

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Diseño, construcción y validación de un liofilizador para la carrera de
ingeniería en alimentos"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO EN ALIMENTOS

Presentado por:

Miguel Ángel Aizaga Villón

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la fortaleza, la salud y apoyo incondicional en este gran camino. A mi familia por ser el soporte de mi vida.

A mis profesores Patricia García, Jonathan Coronel, Kenny Escobar, Janaina Sánchez y Luis Plaza por su gran apoyo y orientación en el proyecto integrador.

A mis grandes amigos y colegas Sebastián, Allam, Fernando y Javier y Karina por sus consejos y ánimos durante este trabajo.

Finalmente, a Balzo S.A, Insitersa y vicerrectorado académico por el apoyo en la construcción y económicamente.

Miguel Ángel Aizaga Villón

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado especialmente a:

Mis padres: César Aizaga y Elizabeth Villón.

Mi hermano y cuñada: Xavier Aizaga y Gabriela Calahorrano.

Mis sobrinos: Samuel Aizaga y María Emilia Aizaga.

Miguel Ángel Aizaga Villón

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

MIGUEL ÁNGEL AIZAGA VILLÓN

PATRICIA GARCÍA MORA, Ph.D.

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



MIGUEL AIZAGA V.
Autor



PATRICIA GARCÍA, Ph.D.
Tutora de Materia

RESUMEN

La deshidratación es una de las técnicas más comunes para la conservación de los alimentos en la industria, debido a la reducción de la actividad de agua y humedad, ambos parámetros que influyen en las reacciones oxidativas y el crecimiento microbiano. El secado por convección es el método más popular para deshidratar alimentos, a pesar de que cambios sensoriales y nutricionales son producidos en los alimentos. Ante esta problemática, la liofilización se presenta como una alternativa atractiva en la industria, dado que, al no aplicar calor a las muestras, se minimizan las pérdidas en su valor nutricional, desnaturalización de sus antioxidantes y cambios en sus características organolépticas.

El presente proyecto constó de dos etapas: la primera etapa tuvo como objetivo determinar las condiciones del proceso de secado convectivo para obtener rodajas de naranjilla deshidratadas con características fisicoquímicas similares a una muestra comercial, donde las muestras secadas por convección utilizaron temperaturas de 40°C, 50°C y 60°C, con tiempos de secado de 6, 18 y 24 horas. En la segunda etapa, se compararon las características fisicoquímicas (actividad de agua y humedad) y la actividad antioxidante de las rodajas de naranjilla liofilizadas con la muestra comercial y la muestra seleccionada secada por convección, en el cual, el liofilizador comercial utilizó una temperatura de -48°C y una presión de 0,104 mbar, para el proceso de liofilización y el liofilizador prototipo utilizó una temperatura de -40°C y una presión de 0,03 mbar. Adicionalmente, se estimó el costo de producción de un paquete de 12g de naranjilla liofilizada.

La naranjilla tratada por el liofilizador prototipo presentó mejores propiedades fisicoquímicas y mayor actividad antioxidante que la muestra tratada por convección y la muestra control. Asimismo, los resultados obtenidos son equivalentes al compararlos con los correspondientes al liofilizador comercial, verificando así el buen funcionamiento del equipo desarrollado. Por último, cabe destacar que se ha estimado un precio de venta de \$2,76 en presentaciones de 12 g de producto deshidratado, el cual puede ser considerado competitivo frente a las opciones similares en el mercado, por presentar mayor calidad.

Palabras Claves: Liofilización, secado, antioxidantes, actividad de agua, humedad, naranjilla.

ABSTRACT

The dehydration is one of the most used techniques to preserve food in the industry, due to the reduction in water activity and moisture content, both parameters influential in the oxidative reactions and bacterial growth. Convective heat drying is the most popular technique to dehydrate food products, even though sensorial and nutritional changes are induced in the food products. Due to this quandary, freeze drying is presented as an attractive alternative to the industry, given that by not applying heat directly over the samples, its nutritional value, denaturation of its antioxidants and changes in organoleptic properties are minimized. This project consisted of two stages: the first one aimed to determine the optimal convective heat drying conditions in order to obtain dehydrated lulo slices having similar physicochemical properties as those from dehydrated fruits currently available in the market. Where samples dried by convection used temperatures of 40°C, 50°C and 60° C, with drying times of 6, 18 and 24 hours. During the second stage, a comparison between the physicochemical characteristics (water activity and moisture content) and antioxidant activity from the lulo samples dehydrated using convective heat drying and freeze-drying processes was made, aiming to prove the advantages obtained by using the freeze-drying process. The commercial lyophilizer used a temperature of -48 ° C and a pressure of 0.104 mbar, for the freeze-drying process and the prototype lyophilizer used a temperature of -40 ° C and a pressure of 0.03 mbar. Additionally, the production cost for a 12g package of freeze-dried lulo slices has been estimated.

The freeze-dried lulo treated using the prototype instrument presented better physicochemical properties (water activity and moisture) and greater antioxidant activity when compared to the sample treated by heat convection or the control sample. Likewise, these results are equivalent when compared to the corresponding values obtained using the commercial freeze-dryer, thus the proper functioning of the equipment developed is verified. Finally, it should be noted that a sale price of \$ 2.76 has been estimated for an of 12 g package of dehydrated lulo, which can be considered competitive when compared to similar options in the market, given mainly its superior organoleptic properties.

Keywords: freeze-drying, convective heat drying, antioxidants, water activity, moisture content, lulo.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Justificación de problema.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Deshidratación.....	3
1.4.2 Deshidratación por calor.....	4
1.4.3 Deshidratación por congelación o liofilización.....	4
1.4.4 Naranja.....	6
CAPÍTULO 2.....	9
2. Metodología.....	9
2.1 Plan de trabajo.....	9
2.1.1 Selección de la materia prima.....	10
2.1.2 Lavado.....	10
2.1.3 Cortado.....	10

2.1.4	Deshidratado.....	10
2.1.5	Análisis de laboratorio.....	11
2.1.6	Muestra comercial.....	13
2.2	Diseño de experimentos.....	13
2.2.1	Análisis de residuos.....	14
2.2.2	Análisis de varianza (ANOVA).....	14
2.3	Comparación de colores entre las muestras deshidratadas.....	15
CAPÍTULO 3.....		16
3.	Resultados.....	16
3.1	Análisis estadístico de los parámetros físico-químicos de las muestras secadas por convección.....	16
3.2	Análisis comparativo de los parámetros fisicoquímicos entre muestras deshidratadas por secado convectivo y la muestra control.....	22
3.3	Análisis comparativo de los parámetros fisicoquímicos entre la muestra fresca, muestra control, la muestra seleccionada deshidratada por secado convectivo y las muestras liofilizadas.....	23
3.4	Análisis comparativo de actividad antioxidante entre las muestras deshidratadas por calor y las muestras liofilizadas.....	25
3.5	Análisis comparativo de color de las muestras deshidratadas por calor y por congelación.....	25
3.6	Análisis de costo.....	26
CAPÍTULO 4.....		30
4.	Discusión y Conclusiones.....	30
4.1	Conclusiones.....	31
4.2	Recomendaciones.....	32
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

AOAC	Asociación Oficial de Químicos Agrícolas
AW	Actividad de Agua
ANOVA	Análisis de Varianza
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
MOD	Mano de obra directa
MSNM	Metros sobre el nivel del mar
ORAC	Capacidad de Absorción de Radicales de Oxígeno
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

SIMBOLOGÍA

USD	Dólar estadounidense
g	Gramos
°C	Grados Celsius
°Brix	Grados Brix
h	Hora
ml	Mililitro
±	Mas Menos
μ	Media
mbar	Milibar
nm	Nanómetro
pH	Potencial de Hidrógeno
%	Porcentaje
ppm	Partes por Millón
Pa	Pascales
Kg	Kilogramos
kW	Kilowatts
σ^2	Varianza

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de un secador convectivo.....	4
Figura 1.2 Etapas del proceso de liofilización.....	5
Figura 1.3 Naranjilla <i>Solanum quitoense Lam</i>	7
Figura 2.1 Diagrama de flujo para la obtención de naranjilla deshidratada	9
Figura 2.2 Tabla de colores de la naranjilla	15
Figura 3.1 Diagrama de pareto para los parámetros fisicoquímicos.....	20
Figura 3.2 Grafica de interacciones de los parámetros actividad de agua y humedad..	21
Figura 3.3 Rodajas de naranjilla deshidratadas por calor y liofilizadas	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Pulpa de naranjilla o lulo.....	8
Tabla 2.1 Características fisicoquímicas de la naranjilla INIAP Quitoense 2009.....	10
Tabla 2.2 Ensayos físico-químicos	11
Tabla 2.3 Parámetros fisicoquímicos y actividad antioxidante de la muestra control ...	13
Tabla 3.1 Medias de los parámetros fisicoquímicos	17
Tabla 3.2 Análisis de varianza de las características fisicoquímicas de las muestras tratadas por secado convectivo	19
Tabla 3.3 Comparación en parejas de Fisher.....	23
Tabla 3.4 Parámetros fisicoquímicos de muestras liofilizadas y deshidratadas por secado convectivo	24
Tabla 3.5 Actividad antioxidante.....	25
Tabla 3.6 Datos de producción.....	27
Tabla 3.7 Depreciación de maquinaria y utensilios	27
Tabla 3.8 Costo de materia prima	28
Tabla 3.9 Costos directos e indirectos.....	28
Tabla 3.10 Costos por unidad y precio de venta al público	29

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Una de las técnicas más utilizadas para la conservación de los alimentos es la deshidratación, ya que aumenta la vida útil del producto tratado. La deshidratación consiste en remover agua del alimento, obteniendo un producto sólido de escasa humedad y actividad de agua (UNESCO, 2005). Las técnicas reportadas desde el siglo pasado para la deshidratación de alimentos son los tratamientos térmicos mediante conducción o convección. Estos tratamientos afectan a la calidad sensorial y resultan en pérdidas de algunos nutrientes, debido a las altas temperaturas a las que los alimentos están expuestos (Maupoey, Grau, Sorolla, & Baviera, 2001).

