



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO COMESTIBLE TIPO APERITIVO A BASE DE PIÑA
(ANANAS COMOSUS) DESHIDRATADA Y DISEÑO DE UN SECADOR A PEQUEÑA
ESCALA PARA SU FABRICACIÓN**

Xiomara Alejandra Sosa Estrada

Asesorado por el Ms. Sc. Ing. Hilda Palma de Martini

Guatemala, noviembre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO COMESTIBLE TIPO APERITIVO A BASE DE PIÑA
(ANANAS COMOSUS) DESHIDRATADA Y DISEÑO DE UN SECADOR A PEQUEÑA
ESCALA PARA SU FABRICACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

XIOMARA ALEJANDRA SOSA ESTRADA

ASESORADO POR EL MS. SC. ING. HILDA PALMA DE MARTINI

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL I | Ing. Angel Roberto Sic García |
| VOCAL II | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III | Ing. José Milton de León Bran |
| VOCAL IV | Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez |
| VOCAL V | Br. Carlos Enrique Gómez Donis |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|-------------|--|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADORA | Inga. Marlene Susana Arrechea Alvarado |
| EXAMINADOR | Ing. Pablo Enrique Morales Paniagua |
| EXAMINADOR | Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO COMESTIBLE TIPO APERITIVO A BASE DE PIÑA
(ANANAS COMOSUS) DESHIDRATADA Y DISEÑO DE UN SECADOR A PEQUEÑA
ESCALA PARA SU FABRICACIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 23 de octubre de 2016.



Xiomara Alejandra Sosa Estrada

Guatemala, 2 de julio de 2018

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ing. Wong Davi:

Por este medio hago constar que he revisado el informe de trabajo de graduación en la modalidad de tesis titulado **“ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO COMESTIBLE TIPO APERITIVO A BASE DE PIÑA (*Ananas comosus*) DESHIDRATADA Y DISEÑO DE UN SECADOR A PEQUEÑA ESCALA PARA SU FABRICACIÓN”**, el cual fue realizado por la estudiante de ingeniería química **Xiomara Alejandra Sosa Estrada**, quien se identifica con el número de carne **2012-13134**, así mismo se identifica con el CUI **2317 52342 0101**. Haciendo constar que luego de revisarlo considero satisfactorio el informe y lo apruebo para que pueda seguir con los trámites necesarios.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,



Hilda Piedad Palma Ramos
Ing. Química
Colegiada No. 453

INGA. HILDA PALMA DE MARTINI
COLEGIADO No. 453



Guatemala, 24 de agosto de 2018.
Ref. EIQ.TG-IF.032.2018.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **061-2016** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Seminario de Investigación-

Solicitado por la estudiante universitaria: **Xiomara Alejandra Sosa Estrada**.
Identificada con número de carné: **2317 52342 0101**.
Identificada con registro académico: **2012-13134**.
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO COMESTIBLE TIPO APERITIVO A BASE DE PIÑA (*Ananas comosus*) DESHIDRATADA Y DISEÑO DE UN SECADOR A PEQUEÑA ESCALA PARA SU FABRICACIÓN

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Hilda Piedad Palma Ramos de Martini**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑADA TODOS"

Licda. Ingrid Lorena Benítez Pacheco
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería





Ref.EIQ.TG.040.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del (la) estudiante, **XIOMARA ALEJANDRA SOSA ESTRADA** titulado: **"ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO COMESTIBLE TIPO APERITIVO A BASE DE PIÑA (ANANAS COMOSUS) DESHIDRATADA Y DISEÑO DE UN SECADOR A PEQUEÑA ESCALA PARA SU FABRICACIÓN"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química

FACULTAD DE INGENIERIA USAC
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR

Guatemala, octubre de 2018

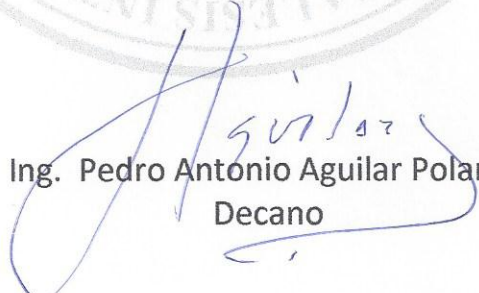
Cc: Archivo
CSWD/ale





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO COMESTIBLE TIPO APERITIVO A BASE DE PIÑA (ANANAS COMOSUS) DESHIDRATADA Y DISEÑO DE UN SECADOR A PEQUEÑA ESCALA PARA SU FABRICACIÓN**, presentado por la estudiante universitaria: **Xiomara Alejandra Sosa Estrada**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, noviembre de 2018

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

| | |
|-------------------------------|--|
| Mi madre | María Verónica Estrada Barrera por ser mi modelo a seguir y enseñarme a creer en mí. |
| Mi familia | A Paola Sosa, Javier Wölhers, Haroldo Wölhers y Leonel Sosa, por ser mi apoyo de toda la vida; por ser la razón de mí esfuerzo cada día. |
| Facultad de Ingeniería | Por haberme abierto sus puertas y permitirme iniciar mi camino para convertirme en una profesional. |
| Inga. Hilda Palma | Por ser una mujer inspiradora que me aportó mucho conocimiento para mi vida profesional. |

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|---|--|
| Universidad de San Carlos de Guatemala | Por haberme abierto sus puertas y brindarme una educación de excelencia que apreciaré durante toda mi vida. |
| Facultad de Ingeniería | Por forjar mi camino profesional y colocarme retos que me ayudan a crecer. |
| Mi madre | Por su apoyo incondicional, sus sabios consejos y sus enseñanzas invaluableles. |
| Mi familia | Por enseñarme mucho y ser mi motor de cada día. |
| Inga. Hilda Palma | Por ser mi asesora profesional en el presente proyecto de grado. |
| Mis amigos de años universitarios | Karen Vides, Natalia Valdés, Cristian Villa, Rodrigo Arévalo, Sebastián Estrada, Aarón Bendfeldt, Luis García, Gerson Ortega y muchos otros, por su amistad, apoyo y presencia a lo largo de la carrera. |
| Mis amigos de la adolescencia | A Ana María Alvarado, Lesly Solís, Karen Tunchez, y otros que han estado conmigo; |

tienen un espacio especial entre mis seres queridos.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | VII |
| GLOSARIO | IX |
| RESUMEN..... | XIII |
| OBJETIVOS..... | XV |
| HIPÓTESIS..... | XVII |
| INTRODUCCIÓN | XIX |
| | |
| 1. MARCO TEÓRICO..... | 1 |
| 1.1. Teoría general sobre secado..... | 1 |
| 1.1.1. Secado con circulación superficial..... | 4 |
| 1.1.2. Curvas de secado..... | 5 |
| 1.2. Secadores solares..... | 7 |
| 1.2.1. Clasificación..... | 8 |
| 1.3. El secado como método de preservación en alimentos..... | 8 |
| 1.4. Pretratamientos | 10 |
| 1.4.1. Selección y almacenamiento del fruto fresco..... | 10 |
| 1.4.2. Lavado..... | 11 |
| 1.4.3. Procesado..... | 11 |
| 1.4.4. Control químico..... | 12 |
| 1.4.4.1. Solución acida | 12 |
| 1.4.4.2. Sulfatación o azufrado | 13 |
| 1.4.4.3. Blanqueamiento o escaldado..... | 13 |
| 1.5. Piña (<i>Ananas comosus</i>)..... | 14 |
| 1.5.1. Generalidades | 14 |

| | | |
|----------|--|----|
| 1.5.2. | Criterios de selección de la materia prima..... | 15 |
| 1.5.3. | Madurez óptima de la piña | 16 |
| 1.6. | Grados brix..... | 18 |
| 1.7. | El proceso de diseño..... | 18 |
| 1.7.1. | Definición del problema | 19 |
| 1.7.2. | Diseño conceptual..... | 19 |
| 1.7.3. | Diseño preliminar | 20 |
| 1.7.4. | Diseño detallado..... | 20 |
| 1.7.5. | Comunicación..... | 20 |
| 1.8. | Pruebas sensoriales..... | 20 |
| 1.8.1. | Pruebas sensoriales orientadas al consumidor | 21 |
| 1.8.1.1. | Prueba triangular..... | 21 |
| 2. | RESULTADOS..... | 23 |
| 2.1. | Etapas de diseño | 23 |
| 2.2. | Determinación de la madurez | 26 |
| 2.3. | Condiciones efectivas de secado..... | 33 |
| 2.4. | Curvas de secado | 33 |
| 3. | DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 41 |
| 3.1. | Diseño del equipo de deshidratación | 41 |
| 3.2. | Pretratamiento de la materia prima | 43 |
| 3.3. | Curvas de secado del deshidratador..... | 44 |
| 3.4. | Prueba sensorial y análisis bromatológico | 45 |
| | CONCLUSIONES..... | 47 |
| | RECOMENDACIONES | 49 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 51 |
| | APÉNDICES..... | 55 |

ANEXOS..... 73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Modelos de interacción gas-sólido en secadores..... | 4 |
| 2. | Coloración de frutos con diferentes grados de madurez | 17 |
| 3. | Peso de la piña respecto al tiempo transcurrido (29/04/2017) | 33 |
| 4. | Peso de la piña respecto al tiempo transcurrido (06/05/2017) | 34 |
| 5. | Peso de la piña respecto al tiempo transcurrido (13/05/2017) | 34 |
| 6. | Humedad relativa en base seca respecto del tiempo (29/04/2017) | 35 |
| 7. | Humedad relativa en base seca respecto del tiempo (06/05/2017) | 35 |
| 8. | Humedad relativa en base seca respecto del tiempo (13/05/2017) | 36 |
| 9. | Velocidad de secado respecto al tiempo transcurrido (29/04/17)..... | 36 |
| 10. | Velocidad de secado respecto al tiempo transcurrido (06/05/17)..... | 37 |
| 11. | Velocidad de secado respecto al tiempo transcurrido (13/05/17)..... | 37 |
| 12. | Velocidad de secado respecto a la fracción base seca (29/04/17) | 38 |
| 13. | Velocidad de secado respecto a la fracción base seca (06/05/17) | 38 |
| 14. | Velocidad de secado respecto a la fracción base seca (13/05/17) | 39 |
| 15. | Resultado prueba sensorial..... | 40 |

TABLAS

| | | |
|------|---|----|
| I. | Composición de la piña | 15 |
| II. | Especificaciones del diseño del secador finales | 23 |
| III. | pretratamientos aplicados a la materia prima..... | 25 |
| IV. | Etapas de maduración 1 y porcentaje de brix | 27 |
| V. | Etapas de maduración 2 y porcentaje de brix | 28 |

| | | |
|-------|---|----|
| VI. | Etapa de maduración 3 y porcentaje de brix..... | 29 |
| VII. | Etapa de maduración 4 y porcentaje de brix..... | 30 |
| VIII. | Etapa de maduración 5 y porcentaje de brix..... | 31 |
| IX. | Etapa de maduración 6 y porcentaje de brix..... | 32 |
| X. | Porcentaje de humedad en la muestra de piña deshidratada | 39 |
| XI. | Análisis bromatológico de la muestra de piña deshidratada | 40 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|-----------------------|---------------------------|
| A | Área de lecho |
| X_{bs} | Fracción en base seca |
| g | Gramos |
| M | Masa |
| °Brix | Porcentaje de grados brix |
| s | Segundos |
| R | Velocidad de secado |

GLOSARIO

| | |
|----------------------------|--|
| Aperitivo | Pequeña cantidad de alimento que se toma antes de una comida principal para estimular el apetito. |
| Bandejas | Pieza plana o levemente cóncava, de metal, plástico u otro material, que se utiliza para servir, presentar, depositar o transportar cosas. |
| Colector solar | Dispositivo diseñado para recoger la energía radiada por el sol y convertirla en energía térmica. |
| Consumidor | Individuo que obtiene o usa un bien. |
| Convección natural | Movimiento de un fluido provocado por diferencias de densidad a causa de un gradiente de temperaturas. |
| Deshidratación | Extracción del agua que contiene una sustancia, un organismo o un tejido orgánico. |
| Deshidratador solar | Sistema que elimina la humedad de los alimentos para contribuir a su preservación mediante la radiación solar. |
| Enzima | Sustancia orgánica que determina ciertos cambios en el metabolismo vegetal dando origen en ciertos casos a un cambio en la coloración. |

| | |
|-----------------------------|--|
| Humedad relativa | Relación entre la presión parcial de vapor de agua a la tensión de vapor a la misma temperatura. |
| Impermeabilizante | Compuestos químicos que tienen como objetivo detener el agua, impidiendo su paso. |
| Inocuo | Condiciones y prácticas que preservan la calidad de los alimentos para prevenir la contaminación y las enfermedades. |
| Materia prima | Materia extraída de la naturaleza y que se transforma para elaborar materiales que más tarde se convertirán en bienes de consumo. |
| Parámetros de diseño | Aspectos de un componente que se necesita para hacer algo. |
| Pardeamiento enzimas | Reacción de oxidación en la que interviene, como substrato, el oxígeno molecular, catalizada por un tipo de enzimas. |
| Preservante | Conjunto de procedimiento de tratamientos que permite conservar las propiedades del gusto, el color, el sabor, la textura y las cualidades nutritivas. |
| Pretratamientos | Procesos realizados previo a la deshidratación con la finalidad de adecuar la materia prima para dicho proceso. |

| | |
|--------------------------|---|
| Proceso por lotes | Proceso donde no hay ingreso de materia a ser procesada ni egreso de productos durante el tiempo en que ocurre la transformación. |
| Prueba sensorial | Instrumento para el control de la calidad relacionada a la acción de los órganos de los sentidos. |
| Pulpa | Parte mollar de la fruta. |
| Radiación solar | Conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. |
| Refractómetro | Instrumento óptico que sirve para determinar el porcentaje de sólidos solubles en una disolución líquida. |
| Secado | Mecanismo utilizado para separar el líquido de un sólido por evaporación de la humedad. |
| Secador solar | Equipo diseñado para aprovechar la radiación solar y eliminar más rápidamente la humedad de un sólido que en relación al secado natural. |
| Transmitancia | Cantidad de radiación que atraviesa el material que forma la cubierta, en relación a la cantidad que recibe. Depende del ángulo de incidencia del rayo. |

Velocidad de secado Rapidez con que se realiza el secado en un periodo de tiempo determinado, pudiendo ser constante o decreciente.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal elaborar un producto comestible tipo aperitivo a base de piña (*Ananas comosus*) deshidratada; incluye el diseño y la construcción de un secador solar que fuera capaz de deshidratar el fruto aprovechando las condiciones climáticas del lugar. El proyecto se desarrolló en el departamento de Guatemala en la zona 4 del municipio de Mixco.

