FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL Y COMERCIO EXTERIOR

TESIS

OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OSMODESHIDRATACIÓN Y SECADO POR CONVECCIÓN PARA LA RETENCIÓN DE CAROTENOS DEL ZAPALLO LOCHE (*Cucúrbita moschata* Dutch.) – CHICLAYO 2016.

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL Y COMERCIO EXTERIOR

Autor:

Meneses Peralta Juan Enrique

Pimentel, Julio del 2017

Optimización de los parámetros de osmodeshidratación y secado por convección para la retención de carotenos del zapallo loche (*Cucúrbita moschata* Dutch.) – Chiclayo 2016

Aprobación del informe de investigación

Ing. Ms. Walter B. Símpalo López
Asesor Metodólogo

Ing. Ms. Walter B. Símpalo López
Asesor Especialista

Ing. Ms. Edward F. Aurora Vigo
Presidente del Jurado de Tesis

Ing. Ms. Walter B. Símpalo López
Secretario del Jurado de Tesis

Ing. Ms. Williams E. Castillo Martínez
Vocal del Jurado de Tesis

DEDICATORIA

Con inmenso amor y esfuerzo a mi mamá Juana quien siempre creyó en mí a pesar de las adversidades y dificultades que se presentaron en el transcurso de mi vida universitaria.

A mi esposa Claudia por su paciencia, sacrificio y aliento constante para que yo pueda lograr una de mis metas, por su amor y apoyo incondicional.

A mis dos hijos Derek Thiago y Nícolas Enrique, por quienes seguiré luchando por sus bienestar temporal y espiritua hasta el final.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme finalizar esta etapa gozando de buena salud y por cuidar a toda mi familia.

A mis maestros:

Ing. Lourdes J. Esquivel Paredes, por su magnífica colaboración profesional en las asesorías de esta investigación.

Ing. Walter Símpalo López, por facilitar las instalaciones de la Planta Piloto para la realización de las pruebas analíticas

Ing. Julio M. Vidaurre Ruíz, por despertar el espíritu investigador en mí y por sus valiosos aportes científicos.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 16

1.1. Situación problemática 16

1.2. Formulación del Problema 17

1.3. Delimitación de la Investigación 18

1.4. Justificación e Importancia 18

1.5. Limitaciones de la Investigación 19

1.6. Objetivos de la Investigación 20

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 21

2.1. Antecedentes de la investigación 21

2.2. Estado del Arte 25

2.3. Bases teórico científicas 27

2.3.1. Loche (*Cucúrbita moschata* Dutch.) 27

2.3.2. Carotenos 30

2.3.3. Osmodeshidratado 38

2.3.4. Influencia de las variables de operación en la Osmodeshidratación 39

2.3.5. Secado 46

2.3.6. Influencia de las variables de operación en el Secado por Convección 48

2.3.7. Metodología Superficies de Respuesta 54

2.4. Definición de términos básicos 60

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO 64

3.1. Tipo y diseño de investigación 64

3.1.1. Tipo de investigación: 64

3.1.2. Diseño de la investigación: 64

3.2. Población y muestra 65

3.3. Hipótesis 65

3.4. Variables 66

3.5. Operacionalización 66

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos 67

3.6.1. Técnica: 67

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos 67

3.7. Procedimiento para la recolección de datos 70

3.7.1. Caracterización fisicoquímica de la Materia Prima 71

3.7.2. Análisis de Contenido de carotenoides 72
3.7.3. Optimización 74
3.7.4. Validación 75
3.8. Análisis estadístico e interpretación de los datos 79
3.9. Principios éticos 80
3.10. Principios de rigor científico 81
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS 83
4.1. Resultados en tablas y gráficos. 83
4.1.1. Caracterización fisicoquímica de la materia prima 83
4.1.2. Acondicionamiento del Loche para Optimización de la Osmodeshidratación . 85
4.1.3. Acondicionamiento del Loche para la Optimización del Secado Convectivo .. 97
4.1.4. Pérdida de la humedad en el proceso 106
4.1.5. Evaluación de la Retención de Carotenos 108
4.2. Discusión de resultados 109
CAPÍTULO V: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN 113
5.1. Optimización de los parámetros de temperatura, tiempo y concentración en la osmodeshidratación 113
5.2. Optimización de los parámetros de temperatura y tiempo en el secado convectivo 117
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 119
6.1. Conclusiones 119
6.2. Recomendaciones 120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Clasificación Taxonómica del Loche de Lambayeque.....30

Tabla 2.2 Valores Bromatológicos de Cucúrbita moschata a 82% de humedad 31

Tabla 2.3 Estructura y característcias de los Carotenos comunes en los alimentos 33

Tabla 2.4 Estructura y característcias de las Xantófilas comunes en los alimentos 35

Tabla 2.5 Usos y ventajas de los agentes osmóticos.....44

Tabla 3.1 Variables dependientes e independientes.....68

Tabla 3.2 Operacionalización de variables 68

Tabla 3.3 Etapas experimentales y de análisis que se realizaron para la obtención de parámetros óptimos de la osmodeshidratación y secado por convección para la retención de carotenos en el zapallo loche.....72

Tabla 3.4 Valores utilizados en el DCCR para la osmodeshidratación del loche 77

Tabla 3.5 Valores utilizados en el DCCR para el secado por convección del loche 77

Tabla 3.6 Matriz codificada de las variables de estudio - Osmodeshidratación.....81

Tabla 3.5 Matriz codificada de las variables de estudio – Secado por convección 82

Tabla 4.1 Lista de descriptores mínimos del zapallo loche (*Cucúrbita moschata* Dutch). Observaciones realizadas con 5 frutos 85

Tabla 4.2 Propiedades físicas del loche fresco (*Cucúrbita moschata* Dutch).....86

Tabla 4.3 Propiedades químicas del loche fresco (*Cucúrbita moschata* Dutch).....86

Tabla 4.4 Respuestas de la matriz codificada de DCCR de las variables de estudio - Osmodeshidratación.....89

Tabla 4.5 Análisis d los modelos del análisis del DCCR para la concentración de carotenos en el loche osmodeshidratado 90

Tabla 4.6 Análisis de Varianza (ANVA) del modelo lineal/cuadrático de efectos principales y las interacciones de segundo orden para la variable retención de carotenos en el loche osmodeshidratado 95

Tabla 4.7 Análisis de Coeficientes de regresión para predecir el porcentaje de retención de carotenos en el loche osmodeshidratado.....97

Tabla 4.8 Valores empleados para la validación y resultados predichos y observados ..98

Tabla 4.9 Respuestas de la matriz codificada de DCCR de las variables de estudio – Secado Convectivo.....100

Tabla 4.10 Análisis de los modelos del análisis del DCCR para la retención de carotenos en el loche secado por convección previamente osmodeshidratado.....101

Tabla 4.11 Análisis de Varianza (ANVA) del modelo lineal/cuadrático de efectos principales y las interacciones de segundo orden para la variable retención de carotenos en el loche secado por convección previamente osmodeshidratado.....104

Tabla 4.12 Análisis de Coeficientes de regresión para predecir el porcentaje de retención de carotenos en el loche secado por convección previamente osmodeshidratado 106

Tabla 4.13 Valores empleados para la validación y resultados predichos y observados 107

Tabla 4.14 Pérdida de humedad en base húmeda en el proceso de osmodesidratado de zapallo loche.....108

Tabla 4.15 Pérdida de humedad y rendimiento del proceso de secado convectivo del zapallo loche previamente osmodeshidratado 108

Tabla 4.16 Porcentaje de retención obtenida por medio de la optimización de los parámetros de la osmodeshidratación y el secado por convección.....110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Vista interna y externa del Loche Lambayecano 28

Figura2.2 Funciones que promueven la salud atribuidas a los carotenos.....31

Figura2.3 Variación del contenido de agua y azúcar en un proceso de osmodeshidratación respecto al tiempo 41

Figura 2.4 Distintas geometrías de reducción de tamaño en alimentos para osmodeshidratación.....46

Figura 2.5 Variación del peso del producto en un proceso de secado.....50

Figura 2.6 Contenido de humedad en función del tiempo de secado 51

Figura 2.7 Curva de velocidad de secado 52

Figura 2.8 Superficie de respuesta en dos dimensiones 57

Figura 2.9 Superficie de respuesta tridimensional.....57

Figura 2.10 Gráfica de contornos.....58

Figura 2.11 Representación esquemática de un DCCR 60

Figura 3.1 Curva de calibración de análisis de carotenos 73

Figura 4.1 Etapas realizadas en el proceso de osmodeshidratación.....86

Figura 4.2 Etapas realizadas para la cuantificación por espectrofotometría 87

Figura 4.3 Gráficos de: (a) Superficie de respuesta; (b) Curvas de contornos. En el osmodeshidratado: Temperatura vs el tiempo 90

Figura 4.4 Gráficos de: (a) Superficie de respuesta; (b) Curvas de contornos. En el osmodeshidratado: Temperatura vs concentración.....91

Figura 4.5 Gráficos de: (a) Superficie de respuesta; (b) Curvas de contornos. En el osmodeshidratado: Concentración vs tiempo 92

Figura 4.6 Linealidad de los valores experimentales con los predichos para la concentración de carotenos en el loche osmodeshidratado. 93

Figura 4.7 Diagrama de Pareto para la concentración de carotenos (µg/g) del loche osmodeshidratado 95

Figura 4.8 Etapas realizadas para el secado por convección del loche previamente osmodeshidratado 98

Figura 4.9 Gráficos de: (a) Superficie de respuesta; (b) Curvas de contornos. En el secado convectivo del loche previamente osmodeshidratado: Temperatura vs el tiempo 101

Figura 4.10 Linealidad de los valores experimentales con los predichos para la retención de carotenos del loche secado por convección previamente osmodeshidratado 102

Figura 4.11 Diagrama de Pareto para la retención de carotenos del loche secado por convección previamente osmodeshidratado 104

Figura 4.12 Curva de secado osmo convectivo de muestras de zapallo loche 108

Figura 5.1 Perfil de las variables predictivas y deseables.....114

Figura 5.2 Gráficos de: (a) Superficie de respuesta; (b) Curvas de contornos; del valor deseable de retención de carotenos en loche osmodeshidratado: Temperatura y Tiempo. 115

Figura 5.3 Gráficos de: (a) Superficie de respuesta; (b) Curvas de contornos; del valor deseable de retención de carotenos en loche osmodeshidratado: Temperatura y Concentración.....116

Figura 5.4 Gráficos de: (a) Superficie de respuesta; (b) Curvas de contornos; del valor deseable de retención de carotenos en loche osmodeshidratado: Concentración y Tiempo. 117

Figura 5.5 Perfil de las variables predictivas y deseables en el secado convectivo 118

Figura 5.6 Gráficos de: (a) Superficie de respuesta; (b) Curvas de contornos; del valor deseable de retención de carotenos en loche secado por convección previamente osmodeshidratado en función al tiempo vs temperatura. 121

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1 Contenido de Humedad del producto 50

Ecuación 2.2 Contenido de Humedad libre 50

Ecuación 2.3 Cambio de humedad respecto al tiempo 51

Ecuación 2.4 Velocidad de secado 51

Ecuación 2.5 Función de respuesta para niveles de dos factores 56

Ecuación 2.7 Función de respuesta para niveles de dos factores con los coeficientes de regresión reemplazados 56

Ecuación 3.1 Porcentaje de Humedad 72

Ecuación 3.2 Porcentaje de Retención Verdadera de Carotenos 77

Ecuación 4.1 Modelo matemático para el índice óptimo de carotenos en el osmodeshidratado 96

Ecuación 4.2 Modelo matemático para el índice óptimo de carotenos en el secado por convección 105

Resumen

El fruto zapallo loche (*Cucúrbita moschata* Ducht.) aporta elevados contenidos de provitamina A en forma de carotenos, necesarios para cubrir la deficiencia de vitamina A (VAD) en el mundo y como insumo esencial en la gastronomía Peruana, pero dado a la pérdida de compuestos importantes como los carotenos durante su procesado, fue necesario la optimización de los parámetros de todo el proceso. El objetivo de la investigación fue optimizar los parámetros de la osmodeshidratación (O.D.) y secado por convección (S.C.) para la retención de carotenos del zapallo loche, aplicando el método de superficie de respuesta a través del Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR) en ambos procesos, evaluando tres variables operacionales en el O.D.: Temperatura, tiempo y concentración de sacarosa, obteniéndose 17 tratamientos de los cuales 7 son factoriales, 7 axiales y 3 centrales; y en el S.C.: Temperatura y tiempo, obteniéndose 11 tratamientos, 4 factoriales, 4 axiales y 3 centrales. Los modelos obtenidos para la Concentración de Carotenos fueron validados a través del Análisis de Regresión y ANVA, donde las variables significativas ($p<0.05$) fueron el Tiempo de inmersión en el O.D. y Temperatura en el S.C. Los parámetros óptimos del O.D. son Temperatura = 50°C; tiempo de inmersión = 107.49 minutos y concentración de sacarosa = 55°Brix, los cuales degradan significativamente los carotenos, pero mejora apreciablemente la retención para el secado, cuyos parámetros óptimos fueron de T° = 75°C y tiempo de secado = 60 minutos, lográndose retener hasta un 32.37% de carotenos totales durante todo el proceso.