Una alternativa a los tratamientos térmicos para la deshidratación de alimentos es la liofilización. Técnica basada en la desecación de un producto previamente congelado, mediante la sublimación de su contenido de agua a bajas temperaturas y presiones. Por las condiciones de operaciones mencionadas, las alteraciones sensoriales y las pérdidas nutricionales del producto deshidratado se ven reducidas.

Por esta razón, surge la iniciativa de desarrollar un proyecto multidisciplinario para diseñar, construir y validar un liofilizador. El proyecto se llevará a cabo durante un periodo de dos semestres académicos. Las carreras involucradas en este proyecto son ingeniería en mecánica, ingeniería en electrónica y automatización industrial e ingeniera en alimentos. En esta primera fase del proyecto se evaluó como afectan los parámetros tiempo y temperatura en el secado por convección, a fin de encontrar las condiciones del proceso para obtener rodajas de naranjilla (*Solanum quitoense Lam*) deshidratadas con características físico-químicas similares a las muestras disponibles en el mercado. A su vez, mediante un estudio comparativo se pretendió verificar, que: 1) con la liofilización se obtiene rodajas de naranjilla deshidratadas con mayor actividad antioxidante que cuando estas son obtenidas por secado convectivo, y 2) que el prototipo de liofilizador construido ofrece productos deshidratados con características fisicoquímicas y antioxidantes similares a las obtenidas en la liofilización comercial.

1.1 Descripción del problema

En la deshidratación de los alimentos convencionalmente se usan temperaturas, sobre 25°C, se producen una serie de reacciones químicas que provocan el deterioro de características sensoriales y fisicoquímicas, la desnaturalización de proteínas y el pardeamiento enzimático y entre otras. (Colina, 2010).

Afectando, así mismo, las características organolépticas de los alimentos deshidratados; tales como en el sabor, la textura y el color. Además, se producen alteraciones en el aroma debido a la pérdida de compuestos volátiles generados durante el proceso de secado. (Maupoey et al., 2001). Como consecuencia, se producen alimentos deshidratados de baja calidad nutritiva y sensorial. Por lo expuesto, se estudió como alternativa la deshidratación de frutas por otra técnica que ayude a prevenir las alteraciones citadas.

1.2 Justificación de problema

Con el fin de mantener las características fisicoquímicas y antioxidantes de las frutas deshidratadas, en particular de la naranjilla, el proceso de liofilización es una alternativa eficiente con respecto al proceso de secado por calor, debido a que los alimentos al ser expuestos a bajas temperaturas y presiones, las alteraciones de los compuestos termolábiles se ven reducidas, ya que a sublimarse el hielo, se conserva la estructura y aspecto original de los alimentos deshidratados (UGR, 2011).

A pesar de que la liofilización implica un alto tiempo de procesado y costos elevados, el producto deshidratado presenta ventajas nutricionales y organolépticas frente a los alimentos deshidratados por calor. (Caliskan & Dirim, 2017).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Establecer cómo los parámetros tiempo y temperatura afectan a un proceso de secado convectivo, mediante el análisis de características fisicoquímicas de importancia para ser luego comparados con las mismas en un proceso de liofilizado utilizando un equipo comercial y el diseñado en este proyecto multidisciplinario.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las condiciones del proceso de secado convectivo para obtener rodajas de naranjilla deshidratadas con características fisicoquímicas similares a las frutas deshidratadas existentes en el mercado.
- Evaluar las características fisicoquímicas y actividad antioxidante de las rodajas de naranjilla deshidratadas mediante secado convectivo y liofilización.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Deshidratación

En los últimos años, la demanda de productos deshidratados ha crecido notablemente, ya que estos presentan la ventaja de mantener gran parte de sus características organolépticas como color, sabor, y consistencia, además de presentar una mayor vida útil. Adicionalmente, pueden conservarse a temperatura ambiente y al tener menor peso que el alimento original, los costos de almacenamiento y transporte se ven reducidos. Los parámetros fisicoquímicos más importantes en la deshidratación de alimentos son la actividad de agua y la humedad. Estos son indicadores de calidad y a la vez, afectan directamente a la estabilidad del alimento, ya que, gracias a la disminución del contenido de agua, se reduce la proliferación de microorganismos y la velocidad de reacciones enzimáticas y químicas que originan la putrefacción del alimento (Maupoey et al., 2001).

1.4.2 Deshidratación por calor

Existen numerosos tipos de secadores por calor en la industria alimentaria, los cuales se diferencian entre sí en la manera de transferir calor al alimento, siendo estas: convección, conducción o radiación. (Heiser & Anderson, 1999).

Entre estas, el secado por convección forzada es el más utilizado en la industria alimentaria. Este tipo de secadores, transfieren calor al sólido mediante una corriente de aire caliente generada por un ventilador. El ventilador, además de transmitir el flujo de calor necesario para evaporar el agua del alimento, sirve como transporte del vapor del agua removida del producto deshidratado.

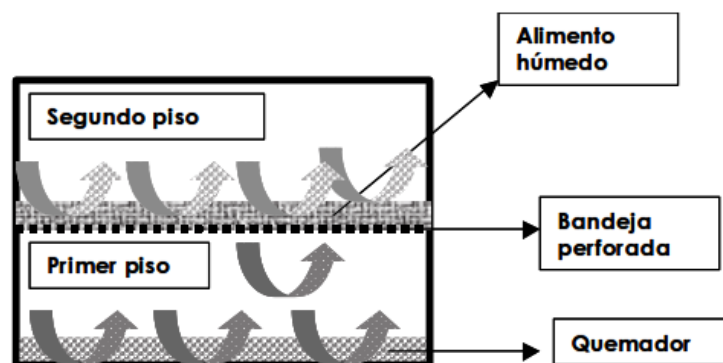


Figura 1.1 Esquema de un secador convectivo

Fuente: (Maupoey et al., 2001)

1.4.3 Deshidratación por congelación o liofilización

La liofilización es el método de deshidratación por el que se elimina la mayor cantidad de agua del alimento. Este método permite obtener productos de alta calidad, comparado con otros métodos de deshidratación tales como, el secado conducción, convección o radiación. Al ser un proceso a bajas temperaturas y a la vez extraer la mayor cantidad de agua del alimento, se minimizan las reacciones que aportan a la descomposición del alimento como la desnaturalización de las proteínas y el oscurecimiento enzimático, evitando así alteraciones en el valor nutricional y en las

características fisicoquímicas. Asimismo, la liofilización permite obtener humedades inferiores con respecto a otros tratamiento convencionales de secado, consiguiéndose un alimento con mayor tiempo de vida útil, menor peso y mejor reconstitución tras la adición de agua (Colina, 2010).

Los alimentos liofilizados conservan prácticamente casi intactas las características organolépticas y nutricionales de la materia prima inicial. Además, cabe mencionar, que la vida útil de estos productos se ve prolongada desde 12 meses, si se mantienen en un lugar fresco, hasta 24 meses, si estos se conservan en refrigeración (Cuper, 1965).

1.4.3.1 Etapas de la liofilización

El proceso de liofilización consta de en 3 etapas, la cuales se pueden ver reflejadas en la **Figura 1.2** (Colina, 2010):

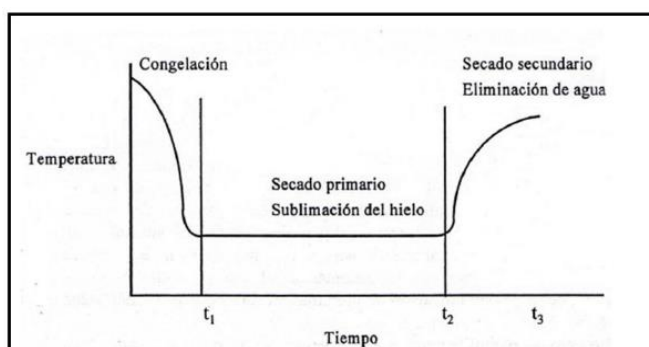


Figura 1.2 Etapas del proceso de liofilización

Fuente: (Colina,2010)

La primera etapa es la congelación de las muestras que se quieren deshidratar. En esta etapa es importante que las muestras se congelen correctamente para conseguir una adecuada deshidratación de las mismas. En función del tipo de alimento las recomendaciones varían. En los alimentos sólidos es aconsejable una rápida congelación para evitar que los cristales de hielo dañen la estructura del alimento. Por el contrario, para los alimentos líquidos se recomiendan una congelación lenta, de este modo, se forma una red cristalina con amplios conductos por los que puede escapar el vapor de agua sublimada.

La segunda etapa es la deshidratación primaria, donde se da la sublimación del agua congelada en condiciones de vacío. El agua pasa de estado sólido a estado gaseoso, sin que el alimento se descongele. En esta etapa se elimina alrededor del 90% de humedad del producto.

La última etapa es la deshidratación secundaria. Aquí el agua residual del alimento es eliminada por evaporación. Esto ocurre manteniendo las condiciones de vacío en la cámara, y permitiendo un aumento de temperatura en un rango entre 20°C y 60 °C, con el fin de obtener productos con una humedad final de alrededor de 2%.

1.4.4 Naranjilla

1.4.4.1 Descripción de la naranjilla

La naranjilla de especie *Solanum quitoense* Lam y de variedad INIAP Quitoense 2009, se encuentra en la región andina de Colombia y Ecuador (Heiser & Anderson, 1999). Este fruto crece entre 500 y 2000 msnm, en lugares frescos y sombreados y con temperaturas que oscilan entre 17 y 20 °C. En estado de madurez comestible, el fruto es de color amarillo-anaranjado intenso y en su interior tiene 4 carpelos, que contiene pulpa de color verde y numerosas semillas.(Brito, Vasquez, & Lopez, 2012).

