74
MCPD gr	931
MCPS gr	93.1
MAE gr	837.9

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Para le cálculo del calor total primer se realizar el cálculo del calor sensible

$$Q_{calentamiento} = MCPD * CP_{cascara\ piña} * (70 - 25)$$

$$Q_{calentamiento} = 0.931 \text{ Kg} * 3.52 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} * (70 - 25)^\circ\text{C} = 147.4704 \text{ Kj}$$

### 3.5.2.3. Cálculo del calor latente

$$Q_{vaporizacion} = MAE * DH_{vap}$$

$$Q_{vaporizacion} = 0.837 \text{ Kg} * 542.74 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}} = 454.76 \text{ Kj}$$

$$Q_{total} = Q_{calentamiento} + Q_{vaporizacion}$$

$$Q_{total} = 147.4704 + 454.76 = 602.232 \text{ Kj}$$

### 2.5.2.4. Consumo eléctrico de equipos

Para el cálculo del consumo eléctrico de los equipos es necesario el consumo de potencia de cada uno al igual que su tiempo de uso

**Tabla 18**

*Consumo Eléctrico de Equipos*

Equipo	Potencia	Tiempo
Estufa s de secado	2.2 Kw	8 H
Molino de martillos	1 Kw	0.25 h
Tamiz vibratorio	0.92Kw	0.25 h
Envasadora al vacío	80 W	0.05h

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Para el cálculo se tomará la siguiente ecuación de energía eléctrica

$$E = P * T$$

E=Energía eléctrica (KW-h)

P=Potencia del equipo (KW)

T=Tiempo de operación (Horas)

### 3.5.2.4.1. Para la estufa de secado

$$E_{estufa} = P_{estufa} * T_{op\ estufa}$$

$$E_{estufa} = 2.2KW * 8 H = 17.6 Kw - h$$

### 3.5.2.4.2. Para el molino de martillos

$$E_{molino} = P_{molino} * T_{op\ molino}$$

$$E_{estufa} = 1KW * 0.25 H = 0.25 Kw - h$$

### 3.5.2.4.3. Para el tamiz vibratorio

$$E_{molino} = P_{tamiz} * T_{op\ tamiz}$$

$$E_{estufa} = 0.92KW * 0.25 H = 0.23 Kw - h$$

### 3.5.2.4.4. Para el tamiz vibratorio

$$E_{Env\ al\ vacio} = P_{Env\ al\ vacio} * T_{Env\ al\ vacio}$$

$$E_{estufa} = 0.08KW * 0.05 H = 0.04 Kw - h$$

Con los resultados individuales se puede obtener el consumo eléctrico total

$$E_{total} = E_{molino} + E_{estufa} + E_{tamiz} + E_{env}$$

$$E_{total} = 17.6 + 0.25 + 0.23 + 0.004 = 18.084 Kw - h$$

## 2.6. Determinación del Rendimiento del Proceso

El rendimiento del proceso en la producción de harina de cáscara de piña es un indicador crucial que evalúa la eficiencia y la efectividad de cada etapa. Este rendimiento se mide en términos de la calidad del producto final, la optimización de recursos y la eficiencia operativa

Para determinar esto se aplica la siguiente ecuación:

### Ecuación 18 Porcentaje de Rendimiento

$$\%Rend = \frac{Masa\ final}{Masa\ inicial} * 100$$

En donde la masa inicial es la cantidad de materia prima, es decir masa de cáscara de piña y la masa final es la cantidad de harina obtenida, los resultados de esta determinación se presentan en el capítulo III.

## 2.7. Caracterización del Producto Final

La harina de cáscara de piña representa un producto final resultado de un proceso meticuloso y especializado, diseñado para maximizar los beneficios inherentes a este producto. La caracterización de la harina de cáscara de piña resalta la importancia de la humedad, ya que constituye la variable respuesta más significativa al seleccionar las condiciones de operación más apropiadas.

Para evaluar este parámetro crucial, se llevó a cabo la medición de la humedad en muestras mediante una secadora de infrarrojo. Una vez seleccionada la muestra de harina de cáscara de piña, esta se sometió al Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho para realizar el análisis correspondiente. Este enfoque detallado asegura la calidad y la optimización del producto final, respaldando así la importancia de la humedad en el proceso de selección y caracterización.

**Tabla 19**

*Requisitos Físicos y Químicos para Harina y Derivados*

Requisito	Harina	Harina Integral	Método de ensayo
Humedad (%)	Max. 15	Max. 15	NB 074
Proteínas en b.s. (%)	Min. 8	Min. 8	NB 076
Ceniza en b.s. (%)	Max. 0,90	-	NB 075
Acidez como H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (%)	Max 0,22	Max. 0,22	NB 107
Gluten Húmedo (%)	Min. 23	-	NB 106
Fibra cruda (%)	-	Min 2,5	NB 312005

*Nota.* Fuente: NB 680 Harina y Derivados-Harina de trigo-Requisitos



En el proceso de evaluación y control de calidad de la harina de cáscara de piña, se tienen en cuenta los parámetros microbiológicos descritos a continuación. Estos parámetros incluyen la presencia y concentración de microorganismos, como bacterias, hongos y levaduras. La atención a estos aspectos microbiológicos es esencial para garantizar la inocuidad y la conformidad con los estándares sanitarios.

**Tabla 20**

*Requisitos Microbiológicos*

Característica	Límite máximo	Método de ensayo
Aerobios mesófilos UFC/g	$7 \times 10^4$	NB 32003
Coliformes totales UFC/g	$1 \times 10^3$	NB 32005
Escherichia coli	Ausencia	NB 32005
Mohos UFC/g	$1 \times 10^4$	NB 32006
Levaduras UFC/g	$1 \times 10^4$	

*Nota.* Fuente: NB 680 Harina y Derivados-Harina de trigo-Requisitos

## 2.8. Análisis Sensorial

El análisis sensorial de la harina de cáscara de piña proporciona una evaluación completa de las características organolépticas que influyen en la percepción sensorial de este producto único. Este análisis se realiza considerando aspectos como el color, aroma, sabor, textura de la experiencia gustativa.

Para ello se reunieron 15 integrantes no calificados a los cuales se les entrega una encuesta en donde califican los atributos ya mencionados de cada una de las nueve muestras de harina de cáscara de piña mediante escala hedónica de 5 puntos.

## Ilustración 21

### *Evaluación sensorial de la harina de cáscara de piña*



*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

En el cierre de este análisis sensorial, se llevó a cabo una comparación exhaustiva mediante la aplicación de la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95%. El propósito fundamental de esta evaluación fue establecer si existían diferencias significativas en la aceptación entre las diversas muestras de harina. Este enfoque estadístico permitió identificar con precisión si al menos una de las muestras se destacaba por tener una aceptabilidad distinta a las demás.

El riguroso proceso de comparación múltiple se efectuó con el fin de discernir no solo las posibles variaciones en la aceptación entre las muestras, sino también para determinar cuál de estas presentaba la mayor aceptabilidad en términos sensoriales. Esta metodología robusta garantiza una evaluación integral y estadísticamente sólida, brindando resultados concluyentes sobre la preferencia del panel evaluador en relación con las diferentes muestras de harina.

## 2.9. Características funcionales

### 2.9.1. Capacidad de hinchamiento de harina de cáscara de piña

Teniendo en cuenta lo expresado por (Umaña, Lopera, & Gallardo , 2013) se entiende se llevó a cabo la metodología utilizada en donde se colocó 2,5g de harina de cáscara de piña en una probeta a la cual se agregó 30 ml de agua, esta muestra se agito manualmente y se dejó en reposo a temperatura ambiente 24h. La capacidad de hinchamiento se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 19** *Capacidad de hinchamiento de la harina de cáscara de piña*

$$CH = \frac{33ml}{2,5 g} = 13,2 \text{ ml/g}$$

### 2.9.2. Capacidad de Retención de Agua de la harina de cáscara de piña

Basada en la metodología utilizada por (Umaña, Lopera, & Gallardo , 2013) se tomó 1g de harina de cáscara de piña y se adiciono 30ml de agua, se agito manualmente y se dejó en reposo durante 18horas, luego se centrifugo a 2000 rpm por un tiempo de 30 min., una vez separado el sobrenadante se llevó a un crisol y se pesó, obteniendo el valor del residuo húmedo por 24 horas, una vez transcurrido este tiempo se pesó obteniendo el valor del residuo seco.

**Ecuación 20** *Capacidad de Retención de Agua de harina de cáscara de piña*

$$CRA = \frac{1,050g - 0,090}{0,090} = 10,666g$$

### 2.9.3. Capacidad de Absorción de Agua de harina de cáscara de piña

De acuerdo con (Umaña, Lopera, & Gallardo , 2013) se toman 0,5 gramos de muestra a la que se le adiciona 10 ml de agua y se agita durante 30 min., luego se centrifuga durante 10 min. A 3000rpm y se pesa el sedimento.

**Ecuación 21** *Capacidad de Absorción de Agua de harina de cáscara de piña*

$$CAA = \frac{2,966 - 0,510}{0,510} = 4,815g.$$

#### **2.9.4. Capacidad de Adsorción de Grasa de harina de cáscara de piña**

Se pesaron 5 g de muestra en un tubo falcón, posteriormente se le adicionan 30ml de aceite de girasol marca siglo de oro. La muestra con aceite permanece 24 horas en reposo. Una vez concluido este tiempo la muestra es centrifugada 1500rpm por 5 minutos. La muestra es cuidadosamente decantada y finalmente se pesa con el aceite adsorbido.

**Ecuación 22** *Capacidad de Adsorción de Grasa de harina de cáscara de piña*

$$CAA = \frac{15,540 - 5,035}{5,035} = 2,086g.$$

**CAPÍTULO III**

**ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE**

**RESULTADOS**

## CAPÍTULO III

### 3.1. Resultado de la Caracterización de la Materia Prima

#### 3.1.1 Caracterización fisicoquímica

La cáscara de piña, proveniente de la fruta tropical Ananas comosus, se presenta como una materia prima versátil con propiedades distintivas. Su composición revela una combinación equilibrada de elementos que la hacen adecuada para diversos usos.

**Tabla 21**

*Resultado de la Caracterización Fisicoquímica de la Materia prima*

PARAMETRO	TECNICA y/o METODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO
Ceniza	NB 39034:10	%	0,91
Fibra	Digestión acida	%	1,75
Grasa	NB 313019:06	%	0,25
Hidratos de Carbono	NB 312031:10	%	15,19
Humedad	NB 313010:05	%	82,63
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%	1,02
Valor energético	NB 312032:06	Kcal/100 g	67,09

*Nota.* Fuente: (Resultado de análisis CEANID)

Dentro del proceso de caracterización de fibra dietaría, se logró obtener un producto cuyo proximal es detallado en el siguiente cuadro:

**Tabla 22**

*Resultado Caracterización fibra Dietaria*

PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD	METODO
Fibra Dietaría	68,98	g/100g	AOAC991.43

*Nota.* Fuente: (Resultado de análisis INLASA)

La cáscara de piña, a través de su caracterización, se presenta como un recurso multifacético, ofreciendo oportunidades para la sostenibilidad, la innovación y la optimización de procesos en diversas industrias.

Los resultados obtenidos sugieren que la cáscara de piña no solo es un subproducto agrícola con alto valor nutritivo, sino que también puede contribuir significativamente a la sostenibilidad y reducción de residuos mediante su aprovechamiento en diversas aplicaciones comerciales.

### 3.2 Resultado del Desarrollo del Proceso Experimental

#### 3.2.1. Resultado de Proceso Secado de Cáscara de Piña

##### 3.2.1.1. Discrepancia entre los experimentos y las replicas

A continuación, se detallan los resultados obtenidos en cada experimento para las temperaturas de 50 °C, 60 °C y 70 °C en los tiempos de 6, 7 y 8 horas.

En cada conjunto de condiciones experimentales, se registraron datos específicos para analizar el impacto de las diferentes temperaturas en los tiempos designados. Estos resultados proporcionan una visión detallada de la variabilidad observada en cada escenario, contribuyendo así a la comprensión integral de los efectos de las temperaturas y tiempos específicos en el experimento.