El trabajo de investigación se puede separar en diferentes etapas necesarias para hacerse con las herramientas que harían posible la elaboración del producto: diseño y construcción del deshidratador solar, elaboración de curvas de maduración de la piña (para conocer la coloración y °Brix óptimos con los que debe cumplir la materia prima previa al secado); selección de los pretratamientos necesarios para la materia prima, elaboración de curvas de secado y prueba sensorial dirigida al consumidor.

Se seleccionaron los pretratamientos a realizar en la materia prima necesarios para garantizar que el proceso de secado fuera exitoso; por otro lado, se logró determinar que la etapa de maduración óptima para deshidratar es la etapa 4 la cual tiene una concentración de sacarosa en grados Brix entre 14 y 17, que presenta la cáscara una coloración entre amarilla y naranja.

El tiempo efectivo de deshidratado de la materia prima rondaba entre 40 000 y 50 000 segundos a una temperatura dentro del deshidratador de 47 Celsius. Posteriormente a la deshidratación, se realizó una prueba sensorial dirigida al consumidor; se concluyó que no hay diferencia sensorial significativa

a un nivel de probabilidad del 5 %, entre las muestras de piña deshidratada en un secador solar en relación con las muestras elaboradas en un secador eléctrico.

OBJETIVOS

General

Elaborar un producto comestible tipo aperitivo a base de piña (*Ananas comosus*) deshidratada y diseñar un secador solar para su fabricación.

Específicos

1. Establecer los parámetros de diseño, dimensión y operación del deshidratador solar.
2. Seleccionar los pretratamientos necesarios a realizar en la materia prima previo al proceso de secado.
3. Determinar la etapa de maduración óptima con la que debe cumplir la materia prima previa a la deshidratación.
4. Determinar las condiciones efectivas de secado de frutas en un secador solar de pequeña escala, en relación a los parámetros: temperatura y tiempo normal de secado.
5. Elaborar las curvas de secado para la piña (*Ananas comosus*) en el secador construido.
6. Evaluar a través de una prueba sensorial triangular dirigida al consumidor la aceptabilidad del aperitivo a base de piña deshidratada.

HIPÓTESIS

1. Es viable la elaboración de un producto comestible tipo aperitivo a base de piña deshidratada a partir de un proceso de selección de la materia prima, pretratamiento, deshidratación y empaque llevado a cabo en la zona 4 de Mixco de la capital de Guatemala.
2. Es factible diseñar y utilizar un secador que sea capaz de aprovechar las condiciones atmosféricas de la ciudad de Guatemala para la deshidratación de piña.

INTRODUCCIÓN

La piña pertenece al género de las ananás de la familia Bromeliáceae es originaria de América del Sur, particularmente del centro y sureste de Brasil y noreste de Argentina y Paraguay. Fue seleccionada, desarrollada y domesticada desde tiempos precolombinos. Morfológicamente, la piña es una fruta compuesta por pequeños frutos individuales unidos a un eje central. Estas necesitan mucho sol y crecen en las regiones tropicales. En Guatemala, según la Dirección de Planeamiento del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, MAGA, hasta el año 2016 la producción de piña de la variedad *Ananas comosus* ascendía a siete millones de quintales anualmente, que la coloca como la segunda fuente de producción de fruta más grande de Guatemala.

La piña está constituida entre un 80 % y 85 % de agua y entre un 12 % y 15 % de azúcares de los cuales la mayor parte se encuentra en forma de sacarosa y el resto como glucosa y fructosa. No contiene almidón y su contenido de proteínas y grasa es muy bajo. Contiene entre un 0,6 % a 0,9 % de ácidos de los cuales la mayoría es ácido cítrico. Es rica en vitamina C y buena fuente de Vitaminas B1, B2 y B6.

La técnica de deshidratación es probablemente el método más antiguo para preservar el alimento que ha ideado el ser humano; algunos autores afirman que puede remontarse hasta el neolítico, en la época cuando el hombre deja la vida nómada; en la actualidad, la deshidratación sigue siendo un recurso muy importante como herramienta de preservación. Es una operación unitaria importante en la industria en general y principalmente en la industria alimenticia;

el secado se refiere a la eliminación de humedad en una sustancia; en forma más específica, el secado significa la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de cierto material, es la extracción de un líquido desde un sólido por métodos no mecánicos. La eliminación del contenido de humedad para la preservación del producto es una de las finalidades del secado.

El presente trabajo tiene como propósito generar una herramienta y un proceso con el cual pueda elaborarse un producto comestible tipo aperitivo a base de piña deshidratada con la finalidad de aprovechar los recursos que tiene el país en cuanto a la producción de piña y las condiciones atmosféricas que se tienen; también, como atender a un nicho de mercado en crecimiento.

Para la elaboración de este estudio se diseñó y construyó un deshidratador solar a pequeña escala. Se caracterizaron las variables de calidad de la materia prima más importantes: la madurez de la fruta previa al secado y los grados brix. De la misma manera, se caracteriza el producto final, las horas sol necesarias para el secado, el porcentaje de humedad final y se realizó una prueba sensorial triangular dirigida al consumidor con el propósito de validar las características organolépticas del producto.

1. MARCO TEORICO

1.1. Teoría general sobre secado

El secado se refiere a la eliminación de humedad en una sustancia. En forma más específica el secado significa la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de cierto material. Es la extracción de un líquido desde un sólido por métodos no mecánicos.

El secado es normalmente una de las etapas finales de un proceso y luego de esta operación el producto final pasa al empaclado. La eliminación del contenido de humedad para la preservación del producto es una de las finalidades del secado.

En la operación de secado intervienen dos factores de suma importancia:

- Transferencia de calor para suministrar el calor latente de evaporación necesario para el agua evaporada.
- La transferencia de masa para provocar el movimiento del agua o del vapor de esta a través del producto sólido y lograr su separación.

Para alimentos, la transferencia de calor que exista no tiene como único parámetro de control la humedad que se extrae del producto, pues, existen productos en la cual la calidad (color, olor, sabor, nutrición, etc.) se ve afectada por las condiciones del proceso de secado. Por esta razón, todo producto

alimenticio debe ser analizado previamente al secado y conocer qué condiciones le perjudican.

Sucede con frecuencia que cuando el secado ocurre superficialmente; en algunos materiales, da lugar a la formación de superficies duras y secas. Este inconveniente se reduce al disminuir la velocidad de evaporación de la humedad del producto controlando más adecuadamente el proceso. En este caso, tanto la transferencia de calor como de masa, son variables estrechamente limitantes ya sea por el calor suministrado o por la regulación de la humedad del aire circundante.

Por lo tanto se consideran siempre algunos factores que pudiesen afectar el proceso de transferencia de calor y masa, siendo estas:

- Las proporciones máximas de secado
- La calidad final del producto
- Las temperaturas que pudiesen afectar el producto

Por lo tanto, conocer el tiempo óptimo de secado es un requisito necesario para la deshidratación.

Los métodos y procesos de secado se clasifican de diferentes maneras; se dividen en procesos de lotes o continuos. A partir de esta separación, las operaciones de secado pueden clasificarse ampliamente. Según la forma en la que los sólidos se exponen a la superficie caliente o a alguna fuente de calor, pueden ser:

- El gas circula sobre la superficie de un lecho o una lámina del sólido, o bien sobre una o ambas caras de una lámina o película continua. Este proceso se llama secado con circulación superficial.
- El gas circula a través de un lecho de sólidos granulares gruesos que están soportados sobre una rejilla. Recibe el nombre de secado con circulación a través. Como en el caso del secado con circulación superficial, la velocidad del gas se mantiene baja para evitar el arrastre de partículas sólidas.
- Los sólidos descienden en forma de lluvia a través de una corriente gaseosa que se mueve lentamente, con frecuencia dando lugar a un arrastre no deseado de las partículas finas.
- El gas pasa a través de los sólidos con una velocidad suficiente para fluidizar el lecho. Inevitablemente, se produce arrastre de las partículas más finas.
- Los sólidos son totalmente arrastrados por una corriente gaseosa de alta velocidad y neumáticamente transportados desde un dispositivo de mezcla hasta un separador mecánico

Figura 1. **Modelos de interacción gas-sólido en secadores**

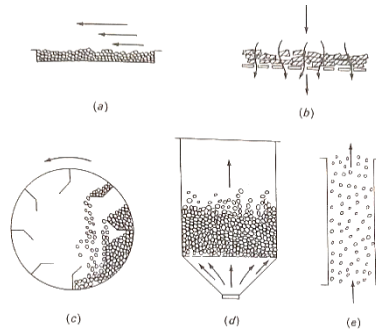


Figura 25.1. Modelos de interacción gas-sólido en secaderos: (a) flujo de gas sobre un lecho estático de sólidos; (b) flujo de gas a través de un lecho de sólidos; (c) acción en un secadero rotatorio; (d) lecho fluidizado de sólidos; (e) flujo en paralelo gas-sólido en un secadero flash de transporte neumático.

Fuente: MC CABE, Warren L. *Operaciones básicas de ingeniería química*. p. 55.

1.1.1. **Secado con circulación superficial**

La transferencia de materia se realiza cuando hay una interacción entre un sólido y un gas; el mecanismo de secado depende de la naturaleza de los sólidos y la forma de contacto entre estos. Un aspecto importante es la estructura superficial del sólido, ya sean cristalinos o porosos, haciendo más difícil la transferencia de masa si se trata de un sólido cristalino.

El secado con circulación superficial es lento y generalmente se realiza en un sistema por lotes (*batch*). Al momento de darse la difusión, la humedad presente en el sólido es removida dependiendo de la localización del agua:

- **Humedad superficial:** esta se encuentra en la capa externa del sólido a causa de la tensión superficial. La remoción de este tipo de humedad es el más rápido y no requiere una gran cantidad de energía. El agua empieza a vaporizarse de la superficie del sólido húmedo cuando la absorción de energía se ha incrementado, entonces la temperatura de la

superficie del sólido es lo bastante alta para que la presión de vapor exceda a la del aire circundante.

- Humedad libre o capilar: Esta se encuentra en los poros del sólido está en equilibrio a causa del vapor saturado. Al momento de darse la difusión, por acción de la capilaridad, el agua dentro del sólido va subiendo por dichos poros buscando el equilibrio del sistema. Este período de secado es constante ya que la velocidad de secado permanece uniforme.
- Humedad higroscópica o disuelta: está unida por enlaces físicos o químicos en el interior del sólido, por lo que es más difícil de remover. En este punto del secado, la velocidad de remoción de humedad va disminuyendo hasta llegar a un punto donde ya no se puede remover más. Esta etapa requiere una cantidad de energía muy grande.

1.1.2. Curvas de secado

Cuando el sólido se deseca experimentalmente, siempre se obtienen datos que se asocian con el contenido de humedad del producto en función del tiempo transcurrido durante la fase de secado del producto. Al graficar los datos experimentales obtenidos, como el contenido de humedad del producto en función del tiempo de secado, se establecen dos periodos que controlan la velocidad de secado.

- Periodo de velocidad constante: el cual controla el mecanismo de evaporación libre de agua en la superficie del sólido, teniendo como punto de transición al siguiente periodo, el contenido crítico de humedad.

- El periodo de velocidad decreciente: el cual controla el mecanismo de difusión de agua desde el interior del sólido a la superficie de evaporación, iniciándose con el contenido crítico de humedad y finalizando con el contenido de humedad de equilibrio. La velocidad en este periodo disminuye continuamente y prolonga el tiempo de secado hasta el contenido de humedad deseado.

Las herramientas que permite ver estos periodos de velocidad de secado se les denominan curvas de secado. Para realizar las curvas de secado se deben conocer las distintas formas de representar el contenido de humedad:

- Humedad relativa en base seca (X_{bs}): es la relación que existe entre la masa de agua removida y la masa del sólido seco.
- Humedad relativa en base húmeda (X_{bh}): es la relación que existe entre la masa de agua removida y la masa del sólido húmedo.
- Velocidad de secado (R): es el valor que indica la cantidad de agua que es removida del sólido por unidades de tiempo y área de lecho.

Se pueden trabajar tres curvas de secado donde se puede analizar el comportamiento del equipo de secado:

- Curva de tiempo (equilibrio termodinámico entre dos variables donde se grafica el peso del sólido en función del tiempo de secado): si se trabaja con una muestra pequeña y se seca, la diferencia de peso va a ser directamente proporcional a cualquier muestra de medida (si el peso inicial son 2 lb y el peso del sólido seco es 1 lb, de igual forma si el peso inicial del sólido son 8 lb, se puede asumir que se pierde la misma

proporción; 4 lb). Llega un momento a un tiempo específico en que la masa del sólido permanece constante, a este peso el sólido ya no tiene humedad.

- Curva de humedad relativa en base seca (equilibrio termodinámico entre dos variables donde se grafica X_{bs} en función del tiempo): hay una sección en esta curva de secado donde se genera una recta constante, en esta sección se tiene una velocidad de secado constante; se da la salida de la humedad del sólido mediante capilaridad, por lo que la superficie del sólido siempre va a permanecer húmedo. Cuando se comienza a secar el agua por encima de la superficie, se tiene una etapa de decrecimiento de la velocidad de secado, hasta llegar a un valor de humedad relativa constante.
- Curva de velocidad (equilibrio termodinámico entre dos variables donde se grafica la velocidad de secado en función del tiempo): esta curva tiene una sección donde se aprecia una línea recta en sentido horizontal, en el período de tiempo que se encuentra dicha línea, la velocidad de secado permanece constante.

1.2. Secadores solares

Un secador cuando solamente se utiliza energía solar o el movimiento natural del aire para sus operaciones se le llama secador solar, este se puede clasificar de acuerdo a ciertos aspectos. El secado natural o al aire libre, depende su operación, principalmente del segundo mecanismo; mientras que los secadores solares modificados, pueden combinar ambos mecanismos, siendo el movimiento del aire ocasionado por cambios de densidad y diferencias de presión entre el interior y el exterior del aparato.

1.2.1. Clasificación

Los secadores solares en general, suelen clasificarse como: directos, indirectos y mixtos.

- Son directos: cuando el producto a secar está expuesto directamente a los rayos del sol, recibiendo un calor adicional, al que le proporciona el aire circundante al mismo.
- Son indirectos: cuando solamente el aire le transfiere energía calorífica al sólido, estando este en una cámara adyacente al colector, cuyas paredes son opacas a la luz del sol e impiden todo contacto con el sólido.

1.3. El secado como método de preservación en alimentos

La técnica de deshidratación es probablemente el método más antiguo para preservar el alimento que ha ideado el ser humano algunos autores dicen que puede remontarse hasta el neolítico, en la época en que el hombre deja la vida nómada. El secado o deshidratación de materiales biológicos (en especial los alimentos) es el método de preservación más fácilmente adaptable a cualquier tipo de producto; además de aportar otras ventajas como la disminución del volumen facilitando a su vez el almacenaje, manipulación y transporte de los productos finales deshidratados.