En Ecuador, el área de naranjilla cultivada llega a las 12.000 hectáreas y su producción va en aumento, debido a que este producto tiene una alta demanda nacional e internacional. Aproximadamente, el 60% de la producción nacional de naranjilla es de la variedad llamada híbrido – Puyo, un 35% corresponde al híbrido INIAP- Palora y el 5% restante corresponden a la naranjillas conocidas como “común” (Fiallos, 2000).

La naranjilla se consume como fruta fresca, pero el producto que más se comercializa es como pulpa congelada (Brito et al., 2012). En la actualidad, la tendencia por el consumo de frutas deshidratadas para

infusiones está incrementando a nivel mundial (Romero, Díaz, & Aguirre, 2016), por lo que su comercialización como producto deshidratado podría resultar interesante en los próximos años.



Figura 1.3 Naranjilla *Solanum quitoense* Lam

Fuente: (Seeds Gallery, 2012)

1.4.4.2 Composición química de la naranjilla

En la **Tabla 1.1**, se observa el contenido en macro y micro nutrientes de la de la naranjilla para 100g de fruta.

Tabla 1.1 Pulpa de naranjilla o lulo

Aproximaciones	Unidad	Valor en 100 g
Agua	g	93,05
Energía	Kcal	25
Proteína	g	0,44
Total lípidos	g	0,22
Carbohidratos	g	5,9
Total azúcar	g	3,74
MINERALES		
Calcio, Ca	mg	8
Hierro, Fe	mg	0,35
Magnesio, Mg	mg	11
Fosforo, P	mg	12
Potasio, K	mg	200
Sodio, Na	mg	4
VITAMINAS		
Vitamina C	mg	3,2
Vitamina A	µg	28

Fuente:(USDA, 2016)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En esta sección se detalla las características de la materia prima que se deshidrató. Además, se describen los equipos que se usaron durante el proceso y se detallan materiales y métodos empleados en la parte experimental para la determinación de las características fisicoquímicas y actividad antioxidante del producto deshidratado.

2.1 Plan de trabajo

En la **Figura 2.1**, se muestra el diagrama de flujo para la obtención de naranjilla deshidratada, que será procesada en diferentes equipos, para finalmente analizar sus parámetros fisicoquímicos y su actividad antioxidante.

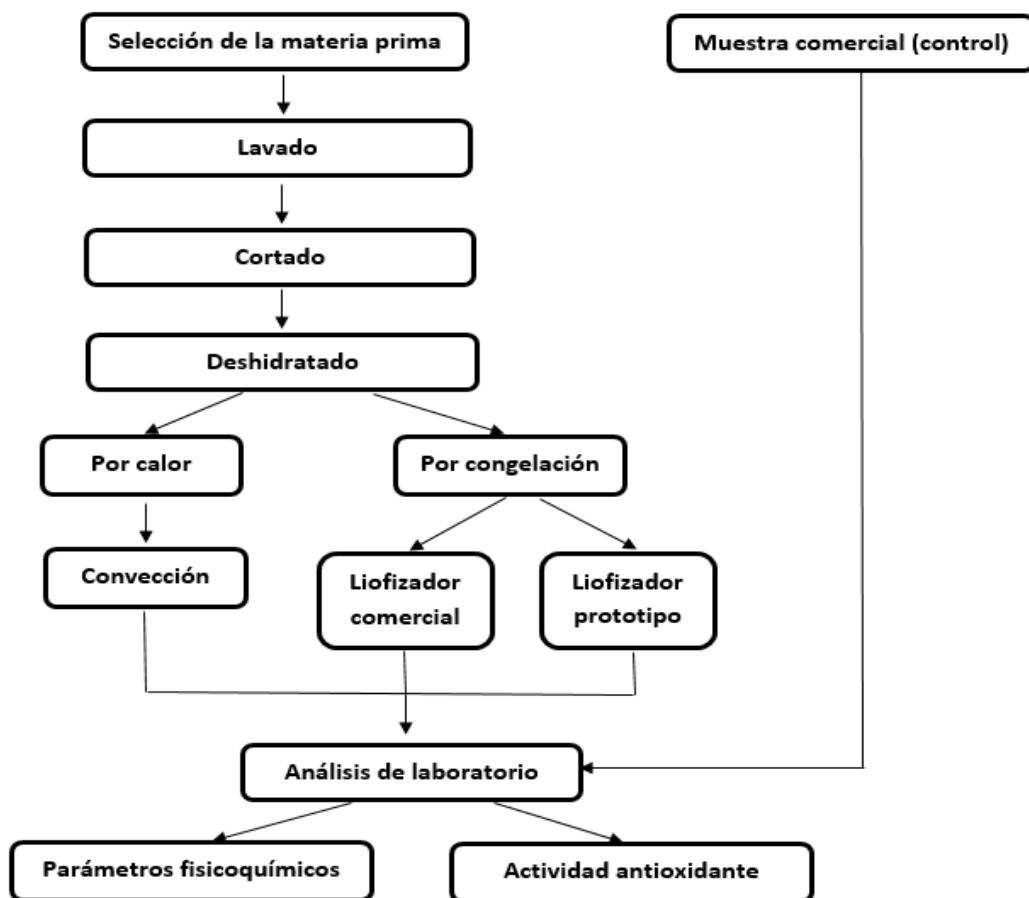


Figura 2.1 Diagrama de flujo para la obtención de naranjilla deshidratada

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

2.1.1 Selección de la materia prima

Se seleccionó naranjilla con un estado de madurez # 5 (NTE INEN 2303). Esta variedad es la más demandada debido al sabor y olor característico que presenta (INIAP, 2012).

En la **Tabla 2.1**, se puede observar las características fisicoquímicas que debe cumplir una naranjilla de grado de madurez # 5 (INIAP, 2012).

Tabla 2.1 Características fisicoquímicas de la naranjilla INIAP Quitoense 2009

PARÁMETROS	GRADOS DE MADUREZ: 5
Solidos Solubles(°Brix)	10,85
pH	2,72
Acidez (g de ácido cítrico/ 100 g de producto)	2,56

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

2.1.2 Lavado

Las naranjillas se remojaron con agua potable para eliminar todas las impurezas externas y posteriormente se lavaron con una solución de hipoclorito de sodio a una concentración de 5 ppm.

2.1.3 Cortado

Las naranjillas se cortaron en rodajas con un espesor de 5 ± 0.5 mm, ya que espesores menores producirán problemas de fragilidad durante el secado (Reino, 2016).

2.1.4 Deshidratado

Para la deshidratación de naranjilla se emplearon 3 equipos: una estufa, un liofilizador comercial y el liofilizador prototipo.

2.1.4.1 Estufa

Se utilizó una estufa de marca Memmert. Las temperaturas seleccionadas para el estudio fueron 40 °C, 50 °C y 60 °C, con tiempos

de secado de 6, 12, 18 y 24 horas, y una velocidad de flujo de aire de 1 m. s⁻¹.

2.1.4.2 Liofilizador comercial

En este proceso de deshidratado por congelación se utilizó un liofilizador de marca Labconco, con una temperatura de -48 °C y una presión de 0,104 mbar, durante 3 días.

2.1.4.3 Liofilizador prototipo

Para este proceso se utilizó el prototipo desarrollado en el proyecto multidisciplinario. Este equipo está compuesto de 2 sistemas, refrigeración y vacío, donde el sistema de vacío tiene la capacidad de generar vacío a presión nominal de 0.03 mbar, mientras que el sistema de refrigeración tiene la capacidad de alcanzar una temperatura de -40°C en el serpentín evaporador. Hay que recalcar que el equipo se encuentra en etapa experimental.

2.1.5 Análisis de laboratorio

2.1.5.1 Parámetros fisicoquímicos

En la **Tabla 2.2**, se muestra los análisis fisicoquímicos que se van a realizar a la muestra control, a las deshidratadas por secado convectivo y a las liofilizadas por los dos equipos, siguiendo los métodos propuestos por las normas INEN y AOAC. Todos los análisis de laboratorio se realizaron por triplicado.

Tabla 2.2 Ensayos físico-químicos

Parámetros	Método
Actividad de agua	AOAC 978.18
Determinación de la humedad	AOAC 925.10
Determinación de pH	NTE INEN-ISO 1842:2013
Determinación de acidez titulable	NTE INEN-ISO 750:2013

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

2.1.5.1.1 Determinación de la actividad de agua (Aw)

La actividad de agua es la cantidad de agua disponible o libre que contiene un alimento. La medición de este parámetro para las muestras de naranjilla se realizó en el equipo Aqualab Series 3.

2.1.5.1.2 Determinación de la humedad

El contenido de humedad es un indicador de calidad en la conservación de diversos tipos de alimentos, debido a que afecta directamente a las reacciones oxidativas y el crecimiento microbiano en el alimento. Para la determinación de este parámetro se usó una termobalanza de marca Kern y modelo MLB-50-3.

2.1.5.1.3 Determinación del potencial de hidrógeno (pH)

El pH consiste en la medida de la acidez o alcalinidad de una solución. Se determinó el pH de las muestras de naranjilla mediante un potenciómetro de marca Boeco y modelo BT-600.

2.1.5.1.4 Determinación de la acidez titulable

La determinación de la acidez de la naranjilla se realizó mediante titulación, usando una solución de hidróxido de sodio estándar y fenolftaleína como indicador. La cantidad de hidróxido de sodio consumido es proporcional a la acidez de la solución.

2.1.5.2 Actividad antioxidante

La actividad antioxidante determinada por el método ORAC, se realizó a la muestra control, a la muestra secada conectivamente seleccionada y a las muestras liofilizadas.

