

REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS



UNIVERSIDAD
CIENFUEGOS
CIENFUEGOS

SEDE "CARLOS RAFAEL RODRIGUEZ"

FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE QUIMICA

TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO QUIMICO

**Título: Deshidratación combinada de la piña para su
conservación.**

Autor: Elianis Cabezas Medell

Cienfuegos, 2018



SEDE "CARLOS RAFAEL RODRIGUEZ"

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE QUIMICA

TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO QUIMICO

Título: Deshidratación combinada de la piña para su conservación.

Autor: Elianis Cabezas Medell

Tutores: MSc. Damisela Asea del Sol

Ing. Orlando Manuel Stable Rodríguez

Consultante: MSc. Reinier Jiménez Borges

Cienfuegos, 2018

The image features a decorative graphic of overlapping, wavy blue lines that create a sense of movement and depth. The lines are rendered in various shades of light blue and cyan, with some areas appearing more saturated than others, giving them a three-dimensional, ethereal quality. They flow across the bottom half of the page, starting from the left edge and extending towards the right.

Pensamiento

"Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber"

Albert Einstein



Dedicatoria

A mis padres por estar presente siempre en cada una de mis batallas, por ser también protagonistas de esta bella experiencia, a ellos por su esfuerzo constante, su sacrificio, apoyo, amor incondicional, a lo largo de toda mi vida.

GRACIAS!!! No me alcanzará la vida para agradecerles, pero sí me sobraré el amor y el respeto incondicional.

A decorative graphic consisting of several overlapping, wavy, translucent blue bands that create a sense of movement and depth. The bands are positioned in the lower half of the page, with the word 'Agradecimientos' overlaid on them.

Agradecimientos

A mis padres, Adael e Idalmis, y mi familia que me han brindado todo su amor y apoyo incondicional en la vida y durante todo mi período como estudiante.

A mi esposo Reinier por acompañarme en estos momentos especiales de mi vida y por siempre brindarme su amor, paciencia y ayuda.

A mis tutores que me brindaron su ayuda.

A mis compañeros del grupo por haber compartido estos cinco años, en los momentos buenos y malos en que nos vimos implicados.

Y a todos los que de una forma u otra participaron en esta etapa de mi vida.

Muchas Gracias

A decorative graphic consisting of several overlapping, wavy, translucent blue bands that create a sense of movement and depth. The bands are positioned in the lower half of the page, with the word 'Resumen' centered within them.

Resumen

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó la influencia de varias soluciones osmóticas en el proceso de deshidratación combinada de la piña para su conservación. Se elaboró una metodología a partir de un análisis experimental y una evaluación de expertos que permitió determinar que la solución de Jarabe de Sacarosa BD de todas las soluciones osmóticas garantizaba en mejor medida las propiedades organolépticas de la fruta. El análisis estadístico determinó que de las tres soluciones osmóticas que más ganancias de solutos aportaron fueron el Jarabe de Sacarosa BD (66 %), Miel B (64 %) y la Miel B rebajada (63 %) respectivamente, así como la mayor pérdida de peso para las rodajas de frutas fue a partir de la Miel C rebajada (78 %), la Miel B y Miel A rebajada con un 76 %. Finalmente, mediante un análisis de regresión lineal múltiple fue posible evaluar la influencia de las variables (⁰Brix, % de Agua, Temperatura) del Jarabe de Sacarosa BD en el peso de la fruta y obtener el modelo: $\text{Peso_Fruta BD} = -793,779 + 13,5751 * {}^0\text{Brix} - 11,4982 * \% \text{ de Agua} + 10,6665 * \text{Temperatura}$ para un valor de R^2 de 0,75 lo que indica que el modelo se ajusta correctamente para las condiciones evaluadas en el estudio.

Palabras claves: piña, deshidratación combinada, soluciones osmóticas, regresión lineal múltiple, modelo.



Abstract

ABSTRACT

In the present study was evaluated, the influence of several osmotic solutions on the combined dehydration process of the pineapple for its conservation. A methodology was developed, based on an experimental analysis and an evaluation of experts that made it possible to determine that the BD Sucrose Syrup solution of all the osmotic solutions (OS) guaranteed the organoleptic properties of the fruit to a greater extent. The statistical analysis determined that of the three SOs that contributed to the increase of solute gains were the Sucrose Syrup BD (66 %), Honey B (64 %) and Honey B lowered (63 %) respectively, as well as the highest weight loss for the slices of fruit was from Honey C lowered (78 %), Honey B and Honey A lowered with 76 %. Finally, using a multiple linear regression analysis, it was possible to evaluate the influence of the variables (⁰Brix, % of Water, Temperature) of the Sucrose Syrup BD on the weight of the fruit and obtain the model $\text{Weight_Fruit BD} = -793,779 + 13,5751 * {}^0\text{Brix} - 11,4982 * \% \text{ of Water} + 10,6665 * \text{Temperature}$ for a value of R^2 of 0,75 which indicates that the model fits correctly for the conditions evaluated in the study.

Keywords: pineapple, combined dehydration, osmotic solutions, multiple linear regression, model.

A decorative graphic consisting of several overlapping, wavy, translucent blue bands that flow across the bottom of the page. The bands are layered, creating a sense of depth and movement. The color transitions from a light, airy blue to a slightly darker, more saturated blue as the waves move across the page.

Índice

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. ESTADO ACTUAL DE LA PIÑA. SU DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y LOS MÉTODOS DE SECADO.	6
1.1 Generalidades sobre la Piña	6
1.1.1 Origen y caracterización de la especie	6
1.1.2 Composición energética	6
1.2 Estado actual de la piña	7
1.2.1 Producción mundial.....	7
1.2.2 Producción nacional	8
1.2.3 Producción territorial.....	9
1.3 Método de Deshidratación	10
1.3.1 Escaldado como tratamiento previo a la deshidratación.	10
1.3.2 Deshidratación.....	10
1.4 Efecto de la deshidratación en los alimentos	11
1.4.1 Textura	11
1.4.2 Aromas	12
1.4.3 Color.....	12
1.4.4 Valor nutritivo	12
1.5 Deshidratación osmótica.....	13
1.5.1 Ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica	14
1.5.2 Avances en el método de Deshidratación Osmótica	15
1.6 Principales variables del proceso de deshidratación osmótica	16
1.6.1 Influencia del tejido vegetal	16
1.6.2 Naturaleza del agente osmótico.....	17
1.6.3 Concentración de la solución osmótica	17
1.6.4 Temperatura	17
1.6.5 Presión de trabajo	18
1.6.6 Agitación	18
1.7 Bases termodinámicas y cinéticas de la deshidratación osmótica	19
1.7.1 Fenómeno osmótico	19
1.7.2 Fenómeno difusional.....	19
1.8 Fundamentos teóricos del Secado	21
1.9 Otros métodos de secado	23
1.10 Análisis Multicriterio	31
1.10.1 Diseño de Experimentos.....	31
1.10.2 Criterios de Expertos.....	33

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA PARA LA DESHIDRATACIÓN COMBINADA DE LA PIÑA	53
2.1 Trabajo experimental	54
2.1.1 Descripción de las etapas del trabajo experimental.....	54
2.1.2 Recursos materiales disponibles.....	56
2.2 Diseño de Experimentos	58
2.2.1 Definición del problema estadístico	59
2.2.2 Selección de los factores a estudiar, número y magnitud de los niveles de estos	59
2.2.3 Selección de las variables.....	60
2.2.4 Selección del Diseño Experimental.....	60
2.2.5 Pruebas experimentales	61
2.2.6 Análisis estadístico de los datos obtenidos del experimento.....	61
2.3 Criterio de Expertos.....	62
2.3.1 Elección de los expertos a consultar.....	62
2.3.2 Análisis de valoración de aspectos (Método Delphi)	65
2.3.3 Análisis de la concordancia en la valoración de aspectos (Coeficiente de Kendall).....	66
2.4 Obtención del modelo matemático a partir de datos estadísticos.....	68
CAPITULO III. ANALISIS DE RESULTADOS.....	53
3.1 Análisis estadístico de los datos obtenidos del experimento	53
3.1.1 Análisis exploratorio de los datos para la solución osmótica.....	53
3.1.2 Análisis exploratorio de los datos para las frutas.	54
3.1.3 Análisis del efecto de las soluciones osmóticas sobre la fruta.	55
3.2 Análisis de la variabilidad del proceso.....	57
3.2.1 Análisis de la variabilidad de los ⁰ Brix, el % de Agua y la temperatura en las soluciones osmóticas.....	57
3.2.2 Análisis de la variabilidad de los ⁰ Brix, el peso y la temperatura en la fruta.	59
3.2.3 Análisis de la variabilidad de los ⁰ Brix, el % de Agua y la temperatura de las soluciones osmóticas en el tiempo.	60
3.3 Criterio de Expertos.....	63
3.4 Obtención del modelo matemático a partir de datos estadístico	66
3.4.1 Análisis de Regresión Múltiple	67
CONCLUSIONES.....	67
RECOMENDACIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA.....	72
ANEXOS.....	76

A decorative graphic consisting of several overlapping, wavy, translucent blue bands that create a sense of movement and depth. The bands are positioned in the lower half of the page, with the word 'Introducción' overlaid on them.

Introducción

INTRODUCCIÓN

A nivel global un tercio de las partes comestibles de los alimentos producidos anualmente para consumo humano se pierde o se desperdicia. Esto equivale a cerca de 1 300 millones de toneladas de alimentos representando un tercio de los alimentos producidos, causando pérdidas de unos 680 mil millones de dólares en los países industrializados y de 310 mil millones en los países en desarrollo. Estas cifras contrastan fuertemente con el déficit alimentario, el cual en el año 2015 alcanzó a 795 millones de personas subalimentadas en el mundo. Estas estimaciones no sólo dan cuenta de una ineficiencia en el uso de los recursos, sino también de un problema ético, considerando que esas personas padecen de hambre (Recabarren, 2017).

Las frutas constituyen un grupo de alimentos indispensable para nuestra salud y bienestar, especialmente por su aporte de fibra, vitaminas, minerales y sustancias de acción antioxidante (vitamina C, vitamina E, β -caroteno, licopeno, luteína, flavonoides, antocianinas, etc.). La gran diversidad de especies, con sus distintas propiedades sensoriales (sabor, aroma, color, textura, etc.) y la distinta forma de prepararlas, hacen de ellas productos de gran aceptación por parte de los consumidores.

Desde hace varios años se ha puesto gran interés en determinar los beneficios de la dieta en la salud y diferentes estudios ponen énfasis sobre los beneficios de los productos vegetales en la reducción del riesgo de diferentes enfermedades como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, cataratas y otras (Mares et al., 1995). Cada vez más, los consumidores muestran una mayor conciencia por su salud a la hora de seleccionar sus alimentos, aumentando el interés por consumir alimentos saludables, sin colesterol, bajos en grasa y sodio, con altos niveles de vitaminas, minerales y fibras. Esta tendencia se ha visto reforzada por las recomendaciones realizadas por diferentes organismos de gran impacto social, como la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Una problemática que puede limitar el consumo de frutas es que, en general, se trata de productos con una estacionalidad muy marcada y con un alto contenido en agua que los hace muy perecederos. Las frutas, incluidas las más perecederas se pierden por diferentes razones durante la etapa de poscosecha, éstas pérdidas ascienden entre un 20-40 % de la producción total en las regiones tropicales y subtropicales debido a que las condiciones climatológicas aceleran los procesos de maduración que conllevan al deterioro temprano de

una gran cantidad de variedades de frutas incluida la piña (García, 2013). Cuba no está ajena a esta problemática perdiéndose aproximadamente al año el 57 % de las frutas. Las pérdidas de cosecha y poscosecha se sitúan alrededor 30 % de la producción total, y las pérdidas en la fase de distribución de alimentos a los mercados interiores y a las ciudades alcanzan el 27 % (Rodríguez, 2013).

En este sentido, el desarrollo de nuevos productos a base de fruta deshidratada, de alta calidad, con una vida útil razonable y atractivos para el consumidor, resultaría interesante para ampliar y diversificar su disponibilidad en el mercado.

El desarrollo de frutas mínimamente procesadas se puede lograr mediante la aplicación de diferentes técnicas, las cuales siguen siendo objeto de estudio desde hace años. Entre ellas, cabe destacar la deshidratación; ya que, su utilización implica en muchos casos una mejora de la calidad del producto con un ahorro energético al eliminarse el agua sin cambios de fase.

La deshidratación como una de las tecnologías para la conservación permite preservar alimentos altamente perecederos, especialmente frutas y hortalizas, cuyo contenido de agua es típicamente superior al 90 %. El objetivo principal de esta tecnología es reducir el contenido de humedad de los alimentos, lo cual disminuye su actividad enzimática y la capacidad de los microorganismos para desarrollarse sobre el alimento (Quinteros, 2014).

En Cuba la producción de piña (*Ananas comosus*) presenta una tendencia al crecimiento destacándose Ciego de Ávila como principal productor de esta fruta. Su alta demanda en el mercado y corto periodo de duración ha llevado a buscar alternativas que permitan darle solución a esta problemática. La correcta conservación de la fruta se presenta como una tendencia adecuada para las economías emergentes y en particular para nuestro país donde el desarrollo económico, crecimiento social y protección ambiental son unos de los ejes fundamentales para alcanzar el tan anhelado desarrollo sostenible. Por lo tanto, para esta investigación se propone el siguiente problema científico:

Problema científico:

¿Cómo aplicar la deshidratación combinada a la piña (*Ananas comosus*) para su conservación?

Hipótesis:

Es posible aplicando la deshidratación combinada de la piña (*Ananas comosus*) garantizar su correcta conservación además de las principales propiedades organolépticas.

Objetivo General:

Evaluar la factibilidad de la deshidratación combinada a la piña (*Ananas comosus*) para su conservación a partir de diferentes agentes osmóticos.

Objetivos específicos:

1. Establecer las bases teóricas de los métodos de secado para frutas. Deshidratación Osmótica.
2. Proponer una metodología para la deshidratación combinada de la piña considerando varios agentes osmóticos.
3. Establecer un modelo matemático a partir de datos estadístico para la deshidratación combinada de la piña.

La tesis tiene la siguiente estructura:

Resumen

Introducción.

Se analizan las premisas teóricas de la investigación, planteando las principales fuentes y surgimiento del problema, además de declarar el objetivo del estudio, así como, la hipótesis que se defiende y la estructura de la tesis.

Capítulo I. Estado actual de la piña. Su deshidratación osmótica y los métodos de secado.

En el capítulo se realiza un análisis del estado del tema de estudio en la actualidad a partir de la bibliografía disponible, enfocado hacia los métodos fundamentales de secado para frutas. Para ello se revisa la situación mundial, nacional y territorial de la producción de piña, así como principales países productores de esta fruta. Se particulariza además en el método de deshidratación osmótica combinado con el secado solar sobre todo por el ahorro de energía que este permite, así como una excelente transferencia entre agente osmótico-fruta.

Capítulo II. Metodología para la deshidratación combinada de la piña

En este capítulo se describe la metodología propuesta para la deshidratación combinada de la piña. La misma parte de un trabajo experimental donde se realizan las mediciones

correspondientes para la fruta y los agentes osmóticos utilizados. Además, se realiza un estudio mediante un criterio de expertos sobre la influencia que tienen cada una de estas soluciones en las propiedades organolépticas de la fruta para finalmente poder ver aquella que mejores resultados ofrece.

Capítulo III. Análisis de los resultados.

En este capítulo se desarrolló la metodología propuesta. Para ello fueron utilizados los programas Statgraphics para el procesamiento experimental y el programa SPSS y Consulta a expertos para el análisis de criterio de expertos. El criterio de experto permitió seleccionar que la solución de Jarabe de Sacarosa blanco directo (BD) fue la que mejores propiedades organolépticas mantuvo para la fruta. Se analizó además la variabilidad de los $^{\circ}\text{Brix}$, el % de Agua y la Temperatura en las soluciones osmóticas (SO) y los $^{\circ}\text{Brix}$, el Peso y la Temperatura en la fruta. Se realizó además un análisis de la relación tiempo de deshidratación- $^{\circ}\text{Brix}$ en las SO así como el tiempo hasta la estabilidad y $\Delta^{\circ}\text{Brix}$. Se presenta una comparación relacionada con las ganancias de sólidos de la fruta y la pérdida de peso. Finalmente se obtuvo el modelo matemático a partir de datos estadístico y su correspondencia con las condiciones evaluadas.

Conclusiones y Recomendaciones.

Se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se llegan a partir del análisis de los resultados del trabajo realizado.

Bibliografía.

Anexos.



Capítulo I

CAPÍTULO I. ESTADO ACTUAL DE LA PIÑA. SU DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y LOS MÉTODOS DE SECADO.

1.1 Generalidades sobre la Piña

1.1.1 Origen y caracterización de la especie

La piña (Figura 1.1) forma parte de la familia de las bromelias. Los tipos cultivados pertenecen al género (*Ananas*) que reagrupa varias especies, entre ellas, la (*Ananas comosus*), que es la que se explota con fines comerciales. Las diferentes especies de piña son nativas de América del Sur, más concretamente, de un vasto cuadrilátero que abarca Brasil, el norte de la Argentina y Paraguay (cuencas fluviales del Panamá y Paraguay) (Puebla, 2009).

La piña es una planta herbácea de 1 a 1,5 m de extensión, tanto a lo alto como en lo que a su circunferencia se refiere. Está formada por una roseta de hojas duras, lanceoladas y más o menos espinosas, organizadas alrededor de un tallo que constituye el eje de la planta. En su prolongación crece un ápice en cuyo extremo nace la fruta terminada en una corona. La inflorescencia es racimosa y puede producir más de cien flores. Cada flor origina una fruta independiente organizada en espiral alrededor del tallo. Estas frutas se fusionan durante la fructificación hasta originar la piña (Dawson, 2015).



Figura 1.1. Piña (*Ananas comosus*). Fuente (Puebla, 2009).

1.1.2 Composición energética

En la (Tabla 1.1) se puede observar la composición energética de la piña fresca. Desde el punto de vista energético la piña sobresale en relación a otras frutas como son la frambuesa con un valor energético de 38 kcal/100 g (Rodríguez, 2014) y el mamey con 44 kcal/100 g (Quinteros, 2014) . Además, uno de sus principales componentes es el agua seguido de los glúcidos.

Tabla 1.1. Composición energética de la piña.

Componentes	Valor medio
Valor Energético (kJ/100 g)	223
Valor energético (kcal/100 g)	52,6
Agua (g/100 g)	85,8
Proteínas (g/100 g)	0,4
Glúcidos (g/100 g)	11
Lípidos (g/100 g)	0,2
Azúcares (g/100 g)	9,24
Fibras (g/100 g)	1,52

Fuente (Dawson, 2015)

Por su alto contenido de potasio, la piña, es esencial para una dieta balanceada ya que el potasio es el tercer mineral más abundante en nuestro cuerpo. Está implicado en la reacción de los nervios, en el movimiento muscular y en su mantenimiento saludable, además interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula (Doymaz, 2004). Esta fruta es extremadamente rica en vitamina C y B9 que son considerados componentes claves para la buena salud, por los compuestos antioxidantes presentes en ellos y por la necesaria formación de proteínas estructurales y hemoglobina.

1.2 Estado actual de la piña

1.2.1 Producción mundial

La producción mundial de piña en los últimos 10 años ([Anexo 1](#)), de acuerdo con datos publicados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (FAO, 2017) presentados en la (Figura 1.2) ha tenido la tendencia al incremento. El 2016 (último año publicado) cerró con una producción de 25 809 038 t, que con respecto al año 2007 representa un aumento del 22,17 %. Solamente el año 2008 representó el año de menor producción alcanzándose las 19 745 722 t. En el año 2015 el precio como promedio para los principales países productores de esta fruta fue de 431,7 (USD/t) destacándose Nigeria con 759,2 (USD/t).

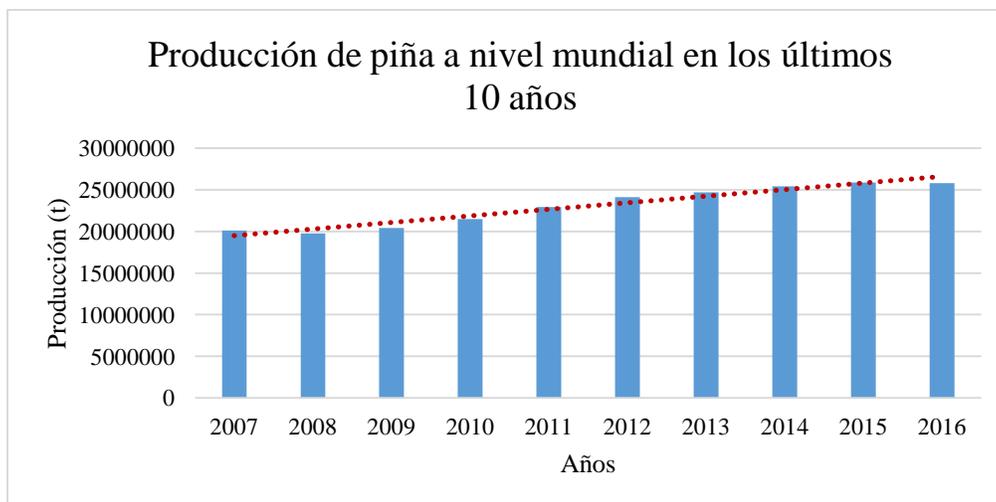


Figura 1.2. Producción de piña a nivel mundial en los últimos 10 años. Fuente (Elaboración Propia a partir de datos de la FAO)

La producción mundial se encuentra concentrada entre los 9 países ([Anexo 2](#)) representados en la (Figura 1.3). Donde Costa Rica representa el país más productor con 2 930 661 t el 16 % de la producción total, luego le sigue Filipinas y Brasil con 2 612 474 t y 2 694 555 t respectivamente, ambos con un 14 % de la producción mundial según datos publicados por la FAO (FAO, 2017).

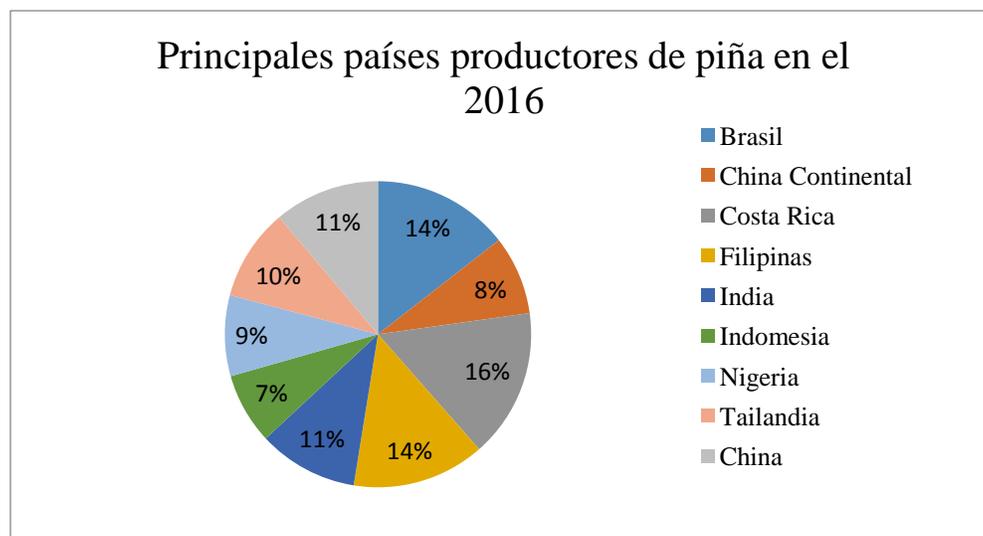


Figura 1.3. Principales países productores de piña en el 2016. Fuente (Elaboración Propia a partir de datos de la FAO)

1.2.2 Producción nacional

En Cuba la producción de este cítrico se ha comportado de forma irregular debido a altos y bajos en la producción ([Anexo 3](#)), como se observa en la (Figura 1.4), los años 2012 y 2013

fueron los de mayor producción con 84 068 t y 82 807 t respectivamente. La producción de piña en Cuba en comparación con los principales países productores para el año 2016 representa solamente el 0,2 % según la FAO (FAO, 2017).

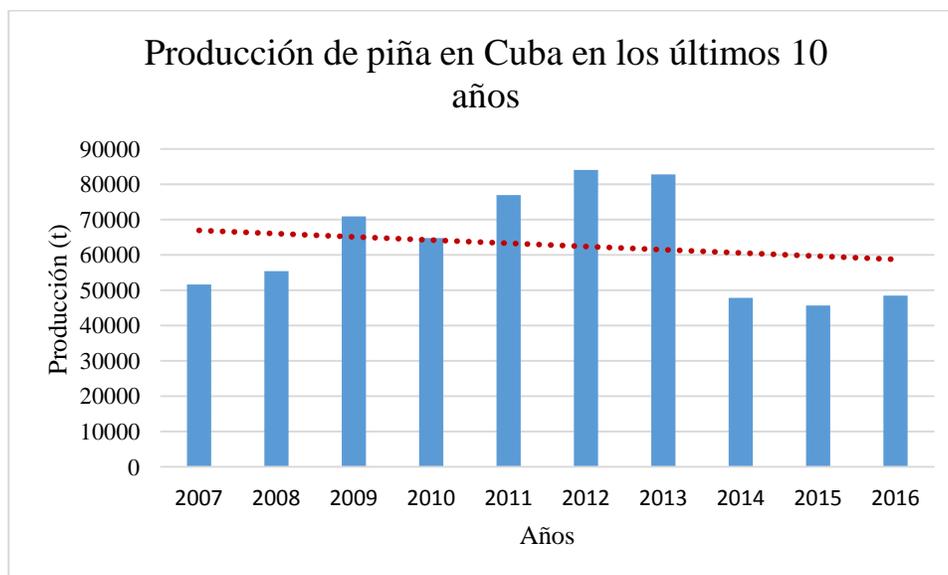


Figura 1.4. Producción de piña para Cuba en los últimos 10 años. Fuente (Elaboración Propia a partir de datos de la FAO)

Datos recientes presentan a la provincia de Ciego de Ávila como principal productor de piña del país, ha exportado recientemente 700 t hacia Europa permitiendo la entrada de divisas a la economía nacional. En solo 70 ha de la fruta, el rendimiento promedió a 88 t/ha, lo cual proporcionó, además, el suministro de algunos volúmenes al sector del turismo (Martínez, 2018).

1.2.3 Producción territorial

Según informe presentado por la Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI) en el 2016 para la provincia de Cienfuegos la producción de piña se comportó de acuerdo a los valores presentados en la (Tabla 1.2). Los municipios productores fundamentalmente de este fruto son Aguada de Pasajeros, Abreus y Rodas (Isidró, 2003), presentando una media de producción para estos cinco años de 770,26 t.

Tabla 1.2. Producción de piña en la provincia de Cienfuegos.

Años	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Producción de Piña (t)	1 046,3	307,2	709,6	801,9	509,4	476,9

Fuente (Elaboración Propia a partir de datos de la ONEI)

1.3 Método de Deshidratación

1.3.1 Escaldado como tratamiento previo a la deshidratación.

Los diferentes pasos preparatorios a los cuales las frutas frescas se someten en los procesos de deshidratación tienen un claro impacto en la flora de la fruta fresca, ya que algunos procedimientos remueven o inactivan muchos de los microorganismos presentes, mientras que otros podrían tener un efecto opuesto. Así, mientras que el lavado puede remover muchos de los organismos superficiales, algunas operaciones tales como pelado y cortado pueden causar daño en la célula exponiendo los fluidos tisulares internos al ambiente externo, proveyendo nuevas puertas de entrada de microorganismos y otros contaminantes.

El escaldado, o sea la exposición de las piezas de fruta a altas temperaturas durante unos pocos minutos, es una operación de control crítica en el procesamiento de frutas autoestables. En métodos tradicionales de conservación, la función principal de este tratamiento es destruir las enzimas que podrían deteriorar las hortalizas y las frutas. Pero en estas nuevas técnicas, el escaldado tiene también el importante rol de reducir la carga microbiana inicial mediante la inactivación de microorganismos sensibles al calor.