Los microorganismos que inducen la descomposición de los alimentos no pueden desarrollarse ni multiplicarse en ausencia de agua. Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua. Los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso. Sin

embargo, generalmente es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 5 % en peso en los alimentos, para preservar su sabor y valor nutritivo. Los alimentos secos pueden almacenarse durante periodos de tiempo bastante largos.

Un parámetro importante en los alimentos es la actividad de agua, esta representa la humedad relativa ambiental (generalmente aire) que se encuentra en equilibrio termodinámico con el agua presente en el alimento. El crecimiento de los microorganismos se detiene a partir de un nivel determinado de actividad de agua, por lo que un conocimiento completo de estos niveles es esencial para el procesamiento del alimento.

La deshidratación trata de la extracción del agua del producto hacia la solución, disminuyendo actividad de agua del producto a niveles que tienden a detener el crecimiento de microorganismos y a prolongar y preservar el alimento. Cuando una célula se coloca en una solución de bajo actividad de agua, ella se deshidrata y su crecimiento se inhibe. Según los principios de la termodinámica, la actividad de agua es la fuerza principal detrás de la deshidratación, lo que explica por qué es la actividad de agua y no el contenido de humedad la influencia en el crecimiento microbiano.

La rapidez de este proceso depende del aire (la velocidad con la que este circule alrededor del producto, su grado de sequedad, etc.), y de las características del producto (su composición, su contenido de humedad, el tamaño de la partícula, etc.). El aire contiene y puede absorber humedad. Las características del producto a deshidratar influyen grandemente en la calidad del producto final y en los parámetros tomados en cuenta para el secado. El proceso de deshidratación puede mejorarse para ciertos alimentos, si se los

parte, contribuyendo con esto a aumentar el área superficial y, por lo tanto, el área de transferencia.

1.4. Pretratamientos

Los tratamientos previos al secador son una parte muy importante del proceso total ya que si este no se realiza, los aspectos negativos podrían ser varios, desde un secado deficiente y, por lo tanto, pérdida de dinero hasta un sabor y apariencia no apetecible. Dentro de los pretratamientos a seguir existe un número de pasos que puede o no utilizarse en la producción de cada fruto deshidratado específico: almacenamiento del fruto fresco, lavado, procesado y control químico.

1.4.1. Selección y almacenamiento del fruto fresco

Al cosechar la fruta fresca esta de manera inmediata pierde su resistencia a microorganismos que provocan que se pudra. Igualmente, se producen cambios en sus sistemas enzimáticos que pueden acelerar la pudrición.

Los medios que se usan corrientemente para prevenir la pudrición de la fruta deben incluir:

- Cuidado en prevenir cortes y magulladuras durante la cosecha, transporte y almacenamiento.
- Control de la intensidad de respiración y de maduración durante el almacenamiento.

La calidad de los frutos deshidratados depende en gran medida del grado de madurez que tienen al momento de deshidratar. Entre los parámetros utilizados para conocer el grado de madurez están: color de la cáscara, grados Brix, acidez titulable y pH; Y los parámetros de madurez organoléptica son: color, sabor, aroma, textura, composición interna.

1.4.2. Lavado

El lavado se usa no sólo para retirar las impurezas del campo, como la tierra, el polvo y la suciedad que están adheridas al producto, además de las materias extrañas que puedan estar presentes. El lavado sirve también para sacar los microorganismos, además de fungicidas, insecticidas y otros pesticidas.

Toda fruta y hortaliza debe ser lavada y restregada suave y completamente en agua con hipoclorito de sodio en concentración del 10 % antes de procesar. Usar 0,5 cm³ (10 gotas) de hipoclorito de sodio por litro de agua. La acción del cloro sobre las impurezas lo va consumiendo. El agua deja de ser activa cuando el cloro residual desciende debajo de 2,5 cm³.

1.4.3. Procesado

De forma general, el producto debe ser pelado y las semillas, tallo y ojos extraídos, según sea el caso; también, es aconsejado cortar y separar las partes dañadas, inmaduras, blandas, fibrosas, leñosas y enfermas del producto.

Después de pelar y descarojar, el producto se debe cortar por mitad, cuartear o rebanar según el caso. Los cortes deben tener el mismo grosor para que todo seque al mismo tiempo.

1.4.4. Control químico

La finalidad por la que se realiza el control químico es para preservar el color y el sabor del producto, los nutrientes y detener la descomposición por acción enzimática, asegurar su deshidratado parejo.

El producto debe ser tratado químicamente previo a su deshidratación para detener la acción enzimática, la que produce una pérdida de sabor. Ciertas enzimas pueden causar decoloración, tal como el pardeamiento enzimático y la pérdida de nutrientes al igual como cambios de sabor en los alimentos deshidratados.

Muchos compuestos químicos tienen la capacidad para detener el crecimiento de microorganismos y de eliminarlos, pero pocos son los permitidos en los alimentos. De estos últimos, se agregan en pequeñas dosis (hasta el 0,2 %) y no alteran las características físico-químicas y organolépticas del producto.

1.4.4.1. Solución acida

El principal problema de las frutas es el pardeamiento por oxidación y la pérdida de vitaminas A y C. Para impedir estos efectos, apenas peladas, se las somete a un control químico que interfiere las reacciones químicas oxidantes. Este consiste en un baño en una solución de ácido con agua. El ácido más usado es el ascórbico (vitamina C). La solución suele ser usada en una proporción de 2 g/L o al 1,9 % másico. La solución puede rociarse sobre el producto o este puede sumergirse en aquella. El tiempo de inmersión de la fruta en la solución es de 3 a 5 minutos.

1.4.4.2. Sulfatación o azufrado

Retarda la pudrición y el pardeamiento y reduce la pérdida de vitaminas A y C. No obstante, el sulfitado no es plenamente recomendable debido a que el azufre puede causar una reacción asmática en una pequeña parte de la población.

El FDA reconoce como seguros cinco compuestos: sulfito de sodio, bisulfito de sodio, bisulfito de potasio, metabisulfito de sodio, metabisulfito de potasio. Se utilizan en las siguientes proporciones: bisulfito de sodio: 3 % masa. sulfito de sodio: 5,6 % masa. metabisulfito de sodio: 10,7 % masa.

El tiempo de inmersión de la fruta es de 5 minutos para rebanadas y de 15 minutos para mitades. Cuidado se debe tener para rellenar el recipiente a su nivel original con la correcta solución después de cada inmersión con producto. Después de cuatro lotes, la solución restante debe botarse y ser reemplazada con nueva solución. La solución se usa una sola vez por partida.

1.4.4.3. Blanqueamiento o escaldado

El blanqueamiento es un proceso que consiste en someter el vegetal al vapor o remojarlo en agua hirviendo por un preciso periodo de tiempo. Las enzimas se desactivan. El blanqueamiento no es calentamiento indiscriminado. Muy poco no es efectivo y mucho daña el producto por cocción excesiva, especialmente, cuando la apariencia fresca de la hortaliza es importante de preservar.

Inmediatamente, después, el producto se saca para sumergirlo enseguida en agua fría, y así impedir su cocción, excepto en productos que no sufren por

una sobrecocción. No es recomendable el enfriamiento natural, pues genera una pérdida significativa del contenido de vitamina C. Si el producto se sobreblanquea, sus partes se pegarán unas con otras cuando se extiendan sobre la bandeja y perderán sabor. El producto se enfría hasta que su temperatura baje a 50 °C o 60 °C. No es conveniente que se remoje mucho para evitar la pérdida de sustancias solubles. El producto se drena directamente sobre la bandeja, sobre la cual se esparce.

1.5. Piña (*Ananas comosus*)

La piña pertenece al género de las ananás de la familia bromeliáceae. Los autores Py y Leal, coinciden en que la piña es originaria de América del Sur, particularmente de centro y sureste de Brasil y noreste de Argentina y Paraguay. Fue seleccionada, desarrollada y domesticada desde tiempos precolombinos.

1.5.1. Generalidades

La piña es una fruta compuesta por pequeños frutos individuales unidos a un eje central. Las piñas necesitan mucho sol y crecen en las regiones tropicales. Las piñas crecen de las coronas de otras piñas. Cuando la planta tiene un año, comienza la floración. El brote o botón de la flor es pequeño y rosado y semeja a un piñón. Cuando va creciendo se va transformando en fruta. Demora 18 meses para que la planta produzca una piña. Las piñas se cosechan cuando maduran. Toda piña que se cosecha está lista para ser comida.

Entre un 80 % y 85 % está constituida principalmente de agua y entre un 12 % y 15 % de azúcares de los cuales el 70 % se encuentran en forma de

sacarosa y el resto como glucosa y fructosa. No contiene almidón y su contenido de proteínas y grasa es muy bajo. Contiene 0,6 % a 0,9 % de ácidos de los cuales la mayoría es ácido cítrico. Es rica en vitamina C y buena fuente de vitaminas B1, B2 y B6. La piña es un fruto no climatérico, en otras palabras, está ya no continua madurando después de cosechada, Aun así su color verde puede cambiar a un color más claro o amarillento porque la clorofila continúa degradándose.

Tabla I. **Composición de la piña**

| | Piña México |
|-----------------|--------------------|
| Humedad % | 90,00 |
| proteínas % | 0,62 |
| grasas % | 0,12 |
| cenizas % | 0,50 |
| Fibra diet. % | 0,39 |
| carbohidratos % | 8,37 |
| potasio K | 113,00 |
| Calcio Ca | 57,00 |
| Fosforo | 12,00 |
| hierro | 0,52 |
| Vitamina A ug | 12,00 |
| Vitamina B ug | 60,00 |
| Tiamina mg | 0,04 |

Fuente: ARIAS VELAZQUEZ, Ciro J.; TOLEDO HEVIA, Julio. *Food agricultur organization*.

p. 39.

1.5.2. Criterios de selección de la materia prima

La calidad de la piña depende de la sanidad y del aspecto del fruto. La fruta no debe presentar golpes de sol ni daños ocasionados por enfermedades o por insectos.

1.5.3. Madurez óptima de la piña

Como se ha dicho anteriormente, la piña es un fruto no climatérico y por lo tanto una vez cosechada puede decirse que ya está madura. Independientemente del color de la cáscara. La madurez se determina por los días después de la floración o por el color de la cáscara que cambia de un verde oscuro a un verde claro y después a un amarillo anaranjado, dependiendo de la variedad.

Aun así conociendo lo anterior el manual de manejo postcosecha de frutas tropicales de la Food Agriculture Organization (FAO) da ciertos parámetros para conocer el índice de madurez de la piña:

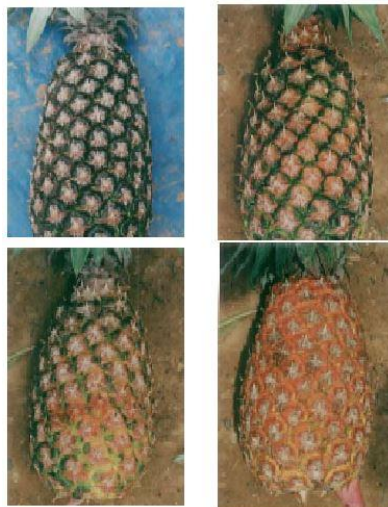
También, se puede utilizarse una escala que va del 1 al 6, en la que el 1 corresponde a la fruta de color completamente verde-maduro y 6 cuando está 100% colorida. Para el transporte marítimo se recomienda una coloración M2 a M3 mientras que para el transporte aéreo, M3 a M4.

El índice de madurez también se puede medir utilizando un refractómetro que mide los grados brix. Para aplicar este método, primero se recomienda establecer la correlación que existe entre los grados Brix y la madurez comercial de las diferentes variedades y cultivares producidas en cada localidad. Dado que la concentración de azúcares no es homogénea en todo el fruto, la medición de los grados brix debe realizarse en el jugo extraído de la parte media de la fruta. Por lo general, los grados Brix son mayores (aproximadamente 2 %) en la base del fruto que en la parte unida a la corona. Normalmente, piñas con más de 12 grados Brix, tienen un buen contenido de azúcar y sabor. Para el transporte aéreo y marítimo, se recomienda un mínimo de 13 grados brix.

Para separar las frutas maduras de las sobremaduras se puede utilizar la prueba de flotación, que consiste en sumergir las piñas en agua. Las frutas sobre maduras se van al fondo del recipiente porque su peso específico es mayor mientras que las que no están sobre maduras flotan en el agua. Esta prueba es de gran utilidad en aquellos lugares en donde no existen diferencias marcadas de temperatura entre el día y la noche y los cambios de color no son muy evidentes. Otro indicador del grado de madurez y desarrollo de la fruta lo constituye el aspecto de las pequeñas hojitas de las brácteas (ojos), las cuales se secan perdiendo el color verde.

La sobremaduración es apreciable cuando el fruto despide un fuerte aroma, tornándose su interior más transparente e iniciándose el proceso de fermentación. El fruto fermentado es inapropiado para la producción y solo puede ser utilizado para la obtención de vinagre.

Figura 2. **Coloración de frutos con diferentes grados de madurez**



Fuente: *Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales*. <http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/ac304s/ac304s00.html>. Consulta: 14 de enero de 2018.

1.6. Grados brix

Los grados brix representan los sólidos solubles presentes en una sustancia. En su aplicación a ciertos productos, como la piña, esta indica la cantidad de sacarosa presente. Los grados brix son una medida de densidad.

Un grado brix es la densidad que tiene (a 20 °C) una solución de sacarosa al 1 %, y a esta concentración corresponde también a un determinado índice de refracción (el índice de refracción de un medio es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío (3,108 m/s) y la velocidad de la luz en ese medio, no tiene unidades y siempre es mayor o igual que 1).

La importancia de conocer los grados brix que tiene una fruta está en conocer su madurez ya que esta se verá reflejada en la calidad del producto final. La fruta a lo largo del tiempo va aumentando su concentración de sacarosa, hasta cierto punto en donde comienza a disminuir por la conversión de sacarosa mediante la fermentación alcohólica. Es de suma importancia que la fruta a procesar no este con un grado de fermentación alcohólica alto ya que sus características organolépticas cambiaran en gran medida.

1.7. El proceso de diseño

Según el diseño en ingeniería es difícil de definir pero que podría definirse de alguna forma de la siguiente manera: el desarrollo organizado y pensado, y la puesta a prueba, de las características de objetos nuevos, que tienen una configuración particular o que realizan alguna o algunas funciones que satisfacen nuestros objetivos sin violar las limitaciones especificadas. Por esta razón, el proceso de diseño es una actividad dirigida hacia una meta en particular sujeta a restricciones.