2.1.5.2.1 Capacidad antioxidante (ORAC)

El método ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) se basa en medir la disminución de la fluorescencia provocada por la proteína fluoresceína como resultado del daño oxidativo causado por una

fuente de radical peróxido. Este método mide la capacidad de los antioxidantes en la muestra para proteger la proteína fluoresceína del daño provocado por los radicales libres. Para cuantificar el grado de protección del antioxidante se utiliza Trolox como estándar (análogo de la vitamina E) (Cornucopia, 2004).

2.1.6 Muestra comercial

Para nuestro estudio se usó como muestra control rodajas deshidratadas de naranjilla comerciales que se venden al público para su consumo como infusión. Los parámetros físico-químicos (A_w , humedad, acidez y pH) y la actividad antioxidante de la muestra control se pueden observar en la siguiente tabla (**Tabla 2.3**)

Tabla 2.3 Parámetros fisicoquímicos y actividad antioxidante de la muestra control

Parámetros fisicoquímicos				Actividad antioxidante
Actividad de Agua	Humedad (%)	Acidez (%)	pH	µmoles de Trolox/g muestra
0,440±0,001	10.78±0,02	6,156±0,107	3,215±0,103	229,898 ± 17,54

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

Estos parámetros referenciales fueron comparados con naranjillas secadas por convección a temperaturas de 40°C, 50°C y 60°C y tiempos de 6h, 12h, 18h y 24h, con el fin de encontrar la combinación tiempo y temperatura que reprodujera una muestra similar (parámetros fisicoquímicos y actividad antioxidante) a la misma. Además, la muestra control fue comparada con las muestras deshidratadas con un liofilizador comercial y por el prototipo diseñado.

2.2 Diseño de experimentos

Se realizó un diseño de experimentos para evaluar las variables de respuesta correspondiente a las características fisicoquímicas y analizar como los factores tiempo y temperatura afectan las mismas. El factor tiempo a emplear en el estudio consta con 4 niveles (6h, 12h, 18h y 24 h) y el factor temperatura de 3 (40°C, 50°C y 60°C). Todos los parámetros fueron evaluados por triplicado por lo que se obtuvieron un total de 36

experimentos. En el estudio se trabajó con un nivel de confianza del 95% usando el software estadístico Minitab 18.

2.2.1 Análisis de residuos

Para cada variable de respuesta se realizó un análisis de residuos con el fin de examinar la bondad de ajuste del análisis de varianza, implementando hipótesis. Si se cumplen los supuestos, entonces la regresión de mínimos cuadrados ordinarios producirá estimaciones de coeficientes sin sesgo con la varianza mínima (Minitab Inc, 2017).

2.2.2 Análisis de varianza (ANOVA)

En el diseño de experimentos se estableció una hipótesis nula y una alterna para verificar si los factores de tiempo y temperatura afectan o no a las variables respuesta; que en este caso son los parámetros fisicoquímicos analizados: Aw, humedad, acidez y pH. El estudio se llevó a cabo bajo un nivel de confianza del 95 %.

Hipótesis 1: Parámetros fisicoquímicos

Ho: Los factores de tiempo y temperatura y la interacción entre los mismos no afectan a los parámetros fisicoquímicos.

H1: Los factores de tiempo y temperatura y la interacción entre los mismos afectan a los parámetros fisicoquímicos.

Se establece los siguientes supuestos: Si el valor $p > \alpha$, no se rechaza la hipótesis nula (H_0), por el contrario, si el valor $p < \alpha$, se rechaza la hipótesis nula.

Al realizar el diseño de experimentos, se procedió a ejecutar un análisis de varianza de un solo factor con un nivel de confianza del 95 %, analizando de este modo las medias de los resultados de los parámetros fisicoquímicos y de actividad antioxidante. A la vez, se utilizó la prueba

Fisher para comparar los parámetros fisicoquímicos de las muestras obtenidas por secado convectivo y la muestra control. De este modo se podrá definir que combinación tiempo-temperatura será la más idónea para obtener rodajas mediante secado convectivo que presenten características fisicoquímicas (actividad de agua y humedad) y actividad antioxidante similares a la muestra control.

Hipótesis 2: Análisis de medias

Ho: Las medias entre los parámetros fisicoquímicos y las medias de actividad antioxidante son iguales.

H1: Las medias los parámetros fisicoquímicos y las medias de actividad antioxidante son diferentes.

2.3 Comparación de colores entre las muestras deshidratadas

Se realizó una comparación de colores de las muestras deshidratadas, tomando como referencia la tabla de colores que se encuentra en la norma NTE INEN 2303:2009. Esta tabla de colores representa los diferentes estados de madurez de la naranjilla. En nuestro caso la naranjilla seleccionada fue la que presenta grado de madurez 5, por lo que el color de las muestras deshidratadas en el estudio serán comparadas con esta.

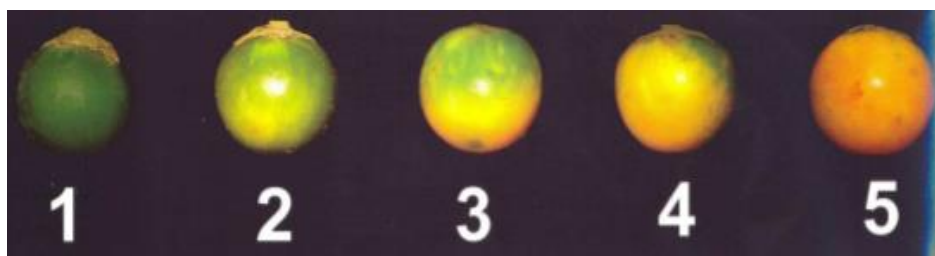


Figura 2.2 Tabla de colores de la naranjilla

Fuente: INEN, 2009

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1 Análisis estadístico de los parámetros físico-químicos de las muestras secadas por convección.

Los valores máximos y mínimos de los parámetros fisicoquímicos de las muestras deshidratadas por secado convectivo se pueden observar en la tabla **Tabla 3.1**

Como se puede apreciar en la tabla, los valores máximos de actividad de agua y de humedad se obtuvieron a una temperatura de 40°C durante 6 horas de tratamiento, siendo estos de $59,497 \pm 0,492$ y $0,707 \pm 0,006$, respectivamente. Estos resultados sugieren que tiempos más cortos de tratamiento a temperaturas de 40°C darían valores de actividad de agua y humedad menores.

Con respecto a los valores mínimos de actividad de agua se obtuvo a una temperatura de 50°C en 24 horas, con un valor de $0,311 \pm 0,008$, pero estadísticamente este valor es semejante a la actividad de agua obtenida a una temperatura de 60°C en 24 horas, con un valor de $0,317 \pm 0,01$. Estos resultados ponen de manifiesto que posiblemente se ha llegado a la actividad de agua mínima del producto. Por otra parte, el mínimo de humedad se obtuvo a una temperatura de 60°C durante 24 horas ($5,206 \pm 0,115$).

Para el parámetro pH se obtuvo valores máximos de $3,670 \pm 0,069$ a una temperatura de 50°C en 12 horas y valores mínimos de $3,142 \pm 0,080$ a una temperatura de 40°C en 18 horas. Finalmente, para la acidez se obtuvo valores máximos de $7,070 \pm 0,233$ a una temperatura de 40°C en 6 horas y mínimos de $5,496 \pm 0,327$ a una temperatura de 50°C a 12 horas.

A su vez, mediante el análisis de varianza se determinó si existieron diferencias significativas entre los resultados de los parámetros fisicoquímicos, los resultados sugieren, que tanto para las temperaturas de 40°C y 50°C, existieron cambios significativos en los valores de actividad de agua y humedad ($p < 0.005$), en los tiempos establecidos (6h, 12h, 18h y 24h)., sin embargo, cuando se opera a 60°C en los tiempos de 6h, 12h, 18h y 24h, no existe diferencia significativa en el parámetro actividad de agua, pero si en el parámetro humedad. La acidez se mantuvo en las muestras, sin importar la temperatura de operación, sin embargo, ocurre lo contrario en el pH al operar a 50°C y 60°C.

Simultáneamente, se compararon los resultados de las características fisicoquímicos mediante el método de comparación de medias de Fisher. Se analizaron en un mismo tiempo, pero a diferentes temperaturas y a una misma temperatura, pero a diferentes tiempos, donde los resultados que comparten la misma letra son similares, como se representa en la **Tabla 3.1**.

Tabla 3.1 Medias de los parámetros fisicoquímicos

Actividad de Agua (Aw)				Humedad (%)		
Tiempo (h)	40°C	50°C	60°C	40°C	50°C	60°C
6	0,707±0,006 c D	0,431±0,003 b D	0,335±0,011 a A	59,497±0,492 c D	10,780±0,399 b D	7,250±0,302 a D
12	0,654±0,007 c C	0,422±0,004 b C	0,334±0,009 a A	47,810±0,172 c C	10,157±0,076 b C	6,353±0,118 a C
18	0,499±0,013 c B	0,356±0,009 b B	0,323±0,007 a A	21,243±0,365 c B	9,266±0,257 b B	5,813±0,307 a B
24	0,380±0,005 b A	0,311±0,008 a A	0,317±0,011 a A	14,313±0,258 c A	8,443±0,289 b A	5,206±0,115 a A
pH				Acidez (%)		
Tiempo (h)	40°C	50°C	60°C	40°C	50°C	60°C
6	3,242±0,082 a A	3,293±0,033 a A	3,373±0,025 a C	7,070±0,233 b A	5,840±0,367 a A	5,890±0,380 a A
12	3,252±0,090 a A	3,670±0,069 b B	3,633±0,046 b B	6,593±0,287 b A	5,496±0,327 a A	5,740±0,366 a A
18	3,142±0,080 a A	3,278±0,053 b A	3,265±0,044 b A	6,296±0,339 a A	5,676±0,335 a A	6,156±0,332 a A
24	3,205±0,037 a A	3,335±0,078 a A	3,235±0,046 a A	6,343±0,551 a A	5,946±0,222 a A	6,600±0,262 a A

Las letras minúsculas muestran diferencia significativa entre las filas

Las letras mayúsculas muestran diferencia significativa entre las columnas

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

En la **Tabla 3.2** se detalla el análisis de varianza del diseño de experimentos para determinar cómo los factores tiempo, temperatura y la interacción entre ambos afectan a los parámetros fisicoquímicos de las rodajas de naranjilla deshidratadas por secado convectivo.