Palabras clave: Loche, optimización, deshidratación osmótica, secado por convección, retención de carotenos.

Abstract

The butternut squash fruit (*Cucúrbita moschata* Ducht.) has a high provitamin A content in the form of carotenes, necessary to treat vitamin A deficiency (VAD) in the world and is an essential ingredient in Peruvian gastronomy. But given the loss of important compounds such as carotenes during processing, which made the optimization of the parameters in the production process necessary. The aim of the research was to optimize the parameters of osmotic dehydration (O.D.) and convection drying (C.D.) for retention of carotenes in butternut squash, using the response surface method. Compound Design Central Rotary (CDCR) was used in the two processes, evaluating three operational variables in the O.D.: temperature, time and concentration of sucrose, yielding 17 treatments of which 7 are factorials, 7 axial and 3 central; and in the C.D.: temperature and time, resulting in 11 treatments, 4 factorial, 4 axial and 3 central. The data obtained for carotene concentration was validated through Regression Analysis and ANOVA, where significant variables ($P<0.05$) were the immersion time in the O.D. and temperature in C.D. The optimal parameters in O.D. The optimal O.D. are Temperature = 50 ° C; Immersion time = 107.49 minutes and sucrose concentration = 55 ° Brix,, which significantly degrades carotenes, but significantly improves retention during drying, whose optimal parameters were T ° = 70-80 ° C and drying time = 60 minutes, achieving 32.37% retention of carotenes total throughout the process

Key Words: Loche, optimization, osmotic dehydration, convection drying, Carotenoids, retention carotenes.

Introducción

Mundialmente existe una afinidad por una economía de libre mercado, acentuando la competitividad entre las empresas, la cual ha generado que éstas eleven su eficiencia, a través de la optimización en los procesos de fabricación y en el desarrollo de nuevos procesos y productos. Habitualmente para lograr tal finalidad, se hace empleo de un método efectivo de experimentación. Si bien la utilización de los métodos en los diseños experimentales es amplia, el objetivo es su aplicación en la optimización de los parámetros de procesos productivos. (Arteaga y Rodríguez, 2004, citado por Aquino, 2012)

El Perú posee una gran variedad de productos naturales que presentan características nutracéuticas excepcionales, una de ellas es el loche (*Cucúrbita moschata* Dutch.) oriundo del departamento de Lambayeque, el cual contiene elevadas concentraciones de vitaminas A, C, retinol, vitaminas del complejo B, minerales, entre otras características atractivas para el consumo humano, que lo convierten en un producto altamente valioso para enfrentar problemas de salud pública como la deficiencia de vitamina A (VAD) a nivel mundial. (OMS, 2009)

Sin embargo, considerando que el loche no se desarrolla en cualquier lugar por ser un cultivo milenario, celoso del tipo de suelo, clima, entre otros factores, no es posible su propagación conservando íntegramente todas sus características bromatológicas que lo hacen único en el Perú y el mundo. En el 2009, el Instituto Peruano del Espárrago y hortalizas (IPEH) ha reportado experiencias de parcelas experimentales de loche en la Región de La Libertad y otros sitios, en donde obtuvieron altos rendimientos, pero al realizarse las comparaciones organolépticas con el loche lambayecano, las diferencias eran notorias en cuanto a la pigmentación y compuestos aromáticos, siendo más rico en dichos compuestos el loche lambayecano.

A esto, sumarle su elevado contenido de humedad (Neumark, 1970; citado por Ortiz G., Sánchez L., Valdés R., Baena G. y Vallejo, F., 2008) se sugiere procesarlo en un producto derivado natural, sin adición de químicos, que retengan

sus propiedades (Gonzáles y Prado, 2003; Martínez y Acevedo, 2004 y Nascimiento, 2006)

En tal sentido, la presente investigación abordó temas sobre la naturaleza del zapallo loche, los carotenos, estableciendo y validando los parámetros óptimos en la osmodeshidratación y secado por convección para la mayor retención de carotenos del zapallo loche, mediante la aplicación de métodos y técnicas científicamente validadas, con la ayuda del método de Superficie de respuesta, empleando STATISTICA release 7, como software de análisis estadístico de datos, lográndose determinar los parámetros óptimos de cada variable operacional en función a la mayor concentración de carotenos.

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Situación problemática

El loche (*Cucúrbita moschata* Dutch*.)* es un fruto de una variedad de zapallo oriundo del departamento de Lambayeque – Perú, que presenta, ciertas características organolépticas de aroma y sabor que lo califican como un ingrediente esencial en la gastronomía Peruana (INDECOPI, 2010) y que actualmente gracias al boom gastronómico, es reconocido y consumido también a nivel internacional en diferentes países tales como EE.UU., Argentina, Chile, entre otros (*The Economist* Magazine, 2008, citado por Castro, 2013), debido a su alta composición nutricional.

Pese a ello, la deficiencia de vitamina A (VAD) continúa siendo un problema de salud pública importante en más de la mitad de los países del mundo. (OMS, 2009)

Según el Sistema de Datos sobre Composición de Alimentos del Instituto Nacional de Salud del Perú – Ministerio de Salud, detalla que el loche contiene elevadas concentraciones de vitaminas A, C, retinol, vitaminas del complejo B, minerales, entre otras características atractivas para el consumo humano como fruto fresco, sin embargo no se reportó en otras investigaciones la vida útil del loche, además el contenido de humedad que ronda el 90% (Neumark, 1970; citado por Ortiz et al. 2008) lo convierte en mercancía perecedera con los nutrientes diluidos, por lo que se debe deshidratar para minimizar el deterioro en poscosecha (Gonzáles y Prado, 2003) y convertirlo en un fruto no perecedero aprovechable en la agroindustria de alimentos (Martínez y Acevedo, 2004) sin afectar el valor biológico y retención de los carotenoides (pro vitaminas A). (Nascimiento, 2006)

Por tal razón, en los últimos años, muchas empresas han tomado la iniciativa de dar un valor agregado al loche lambayecano con el fin de diversificar y comercializar productos diferenciados tales como harinas,

pastas, snacks, mermeladas, entre otros (Cortijo, 2015), no obstante, la estabilidad de los carotenoides y demás compuestos, es crucial para el atractivo del producto, de modo que han dejado de lado ciertos aspectos y parámetros de vital importancia comercial y nutricional, que no están siendo tomados en cuenta al momento de establecer un proceso productivo.

Algunas muestras de zapallo (*Cucúrbita moschata Duch.*) presentan carotenos totales, en base seca, entre 120 a 280 µg/g (Neumark, 1970, citado por Ortiz et al. 2008) y en base fresca, entre 24 y 84 µg/g (Rodríguez-Amaya, 1999, citado por Ortiz et al. 2008) las cuales se ven afectados durante el acondicionamiento y procesado del fruto por ser susceptibles de degradación (Rodríguez-Amaya, 1999; Rodríguez- Amaya y Kimura, 2004, citados por Ortiz et al. 2008), la pulpa se debe proteger de los efectos deletéreos de la luz, temperaturas altas y oxígeno del aire (Linden y Lorient, 1996; Rodríguez-Amaya, 1999 y 2003, citados por Ortiz et al. 2008). Además por reacción Maillard y los daños en el color final de los frutos. (Ponting, 1973; Lenart y Dabrowska, 1997; Simal et al., 1997; Nsonzi y Ramaswamy, 1998; Estrada y Rozo, 2004, citados por Ortiz et al. 2008)

La aplicación de pretratamientos que permitan disminuir el efecto en la pérdida de compuestos tan importantes como los carotenos, entre otros, representa un reto para lograr establecer un proceso productivo entre el pretratamiento y el tratamiento final, además de lograr la obtención de datos sobre la cuantificación de carotenos en zapallo loche procesado, que a la fecha, no se cuenta con información alguna.

1.2. Formulación del Problema

¿Cuáles son los parámetros óptimos de Osmodeshidratación y Secado por convección que permitirá maximizar la retención de carotenoides del zapallo loche (*Cucúrbita moschata* Ducht)?

1.3. Delimitación de la Investigación

La investigación fue desarrollada en las instalaciones del laboratorio de química y la planta piloto de la Universidad Señor de Sipán, con el apoyo de docentes y técnicos especialistas, teniendo como objeto de estudio el loche (*Cucúrbita moschata* Dutch); siendo desarrollado en un periodo de 4 meses.

1.4. Justificación e Importancia

El loche es consumido como producto fresco y cuenta con una alta demanda por las amas de casa, restaurantes, escuelas gastronómicas a nivel nacional e internacional, debido a su alto aporte nutricional y gastronómico, sin embargo esto se ve mermado debido a su estacionalidad y a la fluctuación de sus precios en el transcurso del año, por ello las empresas han volcado esfuerzos en dar un valor agregado a este fruto para satisfacer su demanda creciente durante el año, pero con notable disminución de aportes proteicos y características nutricionales, producto de la falta de optimización de los parámetros en el proceso productivo.

Convenientemente, el color es un elemento decisivo en la preferencia de los consumidores por un determinado alimento, de modo que la retención del color durante el procesamiento industrial es de interés de la comunidad científica con referencia a los carotenos.

Frente a esta situación, se propone la optimización de los parámetros de la osmodeshidratación y el secado por convección para la retención de carotenos, por medio de la metodología Superficie Respuesta a fin de mejorar las características comerciales y nutricionales permitiendo así minimizar costos y maximizar ganancias. Además, el proceso productivo que se emplea en este trabajo, fomenta el desarrollo del cultivo del loche en la región, el cual se verá reflejado en más puestos de trabajo, así como también su industrialización con buenas prácticas tecnológicas, hace que este trabajo sea ejecutable.

1.5. Limitaciones de la Investigación

Inicialmente para fines de investigación se pretendió trabajar con solvente acetona químicamente pura, pero dado a su alta complejidad para su obtención o compra por ser un químico fiscalizado, no se logró su adquisición, pese a realizarse gestiones por la vía legal, ya que no existe un "permiso" para uso "académico". En cuanto al caroteno puro, se presentó el inconveniente de su elevado costo en dólares y su prolongado tiempo de entrega (hasta en 80 días). Por tales razones, se trabajó con solvente éter de petróleo y se empleó una curva de calibración de caroteno obtenida por el método propuesto por Williams y Wilson (1981).

No se consideró a la velocidad de agitación como parte de una variable de investigación durante el osmodeshidratado, ya que no se cuenta con un equipo dotado con agitador mecánico, lo cual hubiera sido ideal para la investigación.

El tiempo que tomó diluir soluciones a 70 y 80 °Brix, ocasionó retrasos en el inicio de las operaciones de osmodeshidratación y por ende, menor tiempo para la realización de todo el proceso. Explícitamente no fue conveniente agregar en una sola aplicada aproximadamente 350 y 600 g de azúcar en 150 mL de agua respectivamente, porque ésta se saturó, dificultando así su dilución. En tal caso se empleó un agitador magnético para las diluciones de elevados grados Brix, vertiendo y diluyendo gradualmente el azúcar hasta diluirse completamente.

Con el agitador magnético con calentador incorporado, se realizó el precalentamiento para agilizar el proceso de atemperado del medio osmótico, durante la dilución hasta una temperatura deseada, para luego ser colocado en el baño maría para que se realice la operación. Esto se realizó debido a que a mayor concentración de solutos, mayor es el tiempo que se necesita para llevarlo a la temperatura deseada.

Durante la realización de la extracción de carotenos con solvente éter de petróleo, uno de los factores limitantes fue la alta volatilidad del reactivo, de modo que se tuvo que hacerse rápidamente, presto que luego al pasar por el filtrado al vacío, muchas veces quedaba muy poca muestra de carotenos diluidos en éter de petróleo.

La limitación en la etapa de análisis espectrofotométrico fue el número limitado de cubetas aptas para contener el analito, ya que la disponibilidad comercial de las cubetas era nula. Las cubetas empleadas eran de materia acrílica, de modo que fácilmente podían teñirse si no se enjuagaba inmediatamente. Por tal razón y por el número elevado de muestras a analizar en el espectrofotómetro, se enjuagó con éter de petróleo inmediatamente después de las lecturas en el equipo.