**Tabla 23**

*Resultado de la Pérdida de masa en el proceso de secado de la cáscara de piña*

N°	Tiempo(h)	EXP	EXP	EXP	EXP	EXP	EXP	EXP	EXP	EXP
		N°1 50°C (g)	N°2 50°C (g)	N°3 50°C (g)	N°4 60°C (g)	N°5 60°C (g)	N°6 60°C (g)	N°7 70°C (g)	N°8 70°C (g)	N°9 70°C (g)
1	00:00	200,4	200	200,59	200,96	200,87	200,01	200,01	200,62	200,33
2	00:30	164,18	162,07	165,02	157,6	159,65	159,33	152,16	151,53	151,04
3	01:00	127,95	124,14	129,45	114,24	118,43	118,65	104,3	102,44	101,75
4	01:30	104,72	106,05	107,68	95,14	98,43	98,38	85,33	85,95	84,03
5	02:00	81,49	87,96	85,9	76,03	78,43	78,11	66,36	69,46	66,3

N°	Tiempo(h)	EXP N°1 50°C (g)	EXP N°2 50°C (g)	EXP N°3 50°C (g)	EXP N°4 60°C (g)	EXP N°5 60°C (g)	EXP N°6 60°C (g)	EXP N°7 70°C (g)	EXP N°8 70°C (g)	EXP N°9 70°C (g)
6	02:30	66,74	73,19	70,9	61,45	63,05	61,75	52,88	53,58	51,05
7	03:00	51,99	58,41	55,9	46,86	47,67	45,39	39,4	37,7	35,8
8	03:30	47,21	52,54	49,4	40,36	39,28	40,39	35,4	33,55	32,62
9	04:00	42,42	46,67	43,9	33,86	30,89	35,39	31,4	29,4	29,43
10	04:30	39,08	39,48	40,85	31,47	28,98	32,66	29,04	27,34	27,34
11	05:00	35,73	32,29	37,8	29,08	27,07	29,93	26,67	25,28	25,24
12	05:30	34,05	31,03	35,04	27,12	26,57	27,37	25,3	24,41	24,3
13	06:00	32,37	29,77	32,28	25,16	26,07	24,81	23,927	23,54	23,35
14	06:30		28,22	30,34		24,38	24,05		22,56	22,58
15	07:00		26,67	28,4		22,69	23,29		21,57	21,8
16	07:30			26,33			21,95			20,83
17	08:00			24,26			20,61			19,86

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Después de examinar detenidamente los datos recolectados en cada experimento, procedemos a exponer los resultados derivados de la réplica llevada a cabo en relación con cada uno de los experimentos previos.

Esta segunda fase de análisis, mediante la réplica de los experimentos anteriores, brinda una perspectiva adicional sobre la consistencia y reproducibilidad de los resultados. Los datos resultantes contribuyen a una comprensión más completa de los efectos de las condiciones experimentales en el estudio.



**Tabla 24**

*Resultado de las réplicas de la Pérdida de masa en el proceso de secado de la cáscara de piña*

No	Tiempo(h)	REP N°1 50°C (g)	REP N°2 50°C (g)	REP N°3 50°C (g)	REP N°4 60°C (g)	REP N°5 60°C (g)	REP N°6 60°C (g)	REP N°7 70°C (g)	REP N°8 70°C (g)	REP N°9 70°C (g)
1	00:00	200,66	200,75	200,87	200,34	200,07	200,48	200,66	200,4	200,95
2	00:30	164,29	162,42	163,52	158,93	158,455	156,735	151,525	152,665	151,38
3	01:00	127,92	124,09	126,17	117,52	116,84	112,99	102,39	104,93	101,81
4	01:30	108,395	103,6	107,86	98,4	97,315	96,03	83,785	84,57	84,125
5	02:00	88,87	83,11	89,55	79,28	77,79	79,07	65,18	64,21	66,44
6	02:30	70,97	67,27	72,535	62,88	62,48	62,635	51,595	50,875	52,2
7	03:00	53,07	51,43	55,52	46,48	47,17	46,2	38,01	37,54	37,96
8	03:30	48,88	46,775	48,89	40,51	41,195	41,515	34,46	32,925	33,76
9	04:00	44,69	42,12	42,26	34,54	35,22	36,83	30,91	28,31	29,56
10	04:30	40,09	40,18	37,435	31,34	31,77	33,11	28,335	26,015	26,23
11	05:00	35,49	38,24	32,61	28,14	28,32	29,39	25,76	23,72	22,9
12	05:30	35,62	33,24	29,935	26,875	25,72	26,72	24,885	22,865	22,475
13	06:00	35,75	28,24	27,26	25,61	23,12	24,05	24,01	22,01	22,05
14	06:30		26,995	26,08		22,51	22,81		21,955	21,525
15	07:00		25,75	24,9		21,9	21,57		21,9	21
16	07:30			24,4			20,79			20,045
17	08:00			23,9			20,01			19,09

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

En esta fase, se procede a comparar minuciosamente los resultados obtenidos en cada ensayo con sus correspondientes réplicas. Este proceso de contrastación permite evaluar la consistencia y la reproducibilidad de los datos a lo largo de los experimentos y sus replicaciones.

**Tabla 25***Diferencia de Resultados entre los Experimentos y replicas*

N°	Tiempo(h)	EXP N°1 50°C (g)	EXP N°2 50°C (g)	EXP N°3 50°C (g)	EXP N°4 60°C (g)	EXP N°5 60°C (g)	EXP N°6 60°C (g)	EXP N°7 70°C (g)	EXP N°8 70°C (g)	EXP N°9 70°C (g)
1	00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	00:30	-0,11	-0,35	1,5	-1,33	1,195	2,595	0,635	-1,135	-0,34
3	01:00	0,03	0,05	3,28	-3,28	1,59	5,66	1,91	-2,49	-0,06
4	01:30	-3,675	2,45	-0,18	-3,26	1,115	2,35	1,545	1,38	-0,095
5	02:00	-7,38	4,85	-3,65	-3,25	0,64	-0,96	1,18	5,25	-0,14
6	02:30	-4,23	5,92	-1,635	-1,43	0,57	-0,885	1,285	2,705	-1,15
7	03:00	-1,08	6,98	0,38	0,38	0,5	-0,81	1,39	0,16	-2,16
8	03:30	-1,67	5,765	0,51	-0,15	-1,915	-1,125	0,94	0,625	-1,14
9	04:00	-2,27	4,55	1,64	-0,68	-4,33	-1,44	0,49	1,09	-0,13
10	04:30	-1,01	-0,7	3,415	0,13	-2,79	-0,45	0,705	1,325	1,11
11	05:00	0,24	-5,95	5,19	0,94	-1,25	0,54	0,91	1,56	2,34
12	05:30	-1,57	-2,21	5,105	0,245	0,85	0,65	0,415	1,545	1,825
13	06:00	-3,38	1,53	5,02	-0,45	2,95	0,76	-0,083	1,53	1,3
14	06:30		1,225	4,26		1,87	1,24		0,605	1,055
15	07:00		0,92	3,5		0,79	1,72		-0,33	0,8
16	07:30			1,93			1,16			0,785
17	08:00			0,36			0,6			0,77

*Notas.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Con el fin de destacar las discrepancias entre los ensayos originales y sus correspondientes réplicas, se llevará a cabo el cálculo del error cuadrático medio. Este indicador evalúa la calidad de los datos experimentales al medir la variación y el grado de sesgo con respecto a los datos obtenidos en las réplicas.

**Ecuación 23** *Error Cuadrático medio*

$$EMC = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y})^2$$

1. Se calculará el cuadrado de la diferencia entre cada dato original y su réplica correspondiente.
2. Estos cuadrados de las diferencias se sumarán.
3. La suma se dividirá por el número total de observaciones para obtener el error cuadrático medio.

Este análisis proporcionará una medida cuantitativa de la discrepancia entre los resultados de los ensayos iniciales y sus réplicas, permitiendo una evaluación objetiva de la consistencia y confiabilidad de los datos experimentales en el contexto de la variabilidad observada.

*Tabla 26*

*Resultado de error Cuadrático medio entre los Datos Experimentales y Datos de Replica*

N°	N°1 50°C (g)	N°2 50°C (g)	N°3 50°C (g)	N°4 60°C (g)	N°5 60°C (g)	N°6 60°C (g)	N°7 70°C (g)	N°8 70°C (g)	N°9 70°C (g)
1	0,07	0,56	0,08	0,38	0,64	0,22	0,42	0,05	0,38
2	0,01	0,12	2,25	1,77	1,43	6,73	0,40	1,29	0,12
3	0,00	0,00	10,76	10,76	2,53	32,04	3,65	6,20	0,00
4	13,51	6,00	0,03	10,63	1,24	5,52	2,39	1,90	0,01
5	54,46	23,52	13,32	10,56	0,41	0,92	1,39	27,56	0,02
6	17,89	35,05	2,67	2,04	0,32	0,78	1,65	7,32	1,32
7	1,17	48,72	0,14	0,14	0,25	0,66	1,93	0,03	4,67
8	2,79	33,24	0,26	0,02	3,67	1,27	0,88	0,39	1,30
9	5,15	20,70	2,69	0,46	18,75	2,07	0,24	1,19	0,02
10	1,02	0,49	11,66	0,02	7,78	0,20	0,50	1,76	1,23
11	0,06	35,40	26,94	0,88	1,56	0,29	0,83	2,43	5,48
12	2,46	4,88	26,06	0,06	0,72	0,42	0,17	2,39	3,33
13	11,42	2,34	25,20	0,20	8,70	0,58	0,01	2,34	1,69
14		1,50	18,15		3,50	1,54		0,37	1,11

N°	N°1 50°C (g)	N°2 50°C (g)	N°3 50°C (g)	N°4 60°C (g)	N°5 60°C (g)	N°6 60°C (g)	N°7 70°C (g)	N°8 70°C (g)	N°9 70°C (g)
15		0,85	12,25		0,62	2,96		0,11	0,64
16			3,72			1,35			0,62
17			0,13			0,36			0,59

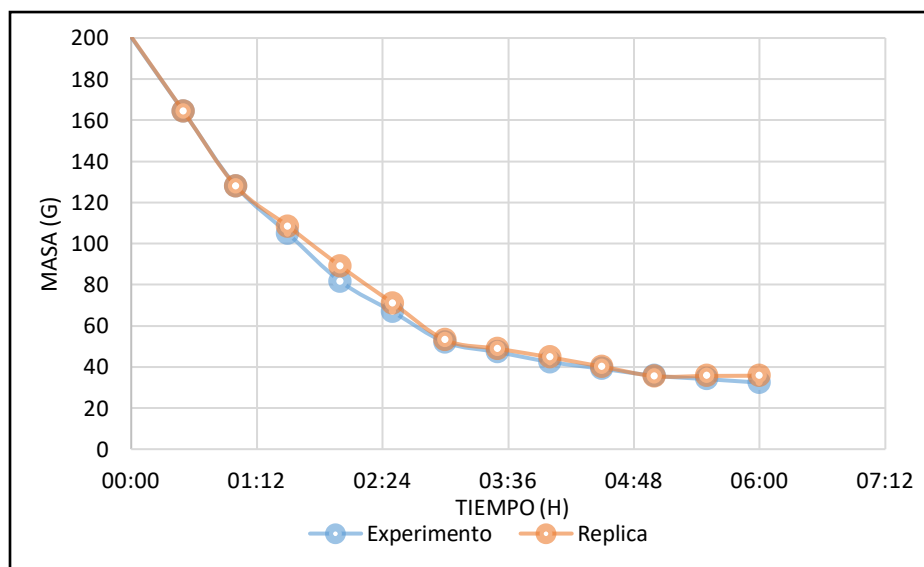
*Notas.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Según la tabla proporcionada, se observa una disparidad notable entre los resultados del ensayo N°1 y su réplica, especialmente evidente en el mayor error registrado a la hora 2:00. En contraste, los demás ensayos no presentan diferencias significativas entre los datos experimentales y sus respectivas réplicas.

Esta discrepancia se confirma al examinar la representación gráfica comparativa entre el ensayo N°1 y su réplica. Dicha visualización permite apreciar de manera más tangible el grado de variación entre los conjuntos de datos, destacando la singularidad del ensayo N°1 en términos de comportamiento y resultados en comparación con sus réplicas. Este análisis gráfico contribuye a una comprensión más detallada de la variabilidad observada en el experimento.

### Figura 10

*Comparación entre la Pérdida de masa en función del tiempo del Ensayo y la replica*



*Notas.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

A partir de la información presentada en la tabla, se percibe que la discrepancia entre los resultados del ensayo N°1 y su réplica no es significativa, especialmente considerando el bajo nivel de variación en la representación gráfica. Aunque se registra un mayor error a la hora 2:00 en dicho ensayo, la magnitud de la diferencia no es considerable en comparación con los demás ensayos.

En general, la representación gráfica sugiere una coherencia considerable entre los datos experimentales y las réplicas en todos los ensayos, lo cual respalda la confianza en el proceso experimental. La mínima variación observada indica una consistencia robusta en los resultados, reforzando la fiabilidad del procedimiento llevado a cabo.