Los resultados ponen de manifiesto que los parámetros actividad de agua, humedad y pH son afectados por los parámetros temperatura, tiempo y la interacción entre ambos (temperatura*tiempo), ya que presenta valores ($p < 0.05$). Por lo contrario, la característica acidez solo es afectada por los parámetros temperatura y la interacción entre ambos (temperatura*tiempo), ya que presenta valores ($p < 0.05$) y no es afectado por el tiempo por presentar un valor ($p > 0.05$), por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 3.2 Análisis de varianza de las características fisicoquímicas de las muestras tratadas por secado convectivo

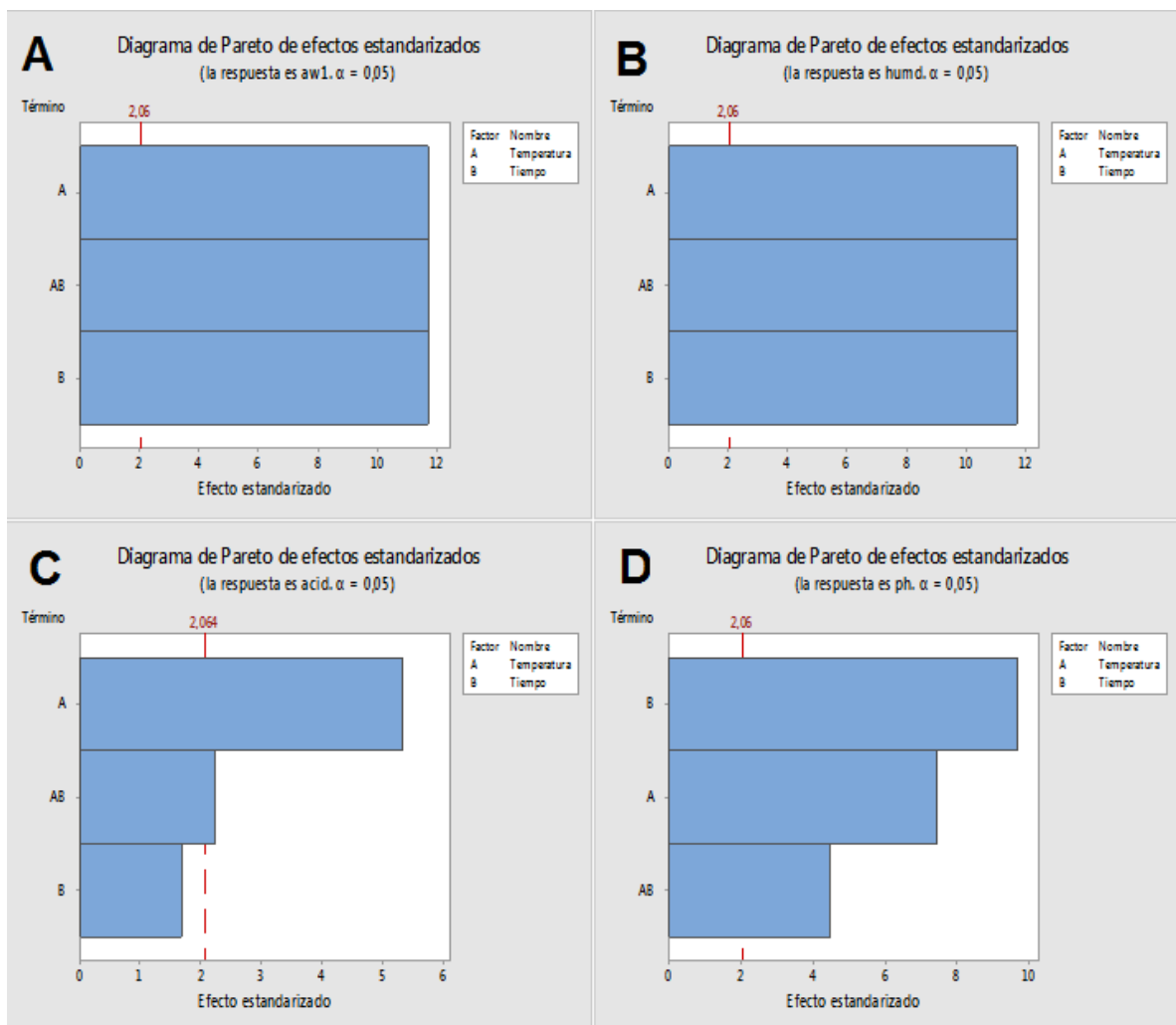
Actividad de agua					
Fuente	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Temperatura	2	0,3569	0,17843	2674,15	0,000
Tiempo	3	0,1374	0,0458	686,36	0,000
Temperatura * Tiempo	6	0,0913	0,01522	228,05	0,000
Error	24	0,0016	6,7E-05		
Total	35	0,5871			
Humedad (%)					
Fuente	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Temperatura	2	6260	3129,99	37588,7	0,000
Tiempo	3	1626,1	542,04	6509,5	0,000
Temperatura * Tiempo	6	2528,2	421,37	5060,36	0,000
Error	24	2,0	0,08		
Total	35	10416			
Acidez (%)					
Fuente	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Temperatura	2	4,2058	2,1029	5,31	0,000
Tiempo	3	0,8025	0,2675	1,09	0,106
Temperatura * Tiempo	6	1,9595	0,3266	0,79	0,034
Error	24	2,8315	0,118		
Total	35	9,7994			
pH					
Fuente	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Temperatura	2	0,2464	0,12322	33,69	0,000
Tiempo	3	0,4655	0,15518	42,43	0,000
Temperatura * Tiempo	6	0,162	0,02699	7,38	0,000
Error	24	0,0878	0,00366		
Total	35	0,9617			

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

En la **Figura 3.1**, se puede observar el diagrama de Pareto de efectos estandarizados para las características fisicoquímicas, la cual, identifico gráficamente si los parámetros tiempo, temperatura y la interacción entre ellas afectaron a las características fisicoquímicos.

Esta figura está dividida por 4 secciones (**A, B, C y D**). Como se puede apreciar en las secciones **A, B y D**, los parámetros tiempo y temperatura y la interacción entre ambos afectaron a la actividad de agua, humedad y el pH,

debido a que las barras de los factores cruzan la línea de referencia e indica que estadísticamente son significativas. En lo referente a la característica de acidez (sección **C**), se puede observar que solo los parámetros temperatura y la interacción entre ambos la afectaron, sin embargo, el parámetro tiempo no afecto a la acidez, debido a que la barra del parámetro tiempo no paso la línea de referencia y por lo tanto indica que estadísticamente no son significativas.



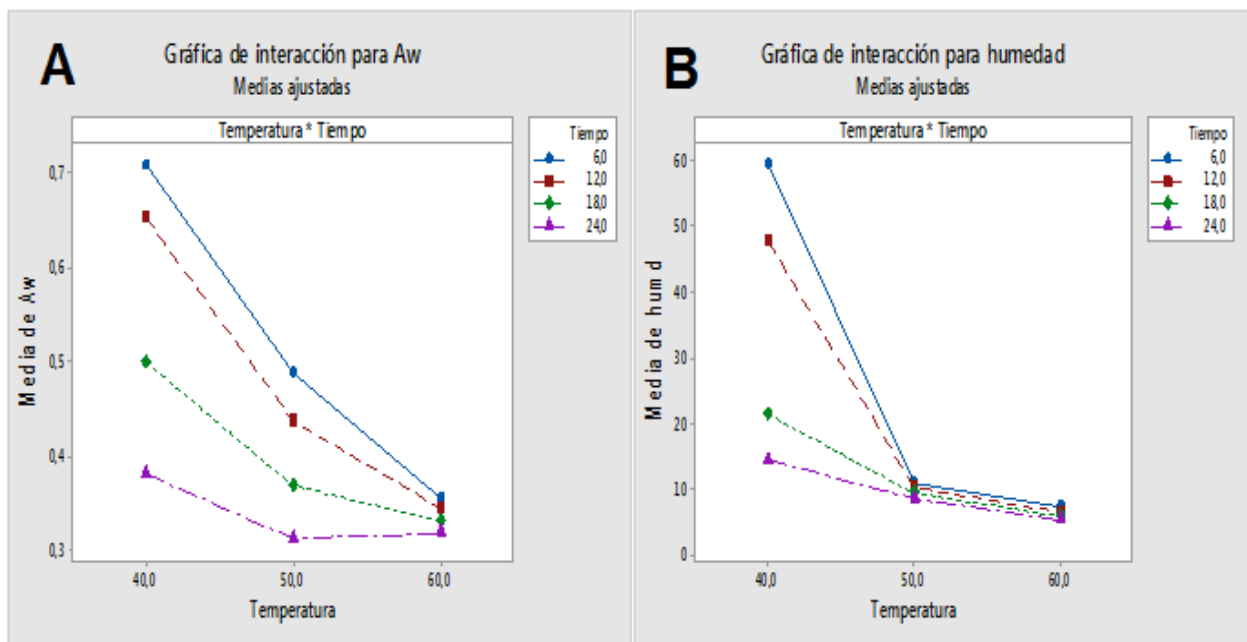
A: Actividad de agua **B:** Humedad **C:** Acidez **D:** pH

Figura 3.1 Diagrama de pareto para los parámetros fisicoquímicos

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

En la **Figura 3.2**, se muestra la gráfica de interacciones de las características actividad de agua y humedad ya que fueron las más influyentes en la variabilidad de los resultados obtenidos.