1.6. Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Optimizar los parámetros de la osmodeshidratación y secado por convección para la retención de carotenos del zapallo loche (*Cucúrbita moschata* Ducht.).

Objetivos Específicos

Caracterizar fisicoquímicamente la materia prima.

Determinar la temperatura, concentración de la solución osmótica y tiempos de inmersión óptimos para el proceso del osmodeshidratado.

Definir la temperatura y tiempos óptimos para el proceso de secado por convección.

Determinar la humedad en el proceso del osmodeshidratado y secado por convección.

Cuantificar la retención de carotenos (provitaminas A) durante y al término del proceso del osmodeshidratado y secado por convección.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

En la Universidad Nacional de Trujillo, se desarrolló el trabajo de investigación titulado: Optimización de las condiciones de deshidratación osmótica de espárrago (*Asparragus officinalis*) utilizando la metodología de superficie respuesta; por los autores Torres D., Salvador D., Baltazar R. y Siche R. (2013), quienes refieren el siguiente resumen:

> Se realizó un Screening utilizando un diseño factorial fraccionado, las variables independientes fueron la concentración de NaCl (4 – 20%), temperatura (20 – 50°C), tiempo de inmersión (10 – 300 min), velocidad de agitación (0 – 150 rpm) y una relación solución/producto (10/1 – 30/1) y como variables dependientes la humedad final y la ganancia de sólidos. Las variables significativas ($p<0.05$) fueron la concentración de NaCl, la temperatura y el tiempo de inmersión. Luego se utilizó un Diseño Central Compuesto Rotacional (DCCR) para la segunda etapa de optimización. Los modelos obtenidos para la humedad final y ganancia de sólidos fueron validados a través del Análisis de Regresión y ANVA (significativo en ambos casos). Se determinó los valores óptimos (T° = 36 - 42°C, concentración = 30 - 32% y tiempo de inmersión = 350 a 370 min) que minimizan el contenido de humedad final y maximizan la ganancia de sólidos. Finalmente a condiciones óptimas fueron obtenidos los valores de difusividad efectiva media de 7.89342x10-10 m^2/s para el agua y 6.34758x10-10 m^2/s para la Ganancia de Sólidos.

El espárrago verde (*Asparagus officinalis*) deshidratado osmóticamente, fue sometido a cinco variables independientes, tales como Concentración de las Solución osmótica, Temperatura, tiempo de inmersión, velocidad de agitación y relación solución producto. Los valores óptimos del proceso fueron obtenidos al superponer las figuras de contorno, obteniéndose valores de Tº (36º C a 42° C) Concentración (30% a 32%) y tiempo de inmersión (350 min

a 370 min) mediante los cuales procedieron a realizar la corrida experimental.

En la Universidad Federal do Rio de Janeiro, se desarrolló el trabajo de investigación titulado: Un estudio preliminar: El contenido total de carotenoides, α-caroteno y β-caroteno, de calabazas (*Cucúrbita moschata* Landrace Dutch); por los autores Jaeger et al. (2011), quienes refieren el siguiente resumen:

> Las calabazas criollas se producen en la naturaleza y su potencial como fuente de provitamina A, pueden ser investigados con el fin de ser utilizado en programas de mejoramiento de plantas o biofortificación convencionales, con el objetivo de aumentar los carotenoides totales y contenidos β-caroteno. El objetivo del estudio fue determinar el carotenoide, α-caroteno, β-caroteno total y sus isómeros y los contenidos en dos muestras de variedades criollas (A y B) de calabazas primas (*Cucúrbita moschata*) para verificar su potencial de producción de semillas. High Performance Liquid Chromatography y espectrofotometría UV / Visible se utilizaron para determinar α-caroteno, β-caroteno y sus isómeros, y el contenido de carotenoides totales, respectivamente. Todos los análisis se llevaron a cabo por triplicado. Los resultados mostraron medias contenido total de carotenoides de 404.98 en la muestra A, y 234,21 mg/g en la muestra B. Los contenidos α-caroteno variaron 67,06 a 72,99 mg/g en las muestras A y B, respectivamente. El E-β-caroteno fue el isómero más abundante que se encuentra variando 244,22 a 141,95 mg/g en las muestras A y B, respectivamente. Los 9 y 13-Z-β-caroteno isómeros todavía se encontraron en bajas concentraciones en las dos muestras analizadas criollas. El contenido de β-caroteno en la muestra cruda A mostró ser prometedor para la producción de semillas para el cultivo y el consumo.

La cuantificación de carotenos mostrados en esta investigación, demuestran que el isómero más abundante presente en los carotenoides es el E-β-caroteno, cuyas concentraciones oscilan entre 244,22 a 141,95 mg/g,

de modo que la muestra cruda de calabaza mostró ser la más apta para su propagación vía producción de semillas para fines de mejoramiento de plantas o biofortificación.

En la Universidad Nacional de Colombia, se desarrolló el trabajo de investigación titulado: Efecto de la osmodeshidratación y secado en la retención de carotenos en fruto de zapallo; por los autores Ortiz et al. (2008), quienes refieren el siguiente resumen:

> El fruto de zapallo aporta provitamina A en forma de α-caroteno, β-caroteno y luteína que se pueden degradar al deshidratarlo para estabilizar la materia seca. El objetivo de la investigación fue analizar la retención de carotenos en respuesta al proceso de acondicionado por osmodeshidratación (DO) con melaza pura y secado con aire caliente (AC) sin exposición al sol Vs. secado a exposición parcial al sol (S). El mejor rendimiento de materia seca estable correspondió a AC con protección de eritorbato de sodio (ES) y sin él en solución al 5% con 8.5 y 14 horas de permanencia en el proceso y rendimiento másico entre 99.45% y 98.5% respectivamente, que correspondió a los siguientes modelos de pérdida de sólido húmedo: $Y = 454.66935e^{-0.2648339x}$ (R=0.965) y $Y = 463.07976e^{-0.16167667x}$ (R=0.978) respectivamente. El caroteno total en fruto fresco osciló entre 1114.9 y 1365.8 µg. g^{-1}, y 222.2, 60.2 y 158.5 α-caroteno, β-caroteno y luteína respectivamente. El proceso de acondicionado de fruto de zapallo hasta materia seca estable con 12% de humedad, requiere secado con aire caliente (55°C durante nueve horas con flujo de aire de 10 $m.s^{-1}$) en ausencia de brillo solar, para retener hasta 45% de carotenos totales y lograr materia prima idónea hasta con 66.8, 33.5 y 44.7 µg. g^{-1} de α-caroteno, β-caroteno y luteína respectivamente.

Esta investigación analiza la retención de carotenos en fruto zapallo sometido a procesos combinados de osmodeshidratación con melaza pura y secado convectivo sin exponerse al sol y secado parcialmente al sol con

adición de un antioxidante protector eritorbato de sodio, para mejorar la retención de compuestos importantes como los carotenos. De este modo, lograron retener hasta un 45% de carotenos totales y obtener materia seca estable con 12% de humedad.

En la Universidad Nacional de de São Paulo, se desarrolló el trabajo de investigación titulado: Cinética de la deshidratación osmótica y secado al aire de calabazas (*Cucúrbita moschata)*; por los autores Castilho C., Aparecida M. y Kimura M. (2007), quienes refieren el siguiente resumen:

> Se investigaron la Cinética de la deshidratación osmótica (DO) y los efectos de la sacarosa en la impregnación térmica de secado al aire de las rebanadas de calabaza. Se utilizó un modelo simplificado basado en la solución de la ley de Fick para estimar los coeficientes de difusión eficaces durante el OD y secado al aire. A fin de tener en cuenta la contracción, se consideraron espesores medios y variables. Rebanadas de la calabaza se deshidrataron en soluciones de sacarosa (40%, 50% y 60%, w/w, 27 °C). Los coeficientes de difusión eficaces agua fueron superiores a la sacarosa, y se observó bajo la dependencia difusividad con concentración de la solución. Las muestras no tratadas y pre-tratadas en 60% de soluciones osmóticas por una hora se secaron en un secador de aire caliente a 50 y 70 °C (2 m/s) hasta que se alcanzó el equilibrio. Se observó gran reducción de volumen en muestras secas pre y no tratadas. El uso de espesor variable en el modelo disminuido las desviaciones relativas entre los datos de DO y secado previstos y experimentales.

La experimentación realizada en este estudio, enfatizó en la cinética de secado, en la cual emplearon la solución de la ley de Fick para estimar los coeficientes de difusión eficaces tanto en el osmodeshidratado como en el secado convectivo. Así también, demuestra que las muestras tratadas y no tratadas en solución osmótica de 60%, lograron secarse al cabo de una hora en aire caliente a 50 y 70°C, alcanzando equilibrio.

2.2. Estado del Arte

En cuanto a la osmodeshidratación, Abraão, A., Lemos, A., Vilela, A., Sousa, J. y Nunes, F. (2013), de la Universidad de Tras os Montes e Alto Douro, Portugal, estudiaron la influencia de los parámetros de temperatura y concentración de sacarosa en la eficiencia de la pérdida de agua y la ganancia de sacarosa y su influencia en la calidad del zapallo confitado, modelando su cinética de transferencia de masa con la Ley de Fick, el cual describió muy bien los resultados experimentales para la pérdida de agua y la ganancia de azúcar. Sus resultados determinaron que los coeficientes de difusión efectiva de agua y sacarosa aumentan significativamente con la temperatura. La temperatura y la concentración de sacarosa influyeron significativamente en la difusión de agua y azúcar, aumentando a medida que aumentaba la temperatura de la solución. Se observó un aumento significativo en la difusividad efectiva del agua y en la disminución de la difusividad efectiva de la sacarosa cuando la concentración de la solución de sacarosa aumentó de 40 °Brix a 50 y 60 °Brix. Las muestras de zapallos confitados con mayor contenido de sacarosa tienen un mayor estrés de rotura, menor tensión de rotura y menor trabajo para fracturarse. Además, el producto se vuelve más duro y menos elástico con el aumento del contenido en sacarosa, dando como resultado productos más frágiles, lo que parece estar relacionado con el refuerzo de la matriz de pared celular de calabaza.

Asimismo, en el proceso de secado de calabaza (*Cucúrbita moschata*), Hashim, N., Onwude, D. y Rahaman, E. (2014), investigadores de la Universidad de Putra Malaysia y de la Universidad de Uyo, investigaron experimentalmente usando un secador de convección de aire caliente, en donde 30 muestras de calabaza con 2 mm y 4 mm de espesor se sometieron a 11 horas de secado a temperaturas de 50°C, 60°C y 70°C respectivamente. Los datos de secado se ajustaron a los modelos de Humedad Relativa (HR) que produjo $MR = aexp^{-kt}$ como el modelo de predicción. La selección del mejor modelo se investigó mediante análisis estadístico de la varianza, llevado a cabo a través de SPSS 17.0. Los modelos de Lewis, Henderson y Pabis

dieron la mejor predicción con R (97,1%), R^2 (94,2%), SSE (0,577) y R (95,7%), R^2 (91,6%), SSE (0,703), respectivamente.

Así mismo, Guiné P., Pinho, S. y Barroca, M., (2010), del Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal, estudiaron la influencia de la operación de secado en algunas propiedades químicas de calabaza y la cinética de secado, mediante la aplicación de diversos modelos de cinética de datos de secado experimentales. De esta manera, secaron calabaza por convección para diferentes temperaturas del aire, que oscila entre 30°C y 70°C. Las propiedades químicas fueron analizadas en fresco y seco y fueron: contenido de humedad, azúcares totales y reductores, acidez, proteínas, lípidos, fibra cruda y cenizas. Los resultados permitieron concluir que el secado convectivo en la temperatura más baja, 30°C, induce reducciones de 14% en proteínas, 65% en azúcares totales y el 36% en fibra. Además, la temperatura de secado parece tener un insignificante efecto sobre las características nutricionales de la calabaza, ya que los resultados para el secado a 30°C, son bastante similares a los del secado a 70°C. Con respecto a la cinética de secado, sus resultados muestran que el aumento de temperatura acelera fuertemente el proceso de secado, de modo que el proceso a 30°C tarda 8 horas, mientras que a 70°C, el proceso finalizó después de sólo 2 horas. Los datos experimentales para la relación de la humedad se ajustó a diferentes modelos, y las mejores eran de Page y Page modificada.