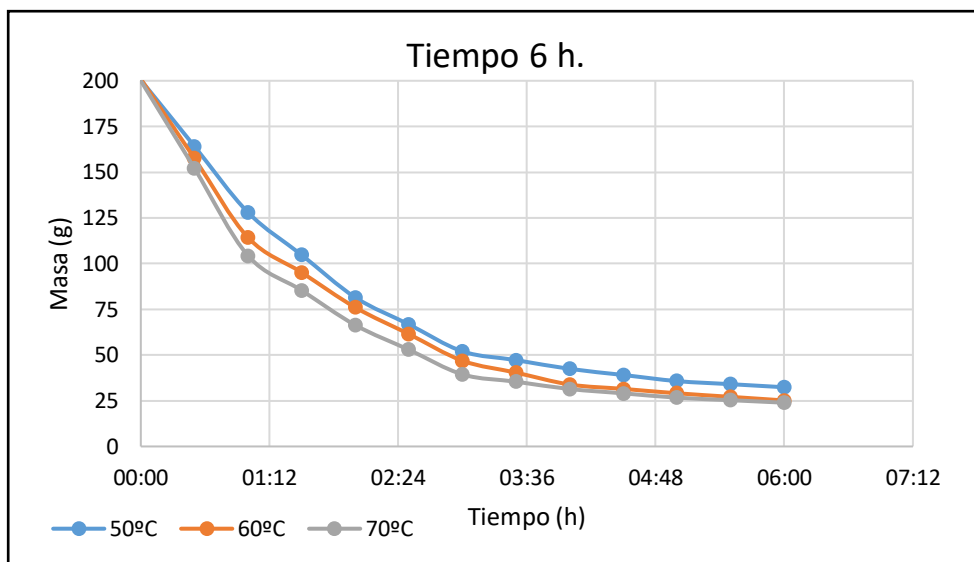
### **3.2.1.2. Resultados en la Pérdida de Masa de la Cáscara de Piña**

Utilizando los datos recopilados en la Tabla 25, se procede a construir las curvas que representan la pérdida de masa de la cáscara de piña. Este análisis gráfico tiene como objetivo proporcionar una comprensión más detallada y visual del comportamiento de la pérdida de masa a lo largo del tiempo.

Al trazar estas curvas, se busca identificar patrones, tendencias y características específicas que puedan ofrecer información valiosa sobre el proceso de deshidratación de la cáscara de piña. Este enfoque visual no solo facilitará la interpretación de los resultados, sino que también contribuirá a una comprensión más intuitiva de cómo la pérdida de masa evoluciona en función del tiempo durante el experimento.

**Figura 11**

*Pérdida de masa vs. tiempo en Experimentos a 6 h.*

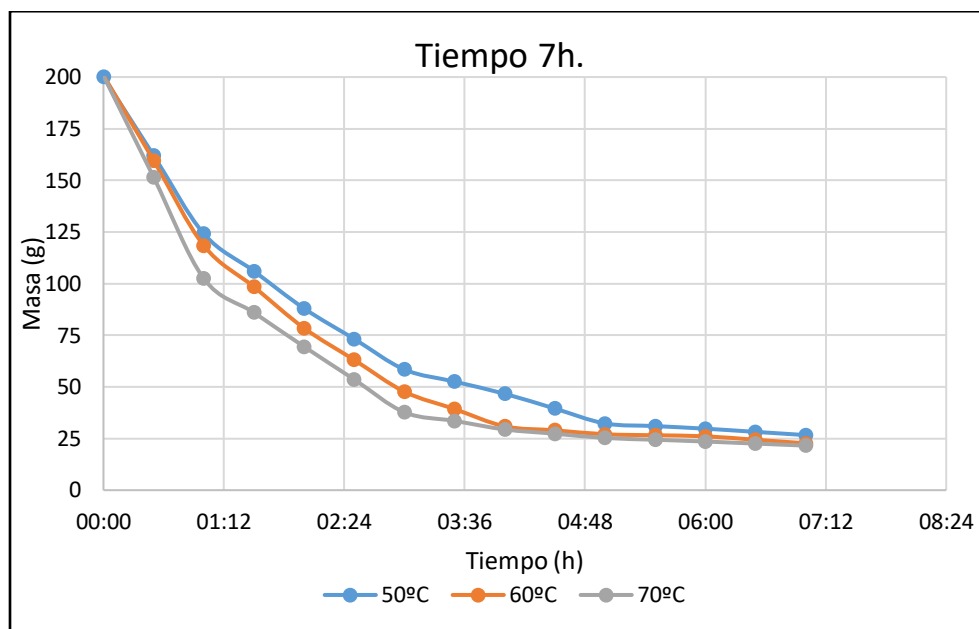


*Notas.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Se observa que los ensayos realizados a temperaturas más elevadas exhiben una pérdida de masa más pronunciada en un lapso de tiempo más corto. Esta tendencia indica una mayor eficiencia en el proceso de deshidratación a temperaturas superiores, donde la cáscara de piña experimenta una reducción más rápida en su masa en comparación con los ensayos a temperaturas más bajas. Estos resultados resaltan la influencia directa de la temperatura en el ritmo de pérdida de masa, sugiriendo que temperaturas más altas aceleran significativamente el proceso de deshidratación de la cáscara de piña.

**Figura 12**

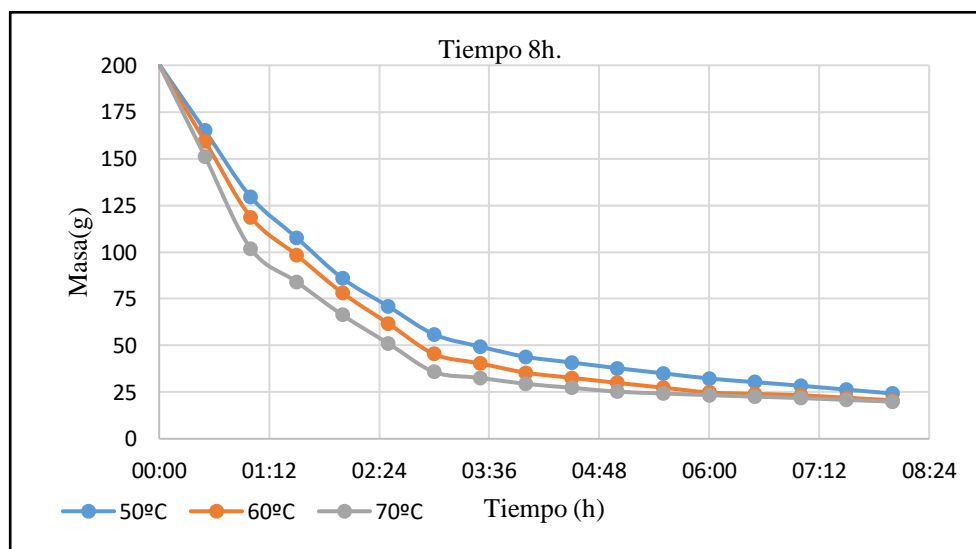
*Pérdida de masa Vs. tiempo en experimentos a 7h.*



*Notas.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

**Figura 13**

*Pérdida de masa Vs. tiempo en experimentos a 8h.*



*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Se observa que las pérdidas de masa de cáscara de piña durante el proceso de secado son más gradualmente pronunciadas en los ensayos con una duración de 8 horas. Este hallazgo sugiere que, durante un periodo de secado extendido, la tasa de pérdida de masa de cáscara de piña es más lenta en comparación con ensayos de menor duración. Este patrón podría atribuirse a diversos factores, como la saturación del material o la influencia de las condiciones ambientales durante el proceso de secado prolongado.

A continuación, se exponen las ecuaciones que describen de manera precisa y detallada los patrones de pérdida de masa observados en cada ensayo. Estas ecuaciones proporcionan un modelo matemático que se ajusta a los datos experimentales, permitiendo una representación más completa y comprensiva del comportamiento de la pérdida de masa a lo largo del tiempo en cada condición de ensayo. Este enfoque analítico no solo facilita la interpretación de los resultados, sino que también posibilita proyecciones y predicciones más precisas sobre la evolución de la pérdida de masa en futuros experimentos o en diferentes condiciones de secado.

**Tabla 27**

*Ecuaciones de ajuste para la variación de masa de cada ensayo*

No	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (h)	ECUACIÓN DE AJUSTE
1	50	6:00	$y = -13479x^3 + 9038,1x^2 - 2094x + 201,74$
2	50	7:00	$y = -10412x^3 + 7421,1x^2 - 1869,4x + 197,11$
3	50	8:00	$y = -10323x^3 + 7619,8x^2 - 1927,2x + 200,2$
4	60	6:00	$y = -17205x^3 + 10574x^2 - 2268,6x + 199,17$
5	60	7:00	$y = -12318x^3 + 8774,9x^2 - 2117,2x + 199,08$
6	60	8:00	$y = -11429x^3 + 8385,6x^2 - 2064,2x + 197,49$
7	70	6:00	$y = -22756x^3 + 13012x^2 - 2534,9x + 197,87$
8	70	7:00	$y = -17224x^3 + 11080x^2 - 2373,5x + 195,8$
9	70	8:00	$y = -14652x^3 + 10161x^2 - 2295,1x + 193,71$

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)



### 3.3.1.3 Resultados de la Humedad en Base Seca

En la siguiente tabla se describe la humedad en base seca para cada experimento.

**Tabla 28**

*Humedad Expresada en base seca para Cada Ensayo*

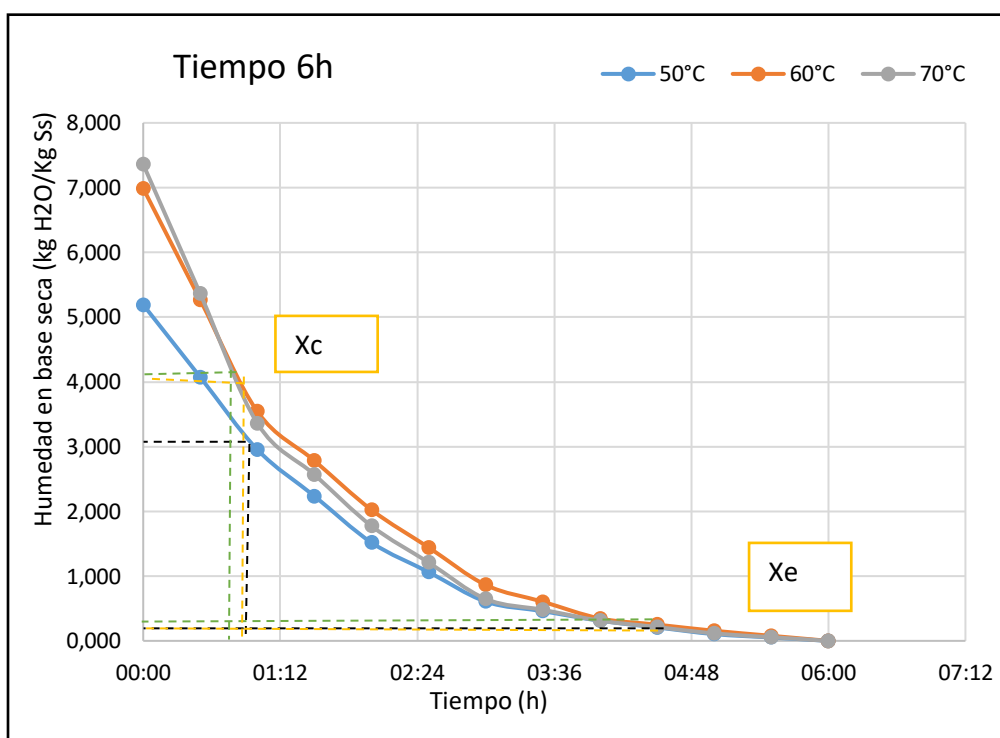
N°	Tiempo(h)	EXP	EXP	EXP	EXP	EXP	EXP	EXP	EXP	EXP
		N°1 50°C (g)	N°2 50°C (g)	N°3 50°C (g)	N°4 60°C (g)	N°5 60°C (g)	N°6 60°C (g)	N°7 70°C (g)	N°8 70°C (g)	N°9 70°C (g)
1	00:00	5,191	6,499	7,268	6,987	7,853	8,705	7,359	8,301	9,087
2	00:30	4,072	5,077	5,802	5,264	6,036	6,731	5,359	6,025	6,605
3	01:00	2,953	3,655	4,336	3,541	4,219	4,757	3,359	3,749	4,123
4	01:30	2,235	2,976	3,439	2,781	3,338	3,773	2,566	2,985	3,231
5	02:00	1,517	2,298	2,541	2,022	2,457	2,790	1,773	2,220	2,338
6	02:30	1,062	1,744	1,923	1,442	1,779	1,996	1,210	1,484	1,570
7	03:00	0,606	1,190	1,304	0,862	1,101	1,202	0,647	0,748	0,803
8	03:30	0,458	0,970	1,036	0,604	0,731	0,960	0,480	0,555	0,642
9	04:00	0,310	0,750	0,810	0,346	0,361	0,717	0,312	0,363	0,482
10	04:30	0,207	0,480	0,684	0,251	0,277	0,585	0,214	0,268	0,377
11	05:00	0,104	0,211	0,558	0,156	0,193	0,452	0,115	0,172	0,271
12	05:30	0,052	0,163	0,444	0,078	0,171	0,328	0,057	0,132	0,224
13	06:00	0,000	0,116	0,331	0,000	0,149	0,204	0,000	0,091	0,176
14	06:30		0,058	0,251		0,074	0,167		0,046	0,137
15	07:00		0,000	0,171		0,000	0,130		0,000	0,098
16	07:30			0,085			0,065			0,049
17	08:00			0,000			0,000			0,000

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

A medida que se examinan las gráficas a continuación, se podrá observar cómo la humedad en base seca experimenta fluctuaciones y cambios significativos en diferentes puntos temporales. Estas representaciones visuales ofrecen una herramienta efectiva para identificar correlaciones, patrones estacionales o cualquier otra variación relevante en la humedad, contribuyendo así a una comprensión más completa de los factores que influyen en este parámetro.