La figura está dividida por 2 secciones (**A y B**). En la sección **A**, se puede observar que al aumentar la temperatura existen diferencias significativas en los valores de actividad de agua en los diferentes tiempos establecidos. A la temperatura de 60°C, se puede apreciar que no hay diferencia significativa entre los valores de actividad de agua en los tiempos analizados. En lo referente a la humedad (sección **B**), se puede observar que el aumento de la temperatura produjo diferencias significativas en los valores de humedad, pero a los 50°C y 60°C no hay diferencia significativa notable, entre los valores de humedad obtenidos, debido a la cercanía de sus resultados en los tiempos establecidos.



A: Actividad de agua **B:** Humedad

Figura 3.2 Gráfica de interacciones de los parámetros actividad de agua y humedad

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

3.2 Análisis comparativo de los parámetros fisicoquímicos entre muestras deshidratadas por secado convectivo y la muestra control.

Las características fisicoquímicas (A_w , humedad, acidez y pH) de las muestras deshidratadas por secado convectivo se compararon estadísticamente con la muestra control con el fin de encontrar la que más se asemejaba a la misma (**Tabla 3.3**).

Los resultados estadísticos obtenidos pusieron de manifiesto que el tratamiento convectivo llevado a cabo a temperaturas de 50 °C durante 6 horas resultó ser el más idóneo para obtener rodajas de naranjilla deshidratadas con características fisicoquímicas similares a la muestra comercial.

Tabla 3.3 Comparación en parejas de Fisher

Actividad de agua			
Factor	N	Media	Agrupación
Aw C	3	0,440	A
Aw6-50	3	0,431	A B
Aw 12-50	3	0,422	B
Aw24-40	3	0,380	C
Aw 6-60	3	0,335	D
Humedad			
Factor	N	Media	Agrupación
Humd 24-40	3	14,313	A
Humd 6-50	3	10,782	B
Humd C	3	10,780	B
Humd 12-50	3	10,156	C
Humd 6-60	3	7,250	D
Acidez			
Factor	N	Media	Agrupación
Acid 40-6	3	6,343	A
Acid C	3	6,156	A B
Acid 60-6	3	5,89	A B
Acid 50-6	3	5,847	A B
Acid 50-12	3	5,497	B
pH			
Factor	N	Media	Agrupación
pH 50-12	3	3,67	A
pH 60-6	3	3,373	B
pH 50-6	3	3,293	B C
pH C	3	3,215	C
pH 40-6	3	3,205	C

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

3.3 Análisis comparativo de los parámetros fisicoquímicos entre la muestra fresca, muestra control, la muestra seleccionada deshidratada por secado convectivo y las muestras liofilizadas.

Para este análisis comparativo se tomaron en cuenta los parámetros fisicoquímicos de la muestra control, la muestra seleccionada deshidratada por secado convectivo y las muestras liofilizadas. (**Tabla 3.4**)

Los resultados obtenidos evidencian en los dos tratamientos de liofilización realizados (liofilizador comercial y prototipo), se consiguió reducir los parámetros de la humedad respecto a la muestra comercial y la obtenida por secado convectivo. El contenido de humedad se redujo aproximadamente de 10% a 6,27 %.

Cabe señalar que, en los dos procesos de liofilización, se consigue alcanzar valores de humedad inferiores al 10% con respecto a la muestra fresca, obteniéndose valores más bajos con el prototipo diseñado.

Respecto a la actividad de agua, se mantuvo similar en todos los tratamientos a excepción de la deshidratación con el prototipo. El hecho de que los valores de humedad y de actividad de agua sean menores en las muestras deshidratadas con el liofilizador prototipo puede ser atribuido a la cantidad de muestra colocada y a la distribución de las mismas en el equipo.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto el correcto funcionamiento del equipo diseñado ya que se consigue muestras con un contenido de humedad y actividad de agua similares a las obtenidas con un liofilizador comercial.

Tabla 3.4 Parámetros fisicoquímicos de muestras liofilizadas y deshidratadas por secado convectivo

Muestra	Humedad (%)	Actividad de Agua (Aw)
Control	10,78±0,02	0,440±0,001
50°C-6h	10,780±0,40	0,431±0,003
Liofilizador comercial	8,736±0,26	0,434±0,015
Liofilizador prototipo	6,27±0,08	0,338±0,001

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

3.4 Análisis comparativo de actividad antioxidante entre las muestras deshidratadas por calor y las muestras liofilizadas

Una vez comparado los parámetros de actividad de agua y de humedad de las muestras deshidratadas por secado convectivo y las muestras liofilizadas, se procedió a determinar la actividad antioxidante de las mismas (**Tabla 3.5**). Como se puede observar todos los tratamientos usados para la deshidratación de naranjilla mostraron mayor actividad antioxidante que la muestra control ($p < 0.05$). Además, se puede evidenciar que en las 2 muestras liofilizadas se obtuvieron valores más altos de actividad antioxidante que en las muestras deshidratadas por secado convectivo. Esto nos indica el secado por liofilización reduce las pérdidas de la actividad antioxidante con respecto al secado convectivo.

Tabla 3.5 Actividad antioxidante

Actividad antioxidante	
Muestra	$\mu\text{moles de Trolox/g muestra}$
Muestra control	229,898 \pm 17,54 a
50°C 6h	306,979 \pm 16,05 b
Liofilizador Comercial	435,179 \pm 33,88 c
Liofilizador Piloto	440,622 \pm 16,90 c

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

3.5 Análisis comparativo de color de las muestras deshidratadas por calor y por congelación

Se puede observar en la **Figura 3.5**, que al secar por convección las muestras de naranjilla se presentan cambios de color en su pulpa y piel de las mismas. Estos cambios de color van en aumento al incrementar tanto el tiempo y la temperatura que ha sido expuesta la muestra de naranjilla.

En nuestra experimentación, las rodajas de naranjillas fueron expuestas a 40°C, 50°C y 60°C, en los tiempos establecidos (6h, 12h, 18h y 24h). Se evidencio que a los 40°C no hay cambios considerables de color con respecto a la naranjilla en su estado natural, pero a partir de las 50°C y 60°C, se

presentaron cambios de color de las muestras secadas por estufa, donde las muestras tomaron una coloración café oscura, debido al pardeamiento enzimático y no enzimático (Reacción Maillard) y son visualmente no aceptables. Con respecto a las muestras de naranjillas liofilizadas, no presentaron cambios de color con respecto a la naranjilla en su estado natural, debido a que en este proceso las muestras son expuestas a bajas temperaturas y presiones. Por lo tanto, las muestras no sufren de reacciones enzimáticas y no enzimáticas, que producen el cambio de coloración.



Figura 3.3 Rodajas de naranjilla deshidratadas por calor y liofilizadas

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

3.6 Análisis de costo

En esta sección, se explicará los costos de producción de 0.1 Kg de naranjilla liofilizada, para elaborar paquetes de naranjilla liofilizada en presentación de 12g, la cual, están conformados por los costos de equipos, la depreciación de equipos y utensilios, costos directos y los costos indirectos.

En la **Tabla 3.6**, se muestra los datos de producción para elaborar naranjilla liofilizada. Donde se obtuvo 0.1 Kg de naranjilla liofilizada, partiendo de 1 Kg de naranjilla en un tiempo de producción de 72 horas.

Tabla 3.6 Datos de producción

Producto: Naranja liofilizada	
Cantidad de naranja	1 Kg
Producción estimada	0,1 Kg
Tiempo de producción	72 h

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

En la **Tabla 3.7**, se muestra la depreciación de la maquinaria (congelador, liofilizador y selladora) y de los utensilios (tablas, gavetas y cuchillos), donde el tiempo de vida útil de los equipos y utensilios varía entre 5 a 15 años. Teniendo un total de depreciación por minuto de \$ 5,226.

Tabla 3.7 Depreciación de maquinaria y utensilios

Depreciación de maquinaria y utensilios						
Maquinarias y equipos a utilizar	Vida útil (años)	Minutos de vida útil	Valor de adquisición	Costo por minuto	Tiempo de uso (min)	Depreciación por Batch
Congelador	10	5.184.000	\$ 850,00	\$0,0001640	1440	\$ 0,236
Liofilizador	15	7.776.000	\$ 8.979,00	\$0,0011547	4320	\$ 4,988
Selladora	10	5.184.000	\$ 60,00	\$0,0000116	60	\$ 0,001
Utensilios	5	2592000	\$ 32	\$1,2346E-05	30	\$ 0,0004
Total						\$ 5,226

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

En la **Tabla 3.8**, se muestra los costos de materia prima para la elaboración de 1 Batch de rodajas de naranja liofilizadas. Se usó como materia prima: naranja y fundas coextruidas.

Se necesitó 1 kg de naranja con un precio por unidad de \$0,09 y un costo por kilogramo de \$0,8406 y 20 fundas coextruidas con un precio unitario de \$0,021, obteniendo un costo total de materia prima de \$1,26.

Tabla 3.8 Costo de materia prima

COSTO DE MATERIA PRIMA				
Materia Prima	Unidad de medida	Precio Unitario (\$)	Cantidad Batch	Total (\$)
Naranja	Kg	0,09	1	0,84
Fundas Coextruidas	Unidad	0,021	20	0,42
			Total	1,26

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

En la **Tabla 3.9**, se muestran los costos directos e indirectos para la producción de un Batch de rodajas de naranja liofilizada. Se obtuvo un valor total de costos directos de \$71,29, la cual está conformado por un sueldo por Batch de \$6 (jornadas de 4 horas), costo de energía de \$1,06, teniendo en cuenta que el costo por KW/h fue de \$0,09, costo de materia prima de \$1,26 (como se muestra en la **Tabla 3.8**), costos de utensilios de \$0.1 y costos de maquinarias de \$5,23 (como se muestra en la **Tabla 3.7**). Los costos de energía se encuentran detalladas en el Apéndice D.