Las temperaturas utilizadas son letales para las levaduras, la mayoría de los hongos y los microorganismos aeróbicos. Así se ha encontrado que el escaldado reduce la carga microbiana entre un 60 % y un 99 %. Además, este tratamiento tiene un efecto sensibilizante sobre los microorganismos sobrevivientes, los que se vuelven menos resistentes a los estreses impuestos por la reducción de *pH* y de *aw* y por la presencia de sorbatos, sulfitos u otros antimicrobianos.

El escaldado puede realizarse en agua caliente, en agua en ebullición o en vapor de agua saturado (Cabudiva, 2015). En nuestro caso utilizaremos la inmersión de la fruta en agua caliente.

1.3.2 Deshidratación

La deshidratación o desecación de alimentos consiste en eliminar la mayor cantidad posible de agua o humedad del alimento seleccionado bajo una serie de condiciones controladas como temperatura, humedad, velocidad y circulación del aire. El agua es el elemento básico para la vida humana, pero también para la vida microbiana, por lo que, al retirarla, ayuda a darle una vida útil y más prolongada al alimento, el desecado provoca que el alimento en cuestión se reduzca en tamaño debido a que ha perdido gran parte de su volumen (agua), y

como resultado se obtiene un alimento de consistencia más liviana y pequeña de un buen sabor y olor el cual es muy resistente y de fácil transportación (García, 2015).

La actividad de agua (a_w), que junto con el pH son los elementos clave en la conservación de alimentos deshidratados. En términos generales un alimento con toda su agua presente tendría una $a_w = 1$, y para productos como las frutas deshidratadas, deberíamos buscar una actividad inferior a 0,85 y un pH menor que 5, como forma para asegurar que el producto va a tener una cierta estabilidad que permita su comercialización. Si adicionalmente el material de envasado del producto cuenta con algunas barreras que contribuyan a mantener el producto en una atmósfera estable, libre de oxígeno y barreras a la entrada de agua o vapor de la misma, la vida útil del producto podría prolongarse de forma que no se pusiera en riesgo la calidad e inocuidad del producto durante se distribución, venta y consumo por parte de los consumidores (Pérez, 2014).

1.4 Efecto de la deshidratación en los alimentos

1.4.1 Textura

La textura de los alimentos es el parámetro que más se modifica con la deshidratación. Sus variaciones dependen mucho del tipo de pretratamiento que se le da al alimento, el tipo e intensidad con que se realiza la reducción de tamaño y el modo de pelado. En alimentos escaldados las pérdidas de textura están provocadas por la gelatinización del almidón, la cristalización de la celulosa y por tensiones internas provocadas por variaciones localizadas en el contenido de agua durante la deshidratación. Estas tensiones dan lugar a roturas y compresiones que provocan distorsiones permanentes en las células, relativamente rígidas, confiriendo al alimento un aspecto arrugado. En la rehidratación estos alimentos absorben agua más lentamente y no llegan a adquirir de nuevo la textura firme característica de la materia prima original.

La variación en la textura depende también de las condiciones del desecador, por ejemplo, si se usan velocidades de deshidratación rápidas y temperaturas elevadas los cambios serán más pronunciados que con flujos y temperaturas más bajos. A medida que el agua va eliminándose, los solutos se desplazan hacia la superficie del alimento.

Si las temperaturas son elevadas la evaporación del agua hace que la concentración de solutos en la superficie aumente lo que conduce a la formación de una capa superficial dura

e impenetrable. Este fenómeno se llama acortezamiento y reduce la velocidad de deshidratación dando lugar a un alimento seco en su superficie, pero húmedo en su interior.

1.4.2 Aromas

El calor no sólo provoca el paso del agua a vapor durante la deshidratación, sino también la pérdida de algunos componentes volátiles del alimento. Su mayor o menor pérdida dependerá de la temperatura, de la concentración de sólidos en el alimento y de la presión de vapor de las sustancias volátiles y su solubilidad en el vapor de agua.

Por ello, alimentos especiales por sus características aromáticas (hierbas y especias) se deshidratan a temperaturas bajas.

La desecación también produce la oxidación de los pigmentos, vitaminas y lípidos durante el almacenamiento. Estas oxidaciones se producen por la presencia de oxígeno, como consecuencia de la estructura porosa que se desarrolla durante la deshidratación. La velocidad a la que estos componentes se deterioran depende de la actividad de agua en el alimento y de la temperatura de almacenamiento. Las reacciones oxidativas influyen en la producción o destrucción de compuestos aromáticos.

1.4.3 Color

La deshidratación afecta también al color por los cambios químicos que se producen en las clorofilas, carotenoides y otros pigmentos como antocianinas, β alaminas, etc. Por lo general cuanto más largo es el proceso de deshidratación y más elevada la temperatura, mayores son las pérdidas en estos pigmentos. La oxidación y la actividad enzimática residual favorecen el desarrollo del pardeado durante su almacenamiento. Ello puede evitarse usando el escaldado como tratamiento previo a la desecación o tratando la fruta con ácido ascórbico u otros compuestos.

1.4.4 Valor nutritivo

Las pérdidas del valor nutritivo que se producen durante la preparación previa de frutas y verduras, que son generalmente mayores que las que ocasiona el propio proceso de deshidratación. La pérdida de vitaminas viene en función de su solubilidad en agua. A medida que el proceso de deshidratación avanza algunas (por ejemplo: la riboflavina) alcanzan su sobresaturación y precipitan. Las pérdidas, por tanto, son pequeñas. Otras, (por ejemplo: el ácido ascórbico) se mantienen disueltas hasta que el contenido en agua del

alimento es muy bajo y reaccionan con los solutos a mayor velocidad a medida que el proceso progresa (García, 2010).

1.5 Deshidratación osmótica

La deshidratación osmótica ha cobrado gran interés debido a las bajas temperaturas de operación usadas (20 - 50 °C), lo cual evita el daño de productos termolábiles, además de reducir los costos de energía para el proceso (Soto, 2002) . La deshidratación osmótica a temperatura ambiente, puede ser una tecnología adecuada como pre tratamiento de las frutas y hortalizas, ayudando a mantener el olor, sabor, textura y otras propiedades sensoriales. La deshidratación osmótica es una técnica que aplicada a productos frutihortícolas permite reducir su contenido de humedad (hasta un 50 - 60 % en base húmeda) e incrementar el contenido de sólidos solubles. (Quinteros, 2014)

La aplicación de la deshidratación osmótica en el procesado de frutas, presenta ventajas con respecto a los tratamientos tradicionales de secado de alimentos; las frutas no se someten a temperaturas elevadas, lo que permite minimizar cambios en color, sabor, y pérdida de vitaminas; así como la reducción de la pérdida de aromas que se presenta durante el secado convencional; por otro lado, como la eliminación del agua se realiza sin cambio de estado la estructura de la fruta se conserva de mejor forma, lo que está relacionado con la textura del producto; y también la incorporación, junto con la solución osmótica, de componentes que pueden controlar el crecimiento fúngico y bacteriano, tales como el ácido sórbico y el ácido cítrico.

La deshidratación osmótica es un método no térmico (Quinteros, 2014) que consiste en sumergir los alimentos en soluciones hipertónicas (por ejemplo, de azúcar, sal, sorbitol o glicerol) con el objetivo de producir dos efectos principales: flujo de agua desde el producto hacia la solución hipertónica y flujo de solutos hacia el interior del alimento. En algunos casos se puede presentar la salida de solutos como son los ácidos orgánicos. Este fenómeno, aunque es poco importante por el bajo flujo de sólidos perdidos, puede modificar sustancialmente algunas propiedades del fruto como son las organolépticas (Soto, 2002) (Rodríguez, 2013).

Se han identificado dos etapas en el proceso de deshidratación osmótica. En la primera, denominada deshidratación, la pérdida de agua es mayor que la ganancia de sólidos y en una segunda etapa, llamada impregnación, se obtiene una ganancia de sólidos mayor a la

pérdida de agua. En esta segunda etapa, la masa total del sólido aumenta con el tiempo (Soto, 2002). Se ha comprobado que la velocidad a la que sale el agua del alimento hacia la solución osmótica es mayor que la de los sólidos solubles hacia el interior del alimento, debido al pequeño tamaño de la molécula de agua y a la alta permeabilidad que presentan las membranas celulares a este componente. La presión del sistema será, por tanto, la fuerza impulsora predominante al comienzo del proceso (Rodríguez, 2013). La (figura 1.5) muestra la transferencia de materia que ocurre entre la fruta y la solución osmótica.

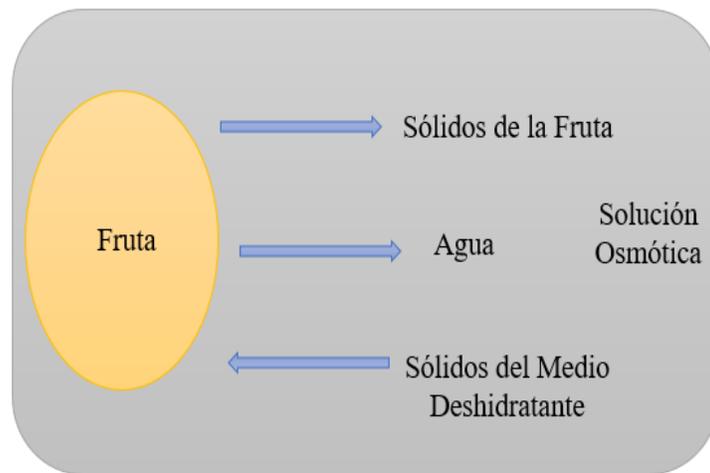


Figura 1.5. Representación de la transferencia de materia durante la Deshidratación Osmótica. Fuente (Elaboración Propia)

1.5.1 Ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica

Las ventajas e inconvenientes de la deshidratación osmótica sobre los métodos tradicionales son las siguientes:

Ventajas:

1. Comparada con el secado por aire o con la liofilización, la eliminación de agua ocurre sin cambio de fase.
2. La estructura de los alimentos se conserva mejor.
3. El daño en el color y en el sabor de los alimentos se ve minimizado debido a que la deshidratación osmótica se puede realizar a bajas temperaturas.
4. La alta concentración de solutos alcanzada en la parte externa de la pieza contribuye a prevenir el oscurecimiento en muchos productos, evitando así el uso de aditivos químicos como los sulfitos.

5. Un pre-tratamiento de deshidratación osmótica anterior a una operación de secado hace posible la reducción del tiempo del mismo y como consecuencia una reducción en los costos de producción.
6. Las soluciones osmóticas pueden ser re-utilizadas durante algunos ciclos y así disminuir el costo del proceso.

Desventajas:

1. Después del secado puede formarse una capa de azúcar que no favorezca la textura de los mismos.
2. La oxidación de productos puede aparecer en pocas semanas como consecuencia de la alta retención de aceites esenciales, deteriorando el sabor del producto.
3. Las soluciones osmóticas que ya no se puedan re-utilizar deben ser tratadas para evitar contaminación microbiana. (Rodríguez, 2013).

1.5.2 Avances en el método de Deshidratación Osmótica

Recientemente, la deshidratación osmótica se ha combinado con otros métodos (campo eléctrico, alta presión hidrostática, ultrasonido, fuerza centrífuga, vacío e irradiación gamma). Estas técnicas han sido empleadas durante o después del tratamiento osmótico para mejorar el rendimiento de la deshidratación mediante el aumento de la membrana celular, la permeabilidad y velocidad de transferencia de masa. Estas operaciones combinadas reducen el tiempo de secado, minimizando los costos de energía adicionales (Kowalska, 2017), (Fernandes et al., 2016), (Krzysztof et al., 2018), (Malgorzata et al., 2017).

En el estudio propuesto por Fernandes et al. (2016) se deshidrataron con dos soluciones diferentes: fructosa y sorbitol rodajas de Yacon. En el mismo se utilizaron como variables independientes la temperatura, presión de vacío y la concentración de la solución osmótica. Los experimentos se basaron en un diseño rotacional compuesto central y la condición óptima establecida para la mayor retención de fructanos. Las variables dependientes fueron retención de fructanos, reducción de peso, pérdida de agua, ganancia sólida, actividad de agua y diferencia de color total. Como resultado se obtuvo que la mayor retención de fructanos fue con la solución de sorbitol, que varió de 28,13 % a 82,03 %, en contraste con el rango de 2,79 % a 39,48 % obtenido para la muestra deshidratada con fructosa.

Goula et al. (2017) propuso el método de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido para reducir el tiempo de deshidratación de las patatas. Las muestras de patatas se deshidrataron con cuatro tipos de tratamientos: deshidratación osmótica estática, deshidratación osmótica con agitación, deshidratación osmótica con aplicación de ultrasonido y deshidratación osmótica con pretratamiento por ultrasonido. El tratamiento de ultrasonido resultó en una mayor humedad y transferencia de masa sólida, debido a la ruptura de la estructura celular según lo revelado por el examen de microestructura.

Kowalska (2017) analiza la obtención de frutos con pérdida de humedad normalizada y evalúa la adición de concentrado de jugo de frambuesa (CJF). Los factores más significativos que afectaron los valores de los indicadores de intercambio masivo durante la deshidratación osmótica de fresas fueron el tipo de solución osmótica y el tiempo del proceso, y el factor menos significativo fue la temperatura. La sustitución parcial de sacarosa con CJF permite la obtención de productos de mayor valor (azúcar menos simple) y adicionalmente enriquecido con valiosas sustancias naturales.

1.6 Principales variables del proceso de deshidratación osmótica

La eficiencia de la deshidratación osmótica depende de las siguientes condiciones:

1.6.1 Influencia del tejido vegetal

La membrana celular otorga rigidez y protección a la célula frente a una posible distensión originada por una entrada masiva de agua, mientras que la pared celular no presenta selectividad al transporte de componentes. La naturaleza semipermeable de las membranas permite que pequeñas moléculas de agua puedan atravesarla, pero restringen la transmisión de moléculas de mayor tamaño como las de azúcar (Barat, 1998).

La forma y tamaño del tejido vegetal influyen sobre la cinética del proceso osmótico, al aumentar la superficie específica del alimento se logra un incremento en la pérdida de agua (Fito, et. al, 1997). A su vez la porosidad afecta a los mecanismos de transporte implicados en la deshidratación osmótica de forma tal, que cuanto mayor es la porosidad de la fruta, mayor es la ganancia de sólidos (Giangiacomo, 1987).

Además, la amplia variación de la fruta afecta al comportamiento osmótico y al estado final de los productos, debido a los diferentes grados de compactación del tejido, al contenido inicial de sólidos solubles e insolubles, a los espacios intercelulares, a la presencia de gas, a la relación entre las diferentes fracciones pécticas (pectina soluble en agua y protopectina),

al nivel de gelificación de las pectinas y la actividad enzimática de la fruta (Giangiacomo, 1987).

1.6.2 Naturaleza del agente osmótico

La naturaleza del agente osmótico es fundamental para definir el comportamiento del producto durante el proceso de deshidratación osmótica. La interacción de los solutos con el agua y la matriz sólida del alimento dependerá de la naturaleza y propiedades físicas del agente osmótico (viscosidad, poder depresor de la a_w). La ganancia de sólidos se ve favorecida por los solutos de bajo peso molecular, lo que facilita su penetración.

En la actualidad existe una gran abundancia de agentes osmóticos tales como la sacarosa, glucosa, azúcar invertido, jarabe de maíz, maltosa, melaza, zumo de frutas concentrado, cloruro de sodio, cloruro de potasio, glicerina, manitol, propilenglicol, sorbitol, entre otros. En el caso particular de las frutas, el agente osmótico más empleado ha sido la sacarosa debido a su fácil accesibilidad, aceptable sabor y aroma (Keqing, 2004).

1.6.3 Concentración de la solución osmótica

La concentración de la solución osmótica afecta en gran medida a la velocidad del proceso, ya que define la fuerza impulsora para la transferencia de materia. Asimismo, la distinta viscosidad de la disolución y de la fase líquida del alimento que va aumentando con el tiempo del proceso, tiene un efecto importante en la velocidad de transporte. El uso de soluciones de distinta concentración da lugar al desarrollo de diferentes perfiles de concentración en el tejido de las frutas (Keqing, 2004).

1.6.4 Temperatura

En general el incremento de la temperatura de proceso provoca un aumento de la velocidad de transferencia de materia, tanto en lo que refiere a la salida de agua como a la entrada de sólidos solubles. La dependencia entre la difusividad efectiva de agua o solutos (D) con la temperatura (T) puede ser determinada mediante la ecuación de Arrhenius:

$$\ln D = -\frac{E_a}{R} * \frac{1}{T} + C \quad (1.1)$$

donde E_a es la energía de activación y R es la constante universal de los gases (0,0820562 atm L mol⁻¹ K⁻¹).

Por otro lado, la difusión de aromas de la fruta hacia el jarabe, así como los posibles daños térmicos en la estructura y parámetros de calidad (color, sabor, textura) y valor nutritivo (vitaminas termolábiles), también aumentan con la temperatura. Además, la solución

presenta problemas de pardeamiento a altas temperaturas. Ponting (1966) ha demostrado que por encima de 49 °C se produce pardeamiento de la muestra y deterioro del aroma y color, existiendo un límite cerca de los 50 °C en el que las características de la fruta se modifican de forma muy drástica (destrucción de la membrana celular y de muchos nutrientes, como el ácido ascórbico), y, además, se dificulta su rehidratación posterior.

En general, una temperatura entre 20 - 40 °C se considera óptima desde el punto de vista de la calidad obtenida en el producto final, existiendo numerosos estudios que consideran óptima la temperatura ambiente (Keqing, 2004).

Por otra parte, muchos experimentos han demostrado que un aumento moderado en la temperatura de la solución, tiene un efecto favorable sobre la pérdida de agua, pero no modifica la ganancia de sólidos (Ponting, 1966), (Islam et al., 1982), (Andrés et al., 1992).

1.6.5 Presión de trabajo

Dependiendo del valor de las presiones de trabajo utilizadas en la operación se pueden considerar tres tipos de deshidratación osmótica:

1. Deshidratación osmótica (DO): en esta operación, tanto el producto a tratar como la solución osmótica se ponen en contacto a presión osmótica.
2. Deshidratación osmótica a vacío (DOV) o impregnación a vacío (IV): cuando se trabaja en condiciones de vacío.
3. Deshidratación osmótica a vacío por pulso (DOVP): se somete a la materia prima, inmersa en la solución osmótica, a una impregnación a vacío durante un corto período de tiempo, continuando el proceso posteriormente a presión atmosférica.

La utilización de vacío en general permite una pérdida de peso y una salida de agua más rápida, sobre todo en la primera media hora y una mayor entrada de sólidos en los alimentos; además de un aspecto más fresco y translúcido (Shi et al., 1995)

1.6.6 Agitación

La agitación periódica del sistema también produce un importante aumento en la velocidad de deshidratación, ya que reduce la resistencia a la transferencia de masa por disminución de la viscosidad de la solución y por recambio de la solución diluida en contacto con el alimento (Ponting, 1966), (Moreira et al., 2003).

(Ponting, 1966) sugieren que se realice un control en el nivel de agitación para evitar cualquier daño al producto y para reducir costos de energía, entre otros.

1.7 Bases termodinámicas y cinéticas de la deshidratación osmótica

En la deshidratación osmótica se presentan varios fenómenos físicos simultáneos, en mayor o menor proporción: osmosis, difusión y capilaridad. La entrada capilar adquiere gran importancia cuando en el sistema se dan cambios de presión o temperatura debido a la actuación del mecanismo hidrodinámico (HDM) (Fito, 1994).

1.7.1 Fenómeno osmótico

El fenómeno osmótico se produce durante la transferencia de agua a través de la membrana celular semipermeable de la fruta hacia la solución osmótica en tres situaciones:

- Transferencia célula-célula (intercelular).
- Transferencia célula-espacio intercelular.
- Transferencia célula-disolución (superficial).

La transferencia de solutos por este mecanismo está limitada por la permeabilidad selectiva de las membranas celulares.

La fuerza impulsora responsable del fenómeno osmótico, que provoca la transferencia de agua, viene dada por la diferencia de potencial químico del agua en las células y en la disolución osmótica (Chirife et al., 1982). El potencial químico (μ) está a su vez relacionado con la (a_w) y con la presión osmótica (π) de cada una de las fases líquidas (ecuaciones 1.2 y 1.3) (Chirife et al., 1982).

$$\mu_w = \mu_w^0 + RT \ln a_w \quad (1.2)$$

$$\pi = \frac{-RT \ln a_w}{\bar{V}^0} \quad (1.3)$$

donde:

μ_w^0 = potencial químico del estado de referencia.

R = constante de los gases.

T = temperatura.

\bar{V}^0 = volumen molar del agua pura

1.7.2 Fenómeno difusional

La difusión de agua y los solutos en el producto durante la deshidratación osmótica ocurren dentro de cada una de las fases líquidas (compartimentadas en las células) y en los espacios intercelulares, a través del líquido presente en los mismos (Fito, 1994).

La fuerza impulsora para la difusión de los diferentes componentes en el sistema son las diferencias de potencial químico de los mismos en los diferentes puntos del sistema. Cuando estas diferencias desaparecen, el sistema alcanza el equilibrio y no hay transferencia de materia. El agua es el componente que difunde mayoritariamente durante los procesos de deshidratación osmótica, debido a su pequeño tamaño molecular y a la alta permeabilidad que presentan las membranas celulares a este componente. Las condiciones de equilibrio para el agua serán:

$$\mu_{w,SO} = \mu_{w,FPL} \quad (1.4)$$

donde:

$\mu_{w,SO}$ = potencial químico del agua en la disolución osmótica.

$\mu_{w,FPL}$ = potencial químico del agua en la fracción líquida del producto.

La ecuación 1.5 expresa las diferentes contribuciones al valor del potencial químico del agua en frutas:

$$\mu_w - \mu_w^0 = RT \ln a_w + v_w^{-0} \Delta P + \Delta \Psi \quad (1.5)$$

El primer término ($RT \ln a_w$) está asociado con el valor de la a_w y contribuye en gran medida a las diferencias de potencial químico en el sistema alimento-disolución osmótica externa. El segundo término ($v_w^{-0} \Delta P$) no influye si no hay gradientes de presión en el sistema. Esto se cumple una vez que las células han perdido su turgencia, lo cual ocurre en las primeras etapas del proceso. El tercer término ($\Delta \Psi$) corresponde al llamado potencial mátrico (asociado a las interacciones agua-matriz estructural de la fruta). Este término es despreciable para contenidos de humedad altos, como los obtenidos en deshidratación osmótica. De este modo, durante la mayor parte del tiempo del proceso de deshidratación osmótica la relación de equilibrio para el agua puede ser simplificada a la (ecuación 1.6):

$$a_{w,SO} = a_{w,FPL} \quad (1.6)$$

donde:

$a_{w,SO}$ = actividad del agua de la disolución osmótica.

$a_{w,FPL}$ = actividad del agua de la fracción líquida del producto.

Si en la fruta y en la disolución osmótica los solutos mayoritarios son los mismos, la ecuación 1.7 se simplifica a:

$$X_{w,SO} = Y_{w,FPL} \quad (1.7)$$

donde:

$X_{w,SO}$ =fracción másica de agua en la disolución osmótica.

$Y_{w,FPL}$ =fracción másica de agua en la fracción líquida del producto.

Esta es la base de la definición habitual de la fuerza impulsora reducida (Y) para la transferencia de un componente “i” en el sistema, en términos de las diferencias de sus fracciones másicas (ecuación 1.8).

$$Y = \frac{X_{it} - X_{ie}}{X_{ie} - X_{i0}} \quad (1.8)$$

donde:

x_{it} = fracción másica de i a un tiempo t.

x_{ie} = fracción másica de i en el equilibrio.

x_{i0} = fracción másica de i a un tiempo t =0.

Las ecuaciones basadas en el modelo de Fick proporcionan la relación entre la fuerza impulsora reducida (dependiente de la concentración), el tiempo de proceso y la posición del sistema. No obstante, la aplicación de estas ecuaciones sistemas de estructura compleja no isotrópica, como las frutas, las convierte en ecuaciones empíricas, debido a que no se cumplen las condiciones de contorno en las que se deducen las ecuaciones fickianas integradas (Fito et al., 1997).

1.8 Fundamentos teóricos del Secado

El secado es un proceso en el que el agua se elimina para detener o reducir el crecimiento de microorganismos perjudiciales para el alimento, así como ciertas reacciones químicas. La eliminación de agua de los alimentos se consigue principalmente utilizando aire caliente que elimina el agua de la superficie del producto y la lleva hacia el exterior. Además de la conservación, el secado se utiliza para reducir el costo o el espacio en el embalaje, almacenamiento, manejo y transporte, ya que se reduce el peso y en ocasiones el volumen. El proceso de secado de alimentos no sólo afecta el contenido de agua en el alimento, sino también otras de sus características físicas y químicas (Xue, 2004).

El secado de alimentos es una operación unitaria compleja. Son varios los factores que afectan la calidad del producto a través de la operación de secado. Los cambios físicos y químicos del alimento durante una operación de secado pueden potenciar ciertas

características deseadas de los productos, pero de igual forma tienden a disminuir la cantidad de nutrientes y cambiar las propiedades organolépticas.

La transmisión de calor ocurre en el interior del alimento y está relacionada con el gradiente de temperatura existente entre su superficie y la superficie del agua en el interior del alimento. Cuando se proporciona al agua suficiente energía para su evaporación, el vapor producido se transporta desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto hacia la superficie de éste. El gradiente de presión de vapor existente entre la superficie del agua en el interior y el aire exterior al alimento, es el que provoca la difusión del vapor de agua hacia la superficie de éste. Durante el secado se producen cuatro fenómenos de transporte (Xue, 2004).

- Transferencia de calor desde el aire o agua hasta la superficie del producto. Se puede realizar por conducción, convección o radiación.
- Transmisión de calor desde la interfase sólido-aire o sólido-agua hasta el interior del sólido. Ocurre por conducción en régimen no estacionario.
- Transferencia de materia a través del sólido. Se puede producir por difusión o por capilaridad. La difusión ocurre en el secado de productos con humedades del orden de 55 % (base húmeda) o inferiores, mientras que la capilaridad se presenta para niveles más altos de humedad (65 % o más), siempre y cuando en la estructura interna del producto existan capilares.
- Transferencia de vapor desde la interfase sólido-aire sólido-agua hacia el seno del aire o agua.

Los factores que regulan la velocidad de estos procesos son los que definen la velocidad de secado. Estos factores son:

- Área superficial del producto: generalmente se subdivide el producto, a fin de aumentar el área de transferencia de masa y calor y acelerar el proceso (Chavarro y col 2006).
- Velocidad del aire: el aire en movimiento absorbe vapor de agua de la superficie del alimento, previniendo la creación de una atmósfera saturada. La velocidad del aire actúa aumentando los coeficientes globales de transmisión de calor y de masa, y disminuyendo el tiempo de secado. Sin embargo, a partir de cierto punto, la velocidad de secado no depende de esta variable, debido a que el factor de control

del proceso de secado en este caso es la difusión del agua a través del sólido, de manera que, por más que aumente la velocidad másica del aire no puede aumentarse la velocidad de secado (Maupoey, 2001).

- Temperatura del aire o agua: la velocidad de secado aumenta al aumentar la temperatura.
- Influencia del tejido vegetal: las propiedades del tejido y los cambios que se producen durante la maduración del fruto también son factores determinantes en el proceso de secado.
- Humedad del aire: cuanto más seco esté el aire, mayor será la velocidad de deshidratación ya que aumenta la fuerza impulsora para el transporte de masa.
- Tiempo de exposición: es menor el tiempo al aumentar la temperatura del aire o agua.