El proceso de diseño debe tomar en cuenta varios factores: propósito, materiales, costo, entre otras. Aunque el proceso de diseño no es una secuencia de pasos de forma estricta, Según Existen 5 fases por la que la mayoría de los procesos de diseño deben pasar: Definición del problema, diseño conceptual, diseño preliminar, diseño detallado y comunicación del diseño. Para cumplir cada una de estas fases, el autor enumera diferentes herramientas las cuales pueden servir al diseñador para ordenar ideas y encaminar el proceso correctamente. Las herramientas que se tienen previstas a utilizar en el presente trabajo son:

- Árbol de objetivos
- Tabla de comparación por pares
- Árbol de objetivos ponderados
- Especificaciones de desempeño
- Diagramas de especificaciones de materiales

1.7.1. Definición del problema

Según esta fase está dedicada a definir los objetivos que quieren lograrse y a reunir información necesaria para desarrollar un modelo.

1.7.2. Diseño conceptual

Es la generación de conceptos y esquemas alternativos para lograr establecer especificaciones de diseño.

1.7.3. Diseño preliminar

Esta fase identifica los atributos principales de los conceptos o esquemas de diseño, modela, analiza y evalúa las alternativas del diseño.

1.7.4. Diseño detallado

Afina y define de forma detallada el modelo final, las especificaciones de fabricación, materiales y costes.

1.7.5. Comunicación

Esta etapa presenta el producto final del diseño utilizando diferentes recursos visuales.

1.8. Pruebas sensoriales

Las pruebas sensoriales pueden describirse o clasificarse de diferentes formas. Los expertos en estadística las clasifican en pruebas paramétricas y noparamétricas, de acuerdo al tipo de datos obtenidos con la prueba. Los especialistas en pruebas sensoriales y los científicos de alimentos clasifican las pruebas en afectivas (orientadas al consumidor) y analíticas (orientadas al producto), con base en el objetivo de la prueba. Las pruebas empleadas para evaluar la preferencia, aceptabilidad o grado en que gustan los productos alimentarios se conocen como pruebas orientadas al consumidor.

1.8.1. Pruebas sensoriales orientadas al consumidor

Estas pruebas se llevan a cabo con paneles de consumidores no entrenados. Aunque a los panelistas se les puede pedir que indiquen directamente su satisfacción, preferencia o aceptación de un producto, a menudo se emplean pruebas hedónicas para medir indirectamente el grado de preferencia o aceptabilidad.

1.8.1.1. Prueba triangular

Tres muestras codificadas son presentadas a los panelistas; una muestra es diferente y las otras dos son iguales. Se pide a los panelistas que seleccionen la muestra que es diferente, aun si ellos no encuentran ninguna diferencia entre las muestras (en caso de duda, los panelistas deben decidirse por una muestra). Las muestras se presentan simultáneamente, en el orden seleccionado para cada panelista, de manera que los panelistas evalúen las muestras de izquierda a derecha. En esta prueba se permite que se prueben las muestras una segunda vez.

2. RESULTADOS

2.1. Etapa de diseño

Tabla II. Especificaciones del diseño del secador finales

| Especificaciones | Descripción | Método para alcance |
|---|--|--|
| Materiales del colector | Los materiales deben ser resistentes y deben escogerse con la finalidad de calentar el aire que pasa a través del colector. | Se utiliza vidrio claro por su alto valor de transmitancia, pintura acrílica negra por el interior por su alto valor de absorbancia, una rejilla de acero que calienta el aire. Madera para las paredes del colector y lámina para el fondo. |
| Tamaño del colector | El colector debe tener un largo que permita elevar la temperatura el aire que ingresa al colector; el aire debe tener un tiempo de residencia aceptable para que se logre el cometido. | El colector tiene una dimensión de 2 metros de largo por 0,67 metros de ancho. |
| Ángulo de entrada del aire del colector | Importante para mantener un flujo de aire caliente dentro del secador, es una de las variables a tener en cuenta a la hora de que el aire ingrese al colector y logre calentarse correctamente. | El ángulo de inclinación del colector es de 31 grados. |
| Medición de temperatura dentro del colector | Colocar entradas en puntos estratégicos para los instrumentos de medición, estas entradas no deben entorpecer el proceso de elevación de la temperatura del aire y deben de ayudar en la toma de datos reales del proceso. | Se incluyen dos rendijas para introducir termómetros en la entrada y salida del colector. |
| Material del secador | El material del que se realice el secador debe ser seguro, resistente a condiciones del clima y ambiente del lugar y debe ser resistente a las condiciones de trabajo a las que se le exponga. | Se utiliza una estructura de madera y tornillos de acero inoxidable, recubierta con una capa de pintura negra para mantener el calor y de pintura impermeabilizante para exteriores. El techo del secador es de lámina. |

Continuación de la tabla II.

| | | |
|---|---|--|
| Salida del flujo de aire del compartimiento de secado | La salida del flujo de aire deberá ser ubicada al final del ciclo de utilidad que tendrá el secador, deberá ser regresado al ambiente y evitar el ingreso de aire y partículas indeseables. | Se realiza una salida del flujo a los lados de la parte más alta del compartimiento de secado de dimensiones 0,08 metros de ancho por 63 metros de largo, encima del compartimiento se incluye techado con aluminio para impedir la entrada de lluvia y que ingresen por ese medio partículas indeseables. |
| Medición de temperatura dentro del compartimiento de secado | Colocar entradas en puntos estratégicos para los instrumentos de medición, estas entradas no deben entorpecer el proceso de secado y deben ayudar en la toma de datos reales del proceso. | Se incluye una rendija para la introducción de un termómetro al comienzo y final del área de secador. |
| Toma de muestras durante el secado | Deberá de ser posible en el secador retirar las bandejas, para poder tomar muestras y así poder realizar las curvas de caracterización del proceso. | Se incluyen puertas que facilitan la obtención de muestras de la piña durante el proceso de secado 0,70 m de ancho por x0,40 m d alto. |
| Tamaño de bandejas de secado | Importante para la cantidad de piña a deshidratar por lote a procesar y para optimizar el secado con el flujo de aire que atravesara las bandejas. | Las bandejas tienen un marco de madera de 0,28 m x 0,56 m y rejilla de aluminio, con un área total de secado de 0,64 m ² . |
| Forma de colocación y remoción de bandejas de secado | Deberá ser fácil el remover las bandejas para su limpieza y para colocar y retirar el producto. | En el secador pueden colocarse hasta 4 bandejas en serie, a través de puertas en la parte trasera del secador. |
| Material de las bandejas | Las bandejas deberán ser de un material que permita el paso del aire a través de ellas, que permita limpiarlas e impidan el crecimiento de microorganismos patógenos. | Están construidas con un marco de madera, rejilla de aluminio y clavos de acero inoxidable. |
| Cantidad de bandejas | Este parámetro influye en la cantidad de piña a deshidratar por lote a procesar, la cantidad de bandejas deberá ser óptima para poder secar correctamente. | En el compartimiento de bandejas se pueden colocar hasta cuatro (4) bandejas. |

Continuación de la tabla II.

| | | |
|----------------------------|---|--|
| Protección contra insectos | Deberán incluirse en la entrada y salida del secador mecanismos que eviten el ingreso de insectos y otros patógenos. | Se incluyen rejillas de metal que impiden la entrada de insectos y un techo de lámina con rejilla sobre el compartimiento de secado que impedirá la entrada de polvo, basura e insectos al secador. |
| Inocuo | Todos los materiales a utilizar deberán ser seguros para la salud humana. | Madera de pino chileno sin barnizar con recubrimiento para exteriores para el cuerpo del secador, malla de hierro para las bandejas, el recubrimiento se aplicó únicamente en las caras que den al exterior del secador. |
| Facilidad de limpieza | El equipo deberá estar diseñado de forma que se facilite la limpieza de forma general en todas las áreas del deshidratador. | Los materiales elegidos (vidrio, lámina y hierro), al igual que la forma del secador facilitan la limpieza. |

Fuente: DYM, Clive L. *El proceso de diseño en ingeniería, cómo desarrollar soluciones efectivas*. p. 50.

Tabla III. **Pretratamientos aplicados a la materia prima**

| Etapas del pretratamiento | Aplicación |
|---|---|
| Almacenamiento del fruto fresco | Piña con hojas, en interiores sin luz directa. |
| Lavado | Inmersión de la fruta en hipoclorito de sodio al 10 % durante cinco minutos. |
| Procesado | Separación de la pulpa y la cascara utilizando un pelador de piñas convencional y partición en pedazos de 0,06 x 0,03 x 0,015 metros. |
| Eliminación de humedad por medios mecánicos | Utilizando un paño limpio se absorbió el jugo que la piña libero en el proceso anterior. |
| Control químico | Rociar una solución de ácido ascórbico al 2 % sobre los trozos de piña. |





Fuente: elaboración propia.

2.2. Determinación de la madurez

La piña es un fruto no climatérico, lo que indica que una vez cosechada puede decirse que ya se encuentra madura (independiente del color de la cáscara). La etapa óptima para su consumo se determina por los días después de la floración o por el color de la cascara que cambia de un verde oscuro hasta un amarillo anaranjado.





El índice de madurez también se puede obtener utilizando un refractómetro para medir los grados brix. Para aprovechar estos principios primero se realiza una relación entre los grados brix y la coloración externa. El procedimiento para establecer la etapa de maduración óptima fue comparando la coloración externa presentada en la fruta contra los grados brix; se seleccionaron doce (12) piñas que fueron cosechadas el mismo día y dejando un día de por medio, se abrieron dos cada día.

Tabla IV. **Etapa de maduración 1 y porcentaje de brix**

| | |
|---|--|
| Etapa de maduración | 1 |
| °brix máximo | 11 |
| °brix mínimo | 8 |
| Piña 1 | Piña 2 |
|  |  |
|  |  |





Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Etapa de maduración 2 y porcentaje de brix**

| | |
|---|--|
| Etapa de maduración | 2 |
| °brix máximo | 14 |
| °brix mínimo | 9 |
| Piña 1 | Piña 2 |
|  |  |
|  |  |





Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Etapa de maduración 3 y porcentaje de brix**

| | |
|---|--|
| etapa de maduración | 3 |
| °brix máximo | 16 |
| °brix mínimo | 13 |
| Piña 1 | Piña 2 |
|  |  |
|  |  |





Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Etapa de maduración 4 y porcentaje de brix**

| | |
|---|--|
| Etapa de maduración | 4 |
| °brix máximo | 17 |
| °brix mínimo | 14 |
| Piña 1 | Piña 2 |
|  |  |
|  |  |





Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Etapa de maduración 5 y porcentaje de brix**

| | |
|---|--|
| Etapa de maduración | 5 |
| °brix máximo | 16 |
| °brix mínimo | 12 |
| Piña 1 | Piña 2 |
|  |  |
|  |  |

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Etapas de maduración 6 y porcentaje de brix**

| | |
|---|--|
| Etapa de maduración | 6 |
| °brix máximo | 14 |
| °brix mínimo | 10 |
| Piña 1 | Piña 2 |
|  |  |
|  |  |

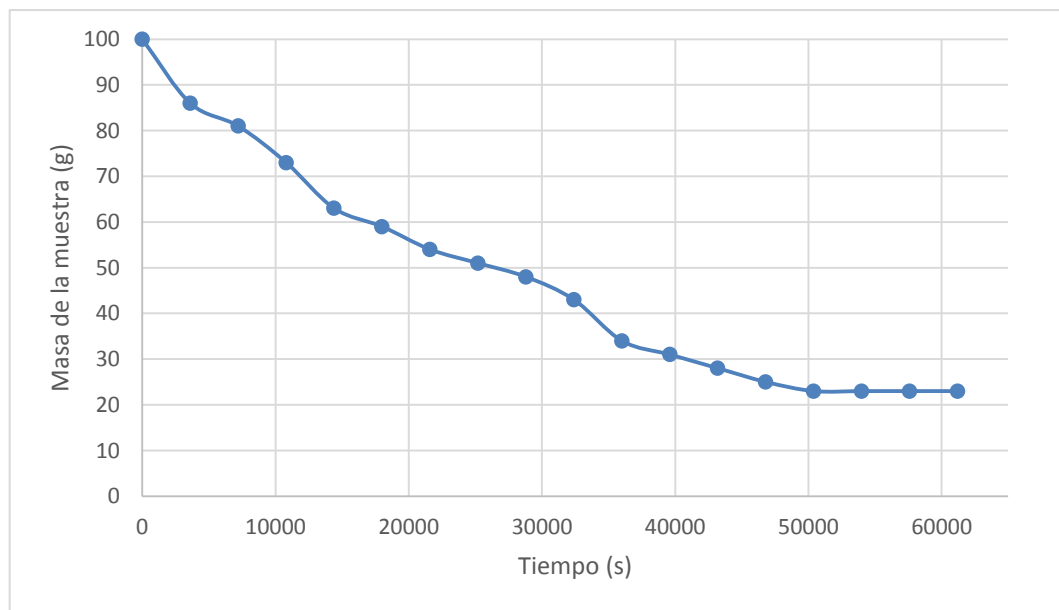
Fuente: elaboración propia.

2.3. Condiciones efectivas de secado

Las curvas de secado demostraron que para que el producto final llegar a un 36,05 % de humedad se necesita de una temperatura dentro del secador entre 38 y 47 grados celsius.