Con respecto a los costos indirectos, se obtuvo un valor total de \$2,73. Que representa el 20% de los costos directos para procesar 1 kg de naranja. Finalmente, se obtuvo un valor total de \$16,38, obtenido de la suma de los costos directos e indirectos, para la elaboración de 100g de rodajas de naranjas liofilizadas.

Tabla 3.9 Costos directos e indirectos

COSTOS DIRECTOS	
Sueldo por batch	\$ 6,00
Energía por batch	\$ 1,06
Utensilios	\$ 0,10
Materia prima	\$ 1,26
Maquinarias	\$ 5,23
Total Costos directos	\$ 13,65
COSTOS INDIRECTOS	
Total costos indirecto	\$ 2,73
Total costos por Kg	\$ 16,38

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

En la **Tabla 3.10**, se muestra que se obtuvieron en total 8 unidades de naranjillas liofilizadas en una presentación de 12g, a partir de 100g obtenidos en un Batch. A su vez, se obtuvo un costo de producción por unidad de \$2,05 y un precio de venta al público de \$2,76, con una utilidad neta del 35%.

Tabla 3.10 Costos por unidad y precio de venta al público

Unidades a obtener	8
Costos de producción por unidad	\$2,05
Precio de venta	\$2,76

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las rodajas de naranjillas secadas a temperaturas de 40°C, 50°C y 60°C en tiempos de 6, 12, 18 y 24 horas, mostraron que tanto en las características fisicoquímicas de actividad de agua y humedad tuvieron cambios significativos ($p < 0,05$) al aumentar la temperatura y el tiempo, causando una disminución de los valores de actividad de agua y humedad.

Con respecto a pH no hubo diferencia significativa ($p > 0,05$) al aumentar la temperatura en los tiempos establecidos, con un valor promedio de 3,406. En lo referente a la acidez se obtuvo un valor máximo de $(7,070 \pm 0,233)$ y un valor mínimo de $(5,496 \pm 0,327)$. Estos valores pueden ser comparados con los resultados obtenidos en el estudio de realizado por (Jara, 2011), donde se obtuvo naranjilla deshidratada utilizando procesos térmicos de secado con aire forzado, con resultados similares de actividad de agua y humedad que decrecían al aumentar la temperatura, valores de pH promedio de 3 y una acidez variante entre 3 a 7.

Las muestras liofilizadas mostraron valores menores de actividad de agua y humedad comparado con las muestras deshidratadas por calor, también presentaron una reducción considerable al oscurecimiento enzimático producida por el calor, debido a que se mantuvo el color original de la naranjilla. Estos resultados son respaldados por (Colina, 2010), que indica que la liofilización es el método de deshidratación donde la mayor parte del agua del alimento es eliminada por sublimación y que nos permite obtener alimentos con mayor calidad por la reducción de reacciones no deseables, como el oscurecimiento enzimático.

La actividad antioxidante obtenidas de las muestras liofilizadas fue superior al valor de actividad antioxidante de las muestras deshidratadas por calor, donde (Ceballos-Ortiz & Jimenez-Munguía, 2012), indica que la deshidratación por calor elimina la

mayor porcentaje de componente termosensibles y que una alternativa para esta problemática son los procesos de deshidratación por congelación o un previo pretratamiento como la deshidratación osmótica.

4.1 Conclusiones

Los parámetros tiempo y temperatura producen modificaciones significativas en el contenido de actividad de agua, humedad y pH de las rodajas de naranjilla secadas.

Las condiciones del proceso de secado establecidas para obtener rodajas de naranjilla deshidratada con características fisicoquímicas (actividad de agua y humedad) similares a la muestra control fueron temperatura de 50 °C durante 6 horas. Bajo estas condiciones se obtuvieron muestras con mayor actividad antioxidante que la muestra control.

La naranjilla tratada por el liofilizador prototipo presentó mejores propiedades fisicoquímicas (actividad de agua y humedad), mejor color y mayor actividad antioxidante que la muestra tratada por convección y la muestra control. Asimismo, los resultados obtenidos son comparables a los obtenidos por liofilización comercial, verificando así el buen funcionamiento del equipo desarrollado.

El precio de venta al público proyectado para el producto elaborado, en presentación de 12g, es de \$2.76, por lo que puede ser considerado competitivo frente a opciones similares encontradas en el mercado, debido a que presenta mejores propiedades organolépticas (color).

4.2 Recomendaciones

Investigar y definir el tipo de empaque adecuado para los alimentos liofilizados, de manera que se protejan los compuestos funcionales y las características sensoriales obtenidas del proceso de liofilización.

Realizar un estudio para determinar la factibilidad del uso de alimentos liofilizados, como ingredientes en alimentos, para aumentar el valor nutricional y funcional.

Es necesario caracterizar la materia prima para trabajar con muestras que tengan características similares como la humedad y grado de madurez. Para esta manera, deshidratar en las mismas condiciones y tener resultados similares.

BIBLIOGRAFÍA

- Brito, B., Vasquez, W., & Lopez, P. (2012). Manejo Postcosecha, características físicas y nutricionales de la naranjilla para el desarrollo de pulpas y deshidratados. *INIAP*, 6. Obtenido de <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3331/1/iniapscpl386.pdf>
- Caliskan, G., & Dirim, S. N. (2017). Drying characteristics of pumpkin (*Cucurbita moschata*) slices in convective and freeze dryer. *Heat and Mass Transfer/Waerme-Und Stoffuebertragung*, 53(6), 2129–2141. <https://doi.org/10.1007/s00231-017-1967-x>
- Ceballos-Ortiz, E. M., & Jimenez-Munguía, M. T. (2012). Cambios en las propiedades de frutas y verduras durante la deshidratación con aire caliente y su susceptibilidad al deterioro microbiano. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*.
- Colina, M. L. (2010a). Deshidratación por Aire en Cama o Banda. In Trillas (Ed.), *Deshidratación de Alimentos* (1era edici, p. 215). Mexico D.F.
- Colina, M. L. (2010b). Deshidratación por congelación o liofilización. In Trillas (Ed.), *Deshidratación de Alimentos* (1era edici, p. 215). Mexico D.F.
- Cornucopia, C. (2004). Caracterización y evaluación funcional y de seguridad de compuestos bioactivos de frutas iberoamericanas como ingredientes alimentarios.
- Cuper, O. (1965). Liofilización Alimentaria. In *Deshidratación Artificial* (p. 12). Buenos Aires.
- Fiallos, J. (2000, May). Naranjilla "INIAP-PALORA." *INIAP*, 10. Retrieved from [http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Naranjilla INIAP PALORA. Híbrido interespecifico de alto rendimiento..pdf](http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Naranjilla_INIAP_PALORA_Hibrido_interespecifico_de_alto_rendimiento..pdf)
- Heiser, C., & Anderson, D. (1999). *Perspectives on New Crops and New Uses*. (J. Janick, Ed.) (1era edici). Virginia.
- Maupoey, P. F., Grau, A. M. A., Sorolla, A. M. A., & Baviera, J. M. B. (2001). Introducción Al Secado De Alimentos Por Aire Caliente. *Introducción Al Secado De Alimentos Por Aire Caliente*, 211.
- Reino, W. (2016). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6378/1/98T00109.pdf>
- Romero, I., Díaz, V., & Aguirre, A. (2016). Fortalecimiento de la cadena de valor de los snacks nutritivos con base en fruta deshidratada en El Salvador, 114. Retrieved from <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/40251>
- UNESCO. (2005). Guía de uso, secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes. *Cosude*, 1, 41. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- USDA. (2016). Naranjilla (lulo) pulp, frozen. Obtenido de <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2449?fgcd=&manu=&facet=&format=&count=&max=50&offset=&sort=default&order=asc&qlookup=lulo&ds=&qt=&qp=&qa=&qn=&q=&ing=>
- Maupoey, P. F., Grau, A. M. A., Sorolla, A. M. A., & Baviera, J. M. B. (2001). Introducción Al Secado De Alimentos Por Aire Caliente. *Introducción Al Secado De Alimentos Por Aire Caliente*, 211.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Valores p de Normalidad

Valor p						
Tiempo (h)	Actividad de agua			Humedad		
	40°C	50°C	60°C	40°C	50°C	60°C
6	0,375	0,487	0,122	0,596	0,110	0,565
12	0,183	0,334	0,214	0,186	0,169	0,083
18	0,620	0,415	0,620	0,194	0,200	0,130
24	0,285	0,604	0,487	0,388	0,279	0,627

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

Valor p						
Tiempo (h)	Acidez			pH		
	40°C	50°C	60°C	40°C	50°C	60°C
6	0,364	0,578	0,519	0,270	0,627	0,474
12	0,432	0,111	0,604	0,188	0,625	0,629
18	0,534	0,630	0,558	0,505	0,629	0,619
24	0,603	0,387	0,148	0,628	0,451	0,432

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

Valor p			
Muestra comercial			
Actividad de Agua	Humedad (%)	Acidez (%)	pH
0,631	0,596	0,487	0,438
Liofilizador Labconco: 0,104 mbar a -48 °C			
Actividad de Agua	Humedad (%)	Acidez (%)	pH
0,381	0,426	0,445	0,440