**Figura 14**

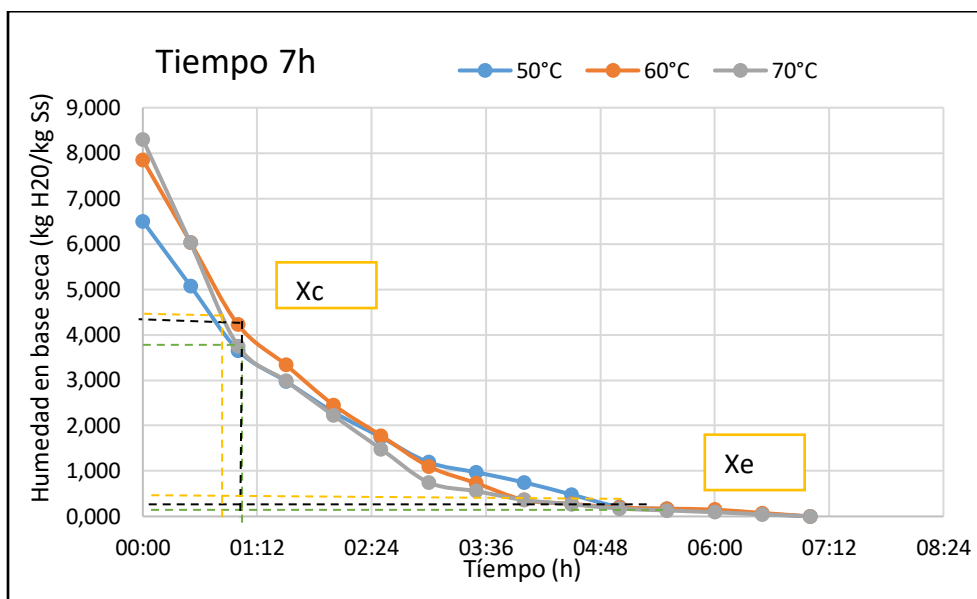
*Variación de la humedad en base seca en función del tiempo*



*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

**Figura 15**

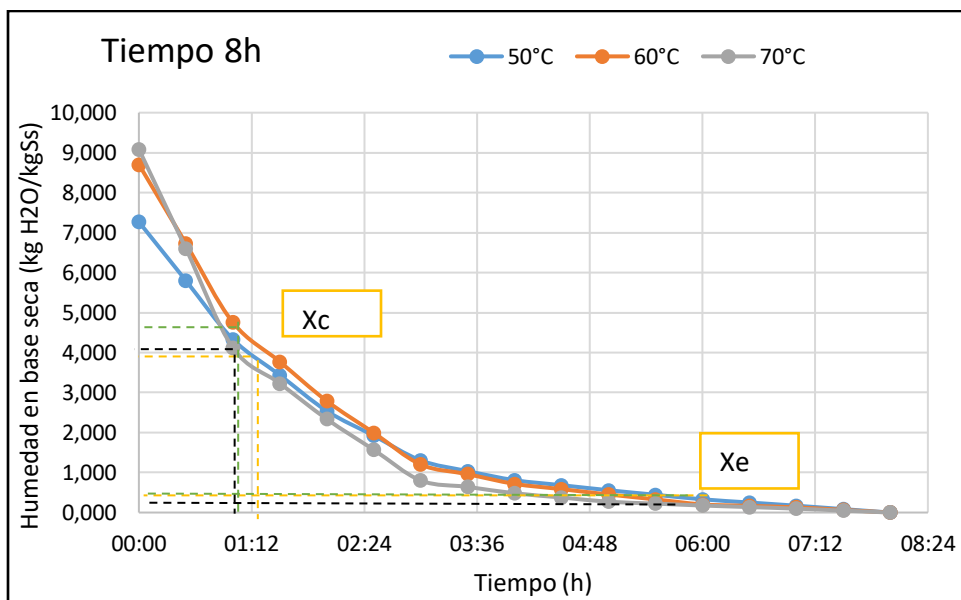
Variación de la humedad en base seca en función del tiempo 7h.



Nota. Fuente: (Elaboración propia, 2023)

**Figura 16**

Variación de la humedad en base seca en función del tiempo 8h.



Nota. Fuente: (Elaboración propia, 2023)

De acuerdo con la tendencia observada en las gráficas anteriores, se confirma que los ensayos realizados a temperaturas más elevadas alcanzan el punto de humedad crítica en un intervalo de tiempo más corto en comparación con los ensayos a temperaturas más bajas. Esto se atribuye a la mayor facilidad con la que el agua no ligada se elimina a temperaturas más altas.

En relación con el punto de humedad de equilibrio, se observa nuevamente que los ensayos a temperaturas más elevadas llegan al equilibrio higroscópico en un tiempo menor. Sin embargo, las disparidades en el tiempo requerido no son tan pronunciadas como en el caso del punto de humedad crítica.

En la siguiente tabla se muestran los valores de humedad crítica y humedad de equilibrio

**Tabla 29**

*Resultados de humedad crítica y humedad de equilibrio para cada experimento*

Nº EXP	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (h)	HUMEDAD CRITICA $X_c$	HUMEDAD DE EQUILIBRIO $X_e$
1	50	06:00	3,0178	0,0418
2	50	07:00	3,2885	0,0468
3	50	08:00	3,0045	0,0444
4	60	06:00	3,9013	0,0412
5	60	07:00	3,1631	0,0319
6	60	08:00	2,8613	0,0307
7	70	06:00	3,4232	0,0311
8	70	07:00	2,711	0,0237
9	70	08:00	2,2289	0,0198

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

### **3.3. Resultado del Balance de Materia y Energía**

#### **3.3.1 Balance de Materia**

A continuación, se exponen los resultados alcanzados en cada etapa del proceso de producción de harina de cáscara de piña:

**Tabla 30***Resultados Obtenidos en el balance de Materia de la harina de cáscara de piña*

Proceso	Masa de cáscara de piña en la entrada	Masa de cáscara de piña en la salida
Recepción de materia prima	1000 g	950 g
Lavado	950 g	931 g
Pardeamiento	931 g	931 g
Secado	931 g	93,100 g
Molido	93,100 g	90,307 g
Tamizado	90,307 g	88,459 g
Envasado	88,459 g	88,459 g

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

### 3.3.2 Balance de energía

A continuación, se detallan minuciosamente los resultados obtenidos en cada fase de proceso que tuvo consumo de energía:

**Tabla 31***Resultados Obtenidos en el balance de Energía de la Elaboración de harina de cáscara de piña*

PROCESO	Calor sensible	Calor latente	Calor total
Secado	147,4704 KJ	454,76 KJ	602,232 KJ

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Posteriormente se presentan los resultados de consumo de energía:

**Tabla 32***Energía Consumida en los Procesos de Consumo de Energía de la harina de cáscara de piña*

Proceso	Energía consumida
Secado	17,6 KW/H
Molienda	0,25 KW/H
Tamizado	0,23 KW/H
Envasado al vacío	0,04 KW/H

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

### **3.4 Resultado Del Rendimiento Del Proceso**

Los análisis detallados de las diferentes muestras de harina de cáscara de piña han revelado variaciones significativas en el rendimiento del proceso.

**Tabla 33***Resultado de Rendimientos de cada Ensayo*

N° EXP	RENDIMIENTO %
1	6,53
2	8,60
3	10,38
4	6,42
5	9,12
6	9,17
7	12,46
8	9,76
9	9,39

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Los análisis realizados indican que la muestra 7 ha demostrado un rendimiento superior en comparación con las demás muestras evaluadas en el proceso de producción de harina de cáscara de piña.

Las demás muestras evaluadas presentaron un rendimiento inferior en comparación con la muestra 7 debido a, inconsistencias en el proceso de secado, control inadecuado de procesos.

Para mejorar el rendimiento general del proceso de producción de harina de cáscara de piña, es crucial estandarizar las condiciones de procesamiento y asegurar un control riguroso de todos los parámetros críticos, tomando la muestra 7 como referencia de buenas prácticas.

### 3.5. Resultado del Análisis Estadístico de Experimentos

El análisis de varianza (ANOVA) es una herramienta estadística que se utiliza para comparar las medias de tres o más grupos y determinar si hay diferencias significativas entre ellos. En el caso de estudio sobre la pérdida de masa de la cáscara de piña para la producción de harina de piña, el ANOVA podría ser una herramienta útil para analizar la influencia de la temperatura y el tiempo de secado en la pérdida de masa.

- **Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):** No hay diferencias significativas en la pérdida de masa de la cáscara de piña entre los diferentes niveles de temperatura y tiempo de secado.
- **Hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>):** Existen diferencias significativas en la pérdida de masa de la cáscara de piña entre al menos dos de los niveles de temperatura y tiempo de secado.

Se realiza un ANOVA de dos vías (también conocido como ANOVA de dos factores) para analizar la influencia combinada de la temperatura y el tiempo de secado en la pérdida de masa de la cáscara de piña. Este tipo de ANOVA permite examinar la interacción entre los dos factores (temperatura y tiempo de secado) además de sus efectos individuales.

El ANOVA proporciona estadísticas como el valor F y el valor p. Si el valor p es menor que el nivel de significancia preestablecido (generalmente 0.05), se rechaza la hipótesis nula y se concluye que al menos uno de los factores (temperatura o tiempo de secado) tiene un efecto significativo en la pérdida de masa de la cáscara de piña. Además, se pueden realizar pruebas post hoc para determinar qué combinaciones específicas de niveles de temperatura y tiempo de secado difieren significativamente entre sí.

**Tabla 34***Factor inter Sujetos*

		Etiqueta de valor	N
Temperatura	-1	50°C.	6
	0	60°C.	6
	1	70°C.	6
Tiempo	-1	6 Hrs.	6
	0	7 Hrs.	6
	1	8 Hrs.	6

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

**Tabla 35***Pruebas de Efectos inter-sujetos*

Variable dependiente: Pérdida de masa					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	P valor
Modelo corregido	299,771 <sup>a</sup>	8	37,471	47,183	,000
Intersección	10514,433	1	10514,433	13239,395	,000
temperatura	142,897	2	71,448	89,965	,000
Tiempo	132,539	2	66,269	83,444	,000
temperatura * Tiempo	24,336	4	6,084	7,661	,006
Error	7,148	9	,794		
Total	10821,352	18			
Total corregido	306,919	17			

a. R al cuadrado = ,977 (R al cuadrado ajustada = ,956)

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Tanto la temperatura como el tiempo tienen efectos significativos en la pérdida de masa de la cáscara de piña, según lo indicado por los valores F y los valores p bajos.

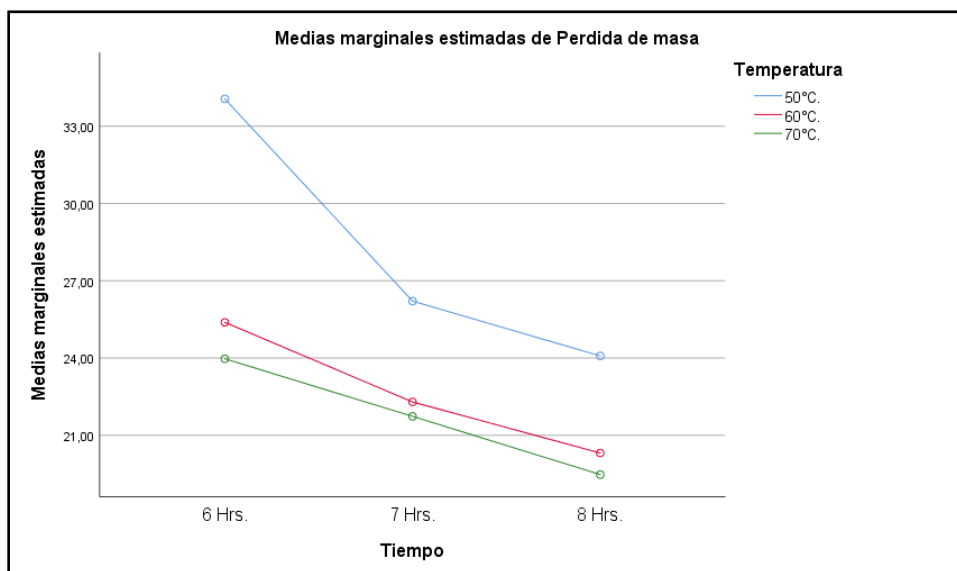
La interacción entre temperatura y tiempo también es significativa, lo que indica que el efecto de la temperatura en la pérdida de masa puede depender del tiempo de secado y viceversa.