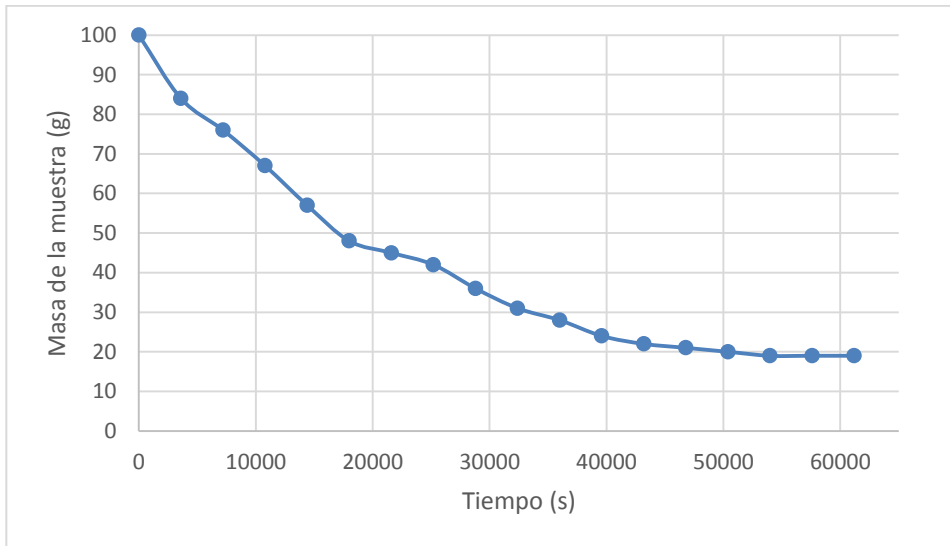
2.4. Curvas de secado

Figura 3. **Peso de la piña respecto al tiempo transcurrido (29/04/2017)**



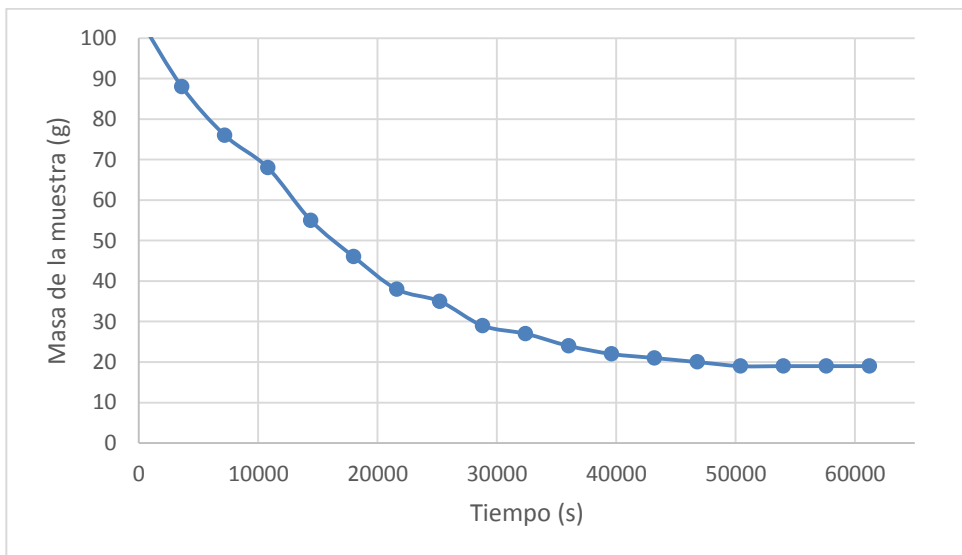
Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Peso de la piña respecto al tiempo transcurrido (06/05/2017)**



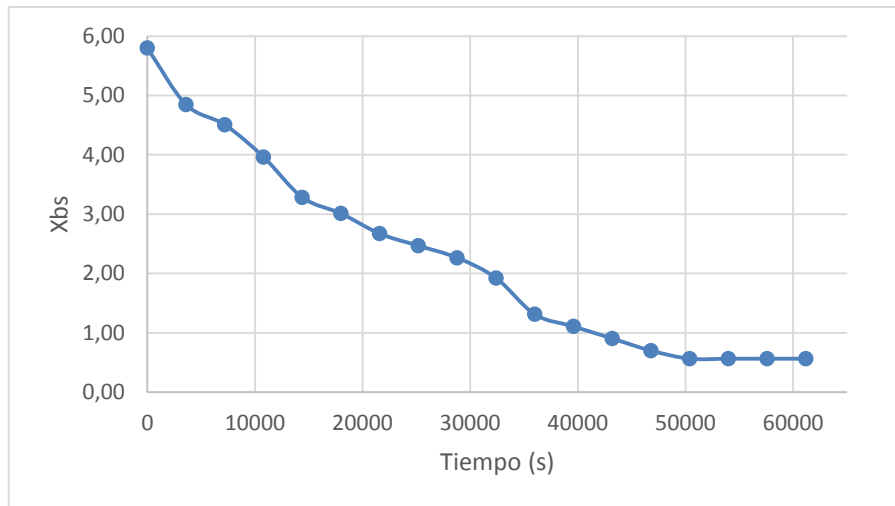
Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Peso de la piña respecto al tiempo transcurrido (13/05/2017)**



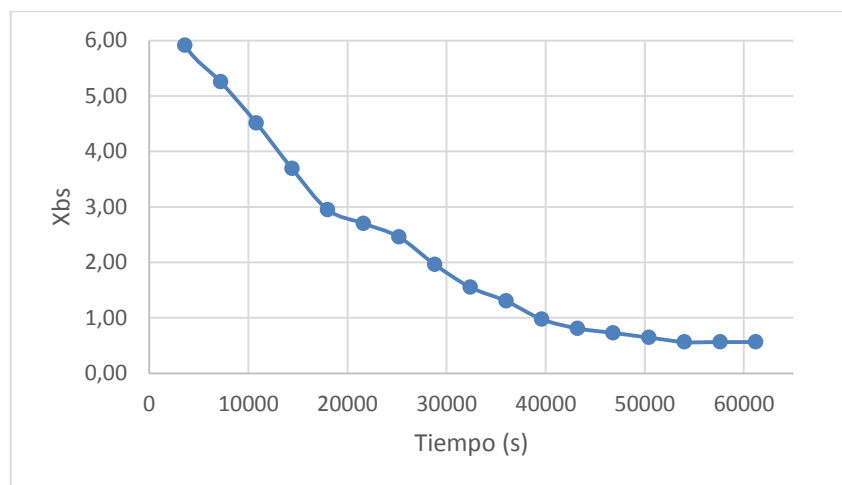
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Humedad relativa en base seca respecto del tiempo (29/04/2017)**



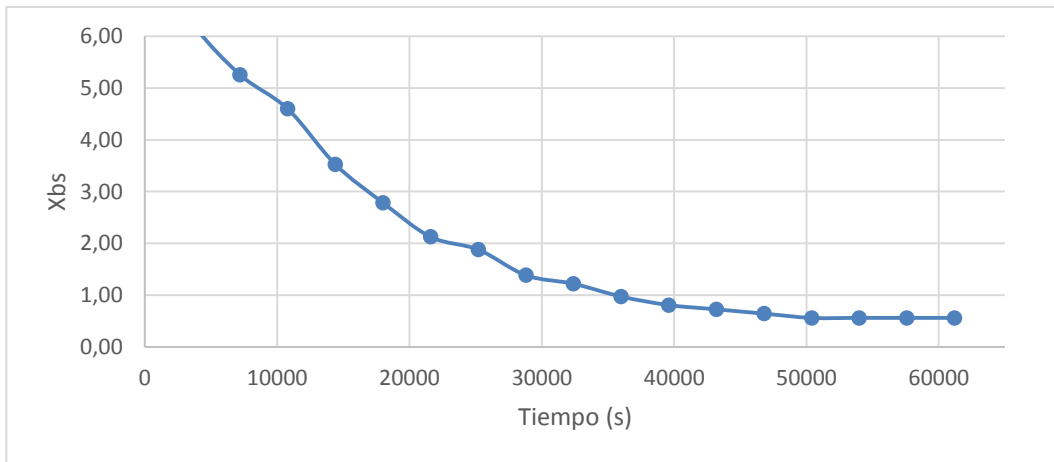
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Humedad relativa en base seca respecto del tiempo (06/05/2017)**



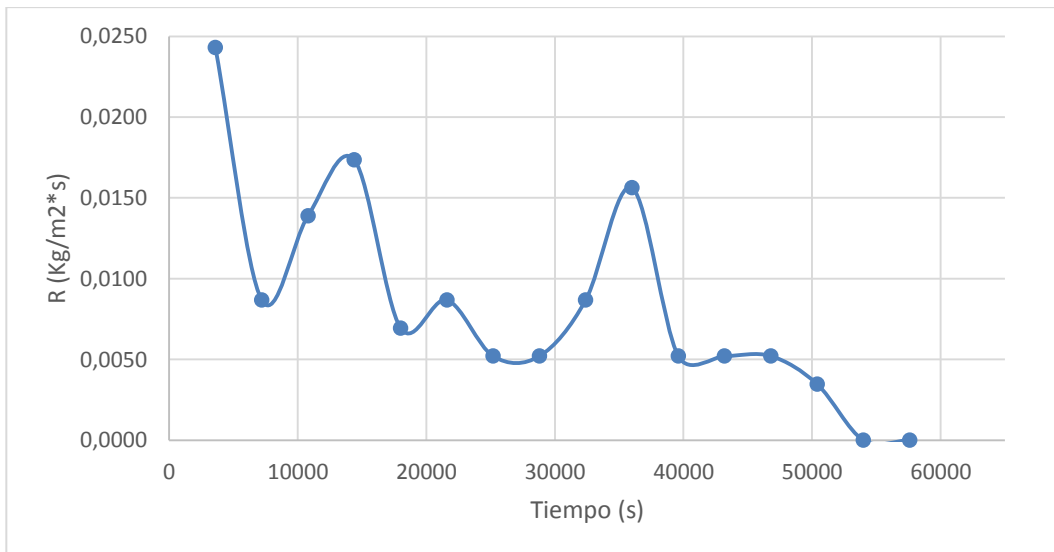
Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Humedad relativa en base seca respecto del tiempo (13/05/2017)**



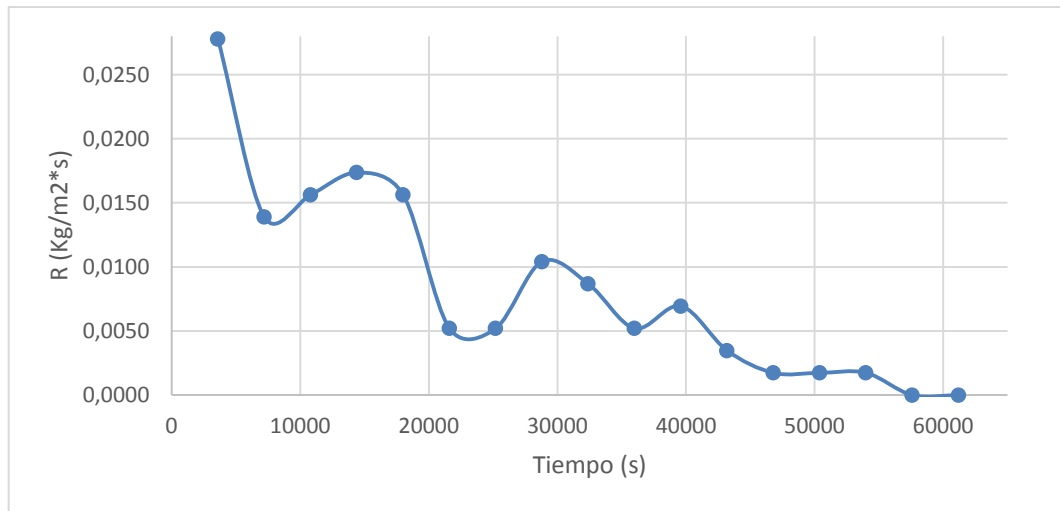
Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Velocidad de secado respecto al tiempo transcurrido (29/04/17)**



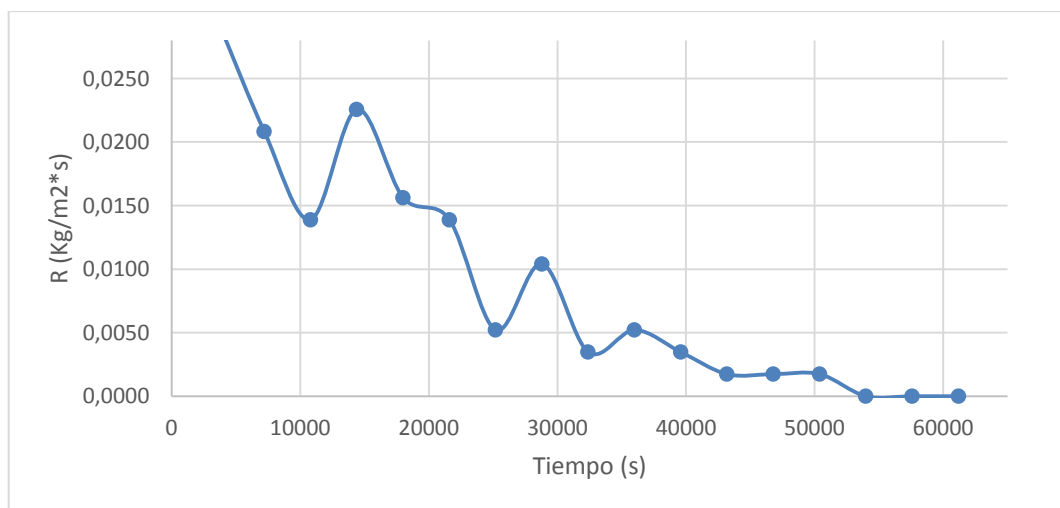
Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Velocidad de secado respecto al tiempo transcurrido (06/05/17)**



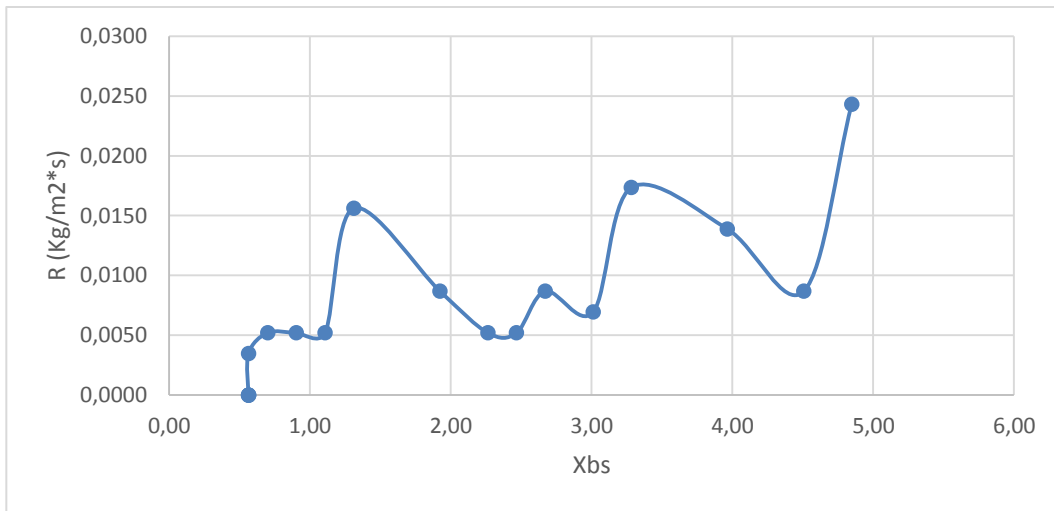
Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Velocidad de secado respecto al tiempo transcurrido (13/05/17)**