1.9 Otros métodos de secado

➤ Secado Convencional (aire caliente)

La deshidratación por flujo de aire caliente es una técnica que por medio del calor se elimina el agua que contienen algunos alimentos mediante la evaporación, el agua es removida de la superficie del producto y llevada hacia afuera con una sola operación, el aire es calentado mientras entra al secador por medio de intercambios de calor haciendo uso de resistencia eléctricas o combinación directa con gases de combustión de escape, lo que impide el crecimiento de algunas bacterias que no pueden vivir en medios secos. En el secado de frutas y vegetales mediante el empleo de aire caliente a altas temperaturas se afectan las propiedades sensoriales del producto y su valor nutricional según Vega (2005), además produce alteraciones en la forma y la textura del producto; composición y estructura no uniforme, cambios de sabor y aroma, modificación del color, degradación de componentes nutricionales, mala capacidad de rehidratación, de acuerdo con Mascheroni (2010). La temperatura de secado es una variable a tener en cuenta en los estudios cinéticos, pues, aunque temperaturas elevadas pudieran acelerar el proceso, la pérdida de calidad del producto no compensaría la reducción de tiempo del proceso. La cinética del proceso de secado utilizando aire caliente depende tanto de la geometría y espesor del producto como de las propiedades del aire de secado, como son la humedad relativa ambiental, temperatura y velocidad del flujo de aire, por lo que para la deshidratación de

frutas por este método se recomienda utilizar temperaturas entre (40 – 80 °C) con velocidades de aire de $2,0 \pm 0,2 \text{ m/s}$ según (García, 2013). A continuación, en la (Figura 1.6) se presenta un ejemplo típico de un secador de aire caliente donde está compuesta por una zona de sacado, un colector y un fan o ventilador.

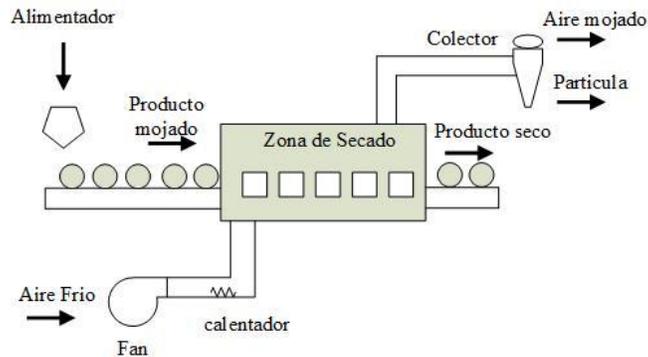


Figura 1.6. Configuración básica de un secador de aire caliente. Fuente (Elaboración Propia)

En la literatura se presentan en la actualidad métodos híbridos para el secado de frutas y vegetales (Onwude et al., 2017) presentan que el secado híbrido no térmico de frutas y verduras mejoran la calidad de los atributos de los productos secos, reducen el tiempo de secado y la demanda de energía, además de aumentar la eficiencia de secado. Además, en el mismo se intenta resaltar los desarrollos recientes del aire caliente convectivo combinado no térmico comúnmente utilizando en técnicas de secado para frutas y verduras, con énfasis en el tiempo de secado.

Según Elmizadeh, (2017) la electrohidrodinámica es uno de los nuevos métodos de secado con bajo consumo de energía, que ha atraído mucha atención de los investigadores en los últimos años. Para el estudio de las rodajas de membrillo se ha utilizado un método electrohidrodinámico con voltaje variable y luego secado con aire caliente con temperatura variable. Los resultados mostraron que los compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante de las rodajas de membrillo secas por aire caliente es 1,37 y 1,15 veces más que aquellos en proceso electrohidrodinámico, respectivamente, y el consumo promedio de energía por secado al aire caliente es 48,66 veces más que el consumo promedio de energía del método electrohidrodinámico.

(Onwude et al., 2016) presenta un sistema de secado eficiente combinando el secado térmico y el secado convencional en aire caliente de cultivos agrícolas, convirtiéndose en

un sustituto viable para técnicas de secado convencionales. Las ventajas más significativas de usar el método anterior fueron la reducción en el tiempo de secado y el consumo de energía, así como, un aumento en la velocidad de secado y eficiencia general. Más aún, la aplicación de secado por infrarrojos y de aire caliente en la agricultura para cultivos son ventajosos para obtener productos secos de mejor calidad.

➤ Secado Solar

Los secadores solares funcionan por un flujo de aire precalentado por medio de energía solar, que se hace pasar por el sólido a secar, este aire provee el calor necesario para remover la humedad contenida dentro y fuera del sólido (Cheung, 2009). Son una alternativa para locaciones donde se encuentra una alta radiación solar según (Pangavhane, 2002). Además, es una manera de ahorrar en combustibles, no contaminar el medio ambiente y mejorar la calidad del producto significativamente (Janjai, 2008). Existen dos tipos de secado solar:

Secado solar directo (al aire libre)

La radiación solar incide directamente por el producto a ser secado, adquiriendo así la energía de evaporación necesaria. Después, la humedad formada en los alrededores del producto es recuperada por el aire tomado del exterior. El material es removido mediante maquinaria específica para favorecer el secado de toda la mesa. En la (Figura 1.7) se presenta un sistema de secado solar directo que está compuesto por un colector, una cámara y unas bandejas.

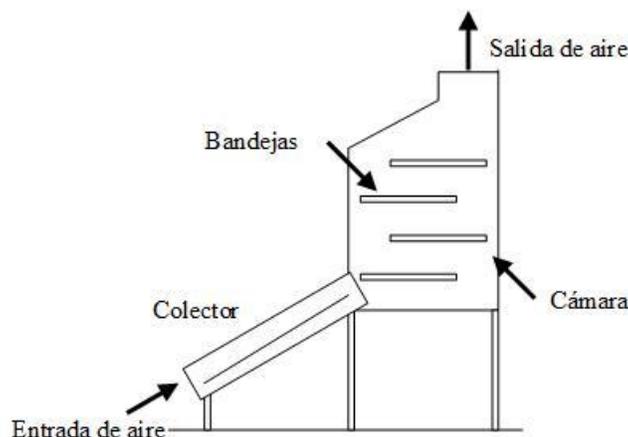


Figura 1.7. Esquema de un sistema de secado solar directo. Fuente (Elaboración Propia)

Secado solar indirecto

La radiación solar es captada por un colector por donde circula cierta cantidad de aire (realiza efecto invernadero: deja entrar energía, pero no que salga, este flujo de aire se calienta e ingresa a la cámara de secado en donde se encuentra el producto a secar. El aire caliente pasa al producto eliminando el contenido de humedad de la cámara. En la (Figura 1.8) se presenta un secador solar tipo invernadero.



Figura 1.8. Secador solar tipo invernadero. Fuente (Martínez, 2013)

Las ventajas de este método son:

1. Proceso técnicamente sencillo.
2. Conocido e implantado
3. Muy bajo costo de implantación y mantenimiento.
4. No requiere mano de obra especializada.
5. No hace uso de combustibles.
6. Evita problemas de transporte y almacenamiento posterior

Desventajas

1. Dependiendo del tipo de secador, el proceso es lento debido a la elevada humedad en el ambiente.
2. Si el secado es malo, sobre todo cuando los materiales contienen un alto porcentaje de agua, aumenta la probabilidad de descomposición, se pudren o se enmohecen.
3. En el caso del secado al sol, se necesita una atención particular para proteger el material de la intemperie (aguaceros, rocío), del polvo, insectos, etc.

4. Las exposiciones directas del material a los rayos solares pueden ser perjudicial en cuanto a su calidad (perdida de color natural, destrucción de vitaminas y valor nutritivo), debido a la acción de los rayos ultravioletas.
5. Requiere grandes superficies para aplicar capas delgadas y aumentar el rendimiento del secado o más tiempo.
6. Requiere personal que remueva el material o que el sistema esté automatizado.

Actualmente el secado solar está integrando necesariamente técnicas solar fotovoltaica, desde paneles fotovoltaicos convencionales hasta por ejemplo los de cilindros parabólicos.

Eltawil et al. (2018) Ullah et al. (2017) Eltawil et al. (2017) desarrollaron un secador de túnel solar portátil híbrido utilizando un sistema fotovoltaico solar y un colector solar de placa plana para secado de frutas comparando con el secado al sol abierto. Los resultados indicaron que el tiempo de secado de las frutas varió siendo inferior para el secador desarrollado, que para el secado al sol abierto.

Esto evidencia que la técnica de sistemas combinados hoy en día garantiza un tiempo de secado inferior en comparación con las técnicas tradicionales, aunque necesariamente esto conlleva un gasto adicional de recursos y materiales.

(Samimi et al., 2018) diseña y examina a escala de laboratorio un sistema de secado solar asistido por panel fotovoltaico y equipado con una unidad de seguimiento solar para estudiar el comportamiento de secado de rodajas de tomate durante el proceso. Como resultado el sistema de seguimiento solar acertó profundamente el tiempo de secado del 16,6 % al 36,6 % y además manteniéndose los parámetros de calidad del producto.

En general, el sistema de seguimiento solar podría ser un enfoque prometedor no solo para acelerar el proceso de secado solar sino también para propulsar esta tecnología de secado un paso más hacia las aplicaciones industriales.

➤ Lecho fluidizado

En algunos casos un lecho se fluidiza mediante un flujo de aire caliente lo que resulta en unas condiciones que son ideales para la aplicación. Existe un contacto íntimo entre el gas y el sólido a una velocidad que provoca coeficientes de transferencia de calor muy altos, con la combinación de la conducción y la convección. Si a esto le sumamos una humedad relativa, obtenemos evaporación casi instantánea a lo que le sigue una importante caída en la temperatura del gas. Así, se mezclan los sólidos eficientemente de lo cual se obtiene un

alto grado de uniformidad del secado (Fuente, 2004). En la (Figura 1.9) se presenta un secador de lecho fluidizado a nivel de planta piloto.

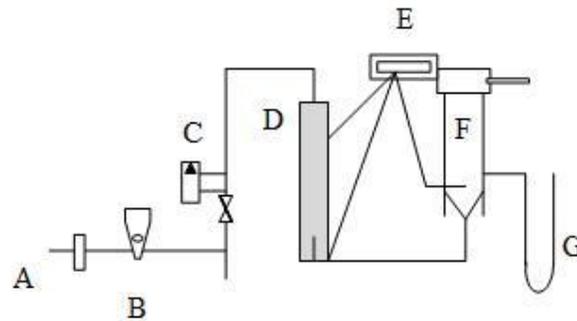


Figura 1.9. Secador de lecho fluidizado a nivel de planta piloto. Fuente (Elaboración Propia)

donde:

A: Trampa

B: Regulador de Presión

C: Rotámetro

D: Resistencia Eléctrica

E: Control de Temperatura

F: Lecho Fluidizado

G: Manómetro

El lecho fluidizado se usa en una amplia gama de industrias. Presenta como ventaja su gran capacidad, es de fácil operación y muestra una alta eficiencia. La única limitación que presenta es que si el flujo del gas no es correctamente regulado el sólido puede ser arrastrado por el gas.

➤ Secado por atomización

Consiste en atomizar el material que se encuentra en estado líquido, ya sea como disolución o como una dispersión, en forma de finas gotas sobre una corriente de gas calentado. Cuando las pequeñas gotas del líquido se ponen en contacto con el gas a mayor temperatura, se produce una rápida evaporación del disolvente, formándose una fina película del material de recubrimiento que se encuentra disuelto en él.

En la industria la obtención de productos en polvo a partir de materiales líquidos se lleva a cabo por medio de un proceso de secado por atomización (Figura 1.10). El proceso de secado por atomización es capaz de transformar una disolución, una emulsión, una suspensión o una dispersión líquida en un producto totalmente seco y estable.

Inicialmente, el líquido se introduce en el equipo por medio de una bomba y se atomiza, a continuación, se elimina el disolvente por medio de una corriente de aire caliente y como

paso final los equipos utilizados en la industria presentan compartimentos de deposición de estas partículas para que al final sean recogidas en un vaso o recipiente cerrado. Las ventajas que presenta la atomización frente a la liofilización son un rendimiento mayor, unos tiempos de procesamientos más cortos y su menor coste (Valero, 2009).

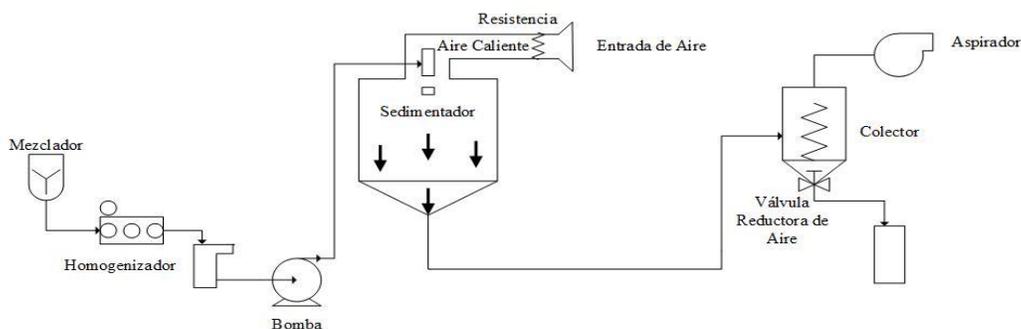


Figura 1.10. Sistema de secado por atomización típico. Fuente (Elaboración Propia)

El secado por atomización presenta como ventajas que produce partículas relativamente uniformes, esféricas y con casi la misma proporción de compuestos que en la alimentación líquida y el producto entra en contacto con las superficies del equipo en condiciones anhidras, simplificando así los problemas de la corrosión y de selección de materiales costosos en la construcción del equipo. Como desventajas la recuperación del producto y la eliminación del polvo aumenta el coste del secado y para una capacidad dada, se necesita generalmente una evaporación mayor que con otros tipos de secadores.

Según (Islam et al., 2017) los factores más importantes en el secado por atomización son la temperatura de entrada y el agente de transporte. Un secado por atomización exitoso mejora las propiedades físicas de los productos en polvo, mientras que preserva compuestos bioactivos con la ayuda de agentes transportadores o sus combinaciones. La nueva tendencia de suministrar aire deshumidificado a la cámara de secado del secador de atomización básicamente ha mejorado notablemente el potencial de la tecnología sobre el secado por atomización convencional. Estos avances contribuirán a una mejora del secado de los jugos de frutas y vegetales mediante enfoques convencionales y modificaciones técnicas de secado por atomización.

(Zotarelli et al., 2016) establece la comparación de la producción de mango en polvo mediante secado por atomización y secado con cinta fundida. Los polvos resultantes del secado de cinta fundida tenían una estructura irregular, a diferencia de las estructuras esféricas mostradas por polvos producidos por secado por pulverización. Además, la

porosidad de los polvos del secado de la cinta fundida fue menor que la de los polvos producidos mediante secado por pulverización. Los resultados muestran que los polvos de mango producidos por el secado por atomización muestran una estabilidad ligeramente menor que las producidas por el secado con cinta fundida.

➤ Liofilización

La liofilización o criodesecación, es un proceso de secado que se basa en sublimar el hielo de un producto congelado. El agua del producto pasa, por tanto, directamente de estado sólido a vapor sin pasar por el estado líquido, para lo cual se debe trabajar por debajo del punto triple del agua, 0,01 °C y 599,95 Pa. El tamaño de los equipos utilizados en la industria oscila entre unos pocos kg de hielo sublimado al día hasta cerca de dos toneladas. Debido a las características del proceso casi todos estos equipos trabajan en discontinuo.

Este proceso tiene como ventaja:

1. Valoración y potenciación de las producciones primarias
2. Ausencia de temperaturas altas, por lo que previene el daño térmico.
3. Conservación, fácil transporte y almacenamiento de los productos.
4. Inhibición del crecimiento de microorganismos, estabilidad microbiológica.
5. Recuperación de las propiedades del alimento al rehidratarlo.
6. Ausencia de aditivos y conservante.
7. Mantenimiento del valor nutricional del alimento.
8. Empleo de vacío, estabilidad química.

Este proceso tiene como desventaja:

1. Largo tiempo de procesamiento.
2. Alto consumo de energía, en algunos casos.
3. Costo de inversión inicial alto.

Para extender la vida útil y desarrollar nuevos productos de la mora, (Cheng et al., 2016) investigó los efectos del almacenamiento, tiempo y temperatura sobre el contenido polifenólico y características cualitativas en los secados por atomización y liofilización. El contenido polifenólico en el polvo de la mora liofilizada fue en la mayoría de los casos más alta que en el polvo secado por atomización cuando se almacenaron durante el mismo período. El contenido de estos componentes tanto en el polvo de la mora secada por congelación como secada por pulverización disminuyeron gradualmente con el mayor

tiempo de almacenamiento. El secado por congelación y el almacenamiento a 4 °C es un método eficiente y conveniente para mantener los componentes polifenólicos bioactivos y las características de alta calidad.

(Somaticha et al., 2016) en su estudio determinó el efecto de diferentes métodos de secado por liofilización (FD), vacío (VD), secado por convección (CD), microondas (VMD) y método combinado (CVM) en los factores de calidad de la fresa. El contenido más alto de compuestos bioactivos y actividad antioxidante se presentó en muestras liofilizadas. El nuevo método combinado de CVM permitió obtener alta calidad en el material seco en comparación con los métodos CD y VMD aplicados por separado. Los resultados muestran que la calidad de la fresa seca depende del método y las condiciones de secado de frutas.

(Ren et al., 2017) investigó el efecto de los ultrasonidos y escaldado antes del secado con aire caliente y liofilización de cebollas en la retención de compuestos bioactivos. El tratamiento con ultrasonido mejoró la retención de los compuestos bioactivos (especialmente quercetina) y, en consecuencia, la actividad antioxidante en la cebolla. Las muestras tratadas con ultrasonido, y luego el secado por liofilización tenían una mayor retención de compuestos bioactivos que las secadas al aire caliente.

1.10 Análisis Multicriterio

1.10.1 Diseño de Experimentos

El diseño experimental es la planeación de una serie de experimentos donde se varían los valores de las variables de entrada de un proceso o sistema y se miden los valores de la variable respuesta o variable de salida, generalmente con el fin de optimizarla en algún sentido. También se llama diseño experimental al resultado de dicha planeación.

El diseño experimental es utilizado ampliamente para la mejora en el rendimiento de los procesos industriales, así como para el desarrollo de nuevos productos, obteniendo de esta manera un ahorro en tiempos y costos de operación. Aporta además un conocimiento profundo de los procesos, generando herramientas eficaces en el manejo de los mismos.

El diseño estadístico de experimentos es el proceso de planear un experimento para obtener datos apropiados que puedan ser analizados mediante métodos estadísticos, con objeto de producir conclusiones válidas y objetivas.

Generalizando, podemos aplicar el diseño de experimentos para:

- Determinar qué variables tienen mayor influencia en los valores de respuesta.

- Determinar el mejor valor de las variables, que permitan obtener un valor cercano al valor de respuesta deseado.
- Determinar el o los mejores valores de las variables independientes, con los cuales la variable respuesta tenga menor variabilidad.

Conceptos Básicos en el Diseño de Experimentos

Para comprender los términos utilizados dentro del diseño experimental se deben definir algunos conceptos como los siguientes:

- Tratamiento. Es el conjunto de circunstancias que se crean específicamente para el experimento en respuesta a las hipótesis de investigación.
- Unidad Experimental. Es la unidad física o el sujeto expuesto al tratamiento, independientemente de otras unidades. La unidad experimental constituye una réplica simple del tratamiento.
- Factores y niveles. Un factor es una variable independiente, que puede variar a voluntad del experimentador. El término niveles, hace referencia a las distintas clases, dosis o cantidades de un factor. Un nivel puede ser entonces, una clase, estado o cantidad particular de un factor. Por ejemplo, si se comparan varias razas de cerdos, el factor es la raza y las diferentes razas corresponden a los niveles del factor raza. Si se estudia el efecto de una dieta, sobre la ganancia de peso en pollos, el factor es la dieta y las diferentes dosis o cantidades suministradas, son los niveles. Como puede verse entonces, se pueden tener factores cualitativos o cuantitativos. Los factores cualitativos son aquellos para cuyos niveles no puede establecerse una noción de distancia. Cada nivel puede considerarse una clase y éstas pueden estar ordenadas o no, por ejemplo, los tipos de raza, diferentes métodos de aplicación, tipos de máquinas, operadores, etc. En nuestro ejemplo el factor cualitativo fue la presión, pues el experimento se corrió con o sin presión. Por otro lado, los factores cuantitativos son aquellos donde los diferentes niveles se expresan en valores numéricos definidos, que corresponden a determinadas cantidades de las variables bajo estudio. Por ejemplo, temperatura, dosis, tiempo, etcétera.
- Factores Controlables y no Controlables. Los factores controlables son aquellos factores o variables de entrada a las que se les puede asignar ciertos valores o niveles de operación, esto es, son manipulables. Los factores no controlables,

también conocidos como factores de ruido, son aquellos que durante la operación del proceso quedan fuera del control del diseñador, como por ejemplo factores ambientales, ánimo de los operadores, calidad u homogeneidad del producto o materia prima recibida, etcétera.

- Error Experimental. Este describe la variación observada entre idénticas unidades experimentales, tratadas independientemente. Se puede deber a varias causas, entre ellas: la variación natural entre unidades experimentales, la variabilidad al medir la respuesta, falta de habilidad al reproducir exactamente las mismas condiciones de una unidad a otra, la existencia de interacción entre unidades experimentales y los tratamientos, o bien algún otro factor extraño.
- Error Aleatorio. Es la variabilidad observada que no se puede explicar por los factores estudiados y resulta del efecto de los factores no estudiados y del error experimental.
- Variable respuesta. Es la característica o variable de salida cuyo valor interesa medir (Tarazón, 2004).

En la literatura autores como (Luje, 2014), (Rodríguez, 2013), (Ramirez, 2012), (Wais, 2011), (García, 2010) certifican la utilización de un diseño de experimentos para analizar la influencia de varias variables en el proceso de deshidratación.

1.10.2 Criterios de Expertos

Este método nos permite consultar un conjunto de expertos para validar nuestra propuesta sustentado en sus conocimientos, investigaciones, experiencia, estudios bibliográficos, etc. Da la posibilidad a los expertos de analizar el tema con tiempo sobre todo si no hay posibilidades de que lo hagan de manera conjunta. Casi siempre sus ocupaciones lo impiden por los niveles de responsabilidad de cada uno y la dispersión de los lugares de ubicación de los mismos. Esta vía se caracteriza por permitir el análisis de un problema complejo dando independencia y tranquilidad a los participantes, es decir, a los expertos. Siempre se comenzaría este proceso enviando un modelo a los posibles expertos con una explicación breve sobre los objetivos del trabajo y los resultados que se desean obtener (Corral, 2009).

A decorative graphic consisting of several overlapping, wavy bands of light blue and medium blue, creating a sense of movement and depth. The waves are positioned in the lower half of the page.

Capitulo II

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA PARA LA DESHIDRATACIÓN COMBINADA DE LA PIÑA

En este capítulo se desarrollará la metodología mostrada en el diagrama heurístico de la Figuras 2.1 que comienza con la realización de los experimentos dónde se delinear los pasos a seguir para la deshidratación combinada de la piña, seguido de un diseño de experimentos donde se seleccionan de las variables a controlar, así como la selección del diseño más adecuado que se ajuste al objetivo del estudio. La metodología desarrollada incorpora un análisis mediante el criterio de expertos que permitirá tomar la decisión final de cuál de las soluciones osmóticas mantiene mejores propiedades organolépticas a la fruta. Finalmente se obtendrá un modelo en concordancia con el criterio dado por los expertos que mejor se ajuste para las condiciones del análisis.

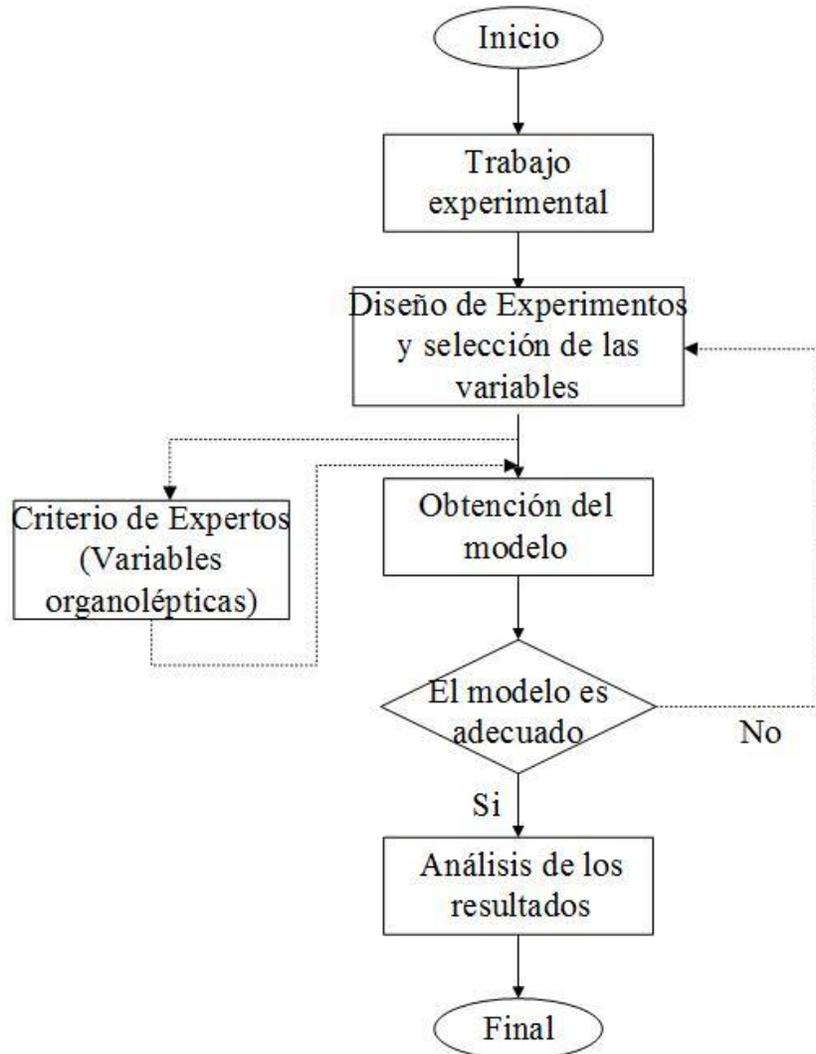


Figura 2.1 Esquema de heurístico. Fuente (Elaboración Propia)

2.1 Trabajo experimental

El trabajo experimental para el proceso de deshidratación combinada comprende varias etapas como se muestra en el siguiente diagrama de flujo (Figura 2.2). Desde la recepción de la fruta hasta la etapa de secado solar como complemento del proceso.

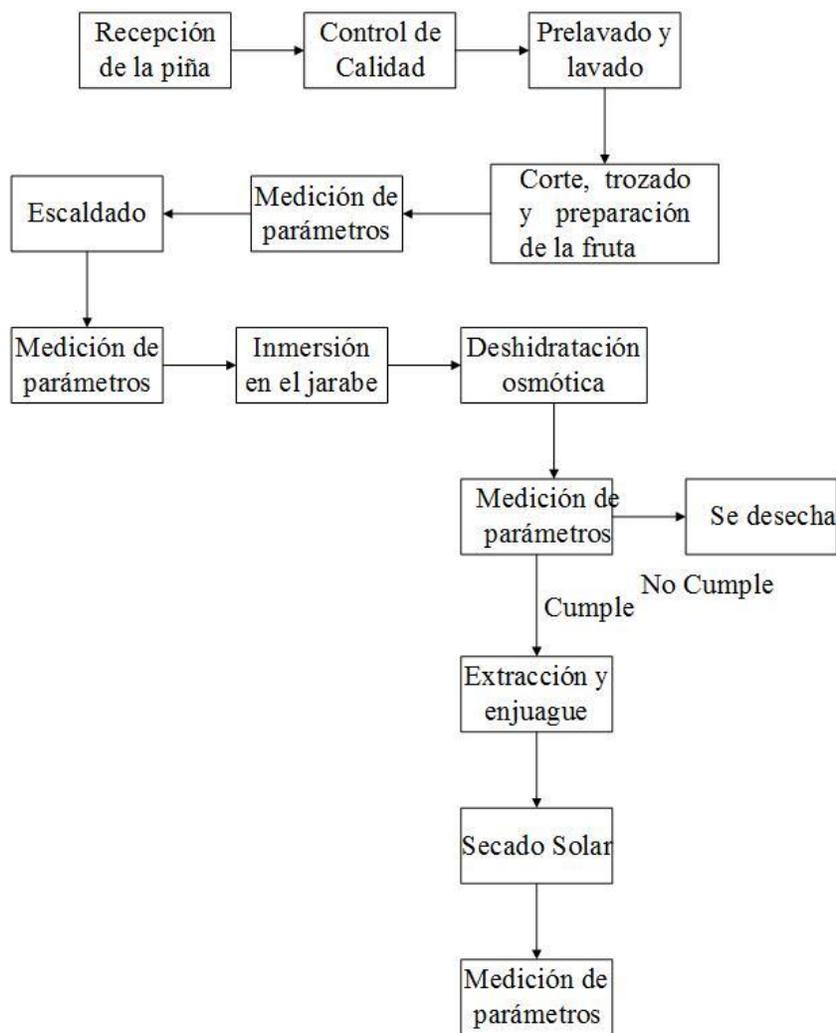


Figura 2.2. Diagrama de flujo. Fuente (Elaboración Propia)

2.1.1 Descripción de las etapas del trabajo experimental.

➤ Recepción de la piña:

La fruta se puede adquirir a través de centros comerciales que se dediquen a la comercialización de la piña o cualquier otro punto de venta. Una vez adquirida requiere de la más rápida transportación al lugar donde se va a desarrollar el proceso y mantenerla en un ambiente adecuado.