Con respecto a la cuantificación del caroteno, Contreras O. (2004), de la Universidad Austral de Chile, estudió la relación entre el contenido de Caroteno, color y características de polen corbicular, realizando la extracción del pigmento con éter de petróleo y posteriormente una separación cromatográfica de columna abierta, así como también con un espectrofotómetro, en donde determinó la densidad óptica de las muestras una longitud de onda de 450 nm utilizando como blanco éter de petróleo. A todas las muestras que presentaron una absorbancia mayor a 0.8 le realizó diluciones con el objeto de cumplir con la Ley de Lambert Beer, linealidad entre la densidad óptica y concentración para absorbancias inferiores a 0,8.

Así mismo, utilizaron un estándar de β - caroteno de calidad analítica, del Laboratorio Sigma, para la realización de una curva de calibración, en donde empleó una solución patrón Nº 1 de 0,5 mg de caroteno por ml, a partir de esta preparó una solución patrón Nº 2 de 20 µg de caroteno por ml. Esta última lo obtuvo tomando 2 ml de la solución patrón Nº 1, llevándolo a un matraz aforado hasta 50 ml.

2.3. Bases teórico científicas

2.3.1. Loche (*Cucúrbita moschata* Dutch.)

a. Generalidades

El loche (*Curcubita moschata* Dutch.), es una cucurbitácea oriunda del departamento de Lambayeque, Perú, cuyo cultivo se desarrolla en los distritos de Íllimo, Túcume, Mórrope y Jayanca, provincia de Lambayeque, asimismo en la provincia de Chiclayo está presente en los distritos de Monsefú y Reque y también en el distrito de Pítipo, de la provincia de Ferreñafe (Cáritas del Perú, 2012).

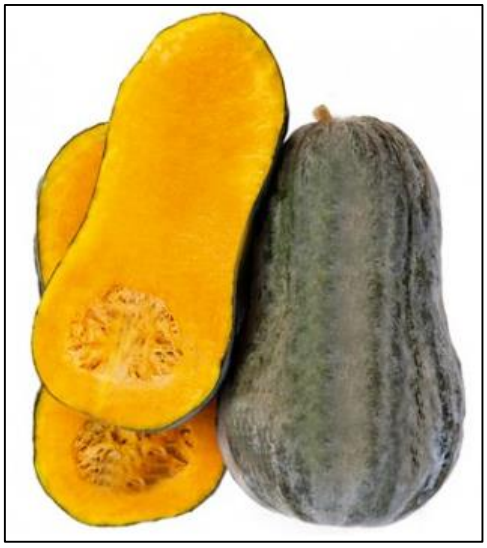


Figura 2.1: Vista interna y externa del Loche Lambayecano
Fuente: Autor

En la Región de Lambayeque, Perú, el loche es sembrado en pequeñas extensiones agrícolas, cuyos productores poseen una deficiente tecnología, el cual, convierte a esta hortaliza en un cultivo poco rentable (Cáritas del Perú, 2012).

Al respecto, la Dirección Regional de Agricultura de Lambayeque (2010), señala que el loche en dicha región, es cultivada en áreas pequeñas de 0.25 ha. a 2 has., cuya siembra total es de aproximadamente 50 a 80 has., las cuales, los distritos de Pítipo y Mesones Muro son los principales productores, en la provincia de Ferreñafe; Íllimo, Mórrope y Túcume, en la provincia de Lambayeque; y en la provincia de Chiclayo, los distritos de Eten y Reque.

b. Clasificación Taxonómica

El sistema de clasificación taxonómica del Loche (*Cucúrbita moschata* Dutch.), según el Manual de Cultivo: Loche de Lambayeque, viene dado tal como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1

Clasificación Taxonómica del Loche de Lambayeque

Clasificación Científica	
Reino	Planta
División:	*Spermatophyta*
Subdivisión:	Angiosperma
Clase:	Dicotiledónea
Subclase:	*Metachlamideae*
Orden:	Cucúrbitales
Familia:	*Cucúrbitaceae*
Género:	*Cucúrbita*
Especie:	*Cucúrbita Mostacha Duchesne*

Fuente: Cáritas del Perú, 2012.

c. Valor nutricional

Según INDECOPI (2012), este fruto posee un elevado contenido de carbohidratos, además goza de altos niveles de capacidad antioxidante y de carotenos como fruto fresco, que, son componentes esenciales para los niños y ancianos. En la Tabla 2.2 se detalla los valores nutricionales del loche fresco.

Tabla 2.2

Valores Bromatológicos de Cucúrbita Moschata a 82% de humedad

Componente	Unidad	Valor Mayor	Valor Menor
Lípidos	%	0.00	0.13
Proteínas	%	1.13	2.97
Fibra	%	0.40	1.62
Ceniza	%	0.36	1.22
Carbohidratos	%	13.23	36.41
Azúcares reductores	gr/100gr	0.12	1.26
Contenido fenólico	mg/ác. gálico/100 gr. muestra	18.15	23.20
Capacidad Antioxidante		41.34	83.15
Carotenos	mg. Eq/100 gr muestra	0.76	8.97

Fuente: INDECOPI, 2012

Estos “rangos del fruto que se han definido para las variables bromatológicas en el fruto crudo o fresco del Loche de Lambayeque, se basan en una humedad constante de 82% y con una confianza estadística de 95%” (INDECOPI, 2012).

El contenido de carotenoides varía con la variedad, la cultura, las condiciones de cultivo, el estado de madurez, pos cosecha, manipulación de almacenamiento, el clima, la localización geográfica, tipo de muestra y parte del fruto. (Rodríguez-Amaya, 1996; citado por González E., Montenegro M., Nazareno, M. y López B. 2001).

2.3.2. Carotenos

Los carotenos son sustancias insolubles en agua y poseen atributos hidrofóbicos y lipofílicos. Se emplean solventes grasos como acetona, alcohol, éter etílico, tetrahidrofurano y cloroformo para disolverlos. Los carotenos se solubilizan fácilmente en éter de petróleo y hexano (Rodríguez-Amaya, 1999), conteniendo altas concentraciones de β -caroteno y luteína, las cuales son importantes nutricionalmente. (González et al., 2001; Noseworthy y Loy, 2008)

a. Acciones nutracéuticas de los Carotenos

Rodríguez-Amaya (1999), señala que los carotenos han sido relacionados con el incremento del sistema inmunológico y con la reducción del riesgo de enfermedades degenerativas, según se muestra en la Figura 2.2.

Los carotenoides actúan como trampas de radicales libres y de este modo, desempeñar un papel importante en la prevención del cáncer. (Lee, C., Cho, J., Lee, S., Koh, W., Park, W., y Kim, C., 2002)

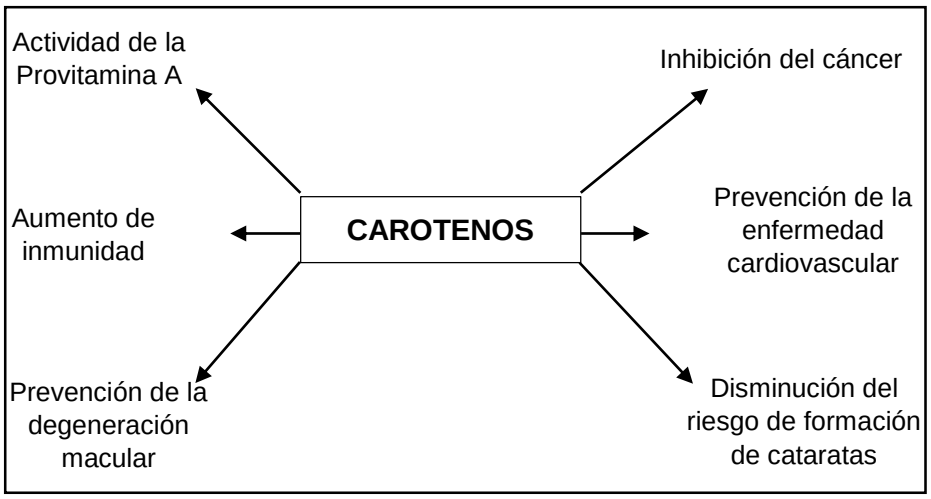


Figura 2.2: Funciones que promueven la salud atribuidas a los carotenos
Fuente: Rodríguez-Amaya, 1999.

En el 2009, la OMS reportó que la VAD es un problema de salud pública que sigue acentuándose por el mundo, por lo que se ha convertido en la principal preocupación, estudios respecto a las fuentes dietarias y adecuación de las provitaminas A en las personas. (Rodríguez-Amaya, 1999)

La evidencia epidemiológica sugiere que una dieta rica en carotenoides se asocia con el aumento de la inmunidad y la reducción de sufrir enfermedades degenerativas, cardiovasculares, cataratas, aterosclerosis y degeneración macular relacionada con la edad. (Gonzáles et al., 2001; Rodríguez-Amaya, 2003; Meyers, K., Mares, J., Igo, R., Truitt, B., Liu, Z. y Millen, A., 2014; Sharoni, Y., Linnewiel-Hermoni, K., Khanin, M., Salman, H. y Veprik, A., 2012; Danilenko y Levy, 2012)

b. Estructura y característica de los Carotenoides

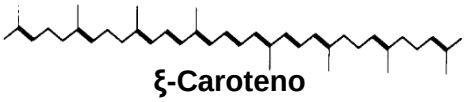
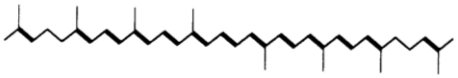
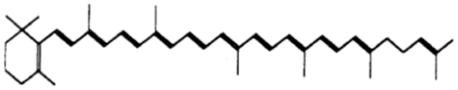
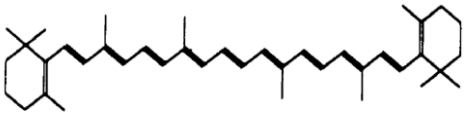
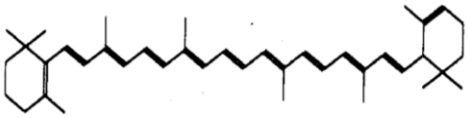
Los carotenoides son terpenoides, conformados esencialmente por ocho unidades de isopreno. También se puede distinguir dos grupos: los carotenos, que son hidrocarbonados, y las xantofilas, que cuentan con oxígeno en su molécula. (Melendez-Martínez, Vicario y Heredia, 2004)

Al respecto, Rodríguez-Amaya (1999), señala que la estructura de los carotenoides está dada por un tetraterpeno de cuarenta carbonos, lineal y simétrico conformado por ocho unidades isoprenoides de cinco carbonos.

Colectivamente los carotenoides hidrocarbonados se denominan “carotenos” (Tabla 2.3) y aquellos que cuentan con oxígeno son denominados “xantofilas” (Tabla 2.4).

Tabla 2.3

Estructura y Características de los Carotenos comunes en los alimentos

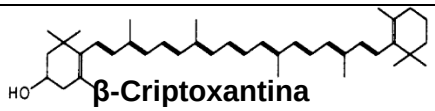
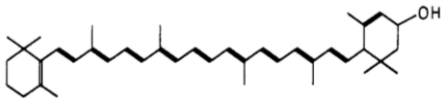
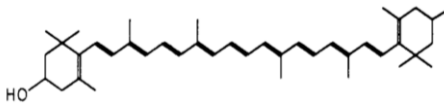
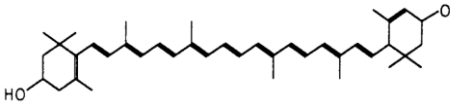
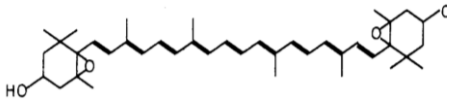
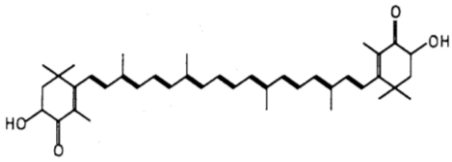
Estructura	Características
 **ξ-Caroteno**	Acíclico, amarillo suave
 **Licopeno**	Acíclico, rojo
 **γ-Caroteno**	Monocíclico (1 anillo β) Rojo-naranja
 **β-Caroteno**	Bicíclico (2 anillos β) Naranja
 **α- Caroteno**	Bicíclico (1 anillo β, 1 anillo γ), amarillo

Fuente: Rodríguez-Amaya (1999).

La caracterización estructural de los carotenoides, ya sea en el caso de los carotenos o las xantofilas, están dadas según el número de ciclos que pueden ser: aciclícos, monocíclicos o bicíclicos. La ciclación en la molécula tiene lugar en uno o ambos de sus extremos, generando uno o dos anillos β de seis miembros (conocido también como β-ionona) o anillos ε (llamado también α-ionona). De este modo, el monocíclico γ-caroteno posee un anillo β, mientras que los bicíclicos β-caroteno, β-criptoxantina, zeaxantina y astaxantina poseen dos de estos anillos. Los bicíclicos α-caroteno y luteína cuentan cada uno un anillo β y un anillo ε. (Rodríguez-Amaya, 1999).