En resumen, todos los componentes del modelo (temperatura, tiempo y su interacción) tienen efectos significativos en la pérdida de masa de la cáscara de piña. Esto sugiere que tanto la temperatura como el tiempo de secado son factores importantes que deben considerarse en el proceso de producción de harina de piña. Además, la interacción entre temperatura y tiempo indica que estos factores pueden influirse mutuamente en su efecto sobre la pérdida de masa.

**Figura 17**

*Medias marginales estimadas de pérdida de masa*



*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

El modelo resultante es:

**Ecuación 24** *Pérdida de masa*

$$\text{Pérdida de masa} = \beta_0 + \beta_1 * (A) + \beta_2 * (B) + \beta_3 * (A * B) + e$$

**Tabla 36***Resumen del modelo*

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,940 <sup>a</sup>	,884	,814	1,86631
a. Predictores: (Constante), Temp*Tiempo, Tiempo, Temperatura				
b. Variable dependiente: Pérdida de masa				

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Los valores de **R<sup>2</sup>** y **R<sup>2</sup>** ajustado proporcionan información sobre la bondad de ajuste del modelo de regresión lineal múltiple.

- **R<sup>2</sup>** (Coeficiente de determinación): Representa la proporción de la varianza total de la variable dependiente que es explicada por el modelo. En este caso, **R<sup>2</sup>** es 0.884, lo que significa que aproximadamente el 88.4% de la variabilidad en la pérdida de masa de la cáscara de piña se explica por las variables predictoras (temperatura, tiempo y su interacción) incluidas en el modelo.
- **R<sup>2</sup>** ajustado: Es similar a **R<sup>2</sup>**, pero ajusta la cantidad de variables en el modelo y penaliza la adición de variables irrelevantes. En este caso, **R<sup>2</sup>** ajustado es 0.814, lo que indica que alrededor del 81.4% de la variabilidad en la pérdida de masa de la cáscara de piña se explica por las variables predictoras, teniendo en cuenta el número de variables en el modelo (Statology: How to Interpret Adjusted R-Squared, 2024).

Interpretación:

- Un **R<sup>2</sup>** alto (cerca de 1.0) indica que el modelo explica una gran parte de la variabilidad en la variable dependiente.
- En este caso, el **R<sup>2</sup>** y el **R<sup>2</sup>** ajustado son altos, lo que sugiere que el modelo de regresión lineal múltiple, que incluye la temperatura, el tiempo de secado y su interacción, es capaz de explicar una cantidad significativa de la variabilidad en la pérdida de masa de la cáscara de piña.

- Sin embargo, es importante recordar que el  $R^2$  ajustado es una medida más conservadora y tiene en cuenta el número de variables en el modelo, lo que lo hace más adecuado para comparar modelos con diferentes números de variables predictoras.

En resumen, los valores de  $R^2$  y  $R^2$  ajustado indican que el modelo tiene un buen ajuste a los datos y que las variables predictoras incluidas explican una gran parte de la variabilidad en la pérdida de masa de la cáscara de piña en el proceso de producción de harina de piña.

**Tabla 37**

*ANOVA*

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	264,940	3	88,313	29,453	,000 <sup>b</sup>
	Residuo	41,979	14	2,998		
	Total	306,919	17			
a. Variable dependiente: Pérdida de masa						
b. Predictores: (Constante), Temp*Tiempo, Tiempo, Temperatura						

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

El valor F de 29.453 con un p-valor de 0.000 indica que el modelo construido, que incluye los dos factores (temperatura y tiempo) y su interacción, es estadísticamente significativo. Aquí está la interpretación:

El valor p es la probabilidad de observar el valor de la estadística F o uno más extremo si la hipótesis nula (que no hay efecto significativo del modelo) es verdadera. Un valor p de 0.000 indica que la probabilidad de obtener un valor F tan grande debido al azar es extremadamente baja, lo que sugiere fuertemente que el modelo es significativo.

El modelo construido, que incluye los factores de temperatura, tiempo y su interacción, tiene un efecto significativo en la pérdida de masa de la cáscara de piña para la producción de harina de piña. Esto significa que al menos uno de los factores (temperatura, tiempo o su interacción) está contribuyendo de manera significativa a la variación en la pérdida de masa observada en el estudio.

**Tabla 38***Coefficientes*

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Desv. Error	Beta		
1	(Constante)	24,169	,408		59,216	,000
	Temperatura	-3,195	,500	-,632	-6,392	,000
	Tiempo	-3,258	,500	-,644	-6,518	,000
	Temp*Tiempo	1,371	,612	,221	2,240	,042
a. Variable dependiente: Pérdida de masa						

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

**3.5.1. Interpretación de los coeficientes:****1. Constante (Intercepto):**

- El valor del intercepto es 24.169. Esto indica que cuando todas las variables independientes son cero, la pérdida de masa de la cáscara de piña se espera que sea de aproximadamente 24.169 unidades.
- El valor t es alto (59.216) y el valor p es significativamente bajo (0.000), lo que indica que el intercepto es estadísticamente significativo.

**2. Temperatura:**

- El coeficiente asociado con la temperatura es -3.195. Esto sugiere que, en promedio, por cada unidad de aumento en la temperatura, la pérdida de masa de la cáscara de piña disminuye en 3.195 unidades.
- El valor t es alto (-6.392) y el valor p es significativamente bajo (0.000), lo que indica que la temperatura tiene un efecto significativo en la pérdida de masa de la cáscara de piña.

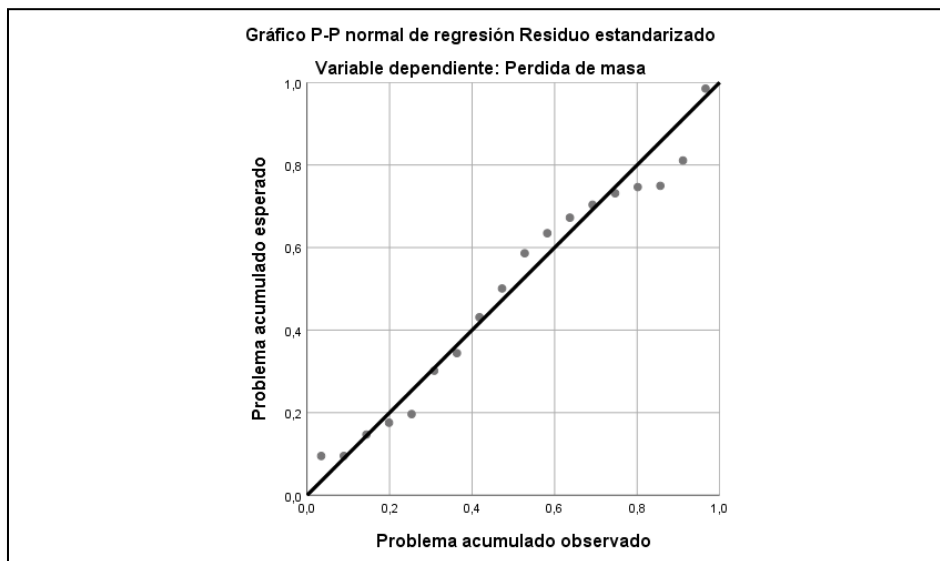
### 3. **Tiempo:**

- El coeficiente asociado con el tiempo es -3.258. Esto sugiere que, en promedio, por cada unidad de aumento en el tiempo de secado, la pérdida de masa de la cáscara de piña disminuye en 3.258 unidades.
- El valor t es alto (-6.518) y el valor p es significativamente bajo (0.000), lo que indica que el tiempo de secado también tiene un efecto significativo en la pérdida de masa.

### 4. **Interacción entre Temperatura y Tiempo:**

- El coeficiente asociado con la interacción entre temperatura y tiempo es 1.371. Esto indica que la interacción entre temperatura y tiempo contribuye positivamente a la pérdida de masa de la cáscara de piña.
- El valor t es moderadamente alto (2.240) y el valor p es significativamente bajo (0.042), lo que indica que la interacción entre temperatura y tiempo también tiene un efecto significativo en la pérdida de masa.

En resumen, los coeficientes proporcionados ofrecen información sobre cómo la temperatura, el tiempo de secado y su interacción influyen en la pérdida de masa de la cáscara de piña durante el proceso de producción de harina de piña. Todos los coeficientes son significativos, lo que sugiere que estos factores son importantes para entender y predecir la pérdida de masa en este contexto.

**Figura 18***Rendimiento Observado vs. Rendimiento Esperado*

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

**Tabla 39***Errores entre valores observados y ajustados del modelo*

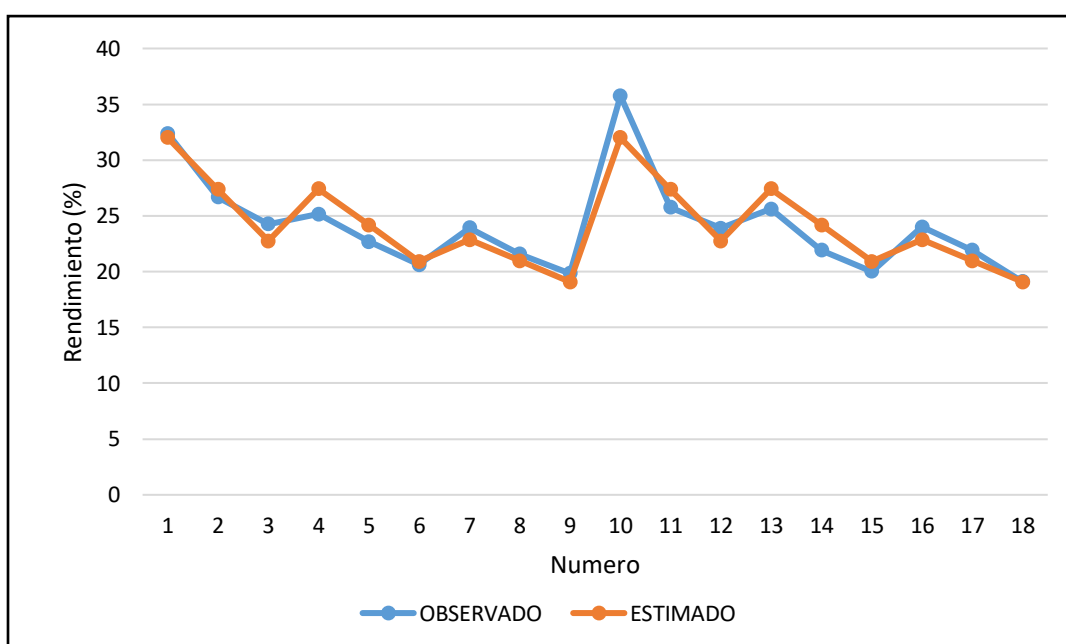
EXP	OBSERVADO	ESTIMADO	ERROR
1	32,37	31,99347	0,37653
2	26,67	27,36389	-0,69389
3	24,26	22,73431	1,52569
4	25,16	27,42722	-2,26722
5	22,69	24,16889	-1,47889
6	20,61	20,91056	-0,30056
7	23,93	22,86097	1,06903
8	21,57	20,97389	0,59611
9	19,86	19,08681	0,77319
10	35,75	31,99347	3,75653
11	25,75	27,36389	-1,61389
12	23,9	22,73431	1,16569
13	25,61	27,42722	-1,81722
14	21,9	24,16889	-2,26889

EXP	OBSERVADO	ESTIMADO	ERROR
15	20,01	20,91056	-0,90056
16	24,01	22,86097	1,14903
17	21,9	20,97389	0,92611
18	19,09	19,08681	0,00319

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

### Figura 19

*Valores Observados vs Valores Ajustados al modelo*



*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

## 3.6 Resultado de la Caracterización del Producto Obtenido

### 3.6.1 Resultados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica de la harina de cáscara de piña

La caracterización fisicoquímica de la harina de cáscara de piña implica el análisis de diversas propiedades que proporcionan información detallada sobre su composición y calidad.

Las mediciones para determinación de humedad se realizaron en LOU de la carrera de Ingeniería Química dando los siguientes resultados

**Tabla 40**

*Resultado Obtenidos de Medición de Humedad*

No Exp	Humedad %
1	43,28
2	22,53
3	15,81
4	21,14
5	12,89
6	12,24
7	5,72
8	3,8
9	2,2

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Con base en la tabla proporcionada, se puede concluir que la harina correspondiente al Experimento 9 presenta el menor porcentaje de humedad entre todas las muestras. Con un reducido 2,2%, esta harina exhibe una notable sequedad en comparación con las demás muestras, sugiriendo una mayor estabilidad y una potencial mayor vida útil. La baja humedad también puede ser indicativa de una mayor concentración de sólidos en la harina de cáscara de piña del Experimento 9.