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

APÉNDICE B

Imágenes de naranjilla deshidratada

40° C



6h



12h



18h



24h

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

50° C



6h



12h



18h



24h

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

60° C



6h



12h






18h



24h

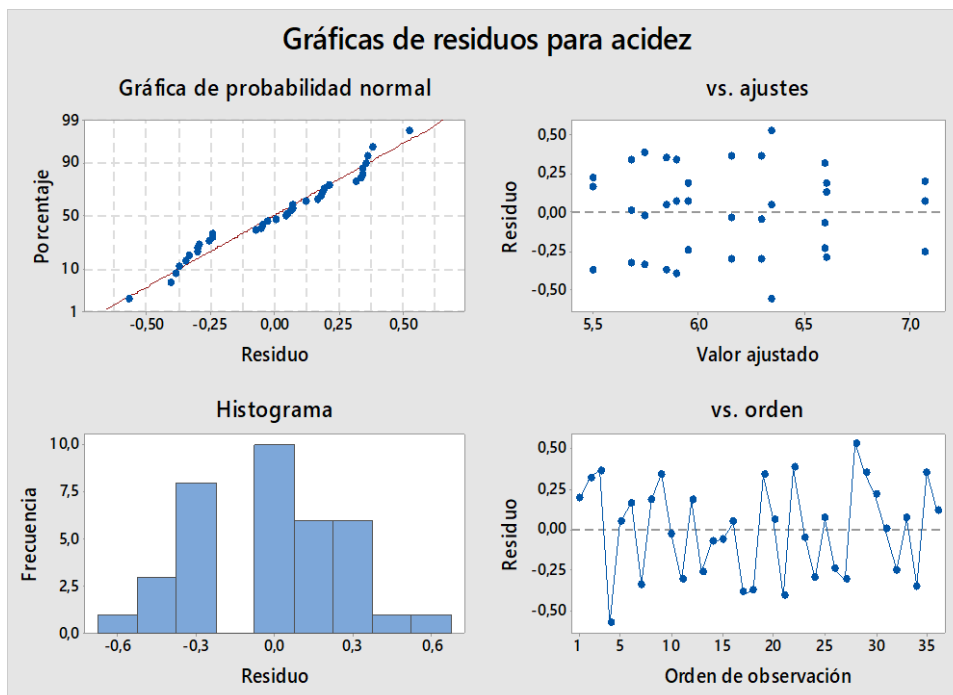
Fuente: Aizaga Miguel, 2018

Muestra S&C	50° C	Muestra Liofilizada
		
Infusión de naranjilla	6h	T: -48°C Presión:0, 104mbar

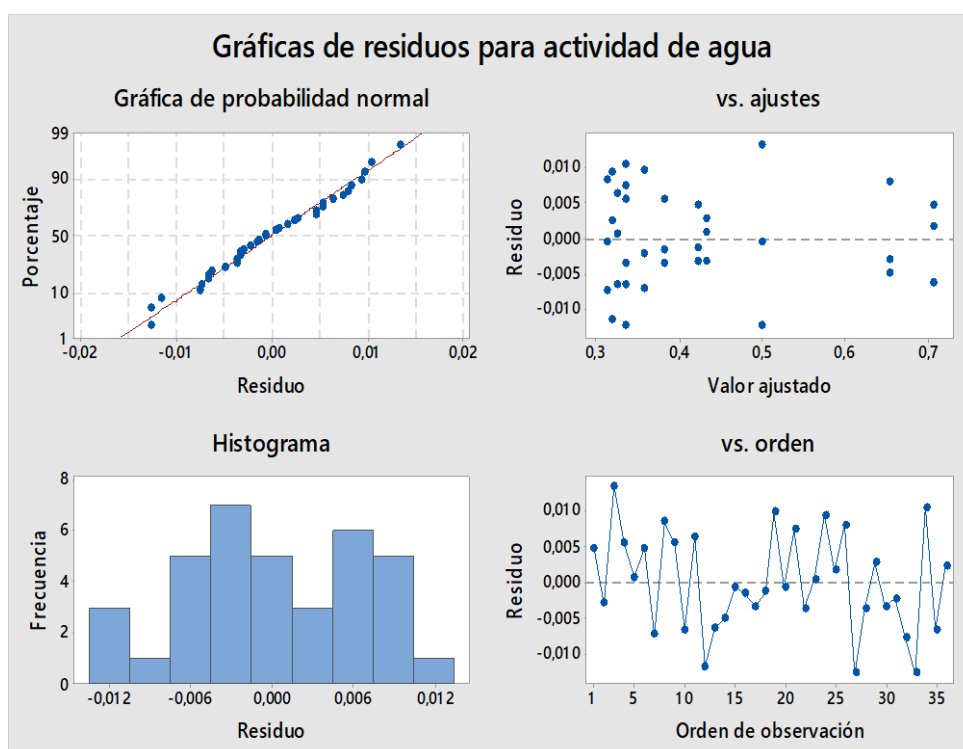
Fuente: Aizaga Miguel, 2018

APENDICE C

Diagrama de residuos de los parámetros fisicoquímicos

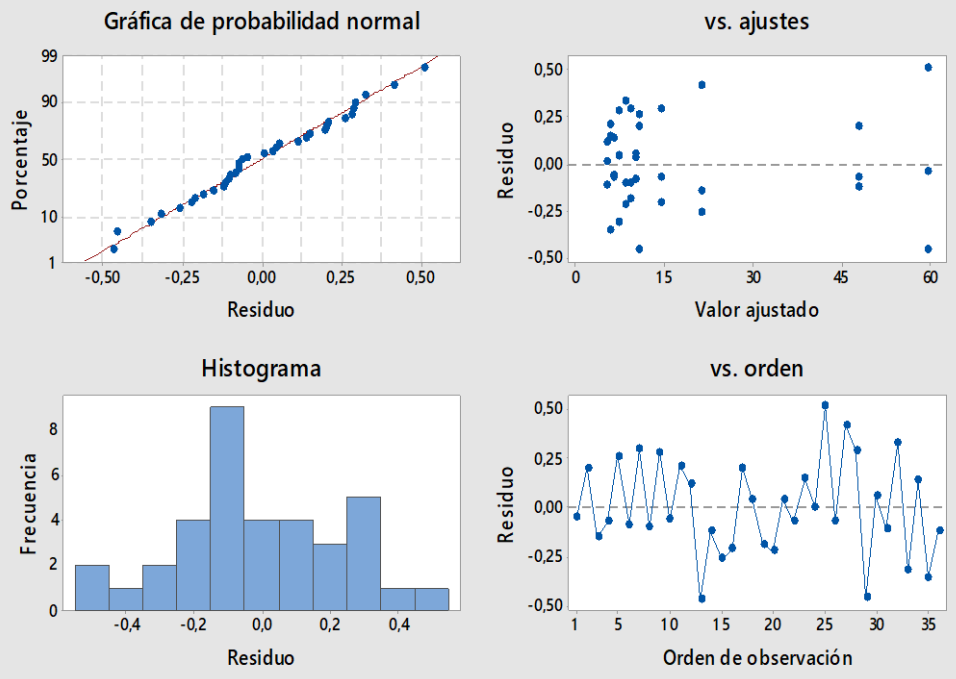


Fuente: Aizaga Miguel, 2018



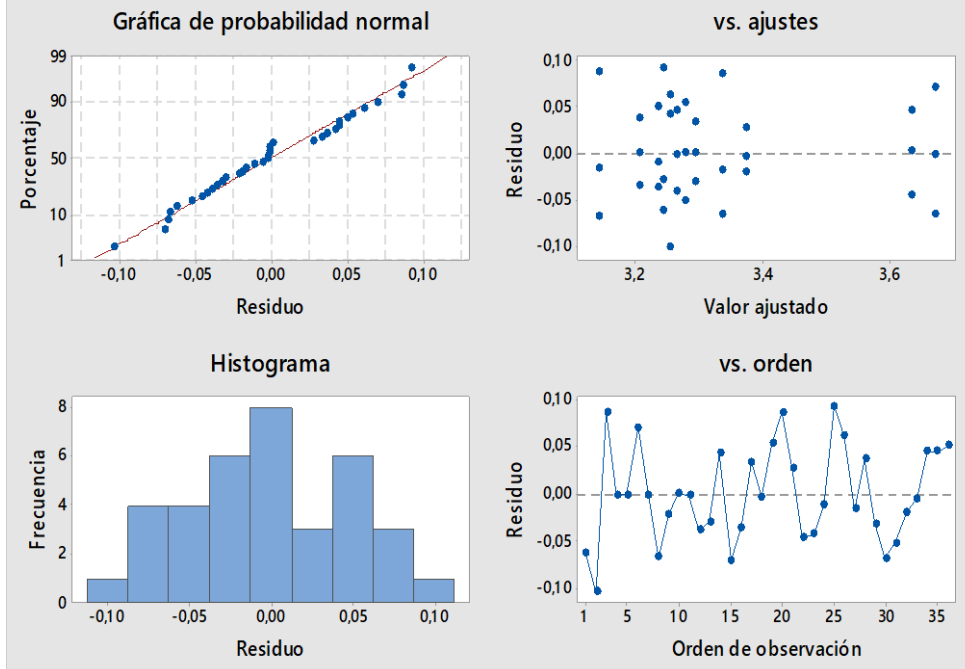
Fuente: Aizaga Miguel, 2018

Gráficas de residuos para humedad



Fuente: Aizaga Miguel, 2018

Gráficas de residuos para ph



Fuente: Aizaga Miguel, 2018

APENDICE D

Tablas de costos

Insumos	Costo [\$]
Cuchillos (1)	\$10
Tablas de picar(1)	\$6
Gavetas (2)	\$16
Total	\$32

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

Equipos	Costo [\$]
Congelador	\$850,00
Liofilizador	\$8.979,00
Selladora	\$60,00
Total	\$9.889,00

Fuente: Aizaga Miguel, 2018

Costo Energético	
Congelador	\$ 0,182
Liofilizador	\$ 0,743
Selladora	\$ 0,045
Total	\$ 1,059

Fuente: Aizaga Miguel, 2018