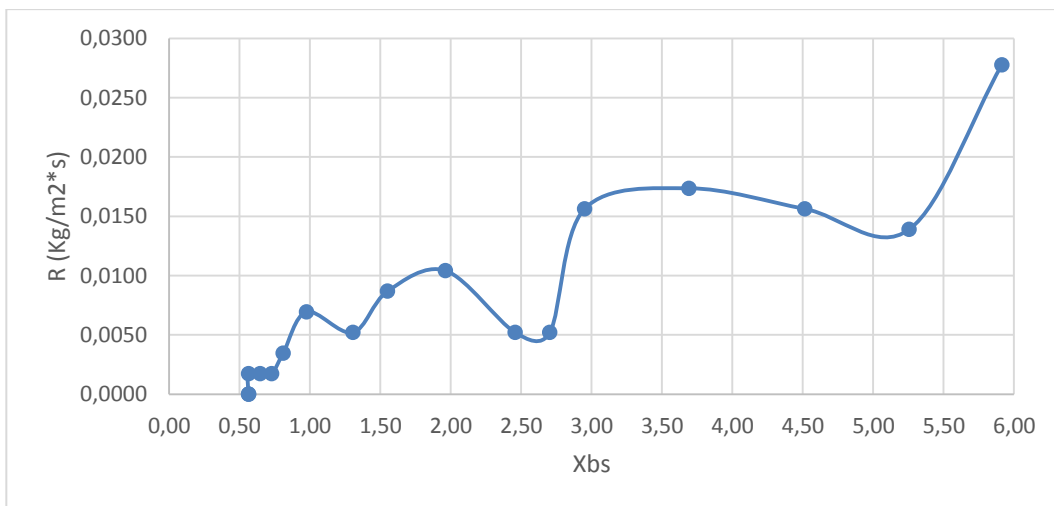
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Velocidad de secado respecto a la fracción base seca (29/04/17)**



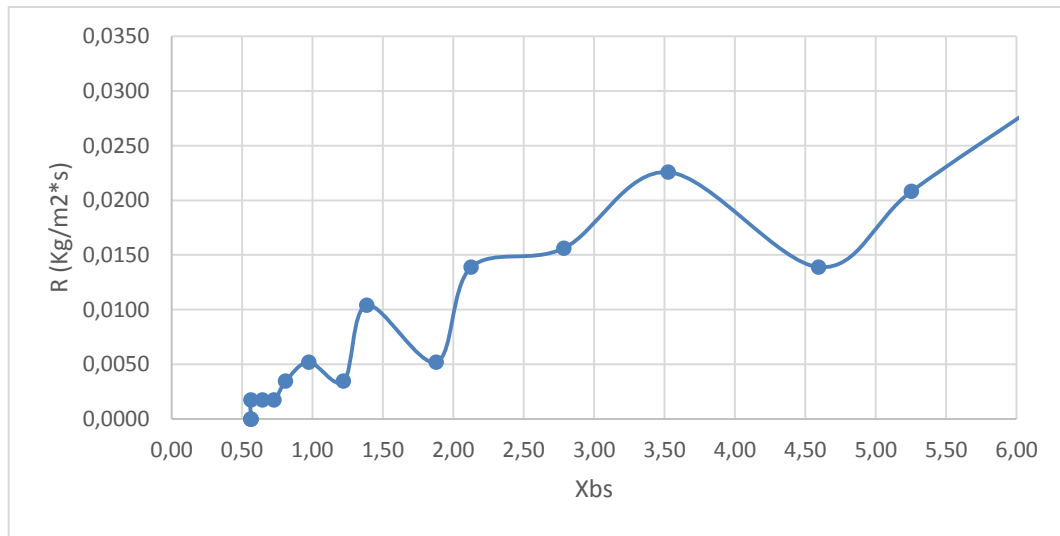
Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Velocidad de secado respecto a la fracción base seca (06/05/17)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Velocidad de secado respecto a la fracción base seca (13/05/17)**



Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Porcentaje de humedad en la muestra de piña deshidratada**

| Fecha | Muestra | %humedad |
|------------|-------------------|----------|
| 18/07/2017 | Piña deshidratada | 36,05 |

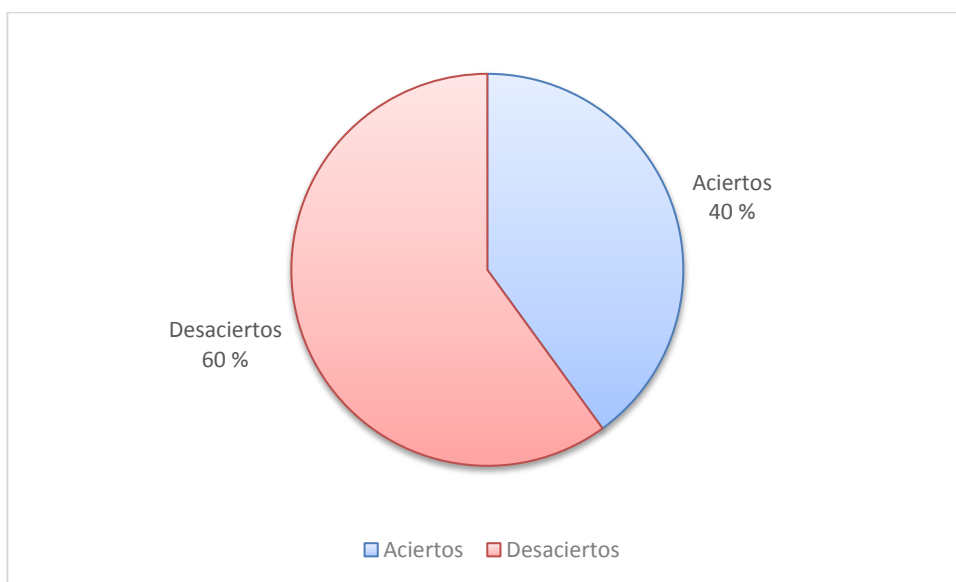
Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Análisis bromatológico de la muestra de piña deshidratada**

| Análisis | Fecha |
|-------------------|------------|
| | 19/07/2017 |
| % agua | 36,05 |
| % masa seca total | 63,95 |
| % grasas | 0,11 |
| % fibra cruda | 1,94 |
| % proteína cruda | 4,44 |
| % cenizas | 2,24 |
| % carbohidratos | 91,27 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Resultado prueba sensorial**



Fuente: elaboración propia.

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Diseño del equipo de deshidratación

Para el diseño del secado se tomaron en cuenta parámetros como la cantidad de materia prima que se deseaba deshidratar por *batch*; las condiciones que proporcionaba el lugar donde se llevaría a cabo la producción al igual que factores de trabajo para asegurar la inocuidad del alimento. De esta manera, se obtuvo un modelo del equipo deshidratador de tipo indirecto.

El material base con el que se construyó el secador es madera de pino chileno; la razón por la que se seleccionó este material fue porque al producirla, esta no es tratada con ningún químico que podría afectar la seguridad del consumidor al ingerir el producto. Por el lugar donde se seleccionó para colocar el deshidratador este debe resistir factores medioambientales; por esta razón, se le agregó al exterior un recubrimiento de impermeabilizante, este de un color oscuro para ayudar a mantener el calor por el interior.

En la sección del colector, se utilizó vidrio claro en la parte superior por su alto valor de transmitancia, pintura acrílica negra por el interior, por su alto valor de absorbancia, atravesando el interior del colector hay una rejilla de acero lo que mejora la dispersión del calor en el aire que ingresa. El colector se encuentra inclinado con un ángulo de 31° , la función de esta posición inclinada es dirigir al flujo de aire que ingresa por la sección inferior hasta el compartimiento de secado aprovechando la convección natural dada por el aumento de temperatura que sufre a lo largo del colector. El colector tiene las dimensiones de 2 metros de largo por 0,67 metros de ancho.

El compartimiento de secado tiene una sección por la que ingresa el aire proveniente del colector y una sección donde el aire sale de manera natural; a lo largo de este recorrido se encuentran cuatro bandejas de malla en donde se coloca la materia prima a secar; por la parte posterior el compartimiento puede abrirse lo que facilita la colocación y remoción de las bandejas.

Para evitar la entrada de insectos y partículas de polvo al deshidratador, en la entrada del colector se colocó una malla con la finalidad de evitar el ingreso de estos, la sección por la que sale el flujo de aire del compartimiento de secado también se encuentra mallada; estas salidas se encuentran a los lados de compartimiento y no en la parte superior para evitar que caiga en el interior partículas no deseadas o lluvia.

Por el interior de compartimiento de secado hay descansaderos para colocar 4 bandejas, la facilidad de su remoción en el equipo permite realizar pruebas y manejar el producto de una manera fácil. Las bandejas tienen unas dimensiones de 0,56 metros de largo por 0,28 metros de ancho. Se construyeron con un marco de madera, rejilla de aluminio y clavos de acero inoxidable.

Los materiales que principalmente entran en contacto con el fruto mientras es procesado se tomaron en cuenta para mejorar la inocuidad del proceso, puesto que la rejilla de aluminio es de fácil limpieza y disminuye la probabilidad de crecimiento bacteriano sobre su superficie. Otros materiales que se encuentran en el deshidratador, como la madera, por las temperaturas que maneja el deshidratador deben de ser seguras y no emitir gases tóxicos como los usados comúnmente en los procesos de curación de la madera; por esta razón, se utilizó madera de pino chileno que no recibe ningún tratamiento de este tipo.

3.2. Pretratamiento de la materia prima

Se definieron los parámetros ideales con los que debía cumplir la materia prima. Durante la selección del fruto se tuvo especial cuidado en elegir aquellos que no tuvieran ningún tipo de magulladura, corte o que fueron afectadas por insectos esto con el fin de prevenir la pudrición de la fruta. Las piñas se almacenan dentro de una habitación cuya iluminación no proviene de la luz directa del sol. Una vez el fruto esté en condiciones óptimas para su procesamiento, estas se sumergen en un baño de hipoclorito de sodio al 10 % durante cinco (5) minutos; este lavado se hace necesario para eliminar microorganismos e impurezas provenientes del suelo donde se produjo el fruto.

Posterior al lavado, la piña pasa a la etapa de procesado donde se separa la pulpa de la cáscara; se utilizó un pelador de piñas convencional para producir trozos de 0,06 metros de largo por 0,03 metros de ancho por 0,015 metros de espesor. Lo que facilitará la ingesta del aperitivo para el consumidor.

Posteriormente, se realiza la eliminación de humedad por medios mecánicos, al facilitar la posterior deshidratación del fruto y disminuir el tiempo de secado se toma como un pretratamiento importante del proceso. Utilizando un paño limpio se absorbe el jugo que escurre de la piña. Posterior a este proceso se realiza el control químico rociando sobre una solución de ácido ascórbico al 2 % lo que disminuye el pardeamiento enzimático.

El parámetro a tomar en cuenta para seleccionar en que momento el fruto está en su estado ideal para ser deshidratado es el porcentaje de azúcar que contiene la piña, para esto se realizó una curva de madurez. Al comparar el porcentaje de azúcares disueltos con respecto a la coloración de la cascara de la piña. Las muestras obtuvieron su °brix máximo en la etapa 4; en esta etapa

se obtiene la concentración más alta de azúcares en la fruta con un °brix entre catorce (14) y diecisiete (17). El color de la cáscara dejó de ser verde y ahora se encuentra entre amarillo y naranja, predominando este último. La cáscara se observa más seca y suave al tacto las hojas de la copa comienzan a verse secas. Por el interior puede apreciarse que la pulpa es de un color amarillo encendido.

3.3. Curvas de secado del deshidratador

Se evaluaron las curvas de secado generadas para el deshidratador construido, entre los meses de abril y mayo del año 2017, se realizaron 3 repeticiones. Las pruebas se iniciaron a las 8:00 am, con una muestra inicial de 100 g de materia prima, el proceso de secado finalizó alrededor de las 10:00 am y 01:00 pm del día siguiente, se obtuvo el equilibrio en la humedad entre los 40 000 y 50 000 segundos de sol directo.

La temperatura ambiental se registró entre 24 °C y 30 °C, mientras que el secador alcanzó una temperatura interna máxima de 47 °C. El peso final de la muestra fue de entre 20 g y 23 g. Posteriormente al producto obtenido del secador se llevó a analizar sus propiedades bromatológicas al Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Veterinaria de Universidad de San Carlos de Guatemala; con el resultado de la prueba se sabe que el fruto tiene una humedad final de 36,05 %.

En las figuras 9, 10 y 11 se ve el descenso del peso de la muestra con el paso del tiempo, se puede notar como durante los primeros 30 000 segundos hay un descenso constante del peso y que a partir de este momento se pierde menos cantidad de agua por tiempo transcurrido; este cambio es debido a que durante la primera sección de la curva se elimina el agua de manera constante

por la superficie saturada del sólido; mientras que la segunda parte de la curva describe la eliminación de la humedad atrapada en los intersticios del alimento.

Las figuras 12, 13, y 14 describen la disminución de la humedad relativa en base seca a medida que pasa el tiempo. A lo largo del tiempo, la humedad relativa del alimento disminuye hasta alcanzar el equilibrio con la humedad del entorno a los 50 000 segundos.

Las figuras 15, 16 y 17 describen la velocidad de secado a lo largo del tiempo, por las variaciones de temperatura que presentó el ambiente por ausencia o presencia de nubes y velocidad del flujo de aire entrante, no se presenta una sección de velocidad constante, aun así se aprecia un descenso conforme la materia prima se deshidrata volviéndose esta más prominente alrededor de los 40 000 segundos.

3.4. Prueba sensorial y análisis bromatológico

Se realizó una prueba sensorial triangular de diferencia dirigida al consumidor evaluando a veinte panelistas no entrenados. La prueba consistió en presentarles tres muestras: dos son muestras de piña deshidratada con un secador de resistencias y una, muestra de piña deshidratada del secador solar diseñado; los pretratamientos para todas las muestras fueron los mismos por lo que la única diferencia entre las muestras fue el equipo utilizado para deshidratar. Se les indicó a los panelistas que seleccionaran la muestra de piña que ellos consideraban diferente.

De los 20 panelistas, 8 acertaron cuál era la muestra que tuvo el tratamiento de deshidratación solar. El análisis estadístico indica que no hay diferencia significativa a un nivel de probabilidad del 5 %, entre las muestras

de piña deshidratada que se elaboraron en un secador solar y las elaboradas en un secador eléctrico.

Como resultado de la prueba no puede decirse que los panelistas reconocieron una diferencia significativa entre ambas muestras y, por lo tanto, el secador de piña por medios solares es tan efectivo como un deshidratado con equipo eléctrico.

CONCLUSIONES

1. Los parámetros de diseño, dimensión y operación establecidos garantizan que la deshidratación de la materia prima se realice de forma correcta.
2. Se seleccionaron los pretratamientos a realizar en la materia prima necesarios para garantizar que el proceso de secado se realizara exitosamente; estos incluyen: selección de materia prima en buen estado, almacenamiento en un lugar fresco, lavado de hipoclorito de sodio, pelado y corte, control químico de ácido ascórbico.
3. La materia prima para la deshidratación la representan aquellos frutos que se encuentren en la etapa 4 de maduración.
4. La condición efectiva de secado para la materia prima con respecto al parámetro de temperatura normal de secado es de 47 grados Celsius.
5. La condición efectiva de secado para la materia prima con respecto al parámetro de tiempo normal de secado es de entre 40 000 y 50 000 segundos.
6. Las curvas de secado obtenidas presentaron el comportamiento esperado para el proceso de deshidratación de la piña, disminuyendo su fracción de base seca hasta 0,56 con un porcentaje de humedad final de 36,05 %.