Tabla 2.4

Estructura y Características de las Xantófilas comunes en los alimentos

Estructura	Características	Función de Oxígeno
 **β-Criptoxantina**	Bicíclica (2 anillos β) naranja	1 grupo hidroxi
 **α-Criptoxantina**	Bicíclica (1 anillo β, 1 anillo ε), amarillo	1 grupo hidroxi
 **Zeaxantina**	Bicíclica (2 anillos β) amarillo-naranja	2 grupos hidroxi
 **Luteina**	Bicíclica (1 anillo β, 1 anillo ε), amarilla	2 grupos hidroxi
 **Violaxantina**	Bicíclica, amarillo	2 grupos hidroxi 2 grupos epoxi
 **Astaxantina**	Bicíclica (2 anillo β) rojo	2 grupos hidroxi 2 grupos ceto

Fuente: Rodríguez-Amaya (1999).

c. Factores que influyen en la estabilidad de los Carotenos

La degradación de carotenos, aminora el valor nutritivo de los alimentos, induciendo a una decoloración y al detrimento de sus cualidades organolépticas (Rodríguez-Amaya, 1999), por lo que, son varias las causas que afectan la estabilidad de los carotenos en sistemas modelo.

Factor oxidación

Las reacciones por efecto de la oxidación no enzimática o por enzimas como las lipoxigenasas, son responsables de la degradación de los carotenos, los cuales se manifiestan habitualmente durante el secado de frutos y vegetales. (Meléndez-Martínez, A., Vicario, I., y Heredia, F., 2004)

El mecanismo de la oxidación en los alimentos procesados, es complejo y según ciertos factores. Los carotenos pueden autooxidarse producto del contacto con el oxígeno atmosférico con velocidades según sea la intensidad de la luz, la temperatura y el contenido de antioxidantes (Rodríguez-Amaya, 1999); debido a estos factores, pierden sus atributos nutracéuticos, para luego formar compuestos aromáticos las cuales en determinados casos son placenteros (vinos, té) y en otros no (zanahorias deshidratadas). (Meléndez-Martínez et al., 2004; Falconer et al. 1964, citado por Rodríguez-Amaya, 1999)

Henry et al. (2000), comprobaron que alrededor del 90% de todo-trans-β-caroteno, 9-*cis*-β-caroteno y β-criptoxantina se degradaban luego de permanecer 7 horas en contacto con ozono a 30°C.

Por otro lado, existen investigaciones recientes en donde aseguran que la encapsulación de los estos pigmentos, le permiten una mayor manejabilidad y estabilidad frente a la oxidación. (Meléndez-Martínez et al., 2004)

Factor temperatura

El influjo de la temperatura ejerce una función aceleradora de las reacciones de degradación con respecto a la estabilidad

de pigmentos como los carotenos. (Meléndez-Martínez et al., 2004).

Investigaciones recientes señalan que las diversas condiciones de calentamiento producen una degradación de β-caroteno y licopeno, siguiendo una cinética de primer orden. En una de ellas, evaluaron las repercusiones del calentamiento de una disolución de β-caroteno-todo-*trans* en horno a temperaturas de 50; 100; 125 y 150°C y a reflujo (70°C), concluyendo que, en forma mayoritaria, se formaron los isómeros 13-*cis*-β-caroteno y 13,15-di-*cis*-β-caroteno (en horno), mientras que el isómero 13-*cis*-β-caroteno se vió favorecido en su formación producto del calentamiento a reflujo. (Meléndez-Martínez et al., 2004)

Los investigadores Howard, L., Braswell, D. y Aselage J. (1996), analizaron el efecto sobre el contenido total de carotenoides de zanahorias a diferentes tiempos y temperaturas de esterilización (118,3°C durante 34,2 minutos, 121,1°C durante 29,2 minutos y 123,9°C durante 27 minutos), en donde comprobaron que los contenidos no diferían mucho en función a los diversos métodos de esterilización empleados.

Al respecto, Abushita, A., Daood, H. y Biacs, P. (2000), investigaron los efectos de las altas temperaturas sobre el contenido de pigmentos durante el procesamiento industrial del tomate, en donde dedujeron similitudes cualitativas en los carotenoides de tomates no procesados y de pasta de tomate. Sin embargo, se intensificó considerablemente el contenido total de todo-*trans*-licopeno de la pasta de tomate comparado con el fruto fresco, posiblemente, a causa de la exención de la epidermis, las semillas y a la pérdida de agua; si bien la concentración de todo-*trans*-β-caroteno en la pasta descendió

cuantiosamente, el tratamiento térmico empleado, incrementó el nivel del isómero *cis*, ya que éste favorece los procesos de isomerización.

Chandler y Schwartz, (1988) investigaron la pérdida de carotenos en camotes y papas, en donde envolvieron los camotes con papel aluminio y los colocaron dentro de un horno convencional precalentado, obteniendo un 31% de pérdida de este compuesto. Las papas fueron cocinadas en un horno microondas, a 191ºC por 80 minutos hasta alcanzar una temperatura interna de 90º, revelando un detrimento más pequeño (23%) de este compuesto, el cual puede atribuirse por emplear un tratamiento térmico en menos tiempo.

Factor iluminación

Según Rodríguez-Amaya (1999), indica que el efecto de la luz sobre los carotenos estimula su ruptura dando lugar a la conformación de compuestos incoloros de bajo peso molecular. En la industria alimentaria, estas reacciones son significativas porque los carotenos adicionalmente de perder las propiedades biológicas de la provitamina A, pierden su color característico.

Al respecto, Meléndez-Martínez et al. (2004) señalan que existe una relación entre la degradación de pigmentos, el contacto a la luz y la existencia de ácidos grasos, la cual concluye en que los ácidos grasos insaturados actúan como protector en estas condiciones a los pigmentos.

Chen y Huang (1998), demostraron que la exposición a una iluminación con luz fluorescente, degrada al β-caroteno, siguiendo un modelo de cinética de primer orden, de este modo propiciando la formación de 13,15-di-*cis*-β -caroteno. Con

respecto al α-caroteno, su fotoisomerización es acentuada a diferencia del β-caroteno y de igual forma sigue una cinética de primer orden, favoreciendo la aparición del isómero 13-*cis*-α-caroteno de forma mayoritaria, como resultado de la iluminación con luz fluorescente. Por otro lado, el licopeno en disoluciones modelo, al ser expuesto con luz fluorescente, estimula la formación de cinco isómeros diferentes: di-*cis*, 5-*cis*, 9-*cis*, 13-*cis* y 15-*cis*-licopeno.

Factor almacenamiento

El almacenamiento es un elemento importante en la cadena productiva, cuyas condiciones en las que se lleva a cabo, va a repercutir sobre el contenido de los carotenos de un producto. (Meléndez-Martínez et al., 2004)

Al respecto, Wagner y Warthesen (1995), estudiaron la estabilidad del α- y β-caroteno de zanahoria en polvo encapsuladas en distintos arquetipos de almidón hidrolizado, constatando que, al ser sometidos a temperaturas entre 37°C y 65°C en almacenamiento, siguen una cinética de primer orden. No obstante, la mayoría de los arquetipos de almidón hidrolizado utilizados en la encapsulación del producto no tuvieron una eficiencia semejante, observándose que 36.5 equivalentes de dextrosa acrecentaba la retención de carotenos cotejando con los demás (4, 15 y 25 equivalentes de dextrosa). También se demostró que la encapsulación a 21°C, incrementaba su vida útil en 70 y 220 veces, según el almidón utilizado. Con respecto al efecto de la luz, se notó que las muestras en contacto con la luz y en oscuridad, tras ocho semanas, la retención de los carotenos eran similares, proponiéndose que la degeneración de los carotenos de la zanahoria en polvo encapsuladas era producto de procesos de autooxidación.

Al respecto, Selim et al. (2000), investigaron la cinética de degeneración de los carotenoides del azafrán, específicamente las crocinas, las cuales se encontraban encapsuladas en tres diferentes matrices y dos polivinilpirrolodonas (PVP), PVP40 y PVP360, confirmando que al encapsular, éstas cumplen un papel protector de la oxidación. La propiedad de la hidrosolubilidad de las crocinas hizo que se realizaran ensayos en oscuridad a 35°C y a diferentes actividades de agua. La investigación concluye que encapsular con PVP40 aminora en mayor proporción la velocidad de oxidación en todas las condiciones de almacenamiento ensayadas.

2.3.3. Osmodeshidratado

La deshidratación osmótica (DO) de frutas y verduras es en función de su inmersión en una solución acuosa concentrada, el cual posee uno o más solutos. Este proceso implica el flujo simultáneo de agua y solutos (Bildweel, 1979), el cual es causada por una fuerza impulsora creada por una elevada presión osmótica de la disolución o por la diferencial de la concentración entre el sólido y la disolución. Mientras ocurre la DO, se independiza la fase líquida del alimento de la disolución osmótica a través de membranas celulares, logrando un equilibrio de fases cuando se uniformizan en ambos lados de la membrana los potenciales químicos, el cual está sujeto de la disminución de la actividad de agua (a_w) dentro de las membranas celulares del alimento (Waliszewski, K.; Pardio, V. y Ramírez, M., 2002) la cual acontece a través de ellas producto del intercambio de agua y sólidos. (Sablani y Rahman, 2003, citado por Torres, D., Salvador, D. Baltazar, R. y Siche, R., 2013)

La diferencia de potencial químico entre el material y la solución estimula los procesos de transferencia de masa entre el tejido de la planta y la solución circundante. Como resultado, el material

osmóticamente deshidratado se caracteriza por una baja actividad de agua, lo que asegura una mayor estabilidad durante el almacenamiento (Abraao et al., 2013)

Durante el proceso de osmodeshidratación (OD), se presentan etapas dinámicas y etapas de equilibrio. En el proceso de OD, la cinética está definido por la proximidad al equilibrio, por la diferencial inicial de presión osmótica del alimento y el agente osmótico y por las velocidades de difusividad del soluto y del agua (Azuara et al., 1998, citado por Torres et al., 2013). La porosidad y el transporte de humedad en el producto, son las que controlan éstas velocidades de difusividad. Asimismo, las velocidades de pérdida de agua del producto también se ven afectados por la temperatura y concentración de la solución osmótica (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2005).

2.3.4. Influencia de las variables de operación en la Osmodeshidratación

Las variables que influyen en un proceso de osmodeshidratación son múltiples entre ellas las investigaciones hacen referencia: temperatura, tiempo de deshidratado, la concentración y tipo de soluto, la proporción de fruta y solución osmótica, la agitación, el empleo de recubrimientos que contribuyen al incremento del peso molecular de la materia prima a deshidratar, la misma forma de producto a deshidratar influye (cubos, esferas, paralepípedos, etc.) y muchos otros más ampliamente utilizados. (Suca, C. y Suca, G., 2010)

A continuación se reportan algunas investigaciones donde se muestra el comportamiento de estas variables:

a. Tiempo

Para una efectiva osmodeshidratación, se requiere de una mayor interacción del alimento con la solución. Durante las primeras dos horas del proceso, son elevadas la ganancia de sólidos y la pérdida de agua, pero posteriormente a ese tiempo, ocurren una dramática disminución de dichas velocidades. (Cortez, 1998)

La cantidad de agua y solutos en un alimento es en función al tiempo. En la Figura 2.2, en esta variación para la deshidratación de fruta, se visualiza que con el tiempo ocurre un descenso de humedad y un incremento de los azúcares.

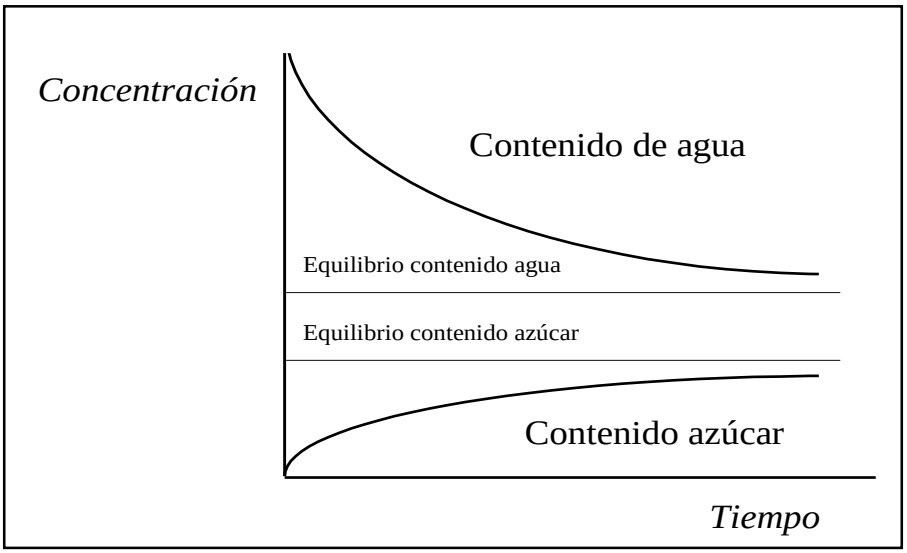


Figura 2.3: Variación del contenido de agua y azúcar en un proceso de osmodeshidratación respecto al tiempo.
Fuente: Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 1996.