A continuación, se presenta una descripción detallada de los resultados de análisis enviados a laboratorios CEANID y INLASA de este producto:

**Tabla 41**

*Resultados Caracterización Fisicoquímica*

Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultado
Ceniza	NB 39034:10	%	0,42
Fibra	Digestión acida	%	9.40
Grasa	NB 313019:06	%	1.40



Hidratos de Carbono	NB 312031:10	%	83.98
Humedad	NB 313010:05	%	7.53
Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultado
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%	6.67
Valor energético	NB 312032:06	Kcal/100 g	375.20

*Nota.* Fuente: (Resultado de análisis CEANID)

#### **Tabla 42**

##### *Resultado Caracterización Fibra Dietaria*

Parámetro	Resultado	Unidad	Método
Fibra Dietaria	66,77	g/100g	AOAC991.43

*Nota.* Fuente: (Resultado de análisis INLASA)

La fibra dietaria relacionada se encuentra dentro de rango común 60-80g/100 g b.s., que ha sido reportado para fibras de frutas, vegetales y leguminosas, desarrolladas tanto a nivel experimental como a nivel comercial. Esto podría representar competitividad de la fibra dietaria de cáscara de piña.

#### **Tabla 43**

##### *Resultados Microbiológicos de Harina de Cáscara de Piña*

PARAMETRO	TECNICA y/o METODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
Coliformes totales	NB 32005:02	UFC/g	$<1.0 \times 10^1$	$1 \times 10^3$
Mohos y levaduras	NB 32006:03	UFC/g	$1.4 \times 10^3$	$1 \times 10^4$

*Nota.* Fuente: (Resultado de análisis CEANID)

La harina de cáscara de piña analizada es microbiológicamente segura y cumple con los estándares de calidad establecidos por las normativas de seguridad alimentaria aplicables

### 3.7 Resultado del Análisis Sensorial

Los resultados derivados de las encuestas fueron analizados mediante el software SPSS, clasificándolos según el atributo evaluado. En este proceso, se llevó a cabo la prueba de comparaciones múltiples con el objetivo de validar o descartar la hipótesis nula:

Ho: Todas las medidas son iguales

Ha: Al menos alguna de las medidas es distinta

#### 3.7.1 Resultado del atributo color

**Tabla 44**

*ANOVA atributo color*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	41,200	8	5,150	7,750	,000
Dentro de grupos	83,733	126	,665		
Total	124,933	134			

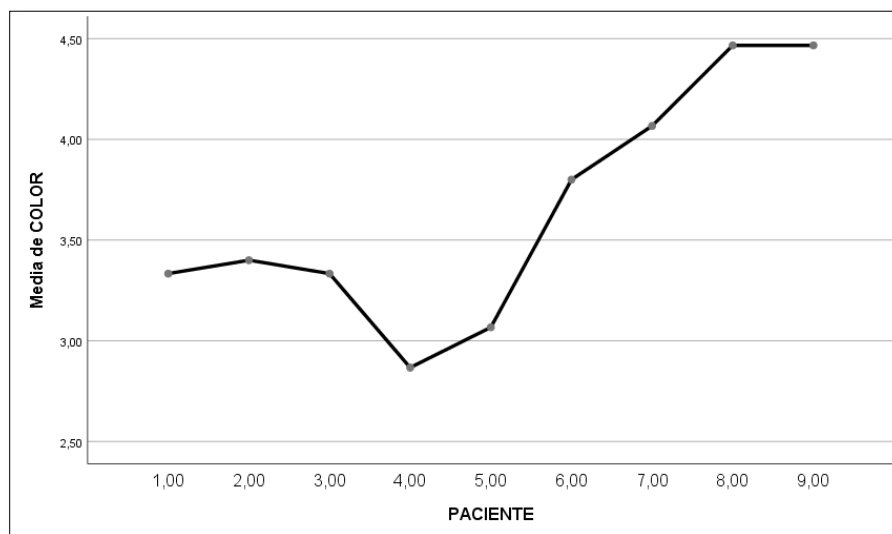
*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Dado que el valor de la cola de significación es 0,000, lo cual es menor que el umbral comúnmente aceptado de 0,05, se procede a rechazar la hipótesis nula que sostiene la igualdad de medias. En su lugar, se acepta la hipótesis alternativa, indicando que hay al menos una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las nueve muestras de harina de cáscara de piña, con un nivel de confianza del 95%.

**Tabla 45***Estadísticos Descriptivos del Atributo Color*

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínim o	Máxim o
					Límite inferior	Límite superior		
1,00	15	3,3333	,89974	,23231	2,8351	3,8316	2,00	4,00
2,00	15	3,4000	,63246	,16330	3,0498	3,7502	2,00	4,00
3,00	15	3,3333	,61721	,15936	2,9915	3,6751	2,00	4,00
4,00	15	2,8667	1,30201	,33618	2,1456	3,5877	1,00	5,00
5,00	15	3,0667	,88372	,22817	2,5773	3,5561	2,00	5,00
6,00	15	3,8000	,56061	,14475	3,4895	4,1105	3,00	5,00
7,00	15	4,0667	,79881	,20625	3,6243	4,5090	3,00	5,00
8,00	15	4,4667	,83381	,21529	4,0049	4,9284	2,00	5,00
9,00	15	4,4667	,51640	,13333	4,1807	4,7526	4,00	5,00
Tota l	135	3,6444	,96558	,08310	3,4801	3,8088	1,00	5,00

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

**Figura 20***Medias del atributo color*

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Se evidencia que las muestras 8 y 9 destacan una mayor aceptación en comparación a los demás. Esta preferencia puede atribuirse a la variabilidad en las preferencias de los panelistas, donde algunos muestran una inclinación hacia una tonalidad más clara en la harina de cáscara de piña, mientras que otros favorecen muestras con una tonalidad más pronunciada.

### 3.7.2 Resultados atributo olor

**Tabla 46**

*ANOVA del atributo Olor*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	43,081	8	5,385	6,161	,000
Dentro de grupos	110,133	126	,874		
Total	153,215	134			

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Dado que el valor de la cola de significación es 0,000, lo cual es menor que el umbral comúnmente aceptado de 0,05, se procede a rechazar la hipótesis nula que sostiene la igualdad de medias. En su lugar, se acepta la hipótesis alternativa, indicando que hay al menos una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las nueve muestras de harina de cáscara de piña, con un nivel de confianza del 95%.

**Tabla 47**

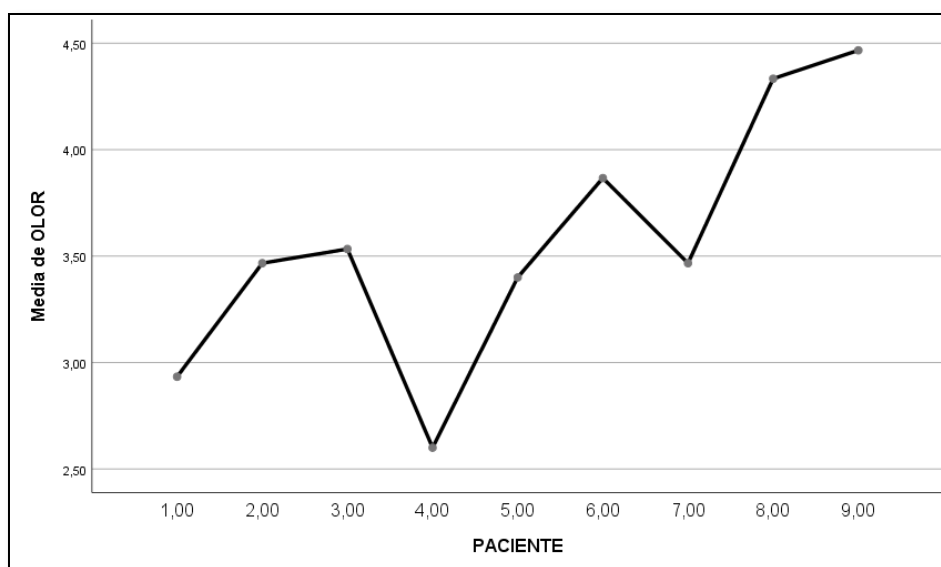
Estadísticos descriptivos del atributo Olor

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
1,00	15	2,9333	,59362	,15327	2,6046	3,2621	2,00	4,00
2,00	15	3,4667	,83381	,21529	3,0049	3,9284	2,00	5,00
3,00	15	3,5333	,91548	,23637	3,0264	4,0403	2,00	5,00
4,00	15	2,6000	1,40408	,36253	1,8224	3,3776	1,00	5,00
5,00	15	3,4000	1,12122	,28950	2,7791	4,0209	1,00	5,00
6,00	15	3,8667	,74322	,19190	3,4551	4,2783	3,00	5,00
7,00	15	3,4667	,99043	,25573	2,9182	4,0151	2,00	5,00
8,00	15	4,3333	,89974	,23231	3,8351	4,8316	2,00	5,00
9,00	15	4,4667	,63994	,16523	4,1123	4,8211	3,00	5,00
Total	135	3,5630	1,06930	,09203	3,3809	3,7450	1,00	5,00

Nota. Fuente: (Elaboración propia, 2023)

**Figura 21**

Medias del atributo olor



Nota. Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Además, se puede observar en la figura 22 que los intervalos de confianza de la media se encuentran cercanos al rango de 3-4. Este resultado sugiere la inexistencia de diferencias

significativas con respecto al valor medio, indicando así que la percepción del olor en todas las harinas obtenidas es homogénea.

### 3.7.3. Atributo sabor

**Tabla 48**

*ANOVA atributo Sabor*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	28,726	8	3,591	2,305	,024
Dentro de grupos	196,267	126	1,558		
Total	224,993	134			

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

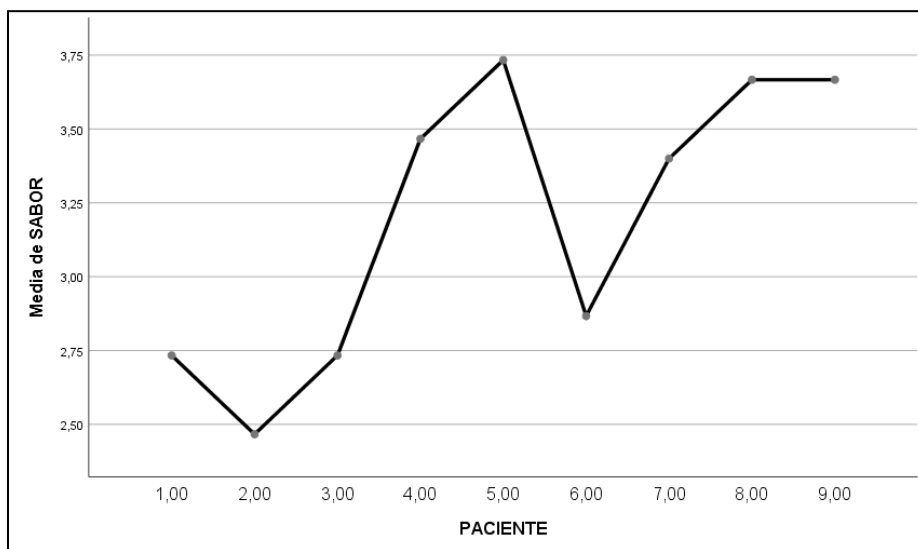
Debido a que el valor de la cola de significación es 0,024, el cual es inferior al umbral comúnmente aceptado de 0,05, se concluye con el rechazo de la hipótesis nula que sostiene la igualdad de medias. En cambio, se acepta la hipótesis alternativa, evidenciando que existe al menos una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las nueve muestras de harina de cáscara de piña, con un nivel de confianza del 95%

**Tabla 49**

*Estadísticos descriptivos del atributo Sabor*

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
1,00	15	2,7333	1,33452	,34457	1,9943	3,4724	1,00	5,00
2,00	15	2,4667	1,06010	,27372	1,8796	3,0537	1,00	4,00
3,00	15	2,7333	1,03280	,26667	2,1614	3,3053	1,00	4,00
4,00	15	3,4667	1,50555	,38873	2,6329	4,3004	1,00	5,00
5,00	15	3,7333	1,33452	,34457	2,9943	4,4724	1,00	5,00
6,00	15	2,8667	,51640	,13333	2,5807	3,1526	2,00	4,00
7,00	15	3,4000	1,50238	,38791	2,5680	4,2320	1,00	5,00
8,00	15	3,6667	1,39728	,36078	2,8929	4,4405	1,00	5,00
9,00	15	3,6667	1,23443	,31873	2,9831	4,3503	1,00	5,00
Total	135	3,1926	1,29578	,11152	2,9720	3,4132	1,00	5,00

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

**Figura 22***Medias del atributo Sabor*

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Los resultados referentes al atributo sabor revelan una mayor aceptación en las muestras 8 y 9 en comparación con las iniciales, que fueron sometidas a temperaturas más bajas.