➤ Control de calidad:

La fruta tiene que estar en perfectas condiciones y que se encuentre en el punto adecuado de maduración. No puede tener golpes ni zonas oscuras ya que se potenciarán con el proceso de deshidratación, de manera general debe estar madura, pero consistente.

➤ Prelavado y lavado:

Una vez ya seleccionada la fruta tiene que ser sometida a un lavado exhaustivo que asegure que en el momento del pelado será muy poco contaminada con agentes patógenos o de deterioro externos.

➤ Corte, trozado y preparación de la fruta:

Una vez bien lavada, se inicia el proceso de corte, trozado y preparación para avanzar con el proceso de deshidratación. Aquí se tiene en cuenta el destino final que va a tener el producto, para sí darle la forma adecuada.

➤ Medición de parámetros:

Se le debe controlar a cada una de las rodajas los parámetros de °Brix, la Temperatura y el Peso.

➤ Escaldado:

Para la realización del escaldado hay que sumergir la fruta en un recipiente de aluminio con agua a una temperatura que debe oscilar entre 60 °C y 80 °C durante un periodo corto de 3 a 4 min.

➤ Medición de parámetros:

Se vuelve a controlar cada uno de los parámetros ya controlados anteriormente.

➤ Inmersión en el jarabe:

Cada una de las rodajas deben ser sumergidas en la solución osmótica (SO) correspondiente cuidando que quede completamente cubiertas.

➤ Deshidratación osmótica:

La deshidratación se efectuará en un periodo aproximadamente de 8 a 10 horas a temperatura ambiente controlándose los °Brix, el % de Agua y la Temperatura de la SO cada cierto tiempo. Se debe mantener la solución con una leve agitación a fin de asegurar que la solución en contacto con la fruta tenga una mayor transferencia ya que, de no agitarse, el proceso será más lento.

➤ **Medición de parámetros:**

Después de finalizada la deshidratación se deben de volver a medir los °Brix, el Peso y la Temperatura de la fruta, además de controlar las propiedades organolépticas (olor, sabor, color y textura).

➤ **Extracción y escurrido:**

Las rodajas de piña se extraerán con el mayor cuidado posible para no dañar el producto y se deben escurrir para quitar los restos de jarabe que pueda contener las rodajas en la superficie.

➤ **Secado solar:**

Las frutas deshidratadas osmóticamente aún contienen niveles de humedad de un 20 % a 30 %, por lo que se puede aplicar procesos de secado complementarios que permitan extender la vida útil del producto por un tiempo mayor.

➤ **Medición de parámetros:**

Después de finalizado el secado se controlan las propiedades organolépticas (olor, sabor, color y textura) y se debe medir los °Brix, la temperatura y el peso.

2.1.2 Recursos materiales disponibles

2.1.2.1 Recursos físicos

- Laboratorio del Departamento de Química de la Universidad de Cienfuegos Sede "Carlos Rafael Rodríguez".

2.1.2.2 Materiales y equipos

➤ Materia prima

La materia prima disponible para el análisis fueron adquiridas a través de la Unidad Estatal Básica (UEB) Comercializadora Frutas Selectas de Cienfuegos.

➤ Equipos

La cristalería utilizada fueron un Vidrio reloj, Beaker, y un termómetro de mercurio con un rango de medición de -10°C a 100°C , así como los equipos utilizados con sus características técnicas están presentados en las tablas 2.1-2.5.

La Tabla 2.1 presenta las características técnicas del refractómetro óptico marca Movel modelo VBR 32 T ([Anexo 4](#)).

Tabla 2.1 Características técnicas del refractómetro óptico marca Movel modelo VBR 32 T.

Denominación	Especificaciones
Marca	Movel
Modelo	VBR 32 T
Rango de medición (⁰ Brix)	0-32
Resolución (%)	0,2
Tamaño (mm)	27x40x160
Precisión (%)	+/- 0,2

Fuente (Elaboración Propia)

La tabla 2.2 ([Anexo 5](#)) presenta el refractómetro óptico marca Aqueous Lab modelo COMNHKPR 143478

Tabla 2.2. Características técnicas del refractómetro óptico marca Aqueous Lab modelo COMNHKPR 143478.

Denominación	Especificaciones
Marca	Aqueous Lab
Modelo	COMNHKPR 143478
Rango de medición (⁰ Brix)	58-90
Compensación Automática de Temperatura (°C)	0-30
Tamaño (mm)	175

Fuente (Elaboración Propia)

La temperatura ambiente y la humedad relativa fue medida mediante un termómetro dual marca Testo modelo 610. La tabla 2.3 ([Anexo 6](#)) presenta el termómetro utilizado en el estudio.

Tabla 2.3 Características técnicas del termómetro dual marca Testo modelo 610.

Denominación	Especificaciones
Marca	Testo
Modelo	610
Rango de temperatura (⁰ C)	-10-50
Rango de humedad relativa (%)	0-100
Tamaño (mm)	119x46x25

Fuente (Elaboración Propia)

La balanza analítica marca Sartorius modelo BS 124 S (Figura 2.3 a)) fue utilizada para el control del peso de las rodajas antes y después de la deshidratación, esta presenta un peso

máximo de 120 g y se debe de calibrar justo antes de comenzar el proceso de medición. Se utilizó además una batidora marca Braun (Figura 2.3 b)) con una potencia de 200 W para la homogeneidad en el mezclado de las soluciones osmóticas.



Fuente 2.3 a) Balanza analítica Sartorius. Fuente (Elaboración Propia)



Figura 2.3 b) Batidora Braun. Fuente (Elaboración Propia)

Se utilizó una cocina eléctrica marca LIYA ([Anexo 7](#)) para el escaldado garantizándose una temperatura estable de 70 °C por 3 o 4 minutos. La tabla 2.4 presenta las características técnicas para esta cocina eléctrica.

Tabla 2.4. Características técnicas de la cocina eléctrica marca LIYA

Denominación	Especificaciones
Marca	LIYA
Modelo	EM-1 SB EXP
Voltaje (V)	120
Frecuencia (Hz)	60
Potencia eléctrica (W)	1 200

Fuente (Elaboración Propia)

El secado final de la fruta fue mediante un secador solar diseñado por el Ing. Erislandy José Becerra Fonseca ([Anexo 8](#)) cuyas dimensiones son (70 cm x 50 cm x 12 cm), el mismo cuenta además con un cristal transparente y una malla de acero inoxidable para garantizar el escurrimiento final de la fruta deshidratada.

2.2 Diseño de Experimentos

Existen muchos diseños experimentales para estudiar la gran diversidad de problemas o situaciones que ocurren en la práctica. Esta cantidad de diseños hace necesario saber cómo elegir el más adecuado para una situación dada y, por ende, es preciso conocer cómo es que se clasifican los diseños de acuerdo con su objetivo y su alcance (Pulido, 2008).

Para efectuar el diseño de experimento de la presente investigación se tienen en cuenta los siguientes aspectos planteados por (Pulido, 2008):

- El objetivo del experimento.
- El número y tipo de factores a estudiar.
- El número de niveles que se prueban en cada factor.
- Los efectos que interesa investigar (relación factores-respuesta).
- El costo del experimento, tiempo y precisión deseada.

2.2.1 Definición del problema estadístico

La piña (*Ananas comosus*) es una fruta con una estacionalidad muy marcada y con un alto contenido en agua por lo que la hace muy perecedera y por ende resulta conveniente disminuir su peso mediante un tratamiento de deshidratación combinada. Se desea comparar como varían las propiedades organolépticas, así como los ⁰Brix, el Peso y la Temperatura de la fruta en nueve diferentes SO en distintas condiciones iniciales de concentración y temperatura ambiente. Para controlar este efecto se han seleccionado 9 piñas una para cada SO. Los tratamientos aplicados se miden cada 20 minutos por un periodo de 8 horas, el tiempo es tratado como una variable de bloque.

2.2.2 Selección de los factores a estudiar, número y magnitud de los niveles de estos

Las muestras no son independientes entre sí ya que el objeto bajo estudio es el mismo.

- Unidad experimental: La piña.
- Factor: Deshidratación combinada de la piña y el tiempo.
- Niveles del factor: 9 Soluciones osmóticas.

Soluciones osmóticas: MA, Miel A, Miel A_R, Miel B, Miel B_R, Miel C, Miel C_R, JS_ABD, JS_AC.

donde

MA: Miel de Abeja

Miel A: Miel A de la caña de azúcar

Miel A_R: Miel A de la caña de azúcar rebajada

Miel B: Miel B de la caña de azúcar

Miel B_R: Miel B de la caña de azúcar rebajada

Miel C: Miel C de la caña de azúcar

Miel C_R: Miel C de la caña de azúcar rebajada

JS_ABD: Jarabe de Sacarosa (Azúcar Blanco Directo)

JS_AC: Jarabe de Sacarosa (Azúcar Crudo)

2.2.3 Selección de las variables

Variables de entrada

$^{\circ}Bx$: $^{\circ}Brix$ de la SO ($^{\circ}Bx$)

% H₂O: % de Agua de la SO (%)

T_{so}: Temperatura de la SO (°C)

Variables de respuesta

P_f : Peso de la fruta (g)

$^{\circ}Bx_f$: $^{\circ}Brix$ de la fruta ($^{\circ}Bx$)

T_f : Temperatura de la fruta (°C)

En la Figura 2.4 queda resumido el modelo general del proceso o sistema seleccionado.

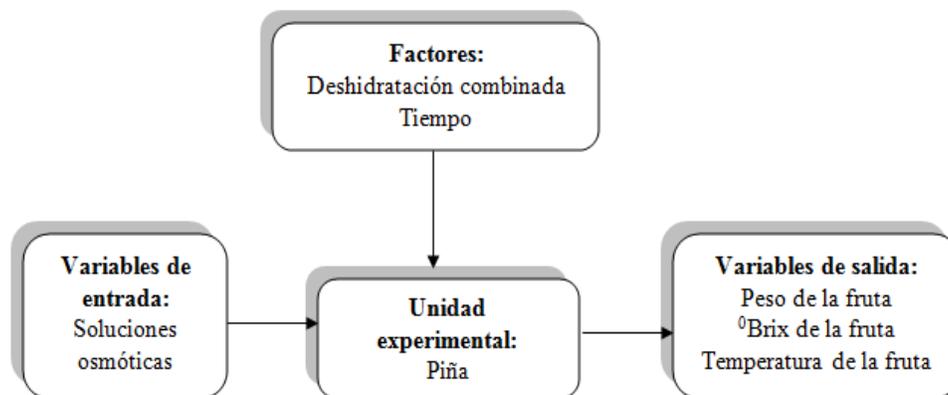


Figura 2.4. Modelo del sistema. Fuente (Elaboración Propia)

2.2.4 Selección del Diseño Experimental.

Por las características que presentan los datos se propone entonces realizar un diseño del tipo de un solo factor categórico modelo de efectos fijos. Este modelo es el más sencillo del diseño de experimentos, en el cual la variable respuesta puede depender de la influencia de un único factor, de forma que el resto de las causas de variación se engloban en el error experimental.

El modelo correspondiente a este tipo de diseño está expresado en la ecuación 2.1:

$$y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij} \quad (2.1)$$

donde:

y_{ij} : Es la observación

τ_j : Efecto del factor

μ : Media global

ϵ_{ij} : Efecto del error aleatorio

2.2.5 Pruebas experimentales

El control de la fruta se realiza en tres momentos para la temperatura y los ⁰Brix:

1. Control de la fruta al inicio.
2. Control de la fruta después del escaldado
3. Control de la fruta después de la deshidratación.

El peso de la fruta se mide en cuatro momentos:

1. Control de la fruta al inicio.
2. Control de la fruta después del escaldado
3. Control de la fruta después de la deshidratación.
4. Control de la fruta después del secado.

Para las SO se midió la Temperatura, los ⁰Brix y el % de Agua cada 20 min por un periodo de 8 horas.

2.2.6 Análisis estadístico de los datos obtenidos del experimento.

El procedimiento estadístico se realizó de la siguiente forma:

1. Análisis de documentos para encontrar la información necesaria para comenzar las investigaciones. Realizado en el capítulo 1.
2. Recogida de los datos, a través de la toma de muestras, para la recopilación de la información que permita generar nuevos conocimientos.
3. El análisis exploratorio de los datos fue realizado para identificar los modelos más adecuados para representar la población de la cual proceden los datos muestrales. Dicho análisis se basa en observar el comportamiento de la normalidad sobre las variables de estudio, necesaria para que los resultados de los análisis estadísticos sean fiables.
4. Análisis del efecto de las soluciones osmóticas sobre la temperatura, el peso y los ⁰Brix de la fruta, para verificar si las soluciones osmóticas tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la fruta.
5. Análisis de la variabilidad en el proceso para conocer si éste opera alrededor de las especificaciones que hemos fijado.

- Analizar la variabilidad de los °Brix, el % de Agua y la Temperatura en las soluciones osmóticas.
- Analizar la variabilidad de Temperatura, la Pérdida de Peso y los °Brix en la fruta.
- Analizar la variabilidad de los °Brix, el % de Agua y la Temperatura de las soluciones osmóticas en el tiempo.
- Analizar la variabilidad de la Temperatura, la Pérdida de Peso y los °Brix de la fruta en el tiempo.

2.3 Criterio de Expertos

El Criterio de Expertos se aplicó con el fin de evaluar la pertinencia y factibilidad de las propiedades organolépticas de las rodajas de piña osmóticamente deshidratadas en diferentes soluciones osmóticas después de finalizada la etapa experimental. Para ello se debe de seleccionar los expertos a consultar y analizar su nivel de competencia.

2.3.1 Elección de los expertos a consultar

Para este análisis se utiliza la metodología elaborada por el Comité Estatal para la Ciencia y la Técnica de Rusia, elaborado en 1971, para la determinación de la competencia de los expertos.

1. Primeramente, se debe confeccionar un listado inicial de personas posibles de cumplir los requisitos para ser expertos en la materia a trabajar, previamente consultada su disposición para participar cada experto desconoce la identidad de los demás integrantes solo el administrador de la encuesta puede identificar a cada participante y sus respuestas. Se les asegurará su anonimato, en el sentido que ninguna de sus declaraciones u opiniones será atribuida a ellos por su nombre.
2. En una segunda etapa se realizará una valoración sobre el nivel de experiencia que poseen, evaluando de esta forma los niveles de conocimientos que presentan sobre la materia. Se les realiza una primera pregunta para una autoevaluación de los niveles de información y argumentación que tienen sobre el tema en cuestión.

La tabla 2.5 presenta una representación de la autoevaluación del candidato en una escala de 1 a 10.

Tabla 2.5. Modelo de autoevaluación del candidato.

Expertos	n		
	1	(...)	10
I			
(...)			
XV			

Fuente (Elaboración Propia)

2.3.1.1 Determinación del Coeficiente de Competencia (K) para cada experto

Para la determinación del Coeficiente de Competencia (K) se debe hallar el coeficiente de conocimiento (K_c) así como el Coeficiente de Argumentación (K_a) de cada experto.

Coeficiente de conocimiento K_c

El coeficiente de conocimiento K_c que valora los niveles de información y argumentación que tienen los expertos sobre el tema en cuestión puede ser determinado mediante la ecuación 2.2

$$K_c = n * (0,1) = \frac{n}{10} \quad (2.2)$$

Dónde:

K_c : Coeficiente de Conocimiento o Información

n: Rango seleccionado por el experto

Coeficiente de Argumentación (K_a)

Debe realizarse una segunda pregunta que permite valorar un grupo de aspectos que influyen sobre el nivel de argumentación o fundamentación del tema a estudiar, la tabla 2.6 presenta las fuentes de argumentación o fundamentación en sus tres criterios (Alto, Medio, Bajo).

Tabla 2.6. Fuentes argumentación o fundamentación en sus tres criterios.

Fuentes de argumentación o fundamentación		Alto	Medio	Bajo
1	Su experiencia teórica			
2	Su experiencia práctica			
3	Bibliografía nacional consultada			
4	Bibliografía internacional consultada			
5	Su conocimiento del estado del problema			
6	Su intuición			

Fuente (Elaboración Propia)

Los aspectos que influyen sobre el nivel de argumentación o fundamentación del tema a estudiar permiten calcular el Coeficiente de Argumentación (K_a) de cada experto dada por la ecuación 2.3:

$$K_a = \sum n_i = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6 \quad (2.3)$$

donde:

K_a : Coeficiente de Argumentación

n_i : Valor correspondiente a la fuente de argumentación i (1 hasta 6)

Una vez obtenido los valores del Coeficiente de Conocimiento (K_c) y el Coeficiente de Argumentación (K_a) se puede determinar el Coeficiente de Competencia (K) que finalmente es el coeficiente que determina en realidad que experto se toma en consideración para trabajar en esta investigación. Este coeficiente (K) se calcula por la ecuación 2.4:

$$K = 0,5 * (K_c + K_a) = \frac{(K_c + K_a)}{2} \quad (2.4)$$

donde:

K : Coeficiente de Competencia

K_c : Coeficiente de Conocimiento

K_a : Coeficiente de Argumentación

El Coeficiente de Competencia K permite clasificar a los expertos en función de parámetros establecidos. La tabla 2.7 presenta esta clasificación.

Tabla 2.7. Rangos de Coeficiente de Competencia K .

Grado de competencia	Coeficiente de Competencia K
Alto	$0,8 \leq K \leq 1,0$
Medio	$0,5 \leq K < 0,8$
Bajo	$K < 0,5$

Fuente (Elaboración Propia)

Se debe utilizar para su consulta a expertos de competencia alta, no obstante, se puede valorar si se utiliza expertos de competencia media en caso de que el coeficiente de competencia promedio de todos los posibles expertos sea alto, pero nunca se utilizará expertos de competencia baja.

Para la confección del listado de expertos, se tendrá en cuenta el coeficiente de competencia, pero también es importante analizar la calidad de cada uno de ellos: su conducta activa, su

juicio autocrítico, su ética en la discusión, su creatividad y disposición en la solución del problema, su capacidad de análisis y pensamiento para resolver de forma eficiente una problemática que exija un criterio que enfrente marcos tradicionales o actuales, además su posibilidad real de participación.

2.3.2 Análisis de valoración de aspectos (Método Delphi)

El método Delphi permite consultar un conjunto de expertos para validar la propuesta sustentada en sus conocimientos, investigaciones, experiencia, estudios bibliográficos, etc. Da la posibilidad a los expertos de analizar el tema con tiempo, casi siempre sus ocupaciones lo impiden por los niveles de responsabilidad de cada uno.

Generalmente los rangos de valoración son 5, es decir, Inadecuado, Poco Adecuado, Adecuado, Bastante Adecuado y Muy Adecuado a los que se le asigna un valor numérico del 1 al 5 en el mismo orden.

Previamente se construye una tabla de Aspectos a Evaluar / Rangos de Valoración (de 1 a 5) donde se registran los criterios de los expertos en cada rango de valoración para los diferentes aspectos a evaluar. Es evidente que esta tabla debe ser única por cada experto. La tabla 2.8 presenta un modelo de aspectos a evaluar.

Tabla 2.8. Modelo de tabla de Aspectos a Evaluar / Rangos de Valoración.

Aspectos a Evaluar	Inadecuado	Poco Adecuado	Adecuado	Bastante Adecuado	Muy Adecuado
1					
(...)					
n					

Fuente (Elaboración Propia)

Los pasos son:

- Obtención de la tabla de frecuencia observada, suma de las valoraciones por aspectos de cada experto.
- Obtención de la tabla de frecuencia acumulativa.
- Obtención de la tabla de frecuencia acumulativa relativa.
- Asignación a partir de la tabla de Z de la distribución normal, del valor de la imagen que corresponde a cada frecuencia acumulativa relativa obtenida.
- Obtención de los puntos a través del cálculo de N-P (ecuación 2.5 y 2.6), donde:

$$N = \frac{\text{Sumatoria de la suma por aspectos}}{\text{No. de rangos de valoración} * \text{No. de aspectos}} \quad (2.5)$$

$$P = \text{Promedio por aspectos} \quad (2.6)$$

Se divide la recta por categorías a partir de los Puntos de Corte y se ubican los puntos N-P para determinar la categoría de cada aspecto (ecuación 2.7).

$$\text{Puntos de Corte} = \frac{\text{Sumatoria Rangos de Valoración}}{\text{No. de Aspectos a Evaluar}} \quad (2.7)$$

2.3.2.1 Análisis de la información obtenida.

Con estos resultados se pueden otorgar los respectivos rangos de valoración a cada aspecto analizado, es decir, Muy Adecuado, Bastante Adecuado, Adecuado, Poco Adecuado e Inadecuado o sencillamente otorgarle un grado de jerarquía del 1 al 5 respectivamente.

Estos valores tipificados se envían a los expertos junto con la tabla inicial donde se encuentran los criterios emitidos y se les solicita su opinión.

Si hay variación respecto a lo que plantearon inicialmente, se vuelven a procesar los nuevos rangos de valoración con el mismo procedimiento y se consultan las veces que sea necesario hasta que no haya más modificaciones en los criterios. Se realizan cuantas vueltas sean necesarias hasta que los expertos decidan no variar más su opinión.

2.3.3 Análisis de la concordancia en la valoración de aspectos (Coeficiente de Kendall)

Después de obtener una proposición final en la consulta a los expertos se debe demostrar su confiabilidad, verificando el nivel de acuerdo entre los expertos para otorgar mayor autenticidad al estudio, es preciso comprobar el grado de coincidencia de las valoraciones realizadas por los expertos.

Se utiliza entonces el Coeficiente de Concordancia de Kendall, que constituye un estadígrafo muy útil en estudios de confiabilidad entre expertos de una materia, al determinar la asociación entre distintas variables. Es una medida de coincidencia entre ordenaciones que pueden ser objetos o individuos. En este caso el coeficiente concordancia (W) será un índice de la divergencia del acuerdo efectivo entre los expertos mostrado en los datos del máximo acuerdo posible (perfecto).

Para la aplicación del Coeficiente de Concordancia de Kendall (W), se construye una tabla Aspectos a evaluar / Expertos (tabla 2.9) donde se presentan los rangos de valoración (en términos numéricos, 1 a 5) asignados a cada aspecto evaluado contra cada uno de los expertos, siempre tomando los datos a partir de la tabla que se usó en el Método Delphi, o

sea, la tabla de Aspectos / Rangos de Valoración donde se encuentran los criterios de los expertos y los rangos de valoración.

Tabla 2.9. Tabla de rangos de valoración.

Aspectos a Evaluar	Experto 1	Experto 2	Experto 3	(...)	Experto n
1					
(...)					
n					

Fuente (Elaboración Propia)

2.3.3.1 Análisis de la concordancia en la valoración de aspectos

- Determinación de la suma de los valores numéricos asignados a cada aspecto a evaluar, según la apreciación del experto (R_j)
- Determinación del valor medio de las R_j , dada por la sumatoria de los R_j entre N , total de aspectos a evaluar.
- Determinación de la desviación media, dada por la diferencia entre cada R_j y el valor de la media.
- Determinación de la suma de los cuadrados de las desviaciones medias, S .
- Determinación del cuadrado del número total de expertos, K .
- Determinación del cubo del número total de aspectos a evaluar, N .
- Determinación de la diferencia entre el cubo de N y N y su multiplicación por el cuadrado de K .

El estadígrafo de Kendall se determina mediante la expresión 2.8:

$$W = \frac{12 S}{K^2 * (N^3 - N)} \quad (2.8)$$

En la prueba estadística Coeficiente de Concordancia de Kendall (W), el coeficiente W ofrece el valor que posibilita decidir el nivel de concordancia entre los expertos. El valor de W oscila entre 0 y 1. El valor de 1 significa una concordancia de acuerdos total y el valor de 0 un desacuerdo total. Obviamente la tendencia a 1 es lo deseado pudiéndose realizar nuevas rondas si en la primera no es alcanzada significación en la concordancia.

2.4 Obtención del modelo matemático a partir de datos estadísticos

Para la obtención del modelo estadístico se realiza el análisis de correlación, para observar la asociación entre las variables. La correlación de Pearson se emplea para datos con distribución normal, mientras que la correlación de Spearman siempre y cuando las variables no sigan una distribución normal. Luego se realiza el análisis de regresión múltiple para la obtención del modelo. En sentido general se evalúan las variables que influyen en el peso final de la fruta una vez deshidratada.

Variable dependiente: Peso de la Fruta

Variables independientes: °Brix, % de Agua, Temperatura.

Para describir la relación entre el peso de la fruta y las variables independientes se puede fundamentar mediante un análisis de varianza a través de una prueba de hipótesis. Los pasos siguientes describen las etapas para la obtención del modelo.

1. Análisis de Varianza

El primer paso consiste en realizar un análisis de correlación para describir la relación entre el peso de la fruta y las variables independientes, este permite comparar mediante el *Valor-P* y las hipótesis propuestas si existe una fuerte relación entre las variables descritas para el estudio. La tabla 2.10 presenta un ejemplo de cómo mediante un análisis de varianza se puede describir esta relación.

Tabla 2.10. Análisis de varianza propuesto para describir la relación entre el peso de la fruta y las variables independientes.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo					
Residuo					
Total (Corr.)					

Fuente (Elaboración Propia)

2. Formulación de las hipótesis a evaluar

Para la mayoría de los análisis de este tipo es necesario evaluar correctamente las hipótesis formuladas. De aquí que estas deben de guardar claramente los objetivos que se persiguen en el estudio. Para este caso las hipótesis se pueden presentar de la siguiente manera:

Hipótesis nula (H_0): no existe diferencias entre el peso de la fruta y las variables independientes

Hipótesis alterna (H_1): existe diferencias entre el peso de la fruta y en al menos una de las variables independientes.

3. Elección del nivel de significancia de la prueba

La elección del nivel de significancia de la prueba es un paso importante ya que permite aceptar o rechazar cualquier hipótesis con un grado de certeza adecuado. Para la mayor parte de las pruebas es comúnmente utilizado un nivel de significancia $\alpha=0,05$ o se un 95 % de confianza en las pruebas.

4. Teoría de decisión

La teoría de decisión permite aceptar o rechazar una de las dos hipótesis formuladas. Por ejemplo, se puede rechazar la hipótesis nula (H_0) si el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor de 0,05.

5. Decisión

La decisión final está basada en la comparación entre los resultados de la tabla ANOVA con el nivel de significancia α para verificar si existe relación estadísticamente significativa entre las variables. Una vez comparado esta condición es posible presentar el modelo ajustado para estas variables además de considerar el estadístico- R^2 cuya correlación entre las variables se considera adecuada para valores mayores de 0,75.

A decorative graphic consisting of several overlapping, wavy, translucent blue bands that create a sense of movement and depth. The bands are positioned in the lower half of the page, with the text 'Capítulo III' overlaid on them.

Capítulo III

CAPITULO III. ANALISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se parte del análisis estadístico realizado para cada una de las soluciones, así como las piñas consideradas en el estudio. Se realizó un análisis de criterios de expertos que permitió seleccionar que solución fue la que mejores propiedades organolépticas mantuvo para la fruta de allí que fue utilizada para la elaboración de un modelo matemático a partir de datos estadísticos. Para ello fueron utilizados los programas Statgraphics para el procesamiento experimental y el programa SPSS y Consulta a expertos para el análisis de criterio de expertos.