Según Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado (1996), las pérdidas de humedad, pueden dividirse en dos fases: Una fase aproximada de dos horas a elevadas velocidades de pérdida de agua y otra fase, de dos a seis horas, con una velocidad decreciente de pérdida de agua.

b. Temperatura

El proceso de deshidratación osmótica es severamente afectado por la temperatura, presto que intensifica la pérdida de humedad y la penetración del agente osmótico en el tejido conforme se incremente la temperatura. (Barboza-Cánovas y Vega Mercado, 1996).

Asimismo, Cortez (1998), señala que la transferencia de masa en el proceso del osmodeshidratado está afecto a la temperatura, por lo que es un factor muy importante. También es el responsable del oscurecimiento enzimático y deterioro de sabor cuando éste supera los 49°C, incidiendo en un incremento de la velocidad de deshidratación.

En 1996 en el Laboratorio de Investigaciones sobre la Química del Café y los Productos Naturales, LIQC en Santafé de Bogotá, se realizó un estudio con el objeto de desarrollar y estandarizar en el laboratorio una metodología para obtener trozos de piña deshidratada con la calidad organoléptica que ofrece la fruta fresca. Se trabajó con piña variedad Cayena lisa buscando obtener trozos con humedad menor del 5%. Se empleó el método de osmosis directa y las mejores condiciones de proceso se obtuvieron con jarabes de sacarosa a 50ºC y 50ºBrix (Molano, l., Serna, C. y Castaño, C., 1996).

c. Solución Osmótica

Según sea el tipo de agente osmótico a emplear, los porcentajes de ganancia de sólidos y pérdida de humedad, se verán afectados (Argaiz, A., López-Malo, A., Palou, E. y Welti, J., 1994). Para la selección del soluto o solutos que se empleará en solución osmótica, Marcotte (1988) menciona que está

basado en 3 factores importantes, las cuales son: cualidades sensoriales del alimento, peso molecular y costo de los solutos.

En la osmodeshidratación, los solutos más utilizados según Lerici (1988) son la lactosa, sacarosa, cloruro de sodio, glicerol y jarabe de maíz con elevado contenido de fructosa. La velocidad de la osmodeshidratación va depender del tipo de soluto empleado.

Tabla 2.5

Usos y ventajas de los agentes osmóticos

Nombres	Usos	Ventajas
Cloruro de Sodio	Principalmente carnes y vegetales. Soluciones hasta 10%	Gran capacidad de a_w.
Sacarosa	Principalmente en frutas.	Reduce el oscurecimiento y aumenta la retención de volátiles.
Lactosa	Principalmente en frutas.	Sustitución parcial por sacarosa.
Glicerol	Frutas y vegetales.	Mejora Textura.
Combinación	Frutas, vegetales y carnes.	Mejora las características sensoriales, combina gran capacidad de depresión de a_w de sales, con una gran capacidad de remoción de agua de azúcares.

Fuente: Barboza y Vega (2002).

Con respecto al fluido residual, para Pereda O. et al., (1998) representa un problema, sin embargo señala que uno de los posibles usos posterior a la osmodeshidratación, es la de ser empleado en la elaboración de bebidas tales como néctares o refrescos, asimismo también como agente aromatizante o saborizante para otros procesos.

d. Concentración Osmótica

Al emplear soluciones altamente concentrados, la trasferencia de masa es favorecido. Cortez (1998) en un estudio llegó a la misma conclusión cuando redujo la dimensión de la fracción de una muestra hasta un nivel determinado. La densidad de una solución al ser elevada, tiende a incrementarse la relación entre la ganancia de sólidos y pérdida de agua (Raoult-Wack, A., Botz, O., Guilbert, S. y Ríos G., 1991). La utilización de soluciones concentradas eleva la lixiviación en los elementos de la muestra soluble en agua que no deberían removerse, ejemplo el ácido ascórbico (Heng, W. y Gilbert, J.L., 1990). Ajustando la concentración de los solutos en una solución, existe la posibilidad de evitar dichos efectos indeseables.

e. Agitación

Para que se produzca un importante incremento de la velocidad de osmodeshidratación, es necesario aplicar una agitación periódica al sistema . Conforme según corre el tiempo de exposición del alimento con el jarabe, esta se va rodeando de su propia agua, la cual se va esparciendo lentamente por el jarabe concentrado. El alimento, al estar rodeado de agua, la diferencia de concentraciones disminuye entre la pared celular y el jarabe, disminuyendo también la velocidad de salida de agua. Cuando el sistema es agitado, el agua que ha salido, ya no tiene contacto con las paredes del alimento y es reemplazada por jarabe concentrado que permitirá una elevada diferencia de concentración nuevamente (Lazarides, 2004). Empleando este método se puede minimizar hasta un 50% del peso inicial de las frutas, y permitir hasta un 10% el ingreso de sólidos. (Zapata y Castro, 1999)

La misma disminuye la resistencia a la transferencia de masa en la superficie del producto, además de uniformizar la temperatura y la concentración de solutos en la solución. Sin embargo existen casos en que puede dañarse el producto y debe evitarse. Es por ello que se prefiere el uso de los agitadores orbitales (que oscilan sobre rulemanes) que los agitadores mecánicos de paletas (Della, 2010).

f. Peso Molecular

En el Manual técnico: “Procesamiento a pequeña escala de frutas y hortalizas amazónicas nativas e introducidas”, publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (1997), señala que, a mayor peso molecular de una solución, mayor será el efecto osmótico a comparación de una solución con inferior peso molecular. Asimismo, si se hallase una elevada madurez en el alimento o se emplearan temperaturas más elevadas, consecuentemente ha de emplearse agentes osmóticos de elevado tamaño molecular, ya que el alimento muestra un sistema o estructura agrietada a nivel de la pared celular (FAO, 1997).

Con respecto a las dimensiones moleculares, Sluka, E., Monserrat, S., Orlando, C., y Fernández, M. (2014), observaron una mayor pérdida de agua en la mezcla de sacarosa (55%)-glucosa (10%), en relación a la mezcla de sacarosa (50%)-glucosa (15%). La sacarosa de mayor peso molecular, permanece principalmente en el espacio extracelular, mientras que la glucosa puede penetrar en la célula, lo que provoca una reducción del gradiente de presión osmótica y por ende una menor pérdida de agua (Sacchetti G., Gianotti A. y Dalla, M., 2001).

g. Tamaño o forma de los trozos

En la figura 2.3 se indican los diferentes cortes geométricos que se pueden emplear en frutas y vegetales para realizar procesos de deshidratación osmótica. Se deben tener en cuenta que las muestras deben ser trozadas de un tamaño y geometría homogéneos, ya que de la uniformidad dependerá, la calidad final del producto. (Suca, C. y Suca, G., 2010).

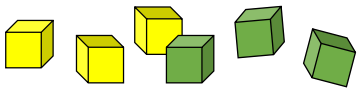
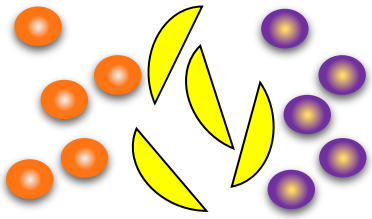
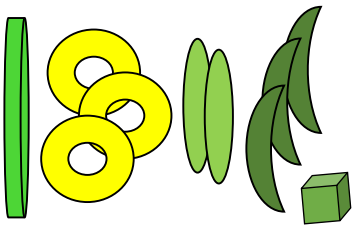
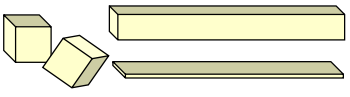
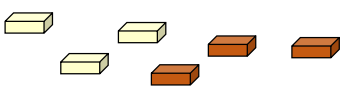
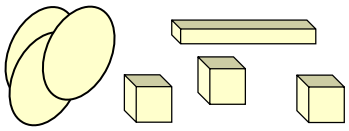
Alimento	Geometría	Ejemplificación
Piña, melón, papaya	Cubos	
Bayas, frambuesas, fresas, moras, grosellas, ciruelas, duraznos.	Enteras o mitades	
Pera, manzana, kiwi, pomelo, mango, piña, papaya, plátano, carambola.	Rodajas, cubos	
Manzana piña.	Cubos, tiras	
Cebollas, pimientos	Cubitos	
Patatas, camote.	Rodajas, tiras, cubos.	

Figura 2.4: Distintas geometrías de reducción de tamaño en alimentos para Osmodeshidratación

Fuente: Suca, C. y Suca, G., 2010.

La superficie específica y la pérdida de agua aumentan cuando el producto es sometido a una reducción de tamaño y a una deshidratación osmótica. No obstante, para que se vea favorecido en gran proporción la ganancia de sólidos, existe un límite de tamaño que el producto debe tener. (Lerici, 1988, citado por Mállap, 2012)

2.3.5. Secado

Muchos autores proponen el uso del Secado por convección consecuentemente a la osmodeshidratación para las frutas y hortalizas, como buen método para producir una forma uniforme de producto seco. (Bchir et al., 2012; El-Aouar et al, 2003; Mandala et al., 2005; Sereno et al., 2001, citados por por Nowicka, P., Wojdyło, A., Lech, K., y Figiel, A., 2015)

Comúnmente las palabras deshidratación y secado suelen ser utilizados como sinónimos, sin embargo, no es así, debido a que un alimento es considerado deshidratado cuando ésta no posee valores por encima del 2,5% de agua, no obstante, un alimento seco puede contener más del 2,5% (Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado,1996). Al respecto, Perry (1984), refiere al secado cuando se remueve el líquido de un alimento a través de la evaporación.

Al respecto, Fellows (1994) manifiesta que la superficie de un alimento húmedo, se calienta cuando entra en contacto con aire caliente, evaporando el agua que lo contiene a través de la transmisión de calor que es empleado en forma de calor latente de vaporización. Esta agua evaporada, traspasa contactándose con el alimento por difusión de capa de aire, siendo arrastrada por el aire en movimiento, produciéndose una región de presión baja y generando una gradiente de presión de vapor entre el aire y el alimento. La fuerza impulsora que posibilita la eliminación del agua,

es producida por este gradiente de presión de vapor. A través de los siguientes mecanismos, el agua escapa de la superficie del alimento.

a. Secadores por convección

La transferencia de calor por convección es un mecanismo que emplean la mayoría de los secadores a fin de eliminar agua en alimentos en forma laminar o pasta. Esto ocurre proporcionando calor, en forma de gas o aire caliente, el cual fluye por toda la superficie del alimento. Asimismo, el vapor sobrecalentado, el aire, los gases inertes o gases de combustión directa, se pueden emplear para sistemas de secados convectivos (Mujumdar, 1987, citado por Ortiz, 2003)

Al respecto, Geankoplis (1993), menciona algunos ejemplos de secadores indirectos, entre ellos el secador de tambor, el cual está constituido por un tambor metálico calentado que rota y que en su parte interna, una delgada capa de líquido tiende a evaporarse hasta quedar seco; posteriormente el sólido seco es raspado. Los secadores indirectos al vacío con anaqueles consisten en un ambiente herméticamente cerrado con bandejas en donde se emplea bajas temperaturas y ausencia de oxígeno. La conducción del calor se realiza a través de las paredes metálicas y por radiación entre los anaqueles. Este tipo de secado se emplea para alimentos sensibles a altas temperaturas o de fácil oxidación.

b. Secadores por radiación

La radiación es un método de secado, la cual se realiza con el uso de radiación electromagnética, cuya longitud de onda se encuentra dentro del rango del espectro solar y microondas. (Mujumdar, 1987, citado por Ortiz, 2003)

c. Secadores solares

Los secadores solares, están constituidos generalmente con un gabinete recubierto por una tapa translúcida que permite el paso de los rayos solares, aprovechando de este modo, la energía producida por los rayos en forma de calor a fin de evaporar la humedad de un alimento. No obstante, el factor tiempo y condición climática, van a incidir en el correcto funcionamiento de este secador, ya que suelen demandar tiempos prolongados y baja capacidad de producción, pese a trabajar con equipos. (Axtel, 1990)

En países en vías de desarrollo, emplear secadores solares es la manera más accesible y económica para conservar alimentos perecederos, pero se pierde considerablemente atributos como la provitamina A; sin embargo, se puede minimizar la pérdida de estas provitaminas, secando con un deshidratador solar y protegiéndolo de la exposición directa a la luz solar. (Rodríguez-Amaya, 1999)

2.3.6. Influencia de las variables de operación en el Secado por Convección

a. Proceso de secado

Los datos que se emplean en un proceso de secado, pueden ser expresados como el cambio de peso que experimenta el alimento que está siendo sometido a secado con respecto al tiempo (Figura 2.4). En algunas ocasiones, dichos datos de secado también se pueden expresar empleando términos de velocidad de secado.