#### **3.7.4. Atributo textura**

**Tabla 50***ANOVA atributo Textura*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	9,615	8	1,202	,962	,469
Dentro de grupos	157,467	126	1,250		
Total	167,081	134			

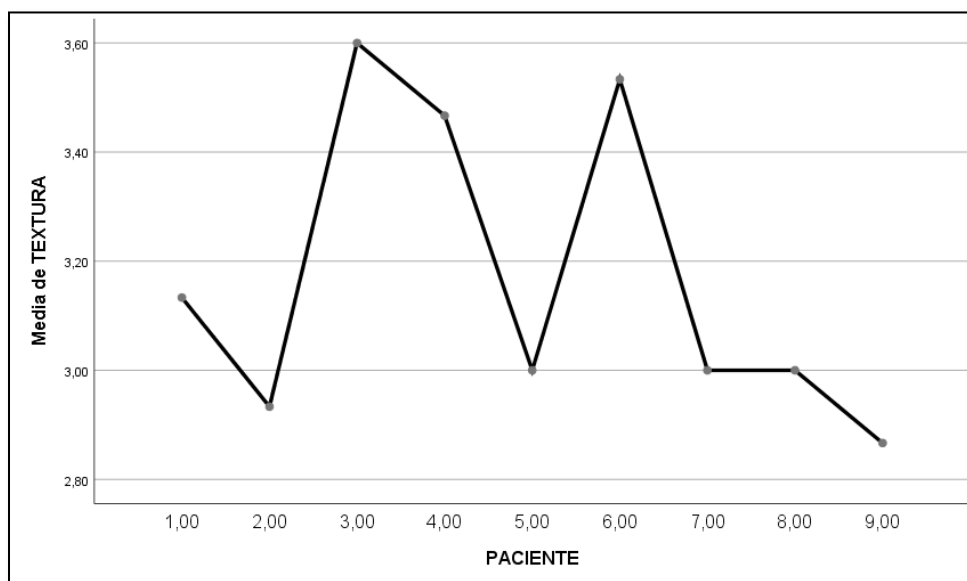
*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Según el análisis de varianza ANOVA realizado con un nivel de confianza del 95% para el atributo de textura de la harina, se determina que existe al menos una muestra que tiene una aceptación que es distinta a la media general.

**Tabla 51***Estadísticos descriptivos del atributo Textura*

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
1,00	15	3,1333	,51640	,13333	2,8474	3,4193	3,00	5,00
2,00	15	2,9333	1,09978	,28396	2,3243	3,5424	1,00	5,00
3,00	15	3,6000	,91026	,23503	3,0959	4,1041	2,00	5,00
4,00	15	3,4667	1,40746	,36341	2,6872	4,2461	1,00	5,00
5,00	15	3,0000	1,25357	,32367	2,3058	3,6942	1,00	5,00
6,00	15	3,5333	,91548	,23637	3,0264	4,0403	2,00	5,00
7,00	15	3,0000	1,25357	,32367	2,3058	3,6942	1,00	5,00
8,00	15	3,0000	1,25357	,32367	2,3058	3,6942	1,00	5,00
9,00	15	2,8667	1,18723	,30654	2,2092	3,5241	1,00	5,00
Total	135	3,1704	1,11664	,09610	2,9803	3,3604	1,00	5,00

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

**Figura 23***Medias del atributo Textura*

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)



Las muestras 3 y 6 presentan leve presencia de grumos, según la apreciación de los panelistas a causa de que a que la humedad de la cáscara de piña no eliminada totalmente.

### 3.7.5. Grado de Aceptación General

Para identificar cuál de las muestras de harina de cáscara de piña es la más aceptada en todos los atributos evaluados, se plantea asignar una ponderación según la importancia de cada atributo:

**Tabla 52**

*Ponderación para cada atributo del Análisis sensorial de la harina de cáscara de piña*

Atributo	Ponderación
Color	10%
Olor	30%
Sabor	50%
Textura	10%
TOTAL	100%

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Teniendo en cuenta la ponderación asignada y las medias obtenidas en los apartados anteriores se procede a calcular los nuevos valores de aceptabilidad:

**Tabla 53**

*Porcentaje de Aceptación de cada Muestra de Harina de Cáscara de Piña*

Muestra	Color 10%	Olor 30 %	Sabor 50 %	Textura 10%	Puntuación sobre 5 puntos	Porcentaje final de aceptación
1	0,34	1,06	1,43	0,23	3,06	61,20
2	0,35	1,08	1,40	0,28	3,11	62,27
3	0,39	1,00	1,80	0,30	3,49	69,73
4	0,35	1,04	1,80	0,29	3,47	69,47
5	0,33	1,04	1,77	0,27	3,41	68,27
6	0,35	1,08	1,47	0,41	3,31	66,13

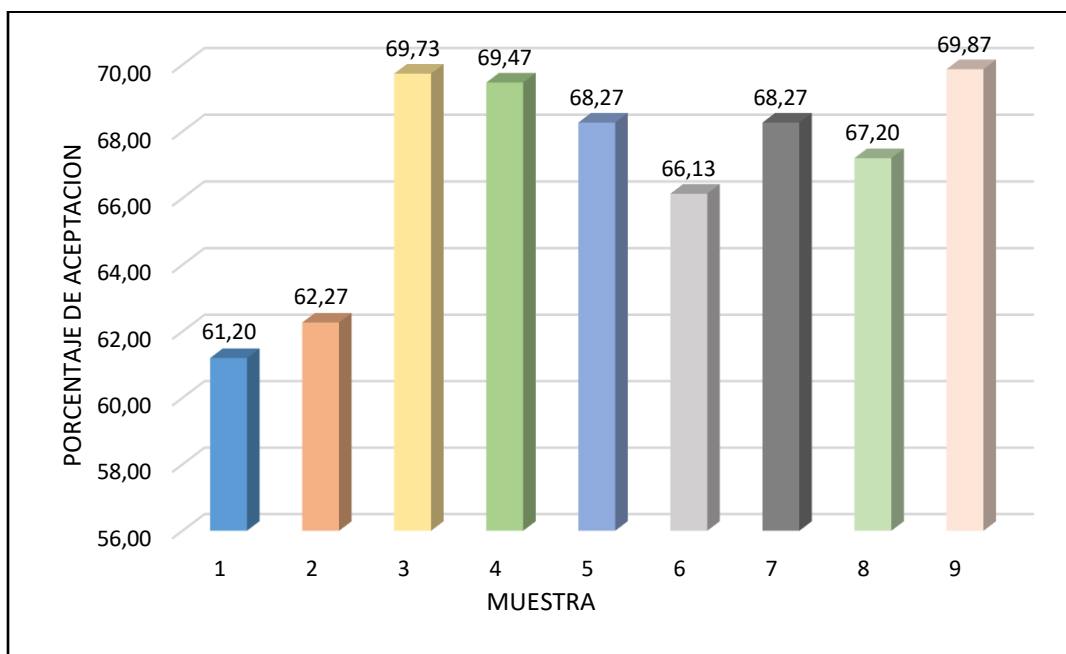
Muestra	Color 10%	Olor 30 %	Sabor 50 %	Textura 10%	Puntuación sobre 5 puntos	Porcentaje final de aceptación
7	0,39	1,14	1,50	0,38	3,41	68,27
8	0,37	1,02	1,67	0,31	3,36	67,20
9	0,41	1,16	1,53	0,39	3,49	69,87

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Por último, se muestra un gráfico de barras que representa el porcentaje de aceptación de cada una de las muestras:

### Figura 24

*Porcentaje de Aceptación general de cada Muestra*



*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

La muestra 9, que corresponde a la harina de cáscara de piña, se destaca como la más satisfactoria en términos organolépticos debido a su perfil sensorial equilibrado y agradable, que posiblemente se beneficie de las propiedades naturales y el sabor característico de la piña. Por otro lado, las muestras 1 y 2 exhiben una menor aceptabilidad en esta categoría posiblemente debido a desequilibrios en el sabor, aroma o textura, lo que puede influir negativamente en la experiencia sensorial del consumidor.

Se evaluará con más detenimiento más adelante conjuntamente con las condiciones de operación para saber cuál tiene el aceptable contenido de humedad y el mejor rendimiento.

### 3.8 Determinación del Experimento más Optimo

Tras analizar exhaustivamente los resultados obtenidos de los diversos experimentos realizados, se ha determinado cuál de los procesos realizados da como resultado la harina de cáscara de piña con contenido de humedad adecuado tomando en cuenta los siguientes factores de importancia:

**Tabla 54**

*Ponderación para Determinación de la Calidad de la Harina de Cáscara de Piña*

FACTORES DE IMPORTANCIA	PONDERACION
Humedad	40%
Rendimiento	35%
Aceptabilidad organoléptica	25%
TOTAL	100%

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Tomamos en cuenta como factor más importante la humedad en la harina de cáscara de piña debido a que es esencial para garantizar que cumplan con los estándares de calidad y seguridad alimentaria.

A partir de los datos obtenidos, se procede a calcular el porcentaje de humedad correspondiente a cada tipo de harina en cada experimento. Este cálculo se realiza considerando la ponderación de los factores de importancia asignados previamente.

**Tabla 55**

*Resultados del Porcentaje de Calidad de las Harinas Obtenidas en Cada Experimento*

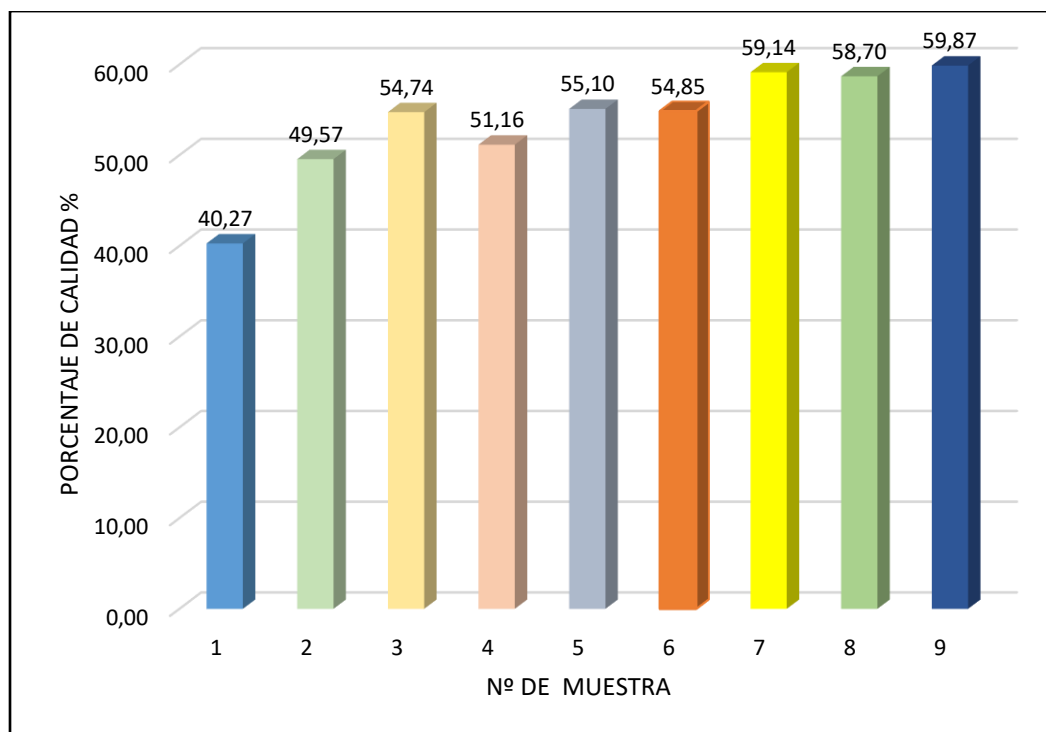
N.º Exp.	Humedad 40%	Rendimiento 35%	Aceptabilidad 25%	TOTAL
1	22,69	2,28	15,30	40,27
2	30,99	3,01	15,57	49,57
3	33,68	3,63	17,43	54,74
4	31,54	2,25	17,37	51,16
5	34,84	3,19	17,07	55,10
6	35,10	3,21	16,53	54,85
7	37,71	4,36	17,07	59,14
8	38,48	3,42	16,80	58,70
9	39,12	3,29	17,47	59,87

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Los datos obtenidos previamente se presentan visualmente en la siguiente figura:

**Figura 25**

*Resultados del Porcentaje de Calidad de las Harinas Obtenidas en Cada Experimento*



*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

La muestra 9, que se secó a altas temperaturas, presenta mejores características organolépticas debido a este proceso, que ayuda a realzar su perfil sensorial. En contraste, las muestras 1 y 2 presentaron menor calidad debido a su mayor humedad y la presencia de grumos a lo largo del tiempo, lo que afectó negativamente su aceptabilidad organoléptica.

La muestra 9 presenta las mejores características tanto organoléptica como porcentaje de humedad y rendimiento es así que es considerada como el mejor experimento puesto que la calidad de una harina es el conjunto de estas características.