7. La prueba sensorial triangular de diferencia indica que, a un nivel de probabilidad del 5% no hay diferencia significativa, entre las muestras de piña deshidratada que se elaboraron en el secador solar diseñado y las elaboradas en un secador eléctrico comercial.

RECOMENDACIONES

1. Realizar una futura investigación, tomando en cuenta en el proceso otros tipos de pretratamientos como el escaldado y la sulfatación y los efectos que estos pudieran tener sobre el producto final.
2. Evaluar la eficiencia en la deshidratación que se obtiene dependiendo del área donde se coloque el fruto dentro del compartimiento de secado.
3. Realizar una futura investigación secando diferentes alimentos utilizando el deshidratador diseñado y evaluar si las condiciones que ofrece este dispositivo también son efectivas para la elaboración otros productos.
4. Realizar una prueba sensorial hedónica de nueve puntos para conocer el grado de satisfacción general que podría tener el consumidor hacia el producto comestible de piña deshidratada.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARGUETA NATARENO, Walter Arturo. *Secado de frutas mediante el uso de secadores solares pasivos de pequeña escala*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1986. 293 p.
2. ARIAS VELÁZQUEZ, Ciro J.; TOLEDO HEVIA, Julio. *Food Agriculture Organization*. [en línea]. <<http://www.fao.org/3/a-ac304s.pdf>>. [Consulta: 27 de septiembre de 2016].
3. BARREIRO M., Jose A. *Operaciones de conservación de los alimentos por bajas temperaturas*. Bolivia: Equinoccio, 2006. 212 p.
4. BERGERET, Gualberto. *Conservas vegetales, frutas y hortalizas*. Nueva York, EE.UU.: Cornell University, 1963. 439 p.
5. *Crónicas gastronómicas*. [en línea]. <<https://cronicasgastronomicas.wordpress.com/tag/grados-brix/>>. [Consulta: 11 de noviembre de 2016].
6. DYM, Clive L. *El proceso de diseño en ingeniería. Cómo desarrollar soluciones efectivas*. México: Limusa, 2006. 185 p.
7. GEANKOPLIS, C. J. *Procesos de transporte en operaciones unitarias*. México: CECSA, 1988. 148 p.

8. Instituto de Nutrición de Centroamerica y Panamá. [en línea]. <<http://www.incap.org.gt/index.php/es/noticias/998-los-consumidores-son-responsables-del-28-de-desperdicio-de-alimentos-en-america-latina-y-el-caribe>>. [Consulta: 11 de noviembre de 2016].
9. LEAL, F. *Origin and taxonomy of the pineapple*. Estados Unidos: Interciencia 4, 1989. 241 p.
10. MARIN VALDES, Patricio. *Manual de deshidratación*. [en línea]. <<http://manualdeshidratacion.blogspot.com/2008/09/frutas-y-hortalizas.html>>. [Consulta: 20 de septiembre de 2016].
11. MCCABE, Warren L. *Operaciones básicas de ingeniería química*. México: McGraw-Hill, 1991. 392 p.
12. NATARENO ARGUETA, Walter Arturo. *Secado de frutas mediante el uso de secadores solares pasivos de pequeña escala*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1986. 392 p.
13. PAZ DE LEON, Otto Raul. *Guía de estudio, curso de secado IQ-5*. Guatemala: s.n., 2016. 95 p.
14. PINZÓN DEL PILAR, Ingrid Mónica. *Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2007. 153 p.
15. PY, C. *La piña tropical*. Barcelona, España: Blume, 1969. 392 p.

16. TREYBAL, Robert E. *Operaciones de transferencia de masa*. México: McGraw-Hill, 1988. 203 p.
17. WATTS, B. M. *Metodos sensoriales básicos*. Canadá: Intemational Development Research Centre, 1989. 283 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Herramientas de diseño**

- Lista de atributos
 - Capaz de deshidratar piña
 - Fácil acceso al área de secado
 - Capacidad para contener al menos 5 lb de piña
 - Materiales inocuos
 - Se debe limpiar fácilmente
 - La piña ya deshidratada se debe de retirar fácilmente
 - No debe de colocarse directamente al sol
 - Debe poder analizarse el progreso de la piña fácilmente
 - Debe poder resistir la temperatura exterior, así como lluvias

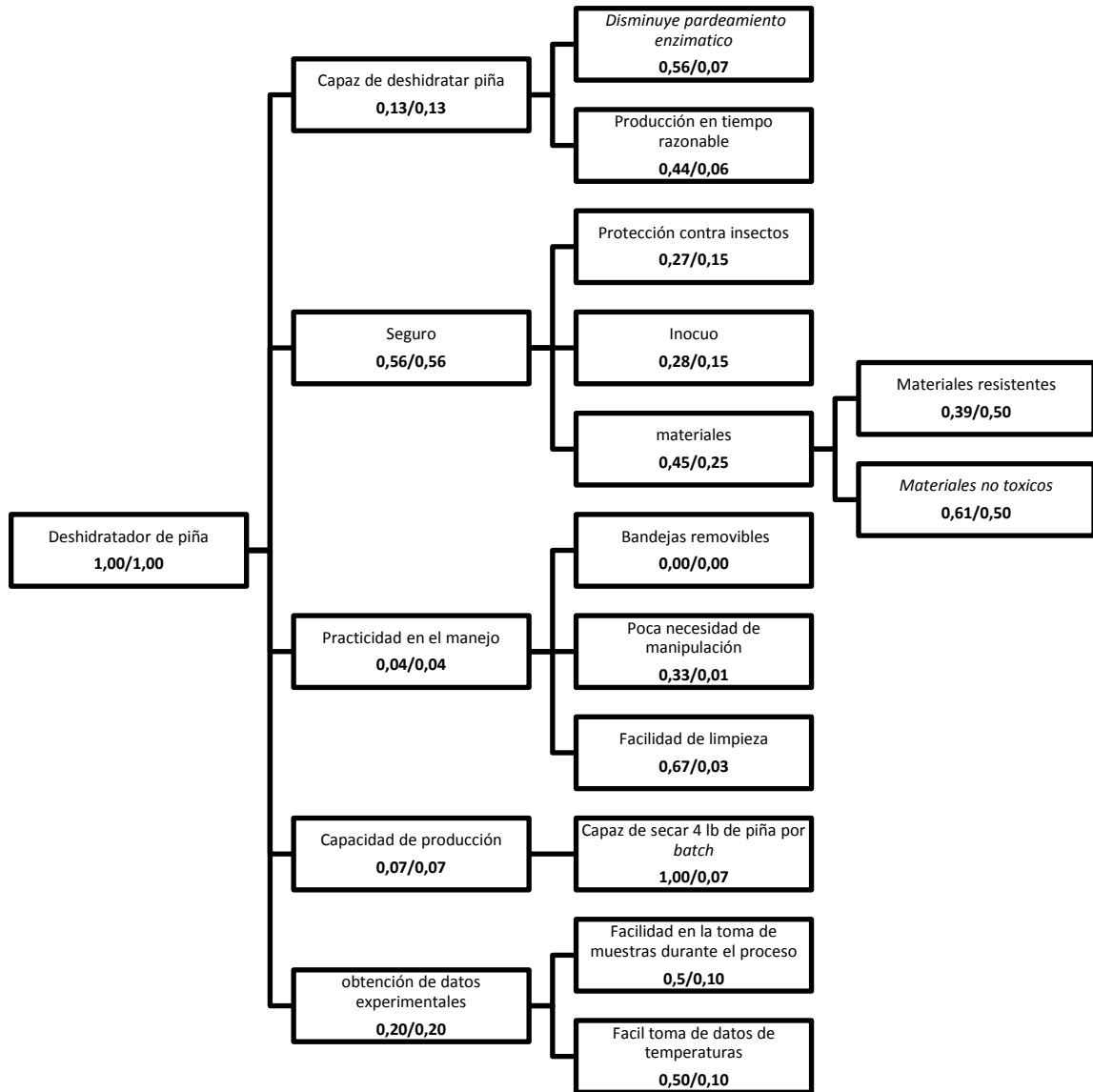
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Tabla de comparación por pares**

| | Pardeamiento | producción tiempo razonable | protección insectos | Inocuo | materiales resistentes | materiales no tóxicos | Fácil limpieza | Bandejas removibles | poca manipulación | secado de 5 lb de piña | facilidad toma de muestras | facilidad toma de temperatura | Ponderación |
|--------------------------------|--------------|-----------------------------|---------------------|--------|------------------------|-----------------------|----------------|---------------------|-------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------|
| Pardeamiento | . | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 5 |
| producción tiempo razonable | 0 | . | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 4 |
| protección de insectos | 1 | 1 | . | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 11 |
| Inocuo | 1 | 1 | 1 | . | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 11 |
| materiales resistentes | 1 | 1 | 0 | 0 | . | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 7 |
| materiales no tóxicos | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | . | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 11 |
| Fácil limpieza | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | . | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Bandejas removibles | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | . | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| poca necesidad de manipulación | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | . | 0 | 0 | 0 | 1 |
| secado de 4 lb de piña | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | . | 1 | 1 | 5 |
| facilidad toma de muestras | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | . | 1 | 7 |
| facilidad toma de temperatura | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | . | 7 |

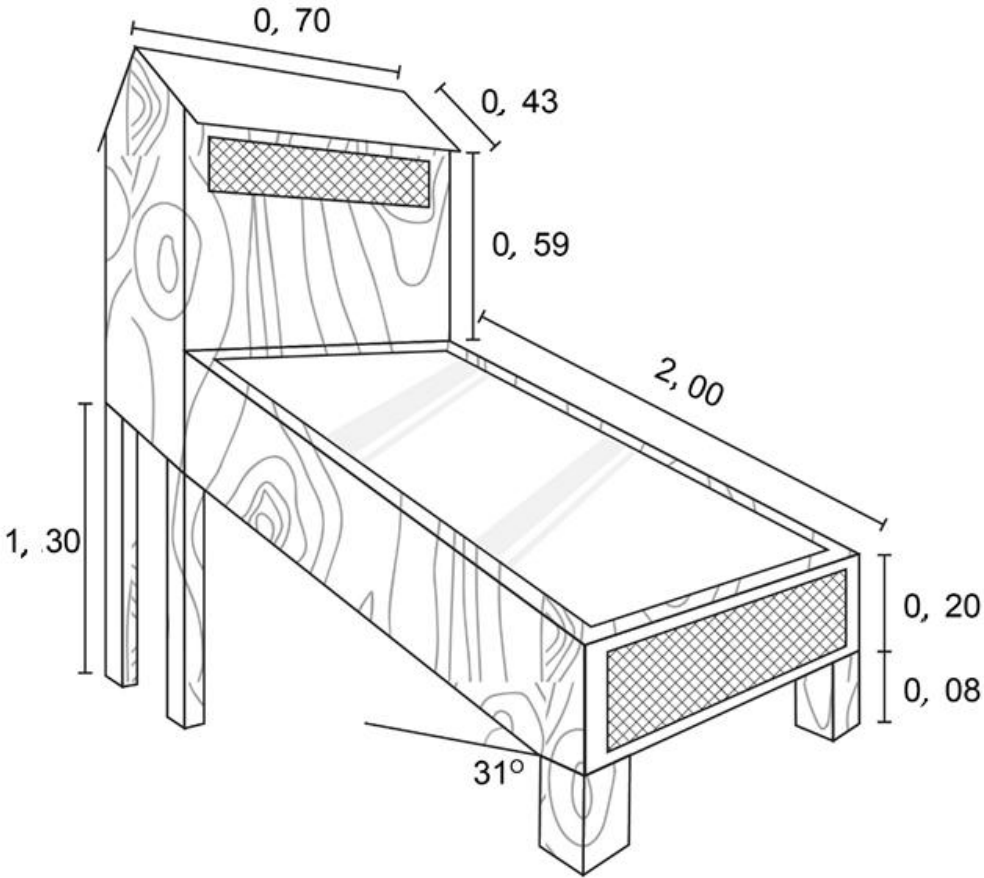
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Árbol de objetivos ponderados**



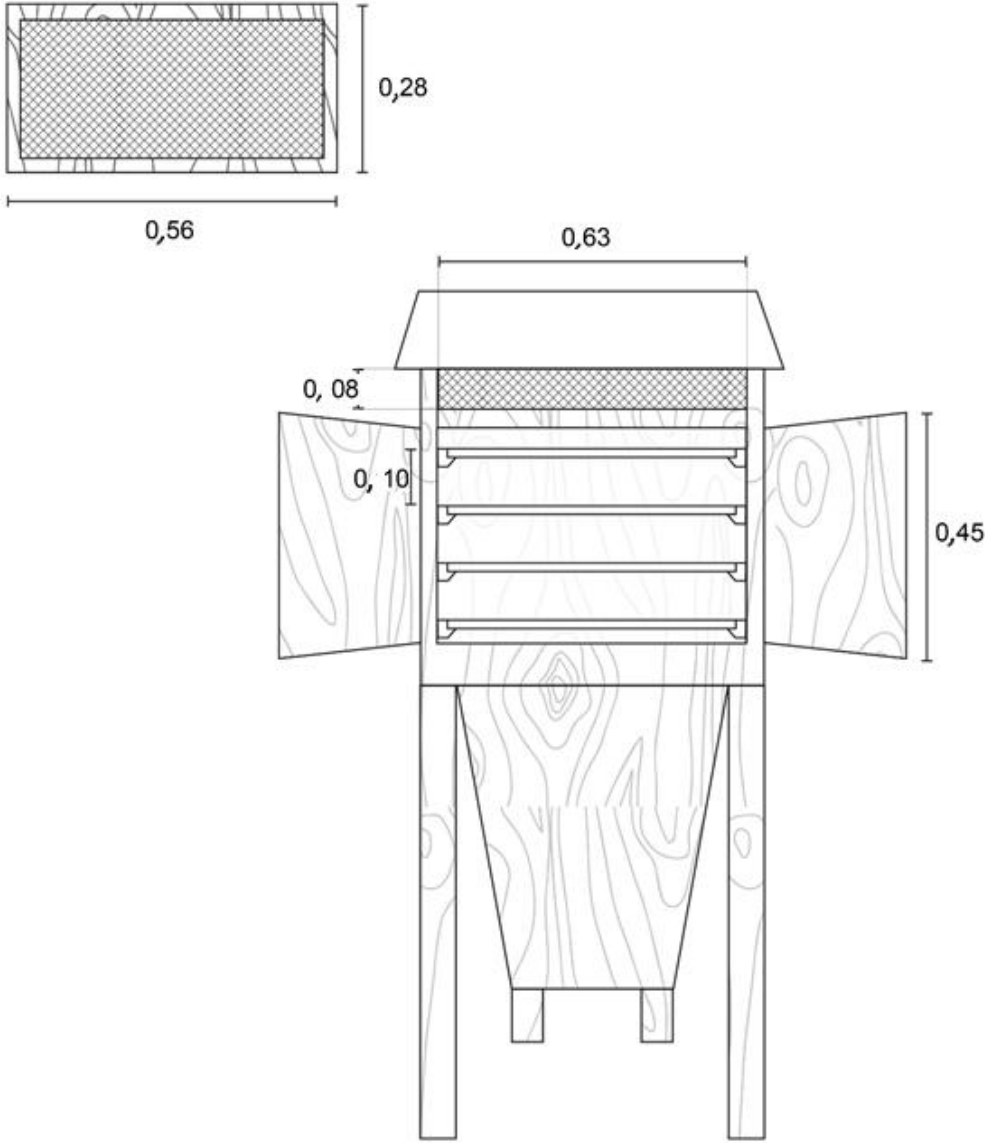
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Diagrama del diseño final vista lateral (medidas en metros)**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Diagrama del diseño final, vista trasera (medidas en metros)**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Prototipo final, secador vista frontal**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Prototipo final, compartimiento de secado**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Prototipo final, secador vista lateral**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Prototipo final, secador vista frontal**