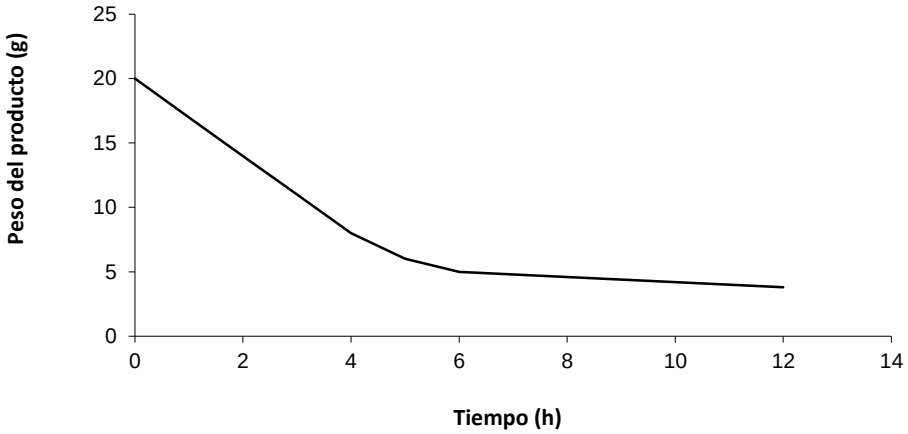


Figura 2.5: Variación del peso del producto en un proceso de secado

Fuente: Ibarz y Barboza-Cánovas, 2005

En la ecuación 2.1, se muestra la expresión de la relación entre la cantidad de agua en el producto respecto a la cantidad de sólidos secos, el cual es definido como contenido humedad de un alimento:

$$Y_t = \frac{w_T - w_S'}{w_S'} \tag{2.1}$$

En la que W_T se define como el peso total del alimento en un determinado tiempo, siendo el peso de los sólidos secos, e Y_t la humedad expresado como peso de agua/peso de sólido seco. En un proceso de secado, el contenido de humedad libre es una variable muy importante, Y, el cual es definido como lo expresa la ecuación 2.2:

$$Y = Y_t - Y_{eq} \tag{2.2}$$

Donde, Y_{eq} describe al contenido de humedad cuando ésta alcanza el equilibrio. Representando el contenido de

humedad libre, respecto al tiempo de secado, se puede obtener una curva típica de secado como se muestra en la Figura 2.5.

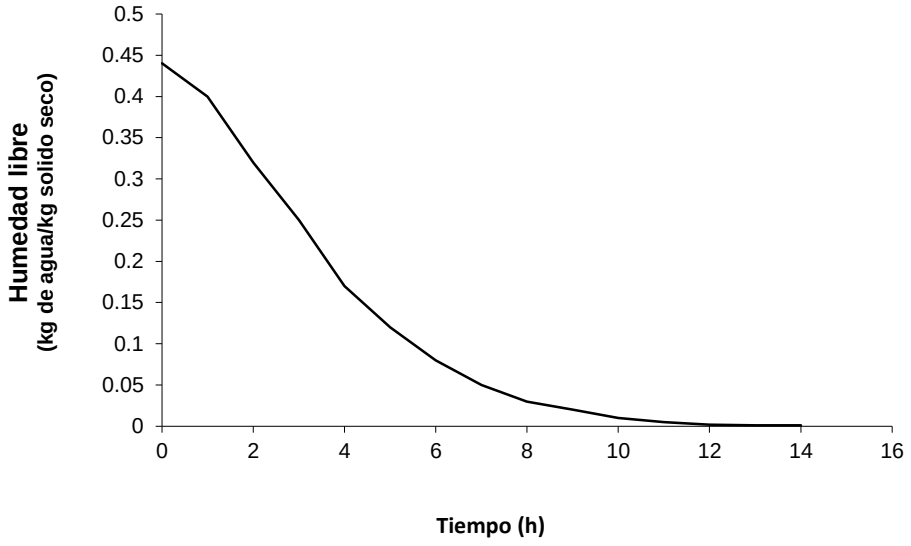


Figura 2.6: Contenido de humedad en función del tiempo de secado.
Fuente: Ibarz y Barboza-Cánovas, 2005.

La velocidad de secado, R, es proporcional al cambio del contenido de humedad con el tiempo, tal como señala la ecuación 2.3:

$$R \propto \frac{dY}{dt} \tag{2.3}$$

El valor *dY/dt* se puede obtener a partir de la Figura 2.5 para cada punto de la curva, por medio del valor adquirido por la tangente a la misma en cada uno de los puntos. Geankoplis (1993), señala que la velocidad de secado se puede expresar según como indica la ecuación 2.4:

$$R = - \frac{w_S'}{A} \frac{dY}{dt} \tag{2.4}$$

En la que w_S es el caudal de sólido seco y A el área superficial que se está secando. Cuando se representa gráficamente el tiempo frente a la velocidad de secado, resulta una curva similar a la figura 2.4.

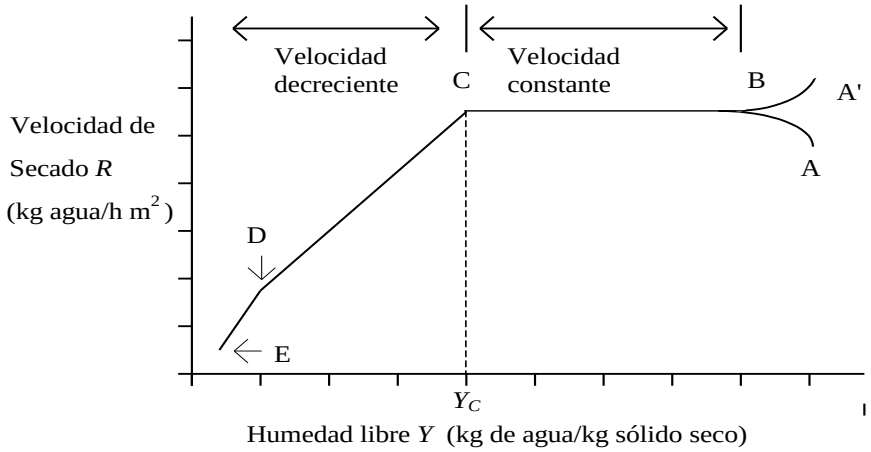


Figura 2.7: Curva de velocidad de secado (Adaptado de Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 1996)
Fuente: Ibarz y Barboza-Cánovas, 2005

La velocidad de secado tiene un rol concluyente durante los procesos de secado de un alimento, describiéndose en una serie de fases. La Figura 2.6 nos indica una curva típica de velocidad de secado cuyos puntos A y A' simbolizan el comienzo de secado para un elemento caliente y frío, respectivamente. El estado de la temperatura de equilibrio de la superficie del alimento es representado por el punto B. Para pasar de A o A' a B, el tiempo transcurrido suele ser bajo, y a menudo no se le considera en los análisis del tiempo de secado. El período de velocidad constante de secado es denotado por el tramo de la curva B-C, y está relacionado con la supresión del agua no ligada al producto, donde el agua tiene un comportamiento simulando la ausencia del sólido. Al comienzo, la actividad de agua es cercana a la unidad, por lo que la superficie del producto se encuentra muy húmeda. En elementos porosos, el flujo de

agua interna del alimento compensa al agua que es eliminada de la superficie. La fase de la velocidad constante prosigue mientras que el agua evaporada en la superficie pueda ser compensada por la que se halla en el interior. En la superficie, la temperatura corresponde aproximadamente a la de bulbo húmedo. (Geankoplis, 1999)

Cuando la velocidad de secado no se mantiene constante, el período de velocidad decrece, además, en la superficie del elemento, la actividad de agua obtiene valores inferiores a la unidad. De modo que, la velocidad de secado está regida por el flujo interno del agua y vapor. El punto C simboliza el comienzo del período de velocidad decreciente, dividiéndose en dos fases este período. La primera fase ocurre cuando los puntos húmedos en la superficie disminuyen continuamente hasta que la superficie está seca completamente (punto D), entre tanto, la segunda etapa del período de velocidad de secado decreciente se inicia en el punto D, cuando la superficie está completamente desecado, trasladándose al interior del sólido el plano de evaporación. El agua es eliminada por intermedio del sólido hacia la superficie de evaporación, y el vapor de agua generado se transfiere por intermedio del sólido siguiendo la corriente de aire que va hacia la superficie. A veces no se encuentran remarcables diferencias entre el primer y segundo período de velocidad decreciente. (Geankoplis, 1999)

b. Temperatura - Tiempo

Es conocido que a mayores temperaturas, menor es el tiempo de secado, aunque no se evidencie durante momentos iniciales del secado, o sea en las etapas de alta humedad, las diferencias se acentúan respecto a las fases de baja humedad (Fellows, 1994). También es conocido que secar a

muy altas temperaturas, pueden ocurrir severos o leves daños físicos y químicos al producto, según su esencia y estructura del alimento, por lo que es indeseable. (Fellows, 1994)

Cuando el proceso de secado se realiza a altas temperaturas, puede ocurrir sincronizadamente una visible solidificación externa a la creación de manto de células estrechamente unidas entre sí, la cual, limita la migración de humedad producto de una barrera formada. (Arteaga G., Lichang E., Vásquez-Arteaga, M. y Nakai, S., 1994)

c. Velocidad del aire

La importancia del rol que posee la velocidad del aire en un proceso de secado convectivo, radica especialmente cuando el material presenta un elevado contenido de humedad durante las primeras etapas del secado. Para que el tiempo de secado disminuya, es necesario aplicar mayor velocidad de circulación de aire en la cámara de secado, con esto, la tasa de evaporación aumenta, de lo contrario, el tiempo de secado aumentará. (Arteaga, et al., 1994)

Se recomienda aplicar altas velocidades de secado al inicio del proceso; conforme la humedad disminuye, se sugiere reducir la velocidad del aire, sólo si es posible siempre en cuando el equipo cuente con un sistema de ventilación controlable (Ortiz, et al., 2008). La uniformidad y velocidad del secado, son importantes factores que influyen en la calidad del proceso y soslayan las pérdidas químicas, físicas, estructurales y nutracéuticas de un alimento. (Mujumdar, 1987 citado por Ortiz, 2003)

d. Morfología del material a secar

Las dimensiones del elemento a deshidratar, pueden ocasionar significativas modificaciones en el tiempo de secado. Numerosas investigaciones demostraron respecto al área superficial expuesta, cuanto mayor sea la región de contacto del alimento con el aire caliente, se ha de multiplicar el proceso de secado. (Fellows, 1994)

2.3.7. Metodología Superficies de Respuesta

La metodología de superficies de respuesta (MSR) es un conglomerado de técnicas matemáticas y estadísticas útiles para modelar y analizar problemas donde una variable de interés es influenciada por otras (Montgomery, 1991). Generalmente la finalidad es que la variable objetivo sea optimizado y para ello se debe determinar óptimas condiciones del sistema para su operación. (Cornell, 1990)

Ayala y Pardo (1985) definen a esta metodología como una representación gráfica de una función objetivo, el cual es la correlación entre las variables independientes y las dependientes tomadas en cuentas en una investigación o dicho en otras palabras, es el modelo matemático obtenido.

a. Función de respuesta

Cuando se dice que un valor de respuesta “Y” es dependiente de los niveles x1, x2,.....xn de “k” factores, significa que existe una función matemática de x1, x2,.....xn, cuyo valor para una combinación dada de los niveles de los factores corresponde a $Y = f(x1, x2,.....xn)$.

b. Función de respuesta predicha

Mediante una ecuación polinomial, la función de respuesta puede ser representada. Para tener éxito en una investigación de una superficie de respuesta, va a depender que la respuesta se ajuste a una ecuación polinómica de primer o segundo orden (Montgomery, 1991). Supongamos que la función de respuesta para los niveles de dos factores se puede expresar según se muestra en la ecuación 2.5 utilizando un polinomio de primer grado:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \quad (2.5)$$