3.1 Análisis estadístico de los datos obtenidos del experimento

3.1.1 Análisis exploratorio de los datos para la solución osmótica.

El análisis exploratorio de los datos se realiza para poder determinar cuál estimador la media o mediana puede ser utilizado para caracterizar correctamente las variables a estudiar. Los valores del sesgo estandarizado y de curtosis estandarizada, no se encuentran dentro del intervalo esperado (-2 a +2) para los °Brix, el % de Agua de la solución osmótica (Tabla 3.1 y Tabla 3.2), lo cual indica que no provienen de una distribución normal, de ahí que no hay un elevado grupo de observaciones alrededor de los valores centrales de la variable. De lo anterior se concluye que el promedio (media) no es un buen estimador, por lo que se utilizará la mediana. En el caso de la temperatura si cumple con esa condición, por lo que se utilizará la media (Tabla 3.3).

Tabla 3.1. Resumen estadístico para los °Brix de la SO.

	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
°Brix_ SO. Miel A	3,64067	-0,515281
°Brix_ SO. Miel A rebajada	2,05272	-2,08911
°Brix_ SO. Miel B	1,15438	-2,43155
°Brix_ SO. Miel B rebajada	2,13232	-2,05348
°Brix_ SO. Miel C	1,62056	-2,27567
°Brix_ SO. Miel C rebajada	1,49732	-2,15615
°Brix_ SO. Miel de abeja	1,74679	-1,86575
°Brix_ SO. Jarabe de sacarosa BD	2,04847	-1,8614
°Brix_ SO. Jarabe de sacarosa AC	2,78021	-1,5478
Total	3,25127	-3,22007

Fuente (Elaboración Propia a partir del software Statgraphics)

Tabla 3.2. Resumen estadístico para el % de Agua de la SO.

	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
% Agua_ SO. Miel A	-3,74253	-0,41699
% Agua_ SO. Miel A rebajada	-2,05272	-2,08911
% Agua_ SO. Miel B	-1,16181	-2,45021
% Agua_ SO. Miel B rebajada	-2,13232	-2,05348
% Agua_ SO. Miel C	-1,54592	-2,28315
% Agua_ SO. Miel C rebajada	-1,501	-2,14482
% Agua_ SO. Miel de abeja	-1,74679	-1,86575
% Agua_ SO. Jarabe de sacarosa BD	-2,04847	-1,8614
% Agua_ SO. Jarabe de sacarosa AC	-2,78021	-1,5478
Total	-3,27278	-3,18939

Fuente (Elaboración Propia a partir del software Statgraphics)

Tabla 3.3. Resumen estadístico para la temperatura de la SO.

	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
Temperatura_ SO. Miel A	-1,11981	0,710162
Temperatura_ SO. Miel A rebajada	-1,6011	1,39013
Temperatura_ SO. Miel B	-1,68576	1,37394
Temperatura_ SO. Miel B rebajada	-1,38503	0,116713
Temperatura_ SO. Miel C	-1,22322	0,969679
Temperatura_ SO. Miel C rebajada	-2,19554	1,07953
Temperatura_ SO. Miel de abeja	-0,647836	0,0716958
Temperatura_ SO. Jarabe de sacarosa BD	-1,14695	0,686365
Temperatura_ SO. Jarabe de sacarosa AC	-1,7832	0,112742
Total	-3,48441	-0,83279

Fuente (Elaboración Propia a partir del software Statgraphics)

3.1.2 Análisis exploratorio de los datos para las frutas.

En el caso de la Temperatura, el % de Agua y los ⁰Brix de la fruta los valores del sesgo estandarizado y de curtosis estandarizada, si se encuentran dentro del intervalo esperado (-2 a +2), lo cual indica que provienen de una distribución normal (Tabla 3.4-3.6), de ahí que hay un elevado grupo de observaciones alrededor de los valores centrales de la variable. De lo anterior se concluye que el promedio (media) si es un buen estimador.

Tabla 3.4. Resumen estadístico para la temperatura de la fruta.

	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
Temp. de la Fruta. Miel A	1,05581	-1,00156
Temp. de la Fruta. Miel A rebajada	1,05037	-1,03942
Temp. de la Fruta. Miel B	1,06128	-1,0132
Temp. de la Fruta. Miel B rebajada	1,05152	-1,03481
Temp. de la Fruta. Miel C	1,04846	-1,04327

Temp. de la Fruta. Miel C rebajada	1,03266	-1,04636
Temp. de la Fruta. Miel de abeja	1,05441	-1,02718
Temp. de la Fruta. Jarabe de sacarosa BD	1,04858	-1,03268
Temp. de la Fruta. Jarabe de sacarosa AC	1,0489	-1,02888
Total	1,94186	-2,31609

Fuente (Elaboración Propia a partir del software Statgraphics)

Tabla 3.5. Resumen estadístico para el peso en la fruta

	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
Peso de la Fruta. Miel A	0,14745	-1,13562
Peso de la Fruta. Miel A rebajada	-0,734267	-0,893196
Peso de la Fruta. Miel B	-0,166846	-1,43806
Peso de la Fruta. Miel B rebajada	-0,80147	-0,831067
Peso de la Fruta. Miel C	-0,0184635	-1,50854
Peso de la Fruta. Miel C rebajada	-0,115558	-1,48112
Peso de la Fruta. Miel de abeja	-0,256148	-1,39272
Peso de la Fruta. Jarabe de sacarosa BD	-0,258687	-1,33651
Peso de la Fruta. Jarabe de sacarosa AC	-0,214814	-1,44167
Total	0,504371	-2,39205

Fuente (Elaboración Propia a partir del software Statgraphics)

Tabla 3.6. Resumen estadístico para los ⁰Brix en la fruta.

	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
⁰ Brix de la Fruta. Miel A	0,95103	-1,04457
⁰ Brix de la Fruta. Miel A rebajada	1,01412	-1,04226
⁰ Brix de la Fruta. Miel B	1,02655	-1,04843
⁰ Brix de la Fruta. Miel B rebajada	1,03857	-1,04629
⁰ Brix de la Fruta. Miel C	1,02974	-1,04647
⁰ Brix de la Fruta. Miel C rebajada	1,0297	-1,04863
⁰ Brix de la Fruta. Miel de abeja	0,957794	-1,04768
⁰ Brix de la Fruta. Jarabe de sacarosa BD	1,02327	-1,04169
⁰ Brix de la Fruta. Jarabe de sacarosa AC	0,951599	-1,04605
Total	2,54807	-2,71079

Fuente (Elaboración Propia a partir del software Statgraphics)

3.1.3 Análisis del efecto de las soluciones osmóticas sobre la fruta.

El efecto de las soluciones osmóticas sobre las tres variables a controlar de la fruta (Temperatura, Peso, ⁰Brix) fue realizado mediante un análisis de varianza donde fue determinado que todas las variables son significativas, es decir tienen una influencia de alguna manera en la deshidratación de la fruta para un *Valor-P* menor que 0,05. En las tablas 3.7-3.9 se presentan el resumen para estos análisis de varianza de cada una de las variables analizadas.

Tabla 3.7 Análisis de Varianza para la Temperatura en la fruta.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Deshidratación combinada	85,1201	8	10,64	116,01	0,0000
B:BLOQUE	663,729	2	331,864	3618,51	0,0000
RESIDUOS	6,41991	70	0,091713		
TOTAL (CORREGIDO)	755,269	80			

Fuente (Elaboración Propia a partir del software Statgraphics)

Paso-1 Hipótesis

Hipótesis nula: los factores no tienen un efecto estadísticamente significativo sobre temperatura de la fruta.

Hipótesis alterna: los factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre temperatura de la fruta.

Paso-2 Elección del nivel de significancia de la prueba: 0,05.

Paso-3 Teoría de decisión: Rechazar la hipótesis nula (H_0) si el valor-P < 0,05.

Paso-4 Decisión: Puesto que 2 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Temperatura con un 95,0% de nivel de confianza.

Paso-5 Conclusión: los factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Temperatura.

Las Tablas 3.8-3.9 presentan los Análisis de Varianza para el peso en la fruta y los ⁰Brix siguiendo de manera similar los pasos 1-5 anteriores

Tabla 3.8 Análisis de Varianza para el peso en la fruta.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Deshidratación combinada	3878,22	8	484,777	22,26	0,0000
B:BLOQUE	28945,4	3	9648,46	443,05	0,0000
RESIDUOS	2090,61	96	21,7772		
TOTAL (CORREGIDO)	34914,2	107			

Fuente (Elaboración Propia a partir del software Statgraphics)

Tabla 3.9 Análisis de Varianza para los ⁰Brix en la fruta.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Deshidratación combinada	22,7677	8	2,84596	9,59	0,0000
B:BLOQUE	4430,35	2	2215,18	7461,12	0,0000
RESIDUOS	20,7827	70	0,296896		
TOTAL (CORREGIDO)	4473,9	80			

Fuente (Elaboración Propia a partir del software Statgraphics)

3.2 Análisis de la variabilidad del proceso

3.2.1 Análisis de la variabilidad de los ⁰Brix, el % de Agua y la temperatura en las soluciones osmóticas.

En cuanto a los ⁰Brix se observó diferencias significativas, los de menor valor se notaron en la Miel B_R con 48,6 ⁰Brix y Miel A_R con 49,95 ⁰Brix; mientras que los de mayor valor se observaron en la Miel C con 74,85 ⁰Brix, seguido de la MA con 67,6 ⁰Brix y la Miel C_R con 65,65 ⁰Brix. La figura 3.1 presenta el análisis de las soluciones osmóticas según los ⁰Brix. De lo anterior podemos decir que, según la variación en los ⁰Brix, las soluciones de mayor potencialidad en la deshidratación son la Miel C y la MA y la Miel A_R y Miel B_R las de menor influencia respectivamente.

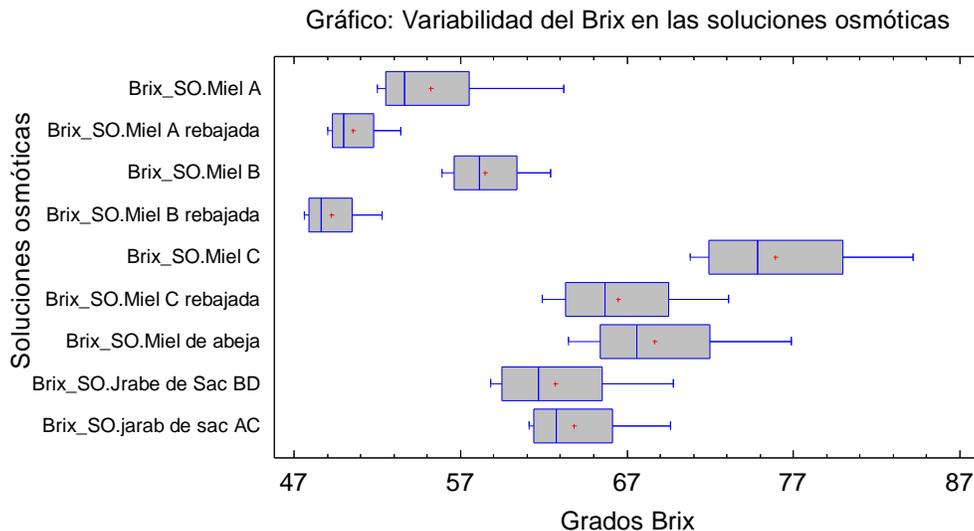


Figura 3.1 Análisis de la variabilidad de los ⁰Brix en las soluciones osmóticas. Fuente (Elaboración Propia a partir del software Statgraphics)

En cuanto al % de Agua se vieron diferencias significativas, los de menor valor se observaron en la Miel C con 23,1 %, seguida de la MA con 30,4 % y la Miel C_R con

32,35 %; mientras que los de mayor valor se percibieron en la Miel B_R con 49,4 % y Miel A_R con 48,05 % (Figura 3.2). Esto está dado debido a que las soluciones de mayor °Brix son las que al final muestran mayor variabilidad en el % de Agua.

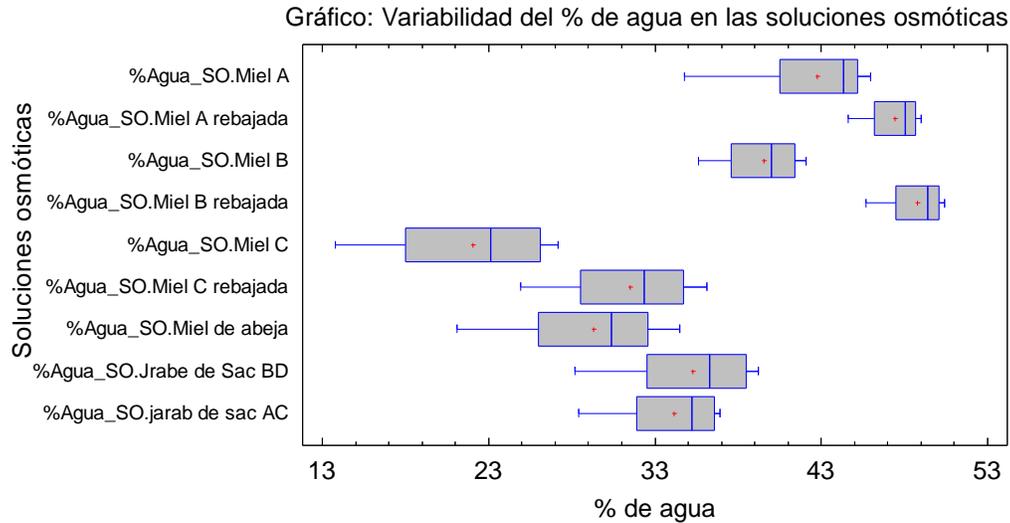


Figura 3.2 Análisis de la variabilidad del % de Agua en las soluciones osmóticas. Fuente (Elaboración Propia a partir del software Statgraphics)

En cuanto a la temperatura se notó diferencias significativas, el de menor valor fue el JS_ABD con 23,47 °C, siendo los de mayor valor la Miel B_R con 25,26 °C, el JS_AC con 25,25 °C y la Miel de abeja con 25,21 °C (Figura 3.3). Es importante destacar que, aunque los valores oscilan entre 23,4 °C -25,2 °C estos pueden tener una influencia significativa a la hora de obtener el modelo.

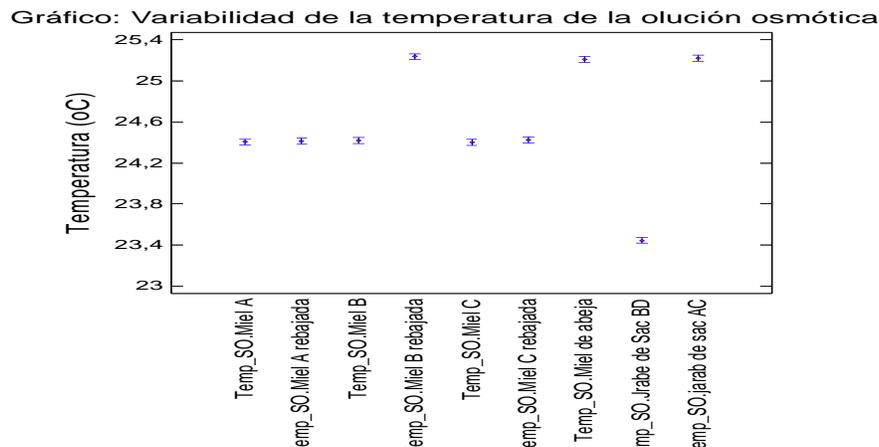


Figura 3.3 Análisis de la variabilidad de la temperatura en las soluciones osmóticas. Fuente (Elaboración Propia a partir del software Statgraphics)

3.2.2 Análisis de la variabilidad de los ⁰Brix, el peso y la temperatura en la fruta.

En cuanto a la temperatura de la fruta se observó que todas las soluciones se comportan según la temperatura ambiente (Figura 3.4). Para el caso del peso como los ⁰Brix de la fruta no se observaron diferencias significativas lo cual está dado por la gran dispersión (Figuras 3.5 y 3.6). Sin embargo el solapamiento en los valores de las medias indica que existe influencia significativa estadísticamente. En los ([Anexos 15-17](#)) se presentan los análisis mediante la prueba ANOVA para cada uno de estos casos.

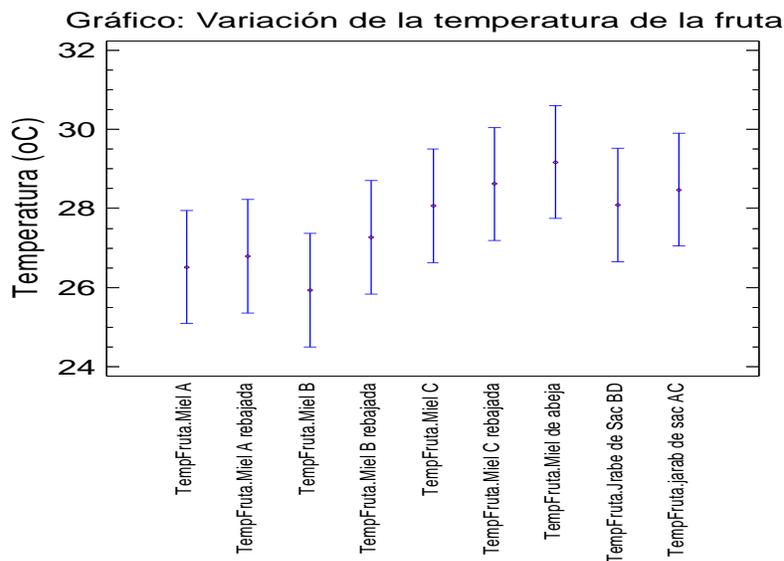


Figura 3.4 Análisis de la variabilidad de la temperatura en la fruta. Fuente (Elaboración

Propia a partir del software Statgraphics)

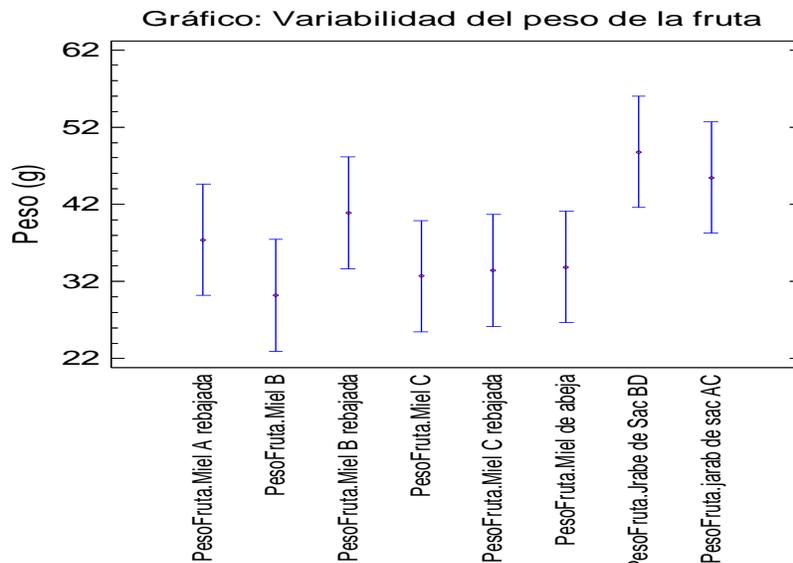


Figura 3.5 Análisis de la variabilidad en el peso de la fruta. Fuente (Elaboración Propia a partir del software Statgraphics)

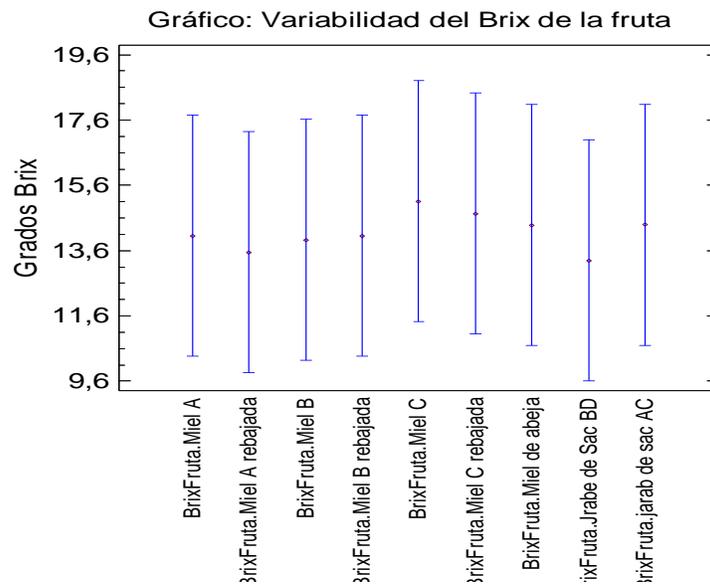


Figura 3.6 Análisis de la variabilidad de los ⁰Brix en la fruta. Fuente (Elaboración Propia a partir del software Statgraphics)

3.2.3 Análisis de la variabilidad de los ⁰Brix, el % de Agua y la temperatura de las soluciones osmóticas en el tiempo.

La figura 3.7 presenta el comportamiento de los ⁰Brix para las SO en el tiempo. Se observa para todos los casos una estabilidad pasada las 6 horas del experimento.

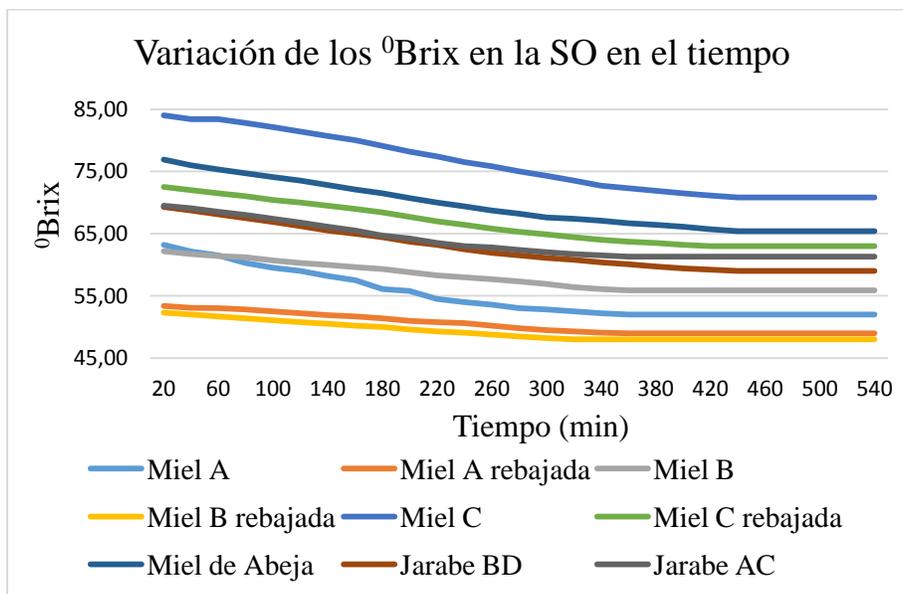


Figura 3.7. Variación de los ⁰Brix en la SO en el tiempo. Fuente (Elaboración propia)

De acuerdo a la relación entre el tiempo de deshidratación-⁰Brix para el caso de las soluciones aquellas que presentaron un mejor comportamiento fueron la Miel C y la Miel de Abejas. Estas soluciones presentaron un tiempo hasta la estabilidad de 7 horas y 7:40 min respectivamente, así como una variación en los ⁰Brix de 13,64 ⁰Bx y 14 ⁰Bx respectivamente. El comportamiento para cada una de las soluciones puede ser consultado en el ([Anexo 18](#)) La tabla 3.10 presenta un resumen para cada SO en el tiempo hasta la estabilidad, así como en la variación de los ⁰Brix.

Tabla 3.10. Tiempo hasta la estabilidad y Δ^0 Brix para cada una de las soluciones.

Soluciones osmóticas	Δ^0 Brix	Tiempo hasta la estabilidad (h:min)
Miel A	11,33	6
Miel A rebajada	4,8	6
Miel B	5,96	6:40
Miel B rebajada	5,4	5:40
Miel C	13,64	7
Miel C rebajada	12,1	7
Miel de Abeja	14	7:40
Jarabe de Sacarosa BD	11,2	7:40
Jarabe de Sacarosa AC	8,9	6:40

Fuente (Elaboración propia)

El análisis de la relación tiempo de deshidratación- % de Agua en las SO así como en dependencia a la temperatura pueden ser consultados en los ([Anexos 19-20](#)). La figura 3.8 presenta el comportamiento entre el % de Agua de la SO en el tiempo observándose una estabilidad para un tiempo similar que con los ⁰Brix de la figura 3.7.

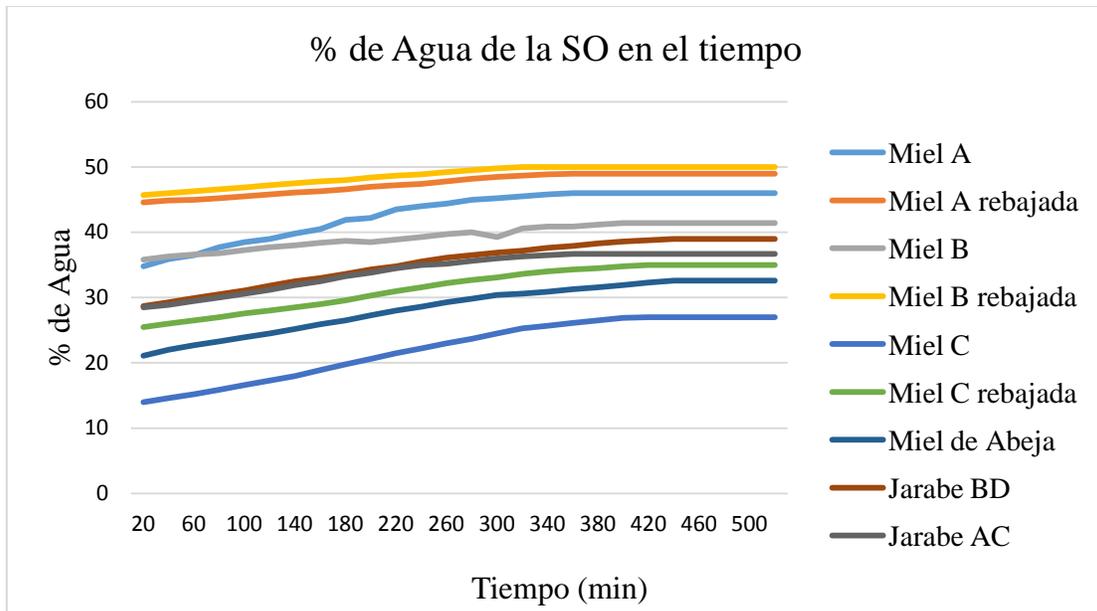


Figura 3.8. % de Agua de la SO en el tiempo. Fuente (Elaboración propia)

La figura 3.9 presenta una comparación relacionada con las ganancias de sólidos de la fruta luego de la etapa de secado para cada una de las SO. Las tres SO que más ganancias de sólidos aportaron fueron el Jarabe BD (66 %), Miel B (64 %) y la Miel B rebajada (63 %) respectivamente.

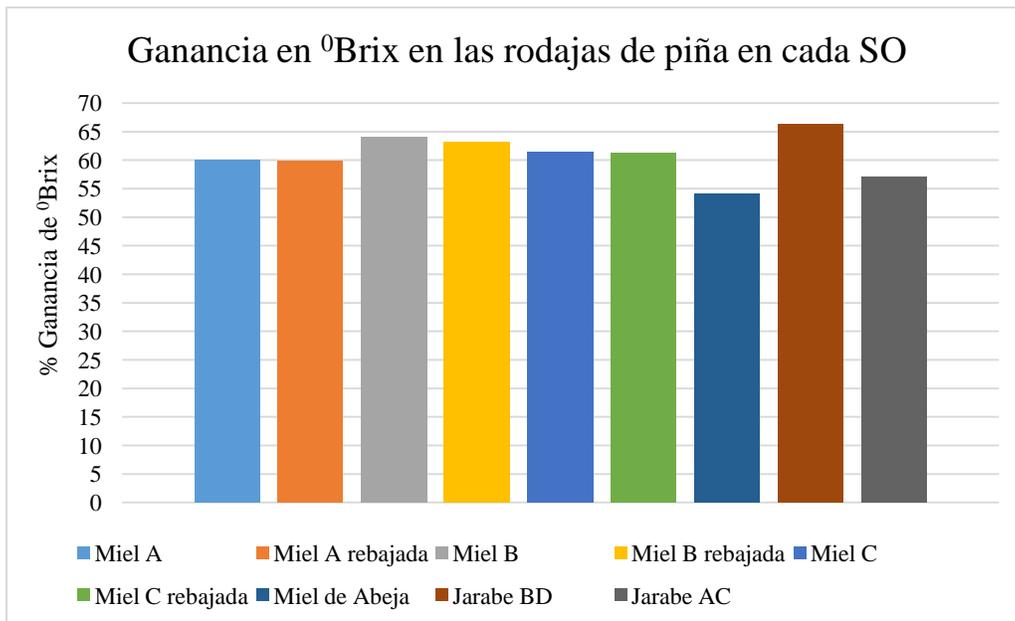


Figura 3.9. Ganancia de sólidos solubles de las rodajas de piña en cada SO. Fuente (Elaboración propia)

Por otra parte, la mayor pérdida de peso (Figura 3.10) fue a partir de la Miel C rebajada (78 %), la Miel B y Miel A rebajada con un 76 % respectivamente.