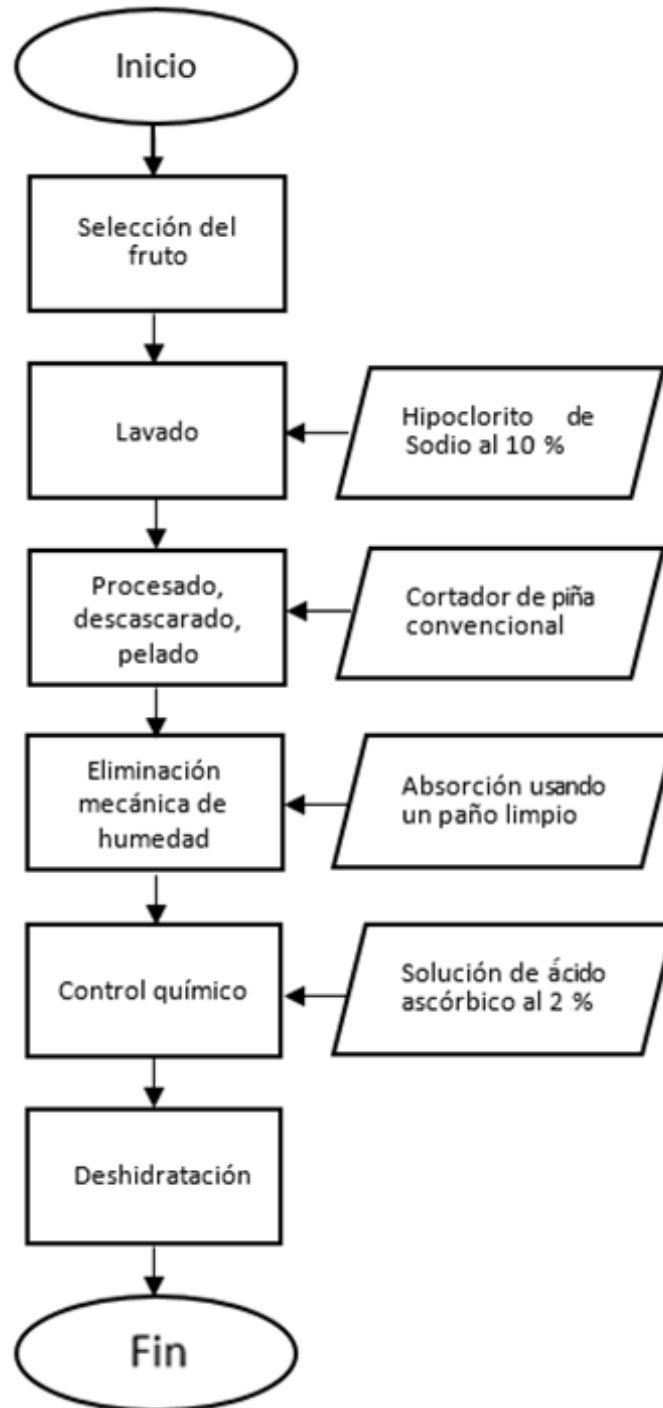
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Presupuesto**

| cantidad | producto | precio |
|-----------------|-------------------------|-------------------|
| 1 | Pelador piña | Q 65,00 |
| 1 | Refractómetro | Q 354,23 |
| 0,5 kg | Ácido ascórbico | Q 42,48 |
| 1 galón | Hipoclorito de sodio | Q 20,88 |
| 1 | Balanza | Q 159,99 |
| 1 | Secador solar | Q 2 944,00 |
| 15 | Piñas | Q 100,00 |
| 1 | Análisis microbiológico | Q 200,00 |
| 1 | Análisis bromatológico | Q 200,00 |
| | Total | Q 4 086,58 |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. Diagrama de flujo proceso de deshidratado



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. **Peso de la muestra a lo largo del tiempo**

| Tiempo (s) | Peso (g) | | |
|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | 29/04/2017 | 6/05/2017 | 13/05/2017 |
| 0 | 100 | 100 | 100 |
| 3 600 | 86 | 84 | 88 |
| 7 200 | 81 | 76 | 76 |
| 10 800 | 73 | 67 | 68 |
| 14 400 | 63 | 57 | 55 |
| 18 000 | 59 | 48 | 46 |
| 21 600 | 54 | 45 | 38 |
| 25 200 | 51 | 42 | 35 |
| 28 800 | 48 | 36 | 29 |
| 32 400 | 43 | 31 | 27 |
| 36 000 | 34 | 28 | 24 |
| 39 600 | 31 | 24 | 22 |
| 43 200 | 28 | 22 | 21 |
| 46 800 | 25 | 21 | 20 |
| 50 400 | 23 | 20 | 19 |
| 54 000 | 23 | 19 | 19 |
| 57 600 | 23 | 19 | 19 |
| 61 200 | 23 | 19 | 19 |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. **Datos humedad relativa (Xbs) respecto al tiempo**

| Tiempo (s) | Humedad relativa | | |
|-------------------|-------------------------|------------------|-------------------|
| | 29/04/2017 | 6/05/2017 | 13/05/2017 |
| 0 | 5,80 | 7,23 | 7,64 |
| 3 600 | 4,85 | 5,91 | 6,24 |
| 7 200 | 4,51 | 5,25 | 5,25 |
| 10 800 | 3,96 | 4,51 | 4,60 |
| 14 400 | 3,28 | 3,69 | 3,53 |
| 18 000 | 3,01 | 2,95 | 2,79 |
| 21 600 | 2,67 | 2,70 | 2,13 |
| 25 200 | 2,47 | 2,46 | 1,88 |
| 28 800 | 2,26 | 1,96 | 1,39 |
| 32 400 | 1,92 | 1,55 | 1,22 |
| 36 000 | 1,31 | 1,30 | 0,98 |
| 39 600 | 1,11 | 0,98 | 0,81 |
| 43 200 | 0,90 | 0,81 | 0,73 |
| 46 800 | 0,70 | 0,73 | 0,65 |
| 50 400 | 0,56 | 0,65 | 0,56 |
| 54 000 | 0,56 | 0,56 | 0,56 |
| 57 600 | 0,56 | 0,56 | 0,56 |
| 61 200 | 0,56 | 0,56 | 0,56 |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Datos velocidad de secado (R) con respecto al tiempo transcurrido**

| Tiempo (s) | R (kg/m ² s) | | |
|------------|-------------------------|-----------|------------|
| | 29/04/2017 | 6/05/2017 | 13/05/2017 |
| 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 3 600 | 0,0243 | 0,0278 | 0,0295 |
| 7 200 | 0,0087 | 0,0139 | 0,0208 |
| 10 800 | 0,0139 | 0,0156 | 0,0139 |
| 14 400 | 0,0174 | 0,0174 | 0,0226 |
| 18 000 | 0,0069 | 0,0156 | 0,0156 |
| 21 600 | 0,0087 | 0,0052 | 0,0139 |
| 25 200 | 0,0052 | 0,0052 | 0,0052 |
| 28 800 | 0,0052 | 0,0104 | 0,0104 |
| 32 400 | 0,0087 | 0,0087 | 0,0035 |
| 36 000 | 0,0156 | 0,0052 | 0,0052 |
| 39 600 | 0,0052 | 0,0069 | 0,0035 |
| 43 200 | 0,0052 | 0,0035 | 0,0017 |
| 46 800 | 0,0052 | 0,0017 | 0,0017 |
| 50 400 | 0,0035 | 0,0017 | 0,0017 |
| 54 000 | 0,0000 | 0,0017 | 0,0000 |
| 57 600 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 61 200 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. Hipoclorito de sodio al 10 %



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. Inmersión de la piña en hipoclorito de sodio al 10 %



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. **Descascarado de piña**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. **Separación de la pulpa y la cáscara**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 19. **Eliminación de la humedad por medios mecánicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 20. **Colocación de la piña en el deshidratador**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 21. Colocación de la piña en el deshidratador



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 22. Presentación de muestras para la prueba sensorial dirigida al consumidor



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 23. **Elaboración de las curvas de secado**

- Determinación de fracción de base seca

$$X_{bs} = \frac{m_0 - m_f}{m_f}$$

Donde:

- X_{bs} : fracción de base seca
- m_0 : masa de la muestra en el tiempo (kg)
- m_f : masa de la muestra final (kg)

- Determinación de la velocidad de secado

$$R = \frac{m_0 - m_1}{A * (T_1 - T_0)}$$


Donde:

- R: velocidad de secado (kg/m²*s)
- m_0 : masa de la muestra en el tiempo 0
- m_1 : masa de la muestra en el tiempo 1
- T_0 : tiempo en el que se tomó la muestra m_0
- T_1 : tiempo en el que se tomó la muestra m_1

Fuente: elaboración propia.


ANEXOS

Anexo 1. Resultados de análisis bromatológicos



Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Escuela de Zootecnia
Unidad de Alimentación Animal

FORMULARIO BROMATO 7
INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS



Edificio M6, 2º Nivel, Ciudad Universitaria zc
Ciudad de Guatemala
Teléfono: 24188307, Teléfono: 24188307 e
E-mail: bromatologia@unicsg.edu.gt

Elaborado por: Aura Marina de Marroquín
Autorizado por: Lic. Miguel Ángel Rodenas

CIUDAD, GUATEMALA, No. 274
DEL 24 AL 28-07-2017.

Solicitado por: **ALEJANDRA SOSA**
Fecha de realización: **19-07-2017.**

| Reg. | Descripción de la muestra | BASE | Agua % | M.S.T. % | E.E. % | F.C. % | PROTEINA % | Centzas % | E.L.N. % | Calcio % | Fósforo % | F.A.D. % | F.H.D. % | Ligatina % | Dig. Pepsina % | PH | TND % | E.B. kcal/g | |
|--|---------------------------|------|--------|----------|--------|--------|------------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|------------|----------------|----|-------|-------------|--|
| 457 | PIÑA DESHIDRATADA | SECA | 36.05 | 63.95 | 0.11 | 1.94 | 4.44 | 2.24 | 91.27 | | | | | | | | | | |
| | COMO ALIMENTO | | | | 0.07 | 1.24 | 2.84 | 1.43 | | | | | | | | | | | |
| | SECA | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | COMO ALIMENTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SECA | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | COMO ALIMENTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SECA | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | COMO ALIMENTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>TOTAL DE MUESTRAS ANALIZADAS EN ESTA HOJA: 1</p> <p>TOTAL DE MUESTRAS ANALIZADAS EN ESTE INFORME: 04188307.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

OBSERVACIONES: Dichos resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresca. Se prohibe la procedencia para el tipo de informe, para mayor información comunicarse al teléfono 24188307.

L. L. José A. Morales S.
Laboratorista

Lic. Miguel Ángel Rodenas
Jefe Laboratorio de Bromatología

Resultados 2017/274
28/07/17

Fuente: Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Fecha: 14 de noviembre de 2016.



189 A/17

Fecha: 24 de julio de 2017

INFORME DE RESULTADOS

I. Información general

Nombre del cliente: Alejandra Sosa
 Institución: Particular
 Dirección: Ciudad
 Análisis solicitado: *Escherichia coli, Salmonella ssp.*
 Tipo de muestra: Alimento

Descripción de la muestra: Piña deshidratada

Fecha y hora del muestreo: 18 de julio de 2017 04:30
 Responsable del muestreo: Cliente
 Fecha y hora de recepción de la muestra: 19 de julio de 2017 11:05
 Fecha de inicio de análisis: 20 de julio de 2017

II. Resultados

| Análisis | Metodología ¹ | Resultado ² | Especificación ³ |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| <i>Escherichia coli</i> | BAM Ch4 | < 3 NMP/g | < 3 NMP/g |
| <i>Salmonella ssp.</i> | BAM Ch5 | Ausente en 25g (Ausencia) | Ausencia |

- 1. BAM: FDA Bacteriological Analytical Manual
- 2. MNP/g = Número más probable por gramo de muestra.
- 3. Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.04.50.08. Alimentos. Criterios Microbiológicos Para la Inocuidad de Alimentos. 4.0 Grupo de Alimento: Frutas y hortalizas. 4.2 Subgrupo del alimento: Frutas y hortalizas procesadas. 4.2.2 Frutas y hortalizas desecadas o deshidratadas

III. Conclusiones

La muestra cumple con los criterios microbiológicos para la inocuidad de los alimentos establecidos para Frutas y hortalizas desecadas o deshidratadas en el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA de criterios microbiológicos para la inocuidad de alimentos.

Nota aclaratoria: el Laboratorio Microbiológico de Referencia -LAMIR- no se hace responsable por el uso que se dé al presente resultado.

"Id y Enseñad a Todos"

 Lic. Sergio Alfredo Lickes
 Químico Biólogo C-2239
 Laboratorio Microbiológico de Referencia -LAMIR-



Prohibida la reproducción parcial de los resultados sin previa autorización del laboratorio

ÚLTIMA LINEA

Edificio T-12 2o. Nivel, Facultad de CC QQ y Farmacia, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, C.A. Tel. 2418-9400, ext. 108
 Correo electrónico: laboratoriolamir@usac.edu.gt, laboratoriolamir@gmail.com
http://sitios.usac.edu.gt/wp_lamir/?cat=1

Fuente: Laboratorio Microbiológico de referencia, Universidad San Carlos de Guatemala
 Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Fecha: 24 de noviembre de 2017.