**CAPÍTULO IV**

**COSTOS DEL PROYECTO DE**

**INVESTIGACIÓN**

## CAPÍTULO IV

### 3.1 Determinación de Costos de Producción

El desarrollo de este trabajo de investigación implica diversos costos que deben ser considerados. Entre los costos involucrados se encuentra:

**Tabla 56**

*Materia Prima e Insumos*

	Detalle	Unidad	Cantidad	Costo unitario (Bs)	Costo total (Bs)
1	Cáscara de piña	Kg.	20	1	20
2	Metabisulfito de sodio	Kg.	1	60	60
3	Agua destilada	l.	10	6	60
<b>TOTAL</b>					<b>Bs. 140</b>

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

**Tabla 57**

*Costo de Materiales*

	Detalle	Unidad	Cantidad	Costo unitario (Bs)	Costo total (Bs)
1	Bolsa plástica de envasado al vacío	Uni.	25	2	50
2	Balde de plástico con tapa	Uni.	1	25	25
3	Fuente de plástico	Uni.	10	20	20
<b>TOTAL</b>					<b>Bs. 95</b>

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Los análisis realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo para estudiantes de la facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho se aplica un descuento de 60 %.

**Tabla 58***Costos de Análisis de Laboratorio CEANID*

Ítem	Detalle	Unidad	Cantidad	Costo unitario (Bs)	Costo total (Bs)
1	Humedad	Análisis	2	28	56
2	Proteína	Análisis	2	28	56
3	Ceniza	Análisis	2	28	56
4	Fibra cruda	Análisis	2	28	56
5	Hidratos de carbono	Análisis	2	28	56
6	Valor energético	Análisis	2	28	56
<b>TOTAL</b>					<b>336</b>

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

**Tabla 59***Costo Análisis de Laboratorio INLASA*

Ítem	Detalle	Unidad	Cantidad	Costo unitario (Bs)	Costo total (Bs)
1	Proteína	Análisis	2	140	280
2	Cenizas totales	Análisis	2	100	200
3	Fibra dietaria	Análisis	2	450	900
4	Registro de muestra en formulario	Formulario	2	25	50
<b>TOTAL</b>					<b>1430</b>

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)



**Tabla 60***Detalle de Energía Eléctrica*

Ítem	Detalle	Potencia (Kw)	Tiempo (h)	Energía consumida (Kwh)	Costo unitario (Bs)	Costo total (Bs)
1	Secado	8,026	42	337,01	0,84	283,16
2	Molienda	0,1167	3	0,35		0,294
3	Tamizado	0,23	4,5	1,035		0,87
TOTAL				284,3		

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

**Tabla 61***Detalle de Servicio Público de Agua*

Ítem	Detalle	Unidad	Cantidad	Costo unitario (BOB)	Costo total (BOB)
1	Agua potable	m <sup>3</sup>	10	0,6	6
TOTAL					BOB. 6

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

**Tabla 62***Detalle de Costos Totales*

Costos totales	Total (BOB)
Costo materia prima e insumos	140
Costo de materiales	95
Costo de análisis lab. CEANID	336
Costo de análisis lab. INLASA	1430
Costo de energía eléctrica	284,3

---

Costos totales	Total (BOB)
Costo servicio público de agua	6
Costos totales	2291,3

---

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

#### **4.2 Matriz Costo Calidad en Comparación a otras Harinas Convencionales**

Para realizar una matriz costo-calidad comparando la harina de cáscara de piña con otras harinas convencionales, se deben considerar varios factores como el costo por kilogramo, el contenido nutricional, la versatilidad en aplicaciones culinarias, la disponibilidad y otros parámetros relevantes. A continuación, presento una estructura de matriz costo-calidad con algunos ejemplos de harinas convencionales (harina de trigo, harina de maíz, harina de almendra) y la harina de cáscara de piña.

**Tabla 63***Matriz Costo Calidad*

Parámetro	Harina cáscara de Piña	Harina de Trigo	Harina de Maíz	Harina de Almendra
Costo por kg. (BOB)	10.40	4	8	120
Proteína (%)	6-8 %	10-13 %	7-9 %	20-25 %
Fibra (%)	15-20 %	2-3 %	7-8 %	12-14 %
Grasas (%)	0.5-1 %	1-2 %	3-4 %	50-60 %
Carbohidratos (%)	70-75 %	70-75 %	75-80 %	10-15 %
Vitaminas y Minerales	Rica en vitamina C, antioxidantes	Moderada en vitamina B, hierro	Rica en vitamina B, hierro	Rica en vitamina E, magnesio, calcio
Versatilidad Culinaria	Moderada	Alta	Alta	Alta
Disponibilidad	Baja/Moderada	Alta	Alta	Moderada/ Alta
Impacto Ambiental	Bajo (subproducto)	Medio	Medio	Alto (cultivo intensivo)

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

**5.2.1 Costo por kg**

La harina de cáscara de piña tiene un costo moderado (9 BOB/kg), más barata que la harina de almendra, pero más cara que la de trigo y maíz.

**5.2.2 Contenido Nutricional**

- **Proteína:** La harina de almendra es la más rica en proteínas, seguida por la de trigo, maíz, y finalmente la de cáscara de piña.
- **Fibra,** La harina de cáscara de piña es muy rica en fibra, superando a las otras harinas, lo que la hace beneficiosa para la salud digestiva.
- **Grasas,** La harina de almendra tiene el contenido más alto en grasas saludables, mientras que la de cáscara de piña tiene un contenido muy bajo en grasas.

- **Carbohidratos**, Todas las harinas tienen un contenido significativo de carbohidratos, con la harina de almendra siendo la excepción con un contenido más bajo.
- **Vitaminas y Minerales**, La harina de cáscara de piña destaca por su contenido en vitamina C y antioxidantes, lo que no es común en las otras harinas mencionadas.

#### ***4.2.3 Versatilidad Culinaria***

La harina de trigo, maíz y almendra tienen una alta versatilidad en la cocina, mientras que la harina de cáscara de piña es menos conocida y podría tener aplicaciones limitadas o específicas.

#### ***4.2.4 Disponibilidad***

La harina de trigo y maíz son ampliamente disponibles, la harina de almendra es moderadamente disponible y la de cáscara de piña podría ser menos accesible debido a su producción específica y menor demanda.

#### ***4.2.5 Impacto Ambiental***

La harina de cáscara de piña tiene un impacto ambiental bajo ya que se produce a partir de un subproducto de la industria de la piña, mientras que la harina de almendra tiene un impacto ambiental más alto debido al uso intensivo de recursos en su cultivo.

### **4.3 Costo Valor Unitario de Producto Terminado**

Para realizar un presupuesto del valor unitario de la harina de cáscara de piña, necesitamos considerar todos los costos involucrados en su producción y distribución. A continuación, se desglosan los costos potenciales y se calcula el valor unitario.

#### ***4.3.1 Desglose de costos***

##### **Costos de Materia Prima:**

- Cáscara de piña

#### **Costos de Producción:**

- Recolección y transporte de cáscaras
- Lavado y desinfección
- Secado
- Molienda
- Envasado

#### **Costos Indirectos:**

- Mano de obra
- Energía eléctrica
- Mantenimiento de maquinaria
- Costos administrativos y generales

#### **Costos de Distribución y Comercialización:**

- Transporte
- Almacenamiento
- Marketing y ventas

Para simplificar, asumiremos valores aproximados para estos costos en base a estimaciones comunes.

#### ***4.3.2 Estimaciones de Costos***

**Tabla 64***Materia prima*

Materia prima	Costo BOB/kg
Cáscara de piña	1.00

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

## Costos de Producción

**Tabla 65***Costos de producción*

Producción	Costo BOB/kg
Recolección y transporte	0.50
Lavado y desinfección	0.20
Secado	1.00
Molienda	0.50
Envasado	0.80

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

**Tabla 66***Costos indirectos*

Indirectos	Costo BOB/kg
Mano de obra	1.50
Energía eléctrica	0.50
Mantenimiento de maquinaria	0.20
Costos administrativos y generales	0.30

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

**Tabla 67***Costos de distribución y comercialización*

Distribución y comercialización	Costo BOB/kg
Transporte	0.60
Almacenamiento	0.40
Marketing y ventas	0.50

*Nota.* Fuente: (Elaboración propia, 2023)

**5.3.3 Calculo del Costo Total**

Sumando todos los costos por kilogramo de harina de cáscara de piña:

**Ecuación 25 Costo total**

*Costo total = recoleccion y transporte + lavado y desinfeccion + secado + molienda*  
*+ envasado + mano de obra + energia electrica*  
*+ mantenimiento de maquinaria + costos administrativo y generales*  
*+ transporte + almacenamieno + marketing y ventas*

$$\text{costo total} = (1.00 + 0.50 + 0.20 + 1.00 + 0.50 + 0.80 + 1.50 + 0.50 + 0.50 + 0.20 \\ + 0.30 + 0.60 + 0.40 + 0.50)$$

$$\text{costo total} = 8.00 \text{ BOB/kg}$$

**5.3.4 Valor Unitario de Venta**

Para determinar el valor unitario de venta, es necesario añadir un margen de beneficio. Supongamos un margen de beneficio de 30%

**Ecuación 26 Margen de beneficio**

$$\text{margen de beneficio} = \text{costo total} * 0.30$$

$$\text{margen de beneficio} = \frac{8.00\text{BOB}}{\text{kg}} * 0.30 = 2.40 \text{ BOB/kg}$$

$$\text{valor unitario de venta} = \frac{8.00 \text{ BOB}}{\text{kg}} + 2.40 \frac{\text{BOB}}{\text{kg}} = 10.40 \text{ BOB/kg}$$

El valor unitario de la harina de cáscara de piña, considerando los costos de producción, distribución y un margen de beneficio del 30%, es de 10.40 BOB/kg. Este presupuesto proporciona una base para establecer un precio competitivo en el mercado. Ajustes adicionales pueden ser necesarios según las condiciones específicas del mercado.



**CAPÍTULO V**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

En conclusión, el estudio sobre la harina de cáscara de piña ha revelado una serie de hallazgos significativos que destacan su potencial como un recurso valioso en diversas aplicaciones industriales y alimenticias como ser:

- La caracterización fisicoquímica de la cáscara de piña ha demostrado que esta materia prima posee un contenido notablemente alto de fibra dietética, con un valor de 68.98 g/100 g. Este hallazgo resalta el potencial de la cáscara de piña como una fuente valiosa de fibra dietética, lo que puede tener importantes implicaciones para su uso en la industria alimentaria y en productos destinados a mejorar la salud digestiva y nutricional.
- El estudio ha identificado que las variables clave que afectan el proceso de transformación de la cáscara de piña en harina son la temperatura y el tiempo de secado. Estos factores influyen significativamente en la variable de respuesta, que incluye tanto la humedad final del producto como el rendimiento de la cáscara transformada en harina. Controlar adecuadamente la temperatura y el tiempo de secado es crucial para optimizar la calidad de la harina obtenida, garantizando una baja humedad residual y un alto rendimiento, lo que maximiza el aprovechamiento de la cáscara de piña como materia prima valiosa.
- El proceso tecnológico experimental se llevó a cabo con éxito, demostrando que la cáscara de piña puede ser transformada eficientemente en harina. Durante el experimento, se estableció que las variables críticas de temperatura y tiempo de secado tienen un impacto significativo en la humedad final y el rendimiento del producto obtenido.
- La caracterización organoléptica del estudio reveló que la muestra 9 (70°C a 8h.) fue la más aceptada. Esta muestra, que se secó a altas temperaturas, mostró mejores

características sensoriales en comparación con las demás, destacándose por su sabor, aroma y textura superior.

- El balance de materia y energía mostro que el proceso tiene un bajo rendimiento puesto que las cáscara de piña contiene una humedad de 82.63% que es un porcentaje elevado el que se deshidrata dejando poca masa para seguir con el proceso.
- En la evaluación del proceso de producción de harina de cáscara de piña, se determinó un rendimiento de 12.46% para la elaboración de harina de cáscara de piña como fuente de fibra dietética.
- El análisis de costos asociados a la producción a la producción de harina de cáscara de piña ha revelado que el costo total de producción asciende a 8 Bs./kg. Con un margen de beneficio del 30%, el precio de venta recomendado seria de 10.40 Bs./kg. Este margen de beneficio permite asegurar la viabilidad económica del proyecto, garantizando una rentabilidad adecuada mientras se cubren todos los gastos de producción y se genera un beneficio razonable.

## RECOMENDACIONES

- Asegurar que todas las etapas de producción, desde la recolección de cáscaras de piña hasta el procesamiento y empaquetado de la harina, sigan estrictamente las BPM. Esto incluye la limpieza y desinfección regular de equipos y áreas de trabajo para prevenir la contaminación microbiana.
- Verificar con inspección visual que las cáscaras de piña utilizadas como materia prima estén libres de contaminantes y en condiciones aptas para su posterior proceso.
- Considerar la implementación de nuevas tecnologías de secado y conservación que puedan mejorar la calidad microbiana de la harina de cáscara de piña. Esto puede incluir métodos avanzados de deshidratación o tratamientos antimicrobianos.
- Realizar estudios sobre el efecto de diferentes métodos de procesamiento de calidad microbiana de la harina de cáscara de piña.