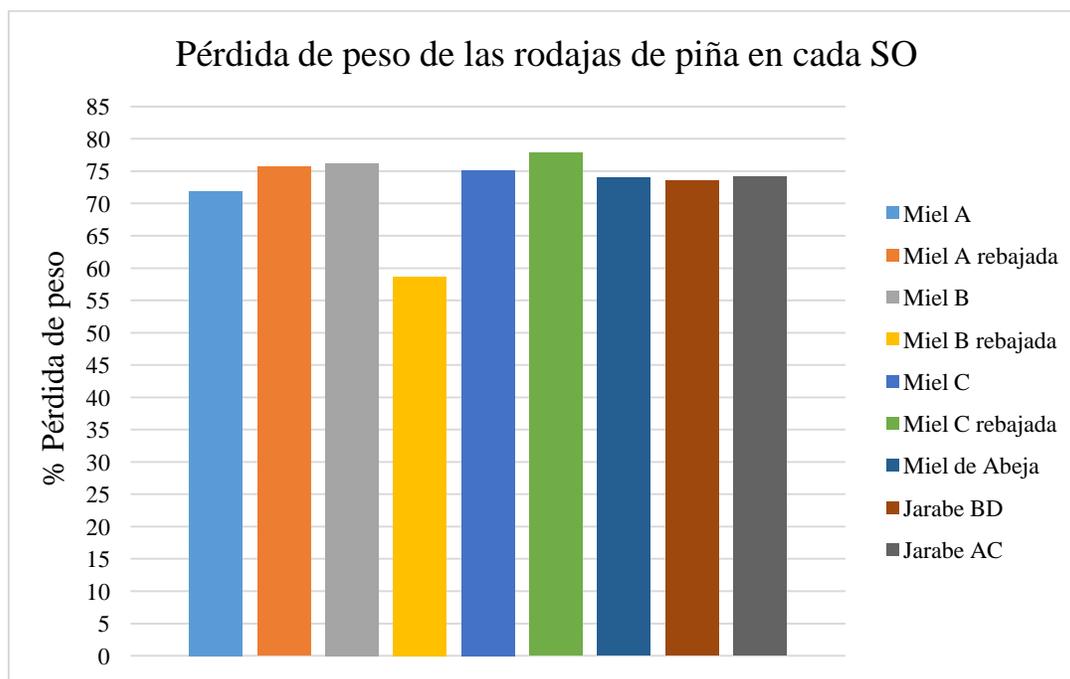


Figura 3.10. Pérdida de peso de la fruta en cada SO. Fuente (Elaboración propia)

3.3 Criterio de Expertos

Para el análisis de las propiedades organolépticas a partir de un criterio de expertos se seleccionaron en el panel un total de 9 personas, donde se les pidió que evaluaran el olor, color, sabor y textura general utilizando una prueba hedónica con escala de 1 – 5 que va desde Inadecuado hasta me Muy Adecuado ([Anexo 21](#)). Se les explicó el tipo de muestra que iba a ser analizada (piña deshidratada), entregándoles a cada uno una rodaja de piña deshidratada, procesada a las mismas condiciones y con las mismas características, las evaluaciones por los expertos fueron:

Color

En cuanto al color, todas las rodajas deshidratadas con miel de caña, el 100 % de los panelistas concordaron que era Poco Adecuado. En el caso de la miel de abeja el 88,8 % concuerda que es Muy Adecuado mientras que el 11,1 % concuerda que es Bastante Adecuado. Mientras que la deshidratada con Jarabe de Sacarosa BD se comporta de la misma manera que la miel de abeja y la deshidratada con Jarabe de Sacarosa AC, un 77,7 % concuerda que es Muy Adecuado y el 22,2 % concuerda que es Bastante Adecuado.

Olor

En cuanto al olor, hubo comentarios durante la prueba de no sentir un olor intenso o perceptible. Todas las rodajas deshidratadas con miel de caña, el 100 % de los panelistas concordaron que era Poco Adecuado. En el caso de la miel de abeja el 77,7 % concuerda que es Adecuado mientras que el 22,2 % que es Bastante Adecuado. La deshidratada con Jarabe de Sacarosa BD el 100 % de los panelistas estampa que es Muy Adecuado. En el caso de la deshidratada con Jarabe de Sacarosa AC el 55,5 % concuerda que es Muy Adecuado y el 44,4 % que es Bastante Adecuado.

Sabor

Al considerar el sabor las rodajas deshidratadas con miel de caña, el 100 % de los panelistas concordaron que era Poco Adecuado. En las deshidratadas con miel de abeja el 66,6 % lo considera Adecuado mientras que el 33,3 % que es Bastante Adecuado. En el caso del Jarabe de Sacarosa BD el 77,7 % concierta que es Muy Adecuado mientras que el 22,2 % que es Bastante Adecuado. Mientras que la deshidratada con Jarabe de Sacarosa AC estampa que el 77,7 % es Bastante Adecuado y el 22,2 % Muy Adecuado.

Textura

El 100 % de los panelistas expresó que las rodajas deshidratadas con miel de caña era Poco Adecuado. En el caso de la miel de abeja el 66,6 % concuerda en que son Bastante Adecuadas y el 33,3 % que son Muy Adecuadas. La deshidratada con Jarabe de Sacarosa BD el 66,6 % concuerda que son Muy Adecuadas y el 33,3 % que son Bastante Adecuadas. En el caso de la deshidratada con Jarabe de Sacarosa AC el 88,8 % concierta que son Bastante Adecuadas mientras que el 11,1 % Muy Adecuadas.

Una vez seleccionado los expertos se debe valorar cada uno de los aspectos mediante un análisis de fiabilidad Alfa de Cronbach. Este estadístico permitirá realizar las interpretaciones correctas de los resultados que se obtengan al aplicar el cuestionario y establecer la relación con la variable que se pretende medir.

La Tabla 3.11 presenta el valor de Alfa de Cronbach.

Tabla 3.11. Estadístico de fiabilidad.

Alfa de Cronbach	N de elementos
0,855	36

Fuente (Elaboración Propia a partir del software SPSS).

Según el valor de Alfa de Cronbach (0,86) existe una fuerte fiabilidad en los datos analizados así como una buena correlación inter-elementos.

La Tabla 3.12 resume la valoración final sobre los aspectos evaluados. Se determinó que la solución de Jarabe de Sacarosa BD garantiza en mejor medida las propiedades organolépticas de la fruta.

Tabla 3.12. Aspectos a evaluar por cada uno de los expertos.

Aspectos a evaluar	Valoración para cada aspecto
Sabor de la piña deshidratada con Miel A	Poco Adecuado
Olor de la piña deshidratada con Miel A	Poco Adecuado
Textura de la piña deshidratada con Miel A	Poco Adecuado
Color de la piña deshidratada con Miel A	Poco Adecuado
Sabor de la piña deshidratada con Miel A rebajada	Poco Adecuado
Olor de la piña deshidratada con Miel A rebajada	Poco Adecuado
Textura de la piña deshidratada con Miel A rebajada	Poco Adecuado
Color de la piña deshidratada con Miel A rebajada	Poco Adecuado
Sabor de la piña deshidratada con Miel B	Poco Adecuado
Olor de la piña deshidratada con Miel B	Poco Adecuado
Textura de la piña deshidratada con Miel B	Poco Adecuado
Color de la piña deshidratada con Miel B	Poco Adecuado
Sabor de la piña deshidratada con Miel B rebajada	Poco Adecuado
Olor de la piña deshidratada con Miel B rebajada	Poco Adecuado
Textura de la piña deshidratada con Miel B rebajada	Poco Adecuado
Color de la piña deshidratada con Miel B rebajada	Poco Adecuado
Sabor de la piña deshidratada con Miel C	Poco Adecuado
Olor de la piña deshidratada con Miel C	Poco Adecuado
Textura de la piña deshidratada con Miel C	Poco Adecuado
Color de la piña deshidratada con Miel C	Poco Adecuado
Sabor de la piña deshidratada con Miel C rebajada	Poco Adecuado
Olor de la piña deshidratada con Miel C rebajada	Poco Adecuado

Textura de la piña deshidratada con Miel C rebajada	Poco Adecuado
Color de la piña deshidratada con Miel C rebajada	Poco Adecuado
Sabor de la piña deshidratada con azúcar (Blanco Directo)	Muy Adecuado
Olor de la piña deshidratada con azúcar (Blanco Directo)	Muy Adecuado
Textura de la piña deshidratada con azúcar (Blanco Directo)	Muy Adecuado
Color de la piña deshidratada con azúcar (Blanco Directo)	Muy Adecuado
Sabor de la piña deshidratada con azúcar (Azúcar Crudo)	Muy Adecuado
Olor de la piña deshidratada con azúcar (Azúcar Crudo)	Muy Adecuado
Textura de la piña deshidratada con azúcar (Azúcar Crudo)	Muy Adecuado
Color de la piña deshidratada con azúcar (Azúcar Crudo)	Adecuado
Sabor de la piña deshidratada con miel de abeja	Poco Adecuado
Olor de la piña deshidratada con miel de abeja	Poco Adecuado
Textura de la piña deshidratada con miel de abeja	Muy Adecuado
Color de la piña deshidratada con miel de abeja	Muy Adecuado

Fuente (Elaboración Propia)

La concordancia entre los expertos a partir del coeficiente de Kendall permite considerar que hay una tendencia al acuerdo entre los expertos. La tabla 3.13 presenta mediante los estadísticos de contraste este coeficiente.

Tabla 3.13. Estadísticos de contraste W de Kendall.

Muestra (N)	9
W de Kendall (a)	0,992
Chi-cuadrado	312,581
Grados de libertad (gl)	35

Fuente (Elaboración Propia a partir del programa de Consulta a Expertos)

El resultado del coeficiente de Kendall fue de 0,992 donde existe una total tendencia al acuerdo entre los expertos consultados sobre las propiedades de la fruta evaluada.

3.4 Obtención del modelo matemático a partir de datos estadístico

En el caso de estudio, las variables no siguen una distribución normal, por lo que es más adecuado emplear las correlaciones por rango de Spearman, entre cada par de variables, los

cuales son menos sensibles a valores no representativos que los coeficientes de Pearson. La tabla 3.14 presenta un resumen sobre la Correlación Ordinal de Spearman.

Tabla 3.14. Correlación Ordinal de Spearman.

	Peso_ Fruta BD	°Brix_ Jarabe de Sacarosa BD	% Agua_ Jarabe de Sacarosa BD	Temperatura_ Jarabe de Sacarosa BD
Peso_ Fruta BD		0,8601	-0,8881	-0,4057
		(12)	(12)	(12)
		0,0043	0,0032	0,1785
°Brix_ Jarabe de Sacarosa BD	0,8601		-0,9580	-0,3492
	(12)		(12)	(12)
	0,0043		0,0015	0,2468
% Agua_ Jarabe de Sacarosa BD	-0,8881	-0,9580		0,4339
	(12)	(12)		(12)
	0,0032	0,0015		0,1501
Temperatura_ Jarabe de Sacarosa BD	-0,4057	-0,3492	0,4339	
	(12)	(12)	(12)	
	0,1785	0,2468	0,1501	

Fuente (Software Statgraphics)

Las correlaciones más fuertes se producen con los °Brix del Jarabe de Sacarosa BD, con un valor de (0,8601), esto indica una correlación fuerte y directa y el % Agua del Jarabe de Sacarosa BD con (-0,8881), esto indica una correlación fuerte e inversa. En cuanto a la temperatura del Jarabe de Sacarosa BD, aunque la correlación no resultó fuerte (-0,4057), se asume para la investigación por su importancia.

3.4.1 Análisis de Regresión Múltiple

La formulación de las variables tanto dependiente como independiente para el estudio son:

Variable dependiente:

Peso_ Fruta BD

Variabes independientes:

°Brix_ Jarabe de Sacarosa BD

% Agua_ Jarabe de Sacarosa BD

Temperatura_ Jarabe de Sacarosa BD

Para describir la relación entre el peso de la fruta y las variables independientes se utilizó un análisis de varianza. La tabla 3.15 resume este análisis.

Tabla 3.15. Análisis de Varianza.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	4402,06	3	1467,35	12,39	0,0022
Residuo	947,318	8	118,415		
Total (Corr.)	5349,38	11			

Fuente (Elaboración Propia a partir del software Statgraphics)

Hipótesis nula: No existe relación entre el peso de la fruta y las variables independientes.

Hipótesis alterna: Existe relación entre el peso de la fruta y en al menos una de las variables independientes.

Nivel de significación: 0,05

Teoría de decisión: Rechazar la hipótesis nula (H_0) si el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es $< 0,05$.

Decisión: Puesto que el valor-P (0,0022) es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %.

Por tanto, la ecuación del modelo queda:

$$\text{Peso_Fruta BD} = -793,779 + 13,5751 * {}^0\text{Brix_Jarabe de Sacarosa BD} - 11,4982 * \% \text{ Agua_Jarabe de Sacarosa BD} + 10,6665 * \text{Temperatura_Jarabe de Sacarosa BD}$$

Este modelo propuesto permite establecer una relación entre el peso de la fruta y las variables (0 Brix, % Agua, Temperatura), es decir conocer el peso final de la piña en la deshidratación a partir de Jarabe de Sacarosa BD. El estadístico R-Cuadrada ajustado indica que el modelo explica el 75,65 %, por lo que se puede inferir que el modelo se ajusta correctamente para las condiciones evaluadas en el estudio. No obstante, la incorporación de otras variables independientes permitirá un mejor ajuste del modelo para explicar el análisis propuesto.

A decorative graphic consisting of several overlapping, wavy, translucent blue bands that create a sense of movement and depth. The bands are positioned in the lower half of the page, with the word 'Conclusiones' written in a blue serif font over them.

Conclusiones

CONCLUSIONES

1. De los métodos de secado estudiados se propuso como método a utilizar el de deshidratación combinada (deshidratación+secado solar) sobre todo por el ahorro de energía que trae aparejado, además de garantizar una transferencia entre el agente osmótico-fruta de manera sencilla y fácil.
2. Se elaboró una metodología para la deshidratación combinada de la piña a partir del análisis experimental y un criterio de expertos como complemento de decisión.
3. La deshidratación combinada de la piña que mejores propiedades organolépticas presentó fue la deshidratada con la SO Jarabe de Sacarosa BD.
4. Se elaboró un modelo matemático a partir de datos estadísticos para la deshidratación combinada con Jarabe de Sacarosa BD siendo este: $\text{Peso_Fruta} = -793,779 + 13,5751 * {}^{\circ}\text{Brix} - 11,4982 * \% \text{ Agua} + 10,6665 * \text{Temperatura}$.

A decorative graphic consisting of several overlapping, wavy, translucent blue bands that create a sense of movement and depth. The bands are positioned horizontally across the middle of the page, with the word 'Recomendaciones' overlaid on them.

Recomendaciones

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio experimental incluyendo otras variables independientes a controlar como el pH y la actividad de agua a_w con el propósito de mejorar el estadístico R-Cuadrado para el modelo propuesto.
2. Montar un experimento a partir de Miel de Abeja rebajada y evaluar su influencia en la deshidratación combinada.

A decorative graphic consisting of several overlapping, wavy, translucent blue bands that create a sense of movement and depth. The bands are positioned in the lower half of the page, with the word 'Bibliografía' overlaid on them.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

- Alimentacion, C. N. d. I. C. y. (2016). Secado solar (Vol. tecn).
- An-Wei Cheng, H.-X. X., Yan Qi, Chao Liu, Xu Guo, Jin-Yue Sun, Li-Na Liu. (2016). Effects of storage time and temperature on polyphenolic content and qualitative characteristics of freeze-dried and spray-dried bayberry powder. *LWT - Food Science and Technology*. doi: 10.1016/j.lwt.2016.12.027
- Andrés, A., & Fito, P. (1992). The hydrodynamic penetration mechanism (HDM) in some fruits. *Proceedings of ISOPOW-V: Water in Foods*. Ed (es): P. Fito y A. Mulet. Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Annia García Pereira, S. M. B., Antihus Hernández Gómez, Lázaro Mario González y Daybelis Fernández Valdés. (2013). Análisis comparativo de la cinética de deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la Piña (Ananas Comosus, variedad Cayena lisa) *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(1), 62-69.
- Athanasia M. Goula, M. K., Eleni Daftsiou. (2017). Use of ultrasound for osmotic dehydration. The case of potatoes. *Food and Bioproducts Processing*. doi: <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.fbp.2017.07.008>
- Barat, J. M. (1998). *Desarrollo de un modelo de la deshidratación osmótica como operación básica*. (Tesis Doctoral), Universidad Politécnica de Valencia.
- Cabudiva, J. M. (2015). *Conservación de frutas usando métodos combinados*. (Tesis de Grado), Universidad Nacional de la Amazonia
- Corral, Y. (2009). Validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación para la recolección de datos. *Revista Ciencias de la Educación*, 19(32).
- Chavarro-Castrillón, L. M., Ochoa-Martínez, C. I., & Ayala-Aponte, A. (2006). Efecto de la madurez, geometría y presión sobre la cinética de transferencia de masa en la deshidratación osmótica de papaya (Carica papaya L., var. Maradol). *Food Science and Technology (Campinas)*, 26(3), 596-603.
- Cheung, M. M., Hui, E. S., Chan, K. C., Helpert, J. A., Qi, L., & Wu, E. X. (2009). Does diffusion kurtosis imaging lead to better neural tissue characterization? A rodent brain maturation study. *Neuroimage*, 45(2), 386-392.
- Chirife, J., & Fontan, C. F. (1982). Water activity of fresh foods. *Journal of Food Science*, 47(2), 661-663.

- Daniel I. Onwude, N. H., Guangnan Chen. (2016). Recent advances of novel thermal combined hot air drying of agricultural crops. *Trends in Food Science & Technology*. doi: 10.1016/j.tifs.2016.09.012
- Daniel I. Onwude, N. H., Rimfiel Janius, Khalina Abdan, Guangnan Chen, Ayobami O. Oladejo. (2017). Non-thermal hybrid drying of fruits and vegetables: A review of current technologies. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* doi: 10.1016/j.ifset.2017.08.010
- Dawson, C. (2015). *Piña*. Paper presented at the Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo Ginebra.
- Doymaz, I. (2004). Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 359-364.
- Elmizadeh, A. S., Mohammad Hamdami, Nasser. (2017). Comparison of electrohydrodynamic and hot-air drying of the quince slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 43, 130-135.
- F. Ren, C. A. P., Z. Zhang, J.P. Kerry, B.K. Tiwari. (2017). Impact of ultrasound and blanching on functional properties of hot-air dried and freeze dried onions. *LWT - Food Science and Technology*. doi: 10.1016/j.lwt.2017.08.053
- Fahim Ullah, M. K. (2017). Impact of air flow rate on drying of apples and performance assessment of parabolic trough solar collector *Applied Thermal Engineering*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.07.101>
- FAO, L. O. d. l. N. U. p. l. A. y. l. A. (2017).
- Fito Maupoey, P. (2001). Introducción al secado de alimentos por aire caliente.
- Fito, P. (1994). Modelling of vacuum osmotic dehydration of food *Water in Foods* (pp. 313-328): Elsevier.
- García-Mogollon, M. P. A. A.-B. C. A. (2015). Evaluación de los Pretratamientos de Deshidratación Osmótica y Microondas en la Obtención de Hojuelas de Mango (Tommy Atkins) *Información Tecnológica*, 26(5), 63-70. doi: 10.4067/S0718-07642015000500009
- García, R. A. S. (2010). *Estudio de la deshidratación osmótica de la arveja china (pisum sativum l.) mediante dos metodologías, directa e indirecta, como alternativa*

- tecnológica al sector hortofrutícola del país.* . (Tesis de Grado), Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Giangiaco, R. T., Danila Abbo, Elena. (1987). Osmotic dehydration of fruit: Part 1. Sugars exchange between fruit and extracting syrups. *Journal of Food Processing and Preservation*, 11(3), 183-195.
- Hadi Samimi-Akhijahani, A. A. (2018). Accelerating drying process of tomato slices in a PV-assisted solar dryer using a sun tracking system. *Renewable Energy*. doi: 10.1016/j.renene.2018.02.056
- Isidrón, M., Rosales, Y, Pifferrer, A., Cisneros, A., Benega, R., Carvajal, C. . (2003). Caracterización del germoplasma de piña colectado en Cuba mediante prospección nacional: I. Localización, diversidad genética y situación actual. *Cultivos tropicales*, 24(1): 65–71.
- Islam, M., & Flink, J. (1982). Dehydration of potato. *International Journal of Food Science & Technology*, 17(3), 387-403.
- Janjai, S., Srisittipokakun, N., & Bala, B. K. (2008). Experimental and modelling performances of a roof-integrated solar drying system for drying herbs and spices. *Energy*, 33(1), 91-103.
- José Luis Peinado Martínez, R. V. H., José Antonio Grado Díaz, Jesús Armando Gándara Fernández (2013). Deshidratación de alimentos utilizando energía solar térmica. *Culcyt // Tecnología*(50).
- Justyna Somaticha, A. W., Krzysztof Lech. (2016). The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokebarries. *LWT - Food Science and Technology*, 66, 484-489.
- Keqing, X. (2004). *Optimización del secado por aire caliente de pera (variedad blanquilla)* (Tesis doctoral), Universidad politécnica de valencia.
- Kowalska, H. (2017). Osmotic dehydration of Honeoye strawberries in solutions enriched with natural bioactive molecules. *LWT - Food Science and Technology*, xxx, 1-6.
- Krzysztof Lech, A. M., Aneta Wojdyło, Paulina Nowicka, Adam Figiel. (2018). The influence of physical properties of selected plant materials on the process of osmotic dehydration. *LWT - Food Science and Technology*. doi: 10.1016/j.lwt.2018.02.012

- leticia Fernandes de Oliveira, J. L. G. C., Michel Cardoso de Angelis Pereira, Alcineja de Lemos Souza Ramos, Marina Barbosa Vilela. (2016). Osmotic dehydration of yacon (*Smallanthus sonchifolius*): Optimization for fructan retention. *LWT - Food Science and Technology*, 71, 77-87.
- Luje, M. A. V. (2014). *Efecto de la sustitución parcial de azúcar por un edulcorante no calórico, tiempo de concentración osmótica y temperatura de secado para mejorar las propiedades sensoriales de la uvilla (Physalis peruviana L.) deshidratada osmóticamente como alternativa para la Asociación Artesanal "Tierra Productiva", del Cantón Quero de la Provincia de Tungurahua*. (Tesis de Grado), Universidad Técnica de Ambato
- Malgorzata Nowacka, A. F., Magdalena Dadan, Katarzyna Rybak, Artur Wiktor, Dorota Witrowa-Rajchert (2017). Effect of ultrasound treatment during osmotic dehydration on bioactive compounds of cranberries *Ultrasonics*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultras.2017.06.022>
- Mares-Perlman JA, B. W., Klein R, VandenLangenberg GM, Klein BE, Palta M. (1995). Dietary fat and age-related maculopathy. *Pub Med*, 6(113), 743-748.
- Marta Fernanda Zotarelli, V. M. d. S., Angelise Durigon, Miriam Dupas Hubinger, Joao Borges Laurindo. (2016). Production of mango powder by spray drying and cast - tape drying. *Powder Technology*, 305, 447–454.
- Martínez, O. G. (2018). Exportación de piña avileña aporta divisas a Cuba. from internet@granma.cu
- Mascheroni, R. H. (2010). *Estudios y desarrollos en deshidratación por métodos combinados*. Paper presented at the IX Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Buenos Aires.
- Mohamed A. Eltawil, M. M. A., Abdulrahman O. Alghannam. (2017). Solar PV powered mixed-mode tunnel dryer for drying potato chips. *Renewable Energy*. doi: 10.1016/j.renene.2017.10.007
- Mohamed A. Eltawil, M. M. A., Abdulrahman O. Alghannam. (2018). Energy analysis of hybrid solar tunnel dryer with PV system and solar collector for drying mint (*Mentha Viridis*). *Journal of Cleaner Production*. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.01.229

- Mohammad Rezaul Islam Shishir, W. C. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science & Technology*, 65, 49-67.
- Moreira, R., & Sereno, A. M. (2003). Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions. *Journal of Food Engineering*, 57(1), 25-31.
- Pangavhane, D. R., Sawhney, R. L., & Sarsavadia, P. N. (2002). Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer. *Energy*, 27(6), 579-590.
- Pedro Fito, A. C. (1997). Osmotic Dehydration An Approach to the Modeling of Solid Food—Liquid Operations. *Food engineering 2000*, 231-252.
- Pérez, V. D. (2014). Conservación de frutas tropicales.
- Ponting, J. (1966). Osmotic dehydration of fruits. *Food Technol.*, 20, 1365-1368.
- Puebla, I. A. d. (2009). Perfil del Mercado de la Piña (pp. 20).
- Pulido, H. G., & Salazar, R. de la V. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. (S. A. d. C. V. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES Ed.).
- Quinteros, A. (2014). *La deshidratación osmótica y secado en cabina como proceso sinérgico de preconservación de frutas y hortalizas* Universidad Nacional de San Martín-arapoto. Perú.
- Ramirez, Y. M. L. (2012). *Evaluación del método de secado por ventana de refractancia™ en pulpa de guayaba (psidium guajava)* (Tesis de Maestría), Universidad del Valle
- Recabarren, P. E. (2017). Pérdida y desperdicios de alimentos: diciembre de 2017. In O. d. E. y. P. A. -Odepa (Ed.).
- Rodriguez, A. (2014). *Comparación de métodos combinados (ósmosis directa-microondas y secado convectivo por aire calientemicroondas) para la deshidratación de frutos del bosque*. (DOCTORAL).
- Rodríguez, M. M. (2013). *Obtención de frutos deshidratados de calidad diferenciada mediante la aplicación de técnicas combinadas*. (Tesis Doctoral), Universidad Nacional de La Plata.

- Rodríguez Suarez, A., Rodríguez, J. G., González, Y. P., Herrera, M. P., Pita Rodríguez, G., Martínez, A. C., & Ochoa, H. M. . (2013). Tabla de composición de alimentos utilizados en Cuba. . *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 2(23), 247-256.
- S. de la Fuente, G. R., E. Riera, J.A. Gallego, A. Mulet (2004). Desarrollo de un Sistema de Secado mediante Lecho Fluido Asistido por Ultrasonidos de Potencia *Acustica*.
- Shi, X., Fito, P., & Chiralt, A. (1995). Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *Food Research International*, 28(5), 445-454.
- Soto, P. G. (2002). Deshidratación osmótica: alternativa para conservación de frutas tropicales.
- Tanco, M. (2009). *Aplicación del Diseño de Experimentos (DoE) para la mejora de procesos*. Universidad de Navarra, España. Retrieved from http://www.um.edu.uy/_upload/_descarga/web_descarga_178_Diferentesenfoques_DiseoexperimentosDOE.-Tanco_Viles_Pozueta.pdf
- Tarazón, A. S. (2004). *Aplicación de la Metodología de Superficies de Respuesta para el Mejoramiento de la Calidad del Aceite de Soya*. Universidad de Sonora.
- Urdaneta., U. R. (2005). Experimentos Factoriales.
- Valero, G. M. M. (2009). *Secado por atomización de zumo de granada.*, Universidad Política de Cartagena.
- Vega, A., y P. Fito. (2005). Modelado de la cinética de secado del pimiento rojo (*Capsicum annuum L.*) cv Lamuyo”. *Revista Información Tecnológica*, 16(6).
- Wais, N. (2011). *Secado combinado de frutas: Deshidratación osmótica y microondas* (Tesis Doctoral), Universidad Nacional de La Plata.
- Xue, K., Martínez, C. G., & Nácher, M. C. (2004). *Optimización del secado por aire caliente de pera (Variedad Blanquilla)*. . Universidad Politécnica de Valencia.



Anexos

ANEXOS

Anexo 1. Área Cosechada, Rendimiento y Producción de Piña para el mundo en los últimos 10 años.

Años	Área Cosechada (ha)	Rendimiento (hg/ha)	Producción (t)
2007	850 548	236 170	20 087 356
2008	844 390	233 846	19 745 722
2009	877 290	232 579	20 403 894
2010	946 601	226 843	21 472 968
2011	972 449	235 924	22 942 450
2012	1 007 623	239 380	24 120 521
2013	1 005 484	245 489	24 683 553
2014	1 003 556	253 352	25 425 281
2015	1 019 024	253 838	25 866 692
2016	1 046 901	246 528	25 809 038

Fuente (Elaboración propia a partir de datos de la FAO)

Anexo 2. Producción de los principales países productores.

Principales países productores	Producción (t)
Brasil	2 694 555
China Continental	1 550 965
Costa Rica	2 930 661
Filipinas	2 612 474
India	1 964 000
Indonesia	1 396 153
Nigeria	1 591 276
Tailandia	1 811 591
China	2 078 126

Fuente (Elaboración propia a partir de datos de la FAO)

Anexo 3. Área Cosechada, Rendimiento Y Producción de Piña para Cuba en los últimos 10 años. Fuente

Años	Área Cosechada (ha)	Rendimiento (hg/ha)	Producción (t)
2007	5 907	87 349	51 597
2008	5 991	92 450	55 387
2009	5 766	122 997	70 920
2010	6 293	103 003	64 820
2011	5 950	131 479	76 915
2012	5 189	162 000	84 068
2013	7 869	105 232	82 807
2014	7 524	63 639	47 882
2015	7 175	63 643	45 664

2016	7 621	63 643	48 501
------	-------	--------	--------

Fuente (Elaboración propia a partir de datos de la FAO)

Anexo 4. Refractómetro óptico marca Movel modelo VBR 32 T.



Fuente (Elaboración propia)

Anexo 5. Refractómetro óptico marca Aqueous Lab modelo COMNHKPR 143478.



Fuente (Elaboración propia)

Anexo 6. Termómetro dual marca Testo modelo 610.



Fuente (Elaboración propia)

Anexo 7. Cocina eléctrica marca Liya.



Fuente (Elaboración propia)

Anexo 8. Secador solar usado en el secado final de la fruta



Fuente (Elaboración propia)

Anexo 9. Valores experimentales de los °Brix para cada solución osmótica.

°Brix		Tratamientos								
Tiempo (min)		Miel A	Miel A rebajada	Miel B	Miel B rebajada	Miel C	Miel C rebajada	Miel de abeja	Jarabe de Sacarosa BD	Jarabe de sacarosa AC
20	R1	63,00	53,20	62,30	52,10	84,20	73,00	76,50	69,50	69,60
20	R2	63,20	53,40	62,20	52,30	84,00	72,50	76,90	69,30	69,50
20	R3	63,00	53,10	62,40	52,20	84,10	73,10	76,00	69,80	69,60
40	R1	62,20	53,00	62,00	51,80	83,50	72,60	74,60	69,00	69,20
40	R2	62,10	53,10	61,70	52,00	83,40	72,00	76,00	68,70	69,10
40	R3	62,20	53,00	62,00	52,00	83,30	72,40	75,10	69,20	69,00
60	R1	61,00	52,80	61,80	51,60	83,00	72,10	74,00	68,40	68,60
60	R2	61,50	53,00	61,40	51,70	82,80	71,50	75,30	68,10	68,50
60	R3	61,50	52,70	61,80	51,80	82,70	71,90	74,60	67,80	68,40
80	R1	59,80	52,50	61,50	51,40	82,30	71,70	73,50	67,90	68,20
80	R2	60,30	52,80	61,20	51,40	82,10	71,00	74,70	67,50	68,00
80	R3	60,00	52,50	61,40	51,50	82,00	71,20	74,00	67,10	67,90
100	R1	58,50	52,20	61,20	51,00	81,60	71,00	72,40	67,20	67,60
100	R2	59,50	52,50	60,70	51,10	81,40	70,40	74,10	66,90	67,40
100	R3	59,10	52,30	61,10	51,20	81,10	70,30	73,40	66,50	67,30
120	R1	57,10	52,00	61,00	50,70	81,00	70,40	71,50	66,50	67,10
120	R2	59,00	52,20	60,30	50,80	80,70	70,00	73,50	66,20	66,80
120	R3	58,50	52,00	60,90	51,00	80,30	69,80	72,70	66,00	66,50
140	R1	56,00	51,80	60,70	50,50	80,20	69,90	71,00	65,90	66,40
140	R2	58,20	51,90	60,00	50,50	80,00	69,50	72,80	65,50	66,10
140	R3	57,90	51,70	60,60	50,70	79,50	69,40	72,00	65,30	65,70
160	R1	55,50	51,60	60,40	50,30	79,50	69,30	70,30	65,20	65,70
160	R2	57,50	51,70	59,60	50,20	79,10	69,00	72,10	65,00	65,50
160	R3	57,10	51,40	60,20	50,50	78,90	68,70	71,40	64,70	65,10
180	R1	55,10	51,30	60,00	50,00	79,00	68,80	69,50	64,70	65,00
180	R2	56,10	51,40	59,30	50,00	78,20	68,40	71,50	64,40	64,70
180	R3	56,20	51,00	59,90	50,20	78,00	68,10	70,60	64,10	64,50
200	R1	54,80	51,10	59,80	49,70	78,20	68,00	68,80	64,00	64,40
200	R2	55,80	51,00	58,80	49,60	77,40	67,70	70,70	63,70	64,20
200	R3	55,00	50,70	59,50	49,90	77,10	67,30	70,00	63,40	64,00
220	R1	54,50	50,90	59,50	49,50	77,30	67,50	68,10	63,30	63,90
220	R2	54,50	50,80	58,30	49,30	76,50	67,00	70,00	63,20	63,50
220	R3	55,30	50,50	59,10	49,40	76,30	66,70	69,50	62,90	63,60
240	R1	54,20	50,70	59,10	49,20	76,40	67,00	67,60	62,70	63,40
240	R2	54,00	50,60	58,00	49,10	75,80	66,40	69,40	62,50	63,00

240	R3	54,50	50,20	58,70	49,00	75,60	66,00	68,80	62,10	63,20
260	R1	54,00	50,30	58,90	48,90	75,50	66,40	67,00	62,10	63,00
260	R2	53,60	50,20	57,70	48,80	75,00	65,80	68,70	61,90	62,80
260	R3	54,00	49,90	58,30	48,60	74,90	65,50	68,00	61,70	62,90
280	R1	53,70	50,00	58,40	48,60	74,80	65,90	66,60	61,70	62,70
280	R2	53,00	49,80	57,30	48,50	74,30	65,30	68,20	61,50	62,40
280	R3	53,60	49,70	58,00	48,20	74,00	65,00	67,40	61,00	62,50
300	R1	53,40	49,80	58,00	48,40	74,10	65,40	65,70	61,30	62,40
300	R2	52,80	49,50	56,90	48,20	73,50	64,90	67,60	61,10	62,00
300	R3	53,30	49,80	58,70	47,90	73,20	64,60	66,80	60,70	62,20
320	R1	53,00	49,70	57,50	48,10	73,70	65,00	65,30	61,00	62,10
320	R2	52,50	49,30	56,40	48,00	72,70	64,40	67,40	60,80	61,70
320	R3	53,00	49,70	57,40	47,60	72,70	64,20	66,40	60,40	61,90
340	R1	52,80	49,40	57,10	48,00	73,20	64,50	65,00	60,70	61,90
340	R2	52,20	49,10	56,10	48,00	72,30	64,00	67,10	60,40	61,50
340	R3	52,80	49,50	57,10	47,60	72,20	63,70	66,00	60,00	61,60
360	R1	52,80	49,40	56,60	47,90	72,80	64,00	64,70	60,50	61,70
360	R2	52,00	49,00	55,90	48,00	71,90	63,70	66,70	60,10	61,3
360	R3	52,20	49,20	57,10	47,60	71,80	63,40	65,70	59,80	61,40
380	R1	52,80	49,40	56,60	47,90	72,50	63,80	64,40	60,10	61,40
380	R2	52,00	49,00	55,90	48,00	71,50	63,50	66,40	59,70	61,30
380	R3	52,20	49,20	56,80	47,60	71,40	63,10	65,30	59,50	61,30
400	R1	52,80	49,40	56,30	47,90	72,20	63,50	64,10	59,80	61,40
400	R2	52,00	49,00	55,90	48,00	71,10	63,20	66,10	59,40	61,30
400	R3	52,20	49,20	56,60	47,60	71,00	62,20	65,00	59,20	61,10
420	R1	52,80	49,40	56,00	47,90	71,90	63,30	63,70	59,50	61,40
420	R2	52,00	49,00	55,90	48,00	70,80	63,00	65,70	59,20	61,30
420	R3	52,20	49,20	56,60	47,60	71,00	61,90	64,80	59,00	61,10
440	R1	52,80	49,40	56,00	47,90	71,90	63,30	63,50	59,30	61,40
440	R2	52,00	49,00	55,90	48,00	70,80	63,00	65,40	59,00	61,30
440	R3	52,20	49,20	56,60	47,60	71,00	61,90	64,50	58,80	61,10
500	R1	52,80	49,40	56,00	47,90	71,90	63,30	63,50	59,30	61,40
500	R2	52,00	49,00	55,90	48,00	70,80	63,00	65,40	59,00	61,30
500	R3	52,20	49,20	56,60	47,60	71,00	61,90	64,50	58,80	61,10
520	R1	52,80	49,40	56,00	47,90	71,90	63,30	63,50	59,30	61,40
520	R2	52,00	49,00	55,90	48,00	70,80	63,00	65,40	59,00	61,30
520	R3	52,20	49,20	56,60	47,60	71,00	61,90	64,50	58,80	61,10
540	R1	52,80	49,40	56,00	47,90	71,90	63,30	63,50	59,30	61,40
540	R2	52,00	49,00	55,90	48,00	70,80	63,00	65,40	59,00	61,30
540	R3	52,20	49,20	56,60	47,60	71,00	61,90	64,50	58,80	61,10
600	R1	52,80	49,40	56,00	47,90	71,90	63,30	63,50	59,30	61,40

600	R2	52,00	49,00	55,90	48,00	70,80	63,00	65,40	59,00	61,30
600	R3	52,20	49,20	56,60	47,60	71,00	61,90	64,50	58,80	61,10

Fuente (Elaboración propia)

Leyenda

R1: Rodaja 1

R2: Rodaja 2

R3: Rodaja 3

Anexo 10. Valores experimentales del % de Agua para cada solución osmótica.

% H ₂ O		Tratamientos								
		Miel A	Miel A rebajada	Miel B	Miel B rebajada	Miel C	Miel C rebajada	Miel de abeja	Jarabe de Sacarosa BD	Jarabe de sacarosa AC
20	R1	35	44,8	35,7	45,9	13,8	25	21,5	28,5	28,4
20	R2	34,8	44,6	35,8	45,7	14	25,5	21,1	28,7	28,5
20	R3	35	44,9	35,6	45,8	13,9	24,9	22	28,2	28,4
40	R1	35,8	45	36	46,2	14,5	25,4	23,4	29	28,8
40	R2	35,9	44,9	36,3	46	14,6	26	22	29,3	28,9
40	R3	35,8	45	36	46	14,7	25,6	22,9	28,8	29
60	R1	37	45,2	36,2	46,4	15	25,9	24	29,6	29,4
60	R2	36,5	45	36,6	46,3	15,2	26,5	22,7	29,9	29,5
60	R3	36,5	45,3	36,2	46,2	15,3	26,1	23,4	30,2	29,6
80	R1	38,2	45,5	36,5	46,6	15,7	26,3	24,5	30,1	29,8
80	R2	37,7	45,2	36,8	46,6	15,9	27	23,3	30,5	30
80	R3	38	45,5	36,6	46,5	16	26,8	24	30,9	30,1
100	R1	39,5	45,8	36,8	47	16,4	27	25,6	30,8	30,4
100	R2	38,5	45,5	37,3	46,9	16,6	27,6	23,9	31,1	30,6
100	R3	38,9	45,7	36,9	46,8	16,9	27,7	24,6	31,5	30,7
120	R1	40,9	46	37	47,3	17	27,6	26,5	31,5	30,9
120	R2	39	45,8	37,7	47,2	17,3	28	24,5	31,8	31,2
120	R3	39,5	46	37,1	47	17,7	28,2	25,3	32	31,5
140	R1	42	46,2	37,3	47,5	17,8	28,1	27	32,1	31,6
140	R2	39,8	46,1	38	47,5	18	28,5	25,2	32,5	31,9
140	R3	40,1	46,3	37,4	47,3	18,5	28,6	26	32,7	32,3
160	R1	42,5	46,4	37,6	47,7	18,5	28,7	27,7	32,8	32,3
160	R2	40,5	46,3	38,4	47,8	18,9	29	25,9	33	32,5
160	R3	40,9	46,6	37,8	47,5	19,1	29,3	26,6	33,3	32,9
180	R1	42,9	46,7	38	48	19	29,2	28,5	33,3	33
180	R2	41,9	46,6	38,7	48	19,8	29,6	26,5	33,6	33,3
180	R3	41,8	47	38,1	47,8	20	29,9	27,4	33,9	33,5
200	R1	43,2	46,9	38,2	48,3	19,8	30	29,2	34	33,6
200	R2	42,2	47	38,5	48,4	20,6	30,3	27,3	34,3	33,8

200	R3	43	47,3	38,5	48,1	20,9	30,7	28	34,6	34
220	R1	43,5	47,1	39,7	48,5	20,7	30,5	29,9	34,7	34,1
220	R2	43,5	47,2	38,9	48,7	21,5	31	28	34,8	34,5
220	R3	42,7	47,5	38,9	48,6	21,7	31,3	28,5	35,1	34,4
240	R1	43,8	47,3	40	48,8	21,6	31	30,4	35,3	34,6
240	R2	44	47,4	39,3	48,9	22,2	31,6	28,6	35,5	35
240	R3	43,5	47,8	39,1	49	22,4	32	29,2	35,9	34,8
260	R1	44	47,7	40,3	49,1	22,5	31,6	31	35,9	35
260	R2	44,4	47,8	39,7	49,2	23	32,2	29,3	36,1	35,2
260	R3	44	48,1	39,6	49,4	23,1	32,5	30	36,3	35,1
280	R1	44,3	48	40,7	49,4	23,2	32,1	31,4	36,3	35,3
280	R2	45	48,2	40	49,5	23,7	32,7	29,8	36,5	35,6
280	R3	44,4	48,3	40	49,8	24	33	30,6	37	35,5
300	R1	44,6	48,2	41,1	49,6	23,9	32,6	32,3	36,7	35,6
300	R2	45,2	48,5	39,3	49,8	24,5	33,1	30,4	36,9	36
300	R3	44,7	48,2	40,5	50,1	24,8	33,4	31,2	37,3	35,8
320	R1	45	48,3	41,6	49,9	24,3	33	32,7	37	35,9
320	R2	45,5	48,7	40,6	50	25,3	33,6	30,6	37,2	36,3
320	R3	45	48,3	40,9	50,4	25,3	33,8	31,6	37,6	36,1
340	R1	45,2	48,6	41,9	50	24,8	33,5	33	37,3	36,1
340	R2	45,8	48,9	40,9	50	25,7	34	30,9	37,6	36,5
340	R3	45,2	48,5	41,4	50,4	25,8	34,3	32	38	36,4
360	R1	45,2	48,6	42,1	50,1	25,2	34	33,3	37,5	36,3
360	R2	46	49	40,9	50	26,1	34,3	31,3	37,9	36,7
360	R3	45,2	48,8	41,4	50,4	26,2	34,6	32,3	38,2	36,6
380	R1	45,2	48,6	42,1	50,1	25,5	34,2	33,6	37,9	36,6
380	R2	46	49	41,2	50	26,5	34,5	31,6	38,3	36,7
380	R3	45,2	48,8	41,7	50,4	26,6	34,1	32,7	38,5	36,7
400	R1	45,2	48,6	42,1	50,1	25,8	34,5	33,9	38,2	36,6
400	R2	46	49	41,4	50	26,9	34,8	31,9	38,6	36,7
400	R3	45,2	48,8	42	50,4	26,1	35,8	33	38,8	36,9
420	R1	45,2	48,6	42,1	50,1	27,2	34,7	34,3	38,5	36,6
420	R2	46	49	41,4	50	27	35	32,3	38,8	36,7
420	R3	45,2	48,8	42	50,4	26,1	36,1	33,2	39	36,9
440	R1	45,2	48,6	42,1	50,1	27,2	34,7	34,5	38,7	36,6
440	R2	46	49	41,4	50	27	35	32,6	39	36,7
440	R3	45,2	48,8	42	50,4	26,1	36,1	33,5	39,2	36,9
500	R1	45,2	48,6	42,1	50,1	27,2	34,7	34,5	38,7	36,6
500	R2	46	49	41,4	50	27	35	32,6	39	36,7
500	R3	45,2	48,8	42	50,4	26,1	36,1	33,5	39,2	36,9
520	R1	45,2	48,6	42,1	50,1	27,2	34,7	34,5	38,7	36,6

520	R2	46	49	41,4	50	27	35	32,6	39	36,7
520	R3	45,2	48,8	42	50,4	26,1	36,1	33,5	39,2	36,9
540	R1	45,2	48,6	42,1	50,1	27,2	34,7	34,5	38,7	36,6
540	R2	46	49	41,4	50	27	35	32,6	39	36,7
540	R3	45,2	48,8	42	50,4	26,1	36,1	33,5	39,2	36,9
600	R1	45,2	48,6	42,1	50,1	27,2	34,7	34,5	38,7	36,6
600	R2	46	49	41,4	50	27	35	32,6	39	36,7

Fuente (Elaboración propia)

Anexo 11. Valores experimentales de la temperatura para cada solución osmótica.

Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Tratamientos								
		Miel A	Miel A rebajada	Miel B	Miel B rebajada	Miel C	Miel C rebajada	Miel de abeja	Jarabe de Sacarosa BD	Jarabe de sacarosa AC
20	R1	24,4	24,7	24,4	25,6	24,4	24,3	25,4	23,5	25,2
20	R2	24,3	24,2	24,3	25	24,55	24,4	25,1	23,3	25,3
20	R3	24,3	24,4	24,3	25	24,4	24,6	25	23	25
40	R1	24	24,4	24	25,1	24,45	24,8	25,4	23,8	25,3
40	R2	24,35	24,6	24,35	24,8	24,2	24,58	25,5	23,4	25,2
40	R3	24,48	24,8	24,48	24,7	24,34	24,6	25,3	23,7	25
60	R1	24,7	24,58	24,7	24,6	24,7	24,5	25,2	23,5	24,8
60	R2	24,2	24,6	24,2	24,8	24,23	24,54	25,5	23,6	25,2
60	R3	24,4	24,5	24,4	25,4	24,45	24,6	25	23,3	25
80	R1	24,5	24,54	24,5	25,1	24,3	24,4	25,1	23,4	25,3
80	R2	24,4	24,6	24,4	25	24,4	24,47	24,8	23,6	25,4
80	R3	24,55	24,4	24,4	25,4	24,3	24,23	24,7	23,8	25,3
100	R1	24,4	24,47	24,47	25,5	24,3	24,45	24,6	23,58	25,25
100	R2	24,45	24,23	24,4	25,3	24	24,3	25,5	23,6	25,45
100	R3	24,2	24,45	24,3	25,2	24,35	24	25,3	23,5	25,4
120	R1	24,34	24,3	24,3	25,2	24,48	24,1	25	23,54	25,4
120	R2	24,7	24,4	24	25	24,3	24,25	25,5	23,6	24,6
120	R3	24,6	24,3	24,35	25	24,5	24,2	25	23,4	25,5
140	R1	24,5	24,3	24,48	25,4	24,5	24,2	25	23,47	25,3
140	R2	24,3	24	24,7	25,2	24,3	24,4	25,2	23,23	25
140	R3	24,5	24,35	24,2	25,4	24,45	24,5	25,3	23,45	25,5
160	R1	24,3	24,48	24,4	25,4	24,4	24,45	25	23,3	25

160	R2	24,5	24,3	24,5	25,4	24,35	24,35	25,3	23,2	25
160	R3	24,35	24,5	24,4	25,6	24	24,5	25,2	23,1	25,2
180	R1	24,26	24,3	24,55	25,1	24,2	24,26	25	23,5	25,3
180	R2	24,4	24,5	24,4	25,1	24,35	24,4	24,8	23,4	25,4
180	R3	24,45	24,35	24,35	25,4	24,25	24,45	25,2	23,6	25,4
200	R1	24,5	24,26	24,26	25,3	24,3	24,5	25	23,4	25,6
200	R2	24,65	24,4	24,4	25,2	24,6	24,5	25,3	23,5	25,1
200	R3	24,5	24,45	24,45	25	24,8	24,65	25,4	23,55	25,1
220	R1	24,4	24,5	24,5	24,8	24,58	24,5	25,3	23,45	25
220	R2	24,6	24,65	24,65	25,2	24,6	24,4	25,25	23,5	25,3
220	R3	24,4	24,5	24,5	25	24,5	24,6	25,45	23,6	25,2
240	R1	24,5	24,4	24,4	25,3	24,54	24,4	25,4	23,65	25
240	R2	24,55	24,6	24,6	25,4	24,6	24,5	25,4	23,35	24,8
240	R3	24,45	24,4	24,4	25,3	24,4	24,55	25,6	23	25,2
260	R1	24,5	24,5	24,5	25,25	24,47	24,45	25,8	23,2	25
260	R2	24,6	24,55	24,6	25,45	24,23	24,5	25	23,35	25,3
260	R3	24,65	24,4	24,65	25,4	24,5	24,6	25,5	23,25	25,4
280	R1	24,45	24,5	24,45	25,2	24,65	24,65	25,2	23,3	25,3
280	R2	24,4	24,45	24,4	25	24,5	24,45	25,5	23,6	25,2
280	R3	24,2	24,35	24,2	25,1	24,4	24,4	25,3	23,8	25
300	R1	24	24,5	24	25,25	24,47	24,2	25	23,58	25,3
300	R2	24,1	24,3	24,1	25,2	24,23	24	25,5	23,6	25
300	R3	24,25	24,45	24,25	25,2	24,45	24,1	25	23,5	25,5
320	R1	24,2	24,4	24,2	25,4	24,3	24,35	25	23,54	25
320	R2	24,2	24,35	24,2	25,5	24,65	24,48	25,2	23,6	25
320	R3	24,4	24	24,4	25,45	24,45	24,3	25,3	23,4	25,2
340	R1	24,5	24,2	24,5	25,35	24,2	24,5	25,2	23,5	25,3
340	R2	24,45	24,35	24,45	25,5	24,2	24,3	25	23,3	25,2
340	R3	24,35	24,25	24,35	25,26	24,4	24,5	25,3	23,5	25
360	R1	24,5	24,3	24,5	25,45	24,5	24,35	25,4	23,35	25,2
360	R2	24,3	24,4	24,26	25,35	24,45	24,26	25,3	23,26	25,4
360	R3	24,45	24,25	24,4	25,5	24,35	24,4	25,25	23,4	25,5
380	R1	24,4	24,4	24,45	25,3	24,5	24,5	25,45	23,4	25,45
380	R2	24,35	24,3	24,5	25,45	24,3	24,45	25,4	23,6	25,35
380	R3	24	24,4	24,65	25,4	24,45	24,5	25,2	23,5	25,5
400	R1	24,2	24,26	24,5	25,35	24,4	24,65	25	23,3	25,26
400	R2	24,35	24,4	24,4	25	24,55	24,5	25,1	23,25	25,5
400	R3	24,25	24,45	24,6	25,2	24,45	24,4	25,4	23,5	25,4
420	R1	24,3	24,5	24,4	25	24,5	24,6	25,4	23,65	25,2
420	R2	24,4	24,65	24,5	25,2	24,6	24,4	25,6	23,5	25,5
420	R3	24,25	24,5	24,55	25,35	24,65	24,5	25,1	23,3	25,3

460	R1	24,4	24,4	24,45	25	24,45	24,55	25,1	23,45	25
460	R2	24,3	24,6	24,5	25,4	24,4	24,45	25	23,6	25,5
460	R3	24,4	24,4	24,4	25,6	24,2	24,5	25,3	23,5	25
480	R1	24,6	24,5	24,6	25,8	24	24,4	25,2	23,4	25
480	R2	24,8	24,55	24,8	25	24,1	24,6	25	23,4	25,2
480	R3	24,58	24,45	24,58	25,5	24,35	24,4	24,8	23,6	25,3
500	R1	24,6	24,5	24,6	25,2	24,48	24,5	25,2	23,5	25,2
500	R2	24,5	24,6	24,4	25,5	24,3	24,55	25	23,35	25
500	R3	24,54	24,65	24,47	25,3	24,5	24,4	25,3	23,4	25,3
520	R1	24,6	24,45	24,23	25	24,3	24,2	25,4	23,2	25,4
520	R2	24,4	24,4	24,45	25,5	24,5	24	25,3	23,3	25,3
520	R3	24,47	24,2	24,3	25	24,35	24,1	25,2	23,25	25,25
540	R1	24,23	24	24,65	25	24,26	24,4	25,2	23,4	25,2
540	R2	24,45	24,1	24,45	25,2	24,4	24,6	25	23,5	25,35
540	R3	24,3	24,25	24,4	25,3	24,5	24,8	25	23,4	25

Fuente (Elaboración propia)

Anexo 12. Valores experimentales de la temperatura para cada rodaja de piña

Temperatura (°C)		Tratamientos								
		Miel A	Miel A rebajada	Miel B	Miel B rebajada	Miel C	Miel C rebajada	Miel de abeja	Jarabe de sacarosa BD	Jarabe de sacarosa AC
T_i	R1	24,80	24,7	23,7	25,2	26	26,8	27,5	26,1	26,8
	R2	24,76	24,67	23,8	25	26,1	26,6	27,2	25,8	26,8
	R3	25	24,92	23,75	25,1	26	26,8	27,4	26	26,5
T_e	R1	30	31	30	32	32	32,8	33	32	32
	R2	30,5	31,2	30,5	31,7	32,2	32,6	32,5	32,2	32,2
	R3	29,8	30,8	30,8	31,5	32,3	32,7	32,8	32,5	32,5
T_d	R1	24,5	24,6	23,5	25,1	25,8	26,4	27,4	26	26,4
	R2	24,8	24,65	23,5	24,8	26,09	26,2	27,5	26,3	26,6
	R3	24,5	24,6	23,8	25	26,1	26,7	27,3	25,9	26,5

Fuente (Elaboración propia)

Anexo 13. Valores experimentales del peso para cada rodaja de piña.

Peso (g)		Tratamientos								
		Miel A	Miel A rebajada	Miel B	Miel B rebajada	Miel C	Miel C rebajada	Miel de abeja	Jarabe de sacarosa BD	Jarabe de sacarosa AC
P_i	R1	58,8745	51,0945	47,2062	55,8645	50,0987	52,8964	52,393	66,1757	70,5918
	R2	49,7655	58,2318	42,993	50,7362	54,5673	50,65734	50,0981	73,5741	68,7778
	R3	49,0578	50,0065	48,4811	49,6527	50,2349	53,3212	50,2111	74,8958	69,565
P_e	R1	54,6511	45,8977	44,5819	53,9563	45,254	47,7843	48,6454	60,4648	65,8466

	R2	39,0832	54,8871	39,8703	49,9853	46,32	45,0987	45,0212	68,7268	62,2983
	R3	39,8792	45,5699	44,1067	46,2825	44,9897	47,2312	46,0953	68,2208	62,3829
P_d	R1	28,0783	28,0115	20,0146	41,0139	20,0213	22,9865	24,0912	28,7006	33,7812
	R2	22,3044	40,2859	19,0727	39,9045	21,5463	20,9981	25,9987	44,0143	30,4567
	R3	22,6529	34,3625	22,653	34,4695	20,0036	21,9991	23,9999	35,9458	30,7432
P_s	R1	13,5936	12,4354	11,7655	25,1232	12,4562	13,8903	12,9832	17,5381	15,6732
	R2	13,9865	14,7856	10,0672	20,9876	13	11,2341	13,0214	25,078	17,7843
	R3	12,0365	13,1973	11,5432	22,6784	13,8521	13,0435	14	22,1495	17,7432

Fuente (Elaboración propia)

Anexo 14. Valores experimentales de los sólidos solubles para cada rodaja de piña.

°Brix		Tratamientos								
		Miel A	Miel A rebajada	Miel B	Miel B rebajada	Miel C	Miel C rebajada	Miel de abeja	Jarabe de sacarosa BD	Jarabe de sacarosa AC
$^{\circ}Brix_i$	R1	10	9,5	9	9	10	10	11	9	10,5
	R2	10	9,5	9	9,5	10,5	10	10,5	9	10,5
	R3	10	9	9	9	10,5	9,5	10,5	9	11
$^{\circ}Brix_e$	R1	7	8	7,5	8,5	9	9	9	8	8
	R2	7	8	7,5	8,5	9	8,5	8	7,5	8
	R3	8	7,5	8	8	9,5	8,5	8,2	7,5	8,5
$^{\circ}Brix_d$	R1	24,5	23	25	24,5	26	25,8	24	23	24
	R2	25	23,7	25	24,5	25,5	25,8	24	23	24,5
	R3	25	23,7	25,3	25	26	25,5	24,2	23,7	24,5

Fuente (Elaboración propia)

Anexo 15. Análisis de la fruta según la temperatura.

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	85,1201	8	10,64	1,14	0,3456
Intra grupos	670,149	72	9,30762		
Total (Corr.)	755,269	80			

Fuente (Elaboración propia a partir del programa Statgraphics)

Anexo 16. Análisis de la fruta según la pérdida del peso.

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3878,22	8	484,777	1,55	0,1510

Intra grupos	31036,0	99	313,495		
Total (Corr.)	34914,2	107			

Fuente (Elaboración propia a partir del programa Statgraphics)

Anexo 17. Análisis de la fruta según los ⁰Brix.

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	22,7677	8	2,84596	0,05	1,0000
Intra grupos	4451,14	72	61,8213		
Total (Corr.)	4473,9	80			

Fuente (Elaboración propia a partir del programa Statgraphics)

Anexo 18. Análisis de la relación tiempo de deshidratación- ⁰Brix en las soluciones osmóticas.

Gráfico: Relación tiempo - Brix en la Miel A

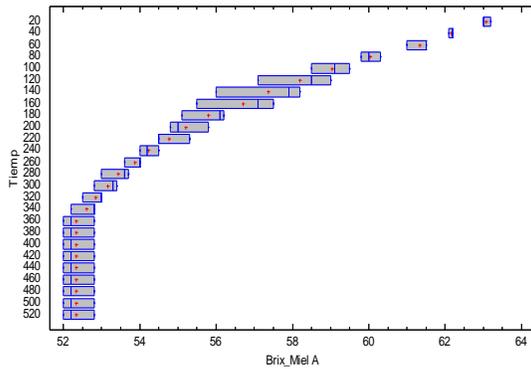


Gráfico: Relación tiempo - Brix en la Miel AR

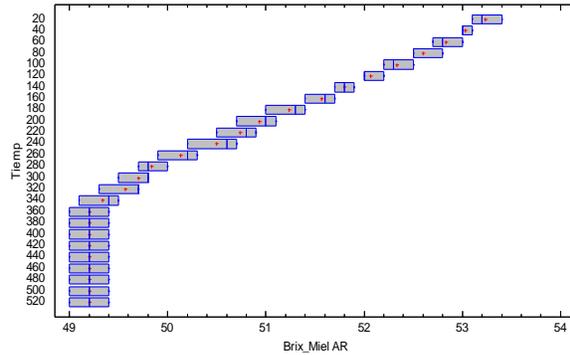


Gráfico: Relación tiempo - Brix en la Miel B

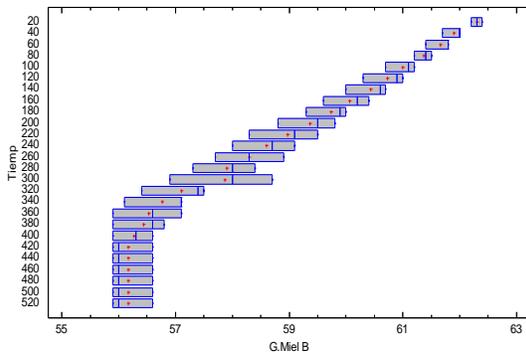


Gráfico: Relación tiempo - Brix en la Miel BR

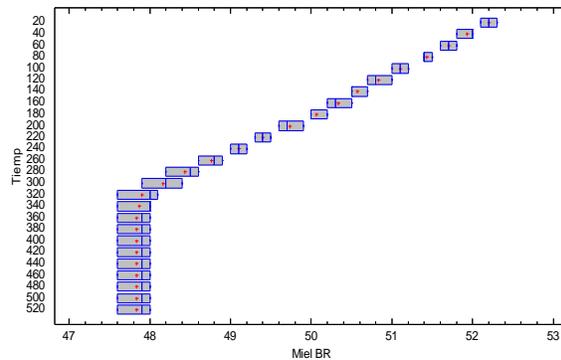


Gráfico: Relación tiempo - Brix en la Mel C

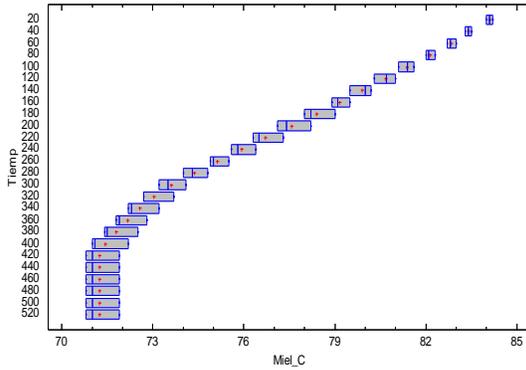


Gráfico: Relación tiempo - Brix en la Mel CR

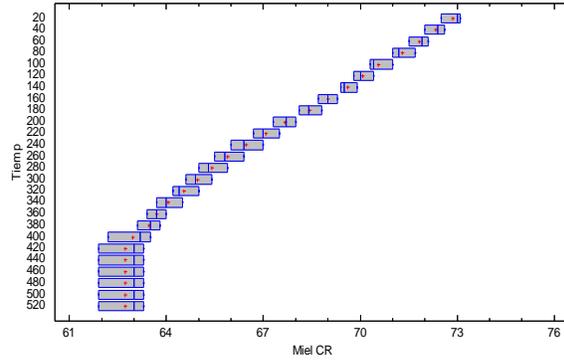


Gráfico: Relación tiempo - Brix en la Mel de Abeja

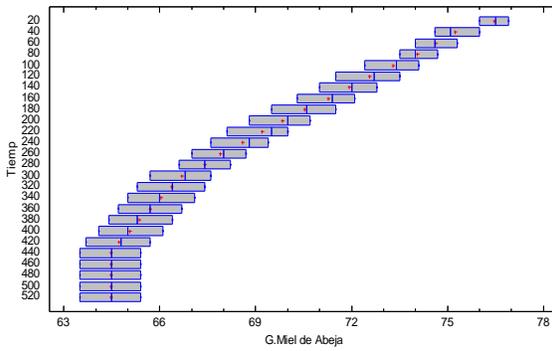


Gráfico: Relación tiempo - Brix en el Jarabe de Sac_BD

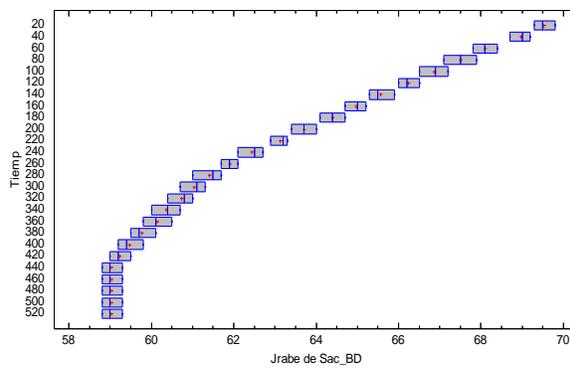
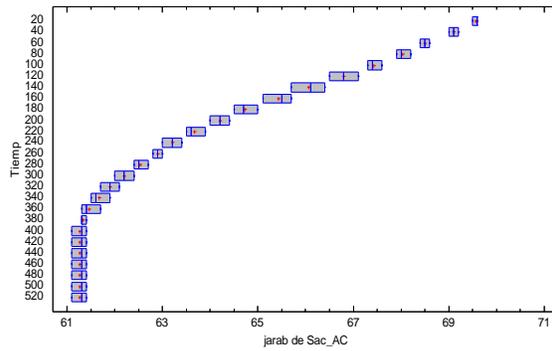


Gráfico: Relación tiempo - Brix en jarabe de Sac_AC



Fuente (Elaboración propia a partir del programa Statgraphics)

Anexo 19. Análisis de la relación tiempo de deshidratación- % de Agua en las soluciones osmóticas.

Gráfico: Relación tiempo - % de agua en la Miel A

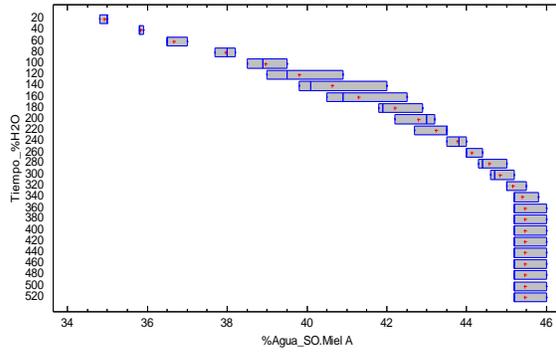


Gráfico: Relación tiempo - % de agua en la Miel AR

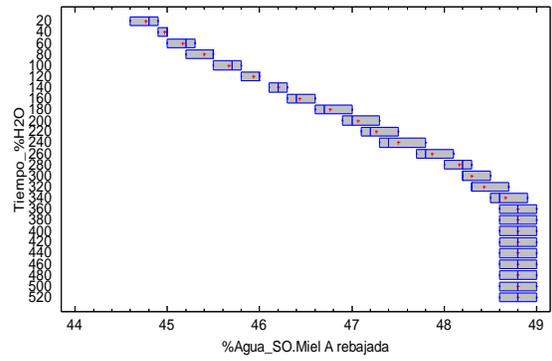


Gráfico: Relación tiempo - % de agua en la Miel B

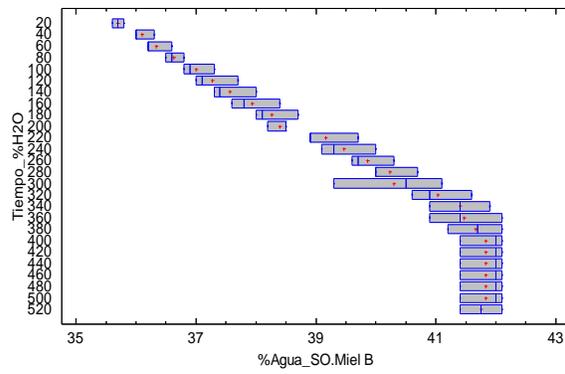


Gráfico: Relación tiempo - % de agua en la Miel BR

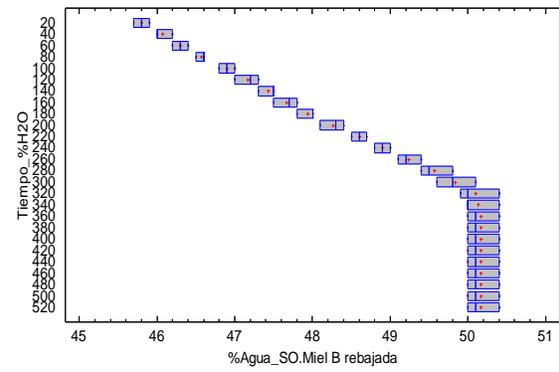


Gráfico: Relación tiempo - % de agua en la Miel C

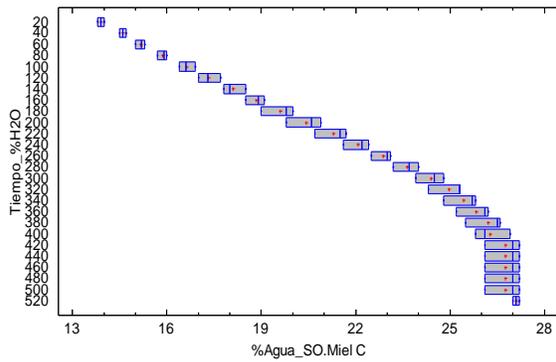


Gráfico: Relación tiempo - % de agua en la Miel CR

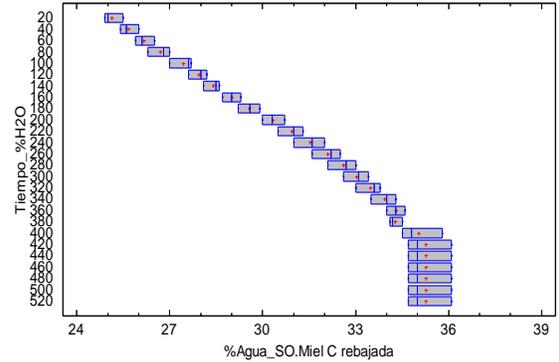


Gráfico: Relación tiempo - % de agua en la Miel de abeja

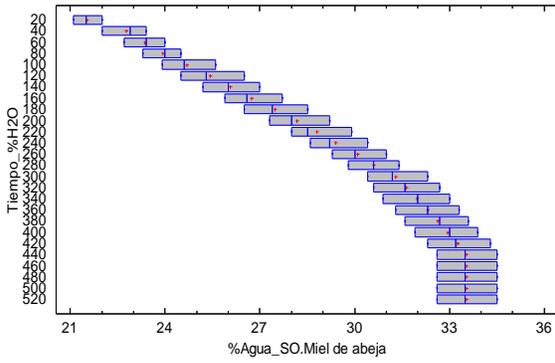


Gráfico: Relación tiempo - % de agua en el jarabe de Sac BD

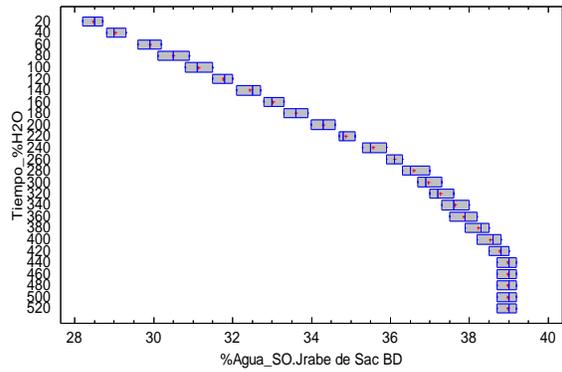
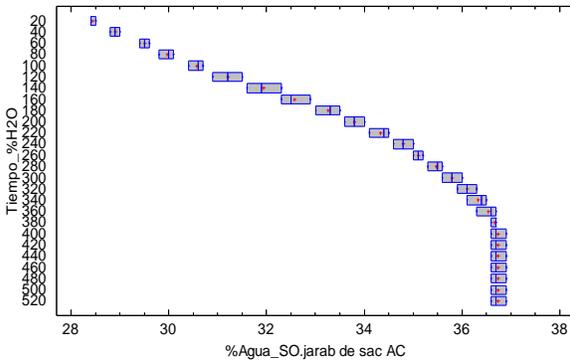


Gráfico: Relación tiempo - % de agua en el jarabe de Sac AC



Fuente (Elaboración propia a partir del programa Statgraphics)

Anexo 20. Análisis de la relación tiempo de deshidratación- temperatura en las soluciones osmóticas.

Gráfico: Relación tiempo - temperatura en la Miel A

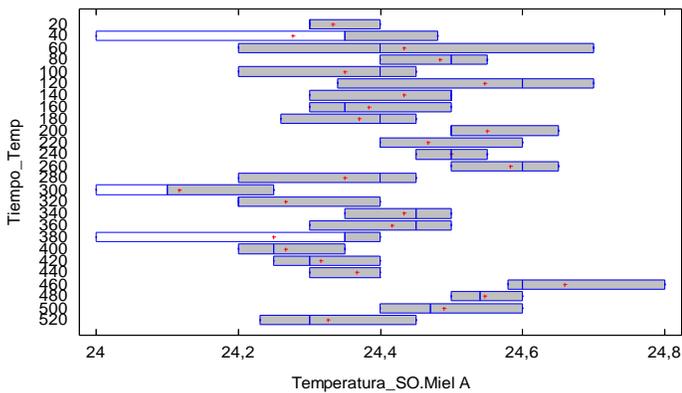


Gráfico: Relación tiempo - temperatura en la Miel AR

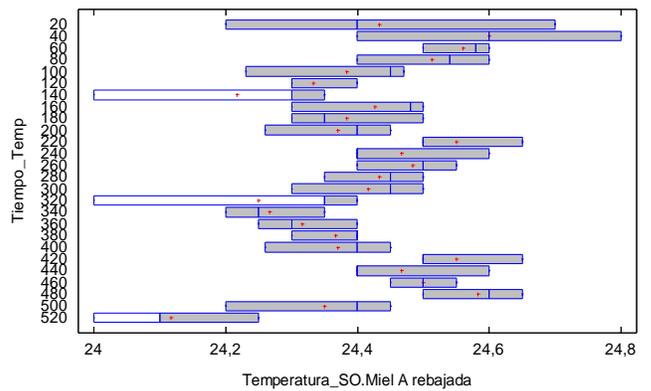


Gráfico: Relación tiempo - temperatura en la Miel B

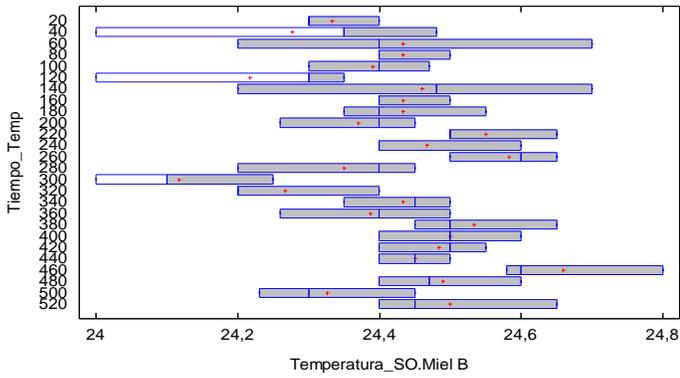


Gráfico: Relación tiempo - temperatura en la Miel BR

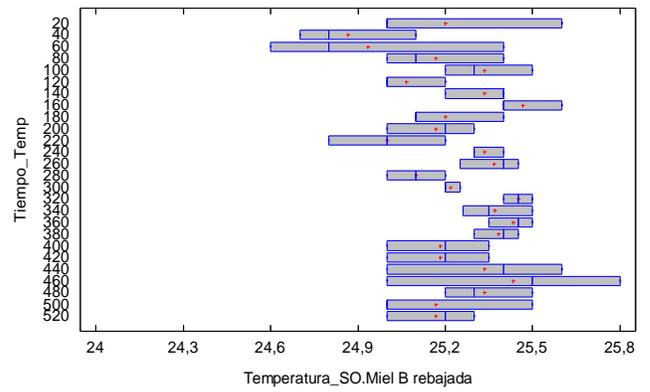


Gráfico: Relación tiempo - temperatura en la Miel C

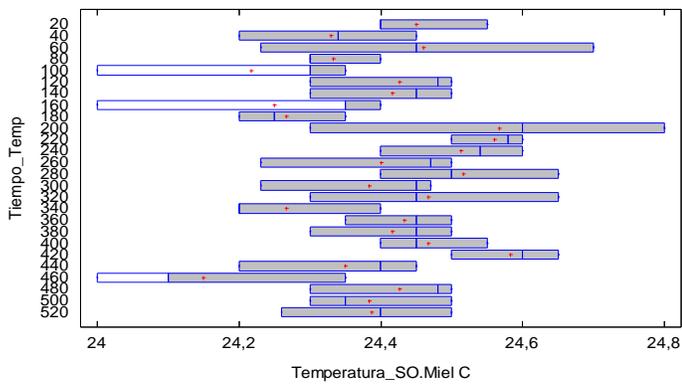


Gráfico: Relación tiempo - temperatura en la Miel CR

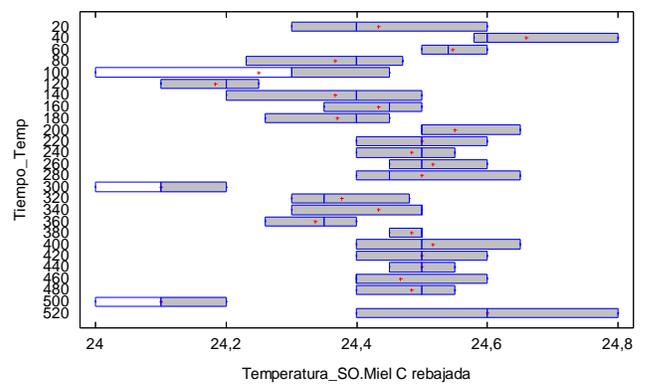


Gráfico: Relación tiempo - temperatura en la Miel de abeja

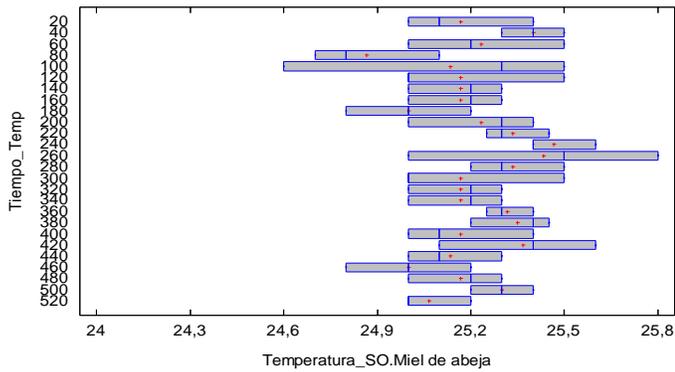


Gráfico: Relación tiempo - temperatura en el jarabe de Sac BD

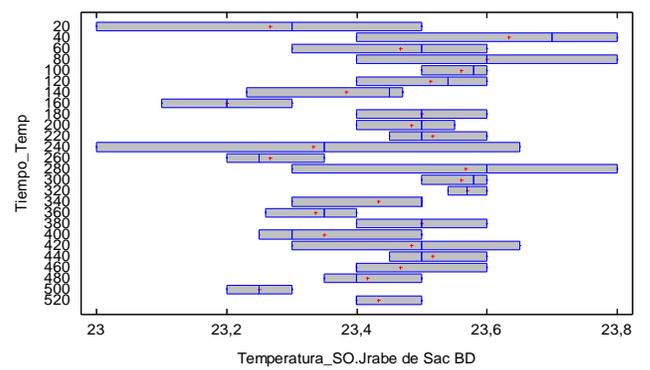
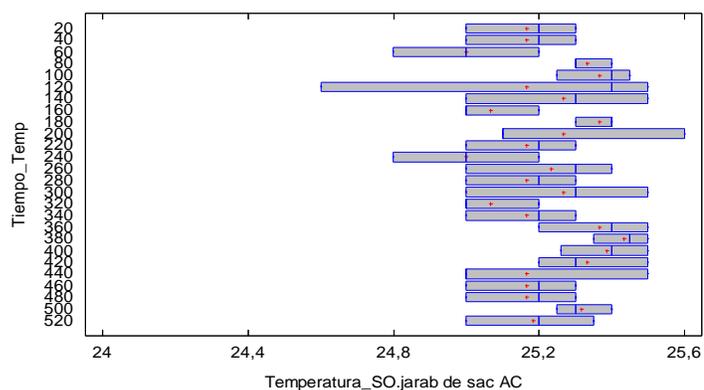


Gráfico: Relación tiempo - temperatura en el jarabe de Sac AC



Fuente (Elaboración propia a partir del programa Statgraphics)

Anexo 21. Valoración de los expertos para cada aspecto.

Aspectos a Evaluar	I	PA	A	BA	MA	T
Sabor de la piña deshidratada con Miel A	0	9	0	0	0	9
Olor de la piña deshidratada con Miel A	0	9	0	0	0	9
Textura de la piña deshidratada con Miel A	0	9	0	0	0	9
Color de la piña deshidratada con Miel A	0	9	0	0	0	9
Sabor de la piña deshidratada con Miel A rebajada	0	9	0	0	0	9
Olor de la piña deshidratada con Miel A rebajada	0	9	0	0	0	9
Textura de la piña deshidratada con Miel A rebajada	0	9	0	0	0	9
Color de la piña deshidratada con Miel A rebajada	0	9	0	0	0	9
Sabor de la piña deshidratada con Miel B	0	9	0	0	0	9
Olor de la piña deshidratada con Miel B	0	9	0	0	0	9
Textura de la piña deshidratada con Miel B	0	9	0	0	0	9
Color de la piña deshidratada con Miel B	0	9	0	0	0	9
Sabor de la piña deshidratada con Miel B rebajada	0	9	0	0	0	9
Olor de la piña deshidratada con Miel B rebajada	0	9	0	0	0	9
Textura de la piña deshidratada con Miel B rebajada	0	9	0	0	0	9
Color de la piña deshidratada con Miel B rebajada	0	9	0	0	0	9
Sabor de la piña deshidratada con Miel C	0	9	0	0	0	9
Olor de la piña deshidratada con Miel C	0	9	0	0	0	9

Textura de la piña deshidratada con Miel C	0	9	0	0	0	9
Color de la piña deshidratada con Miel C	0	9	0	0	0	9
Sabor de la piña deshidratada con Miel C rebajada	0	9	0	0	0	9
Olor de la piña deshidratada con Miel C rebajada	0	9	0	0	0	9
Textura de la piña deshidratada con Miel C rebajada	0	9	0	0	0	9
Color de la piña deshidratada con Miel C rebajada	0	9	0	0	0	9
Sabor de la piña deshidratada con azúcar (Blanco Directo)	0	0	0	2	7	9
Olor de la piña deshidratada con azúcar (Blanco Directo)	0	0	0	0	9	9
Textura de la piña deshidratada con azúcar (Blanco Directo)	0	0	0	3	6	9
Color de la piña deshidratada con azúcar (Blanco Directo)	0	0	0	1	8	9
Sabor de la piña deshidratada con azúcar (Azúcar Crudo)	0	0	0	7	2	9
Olor de la piña deshidratada con azúcar (Azúcar Crudo)	0	0	0	4	5	9
Textura de la piña deshidratada con azúcar (Azúcar Crudo)	0	0	0	8	1	9
Color de la piña deshidratada con azúcar (Azúcar Crudo)	0	0	0	2	7	9
Sabor de la piña deshidratada con miel de abeja	0	0	6	3	0	9
Olor de la piña deshidratada con miel de abeja	0	0	7	2	0	9
Textura de la piña deshidratada con miel de abeja	0	0	0	6	3	9
Color de la piña deshidratada con miel de abeja	0	0	0	1	8	9

Fuente (Elaboración propia a partir del programa Consulta a Expertos)

Anexo 22. Piñas deshidratadas con Miel de caña.



Fuente (Elaboración propia)

Anexo 23. Piñas deshidratadas con Jarabe de Sacarosa BD.



Fuente (Elaboración propia)

Anexo 24. Piñas en el proceso de deshidratación con Jarabe de Sacarosa BD.



Fuente (Elaboración propia)

Anexo 25. Piñas en el proceso de deshidratación con Miel de abeja.



Fuente (Elaboración propia)

Anexo 26. Piñas en el proceso de deshidratación con Miel de caña.



Fuente (Elaboración propia)

Anexo 27. Piñas deshidratadas con Jarabe de Sacarosa BD en el secado final.



Fuente (Elaboración propia)