Donde $ß_0$, $ß_1$, $ß_2$ son los coeficientes de regresión a estimar x_1, x_2 representan los niveles de ξ1, ξ2 respectivamente. Suponiendo que se recolectan η≥3 valores de respuesta (Y), con los estimadores b_0, b_1 y b_2 se obtienen $ß_0$, $ß_1$, y $ß_2$ respectivamente. En la ecuación 2.6, al reemplazar los coeficientes de regresión por sus estimadores obtenemos:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 \quad (2.6)$$

Dónde: ŷ denota el valor estimado de Y dado por X_1 y X_2.

c. Superficie de Respuesta

La relación Y = f(x1, x2 .. ..xk) entre "Y" y los niveles de los "k" factores ξ1, ξ2 .... ξk, representa una superficie. Con "k" factores la superficie está en k=1 dimensiones. Por ejemplo cuando se tiene Y = f(x1) la superficie está en dos dimensiones como se muestra en la Figura 2.7, por otro lado, si tenemos Y = f(x1, x2) estará en tres dimensiones la superficie y esto se puede apreciar en la figura 2.8. (Cornell, 1990)

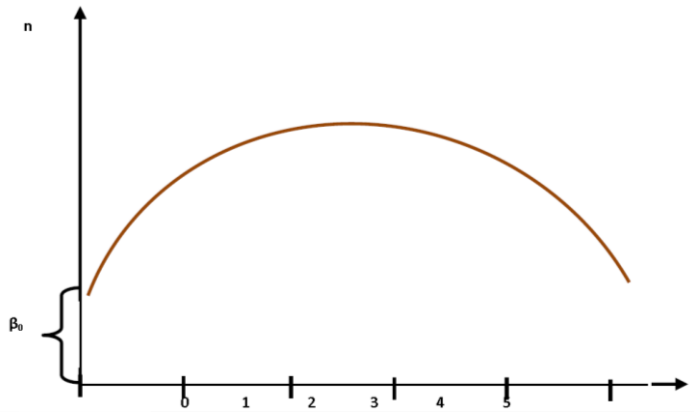


Figura 2.8: Superficie de respuesta en dos dimensiones
Fuente: Manual Statistica (2008)

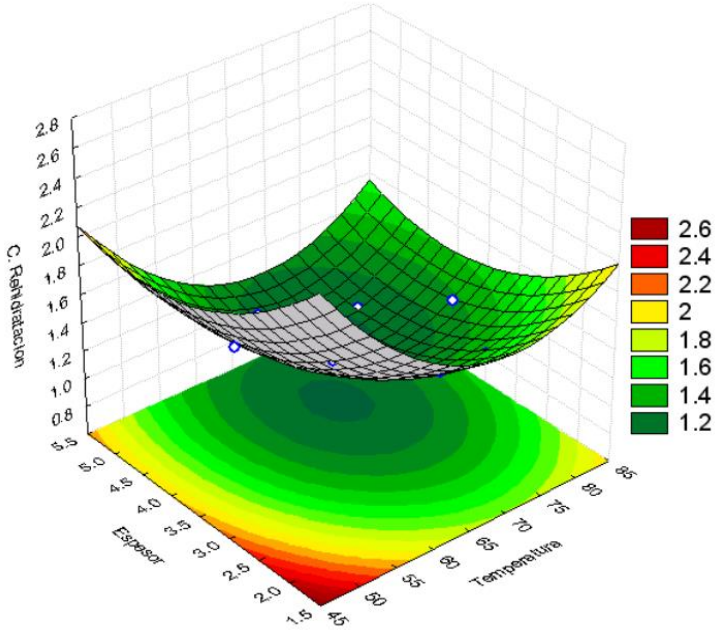


Figura 2.9: Superficie de respuesta tridimensional
Fuente: Manual Statistica (2008)

d. Gráfica de contornos

Para visualizar de una forma más fácil una superficie de respuesta, se emplea una gráfica de contornos tridimensional. Aquí, los mismos valores de respuesta son graficados en curvas sobre un plano, cuyos ejes coordenados simbolizan los niveles cada factor. Estas curvas representan un valor específico de la altura de la superficie (Y). En la Figura 2.10, se visualiza una

gráfica de contornos, la cual nos facilita enfocarnos en los niveles de cada factor, en donde se suscita una variación en la altura de la superficie. (Montgomery, 1991)

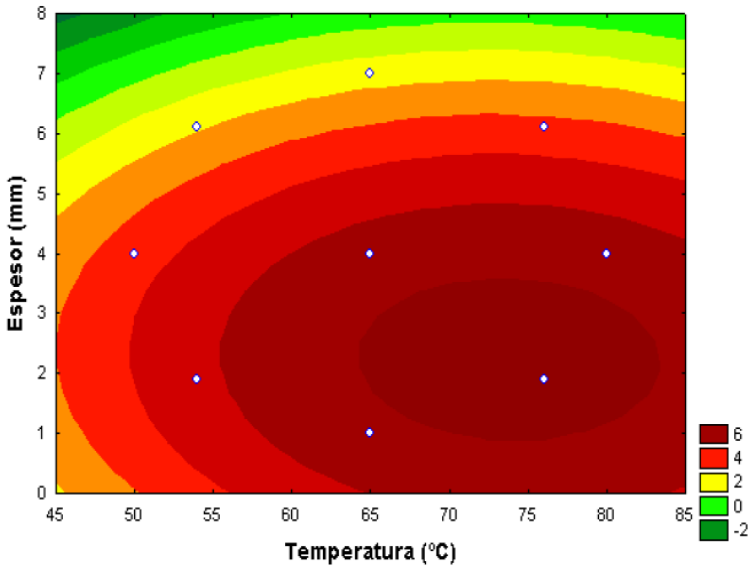


Figura 2.10: Gráfica de contornos
Fuente: Manual Statistica (2008)

e. Región experimental

Esta región delimita la zona de valores para cada nivel de los factores. También se realiza utilizando niveles actuales de operación para todos los factores. Asimismo, también se puede analizar el vecindario incrementando y disminuyendo el valor del nivel en una cantidad determinada. (Cornell, 1990)

f. Diseños experimentales para ajustar Superficies de Respuesta

Los diseños, son conglomerados específicos de una serie de combinaciones de cada nivel de la variable “k”, que se empleará realizando una prueba, por lo que el análisis y ajuste de una superficie de repuesta se simplifica con apropiada selección del diseño experimental. (Cornell, 1990)

g. Diseños para ajustar modelos de primer orden

Los diseños ortogonales de primer orden, son un tipo de diseño que reducen la varianza de los coeficientes de regresión (ß). Se entiende por ortogonal que los elementos fuera de la diagonal de la matriz (x`x) equivalen a cero, conllevando a que los productos cruzados de las columnas de la matriz x es igual a cero. (Cornell, 1990)

En esta clase de diseños ortogonales se incluyen diseños factoriales 2^k, fracciones de serie 2^k en las que los efectos principales no son alias entre sí. (Montgomery, 1991)

h. Diseños para ajustar modelos de segundo orden

Estos diseños experimentales, deberán tener tres niveles en cada factor (-1, 0,+1), para lograr ajustar un modelo de segundo orden. Mientras que en los diseños de primer orden se busca la ortogonalidad, en los de segundo orden se busca que sean diseños rotables. Un diseño es se considera rotable cuando la varianza de la respuesta predicha en algún punto es en función sólo de la distancia del punto al centro y no es una función de la dirección. (Cornell, 1990)

Una característica muy indispensable es la rotabilidad, presto que el objetivo de la Metodología de Superficie de Respuesta es la de optimizar; y, como no se conoce la ubicación del óptimo, entonces tiene sentido emplear diseños que proporcionen estimaciones precisas en todas las direcciones (Montgomery, 1991). Otros de los diseños rotables de segundo orden también se incluyen los Diseños Central Compuesto, Equirradial, Box-Behnken.

i. Diseño compuesto central rotacional (DCCR)

El diseño central compuesto rotacional, se fundamenta en un factorial o factorial fraccionado 2^k, donde los factores son codificados de modo que el centro sea (0, 0,… 0), aumentado por 2^k puntos axiales (±a, 0,...0), (0, ±a, 0...0), (0, 0, ±a,...0), (0, 0, 0, ... ±a), y "n" puntos centrales (0, 0,...0), según Montgomery (1991), es el diseño que más se emplea en la actualidad.

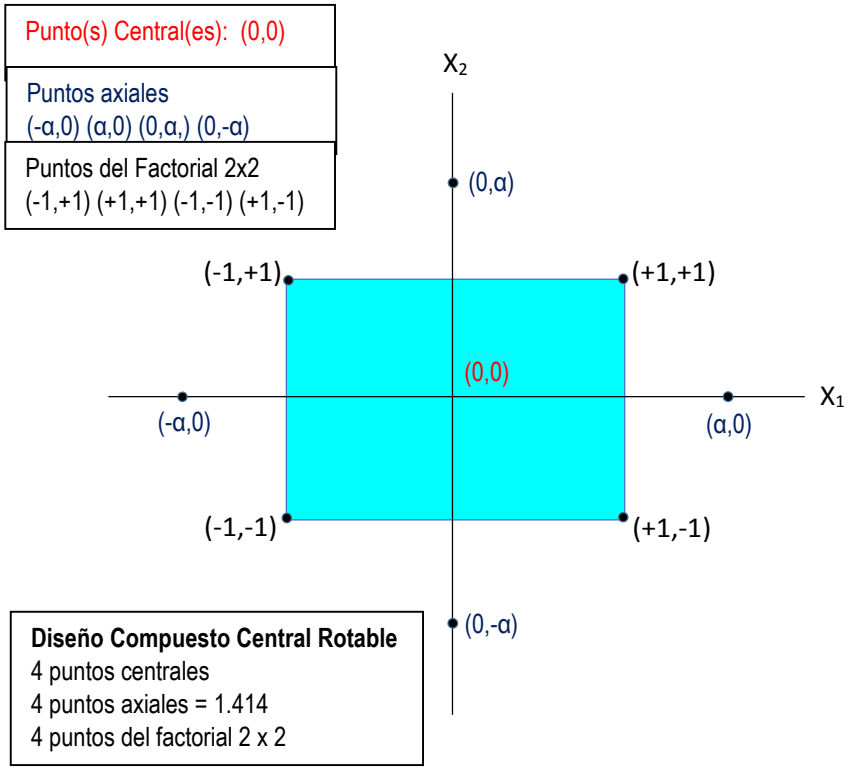


Figura 2.11: Representación esquemática de un DCCR

Fuente: Manual Statistica (2008)

El DCCR se transforma en rotable a través de la selección de α, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$\alpha = (nf)^{1/4}$$

Dónde:

f: Número de puntos en la porción factorial del diseño.

Este diseño tiene la útil propiedad de “acrecentarse” partiendo de un diseño 2^k de primer orden, adicionando puntos axiales y talvez algunos puntos centrales. El diseño puede hacerse ortogonal con la selección del número de puntos centrales (n), así también, puede transformarse en uno de precisión uniforme. (Cornell, 1990)

2.4. Definición de términos básicos

Absorbancia:

Medida de concentración del material presente: log (de base10) negativo de la Transmitancia (-logT) del producto de coeficiente de extinción, paso óptico y la concentración escrito como $A=\varepsilon bc$ y en función de T, $A=\log(1/T)$. La absorbancia es adimensional. (Mezquita, 2010)

Actividad del agua (a_w):

Se denomina actividad de agua a la relación entre la presión de vapor de agua del substrato de cultivo (P) y la presión de vapor de agua del agua pura (P_0), ambos permaneciendo a una misma temperatura: $a_w = P / P_0$. (Ibarz y Barboza-Cánovas, 2005)

Calibración:

Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones especificadas, la relación entre los valores indicados por un instrumento o un sistema de medición o los valores representados por una medida materializada y los valores correspondientes realizados por los patrones o materiales de referencia. (Mezquita, 2010)

Carotenoides:

Son sustancias hidrofóbicas, lipofílicas y son virtualmente insolubles en agua. (Rodríguez-Amaya, 1999)

Concentración:

La cantidad de un soluto en un volumen determinado de solución. (Mezquita, 2010)

Convección:

Forma de transferencia del calor en un fluido mediante el movimiento interno de masas del propio fluido que tienen distinta densidad; la transferencia de calor se produce porque las masas están a distinta temperatura: los radiadores de agua transmiten calor por convección. (EcuRed, 2016)

Curva patrón:

Es un marco o curva de referencia que se constituye de cantidades conocidas de una sustancia (ej. Betacaroteno en mg.), que se utilizará para determinar la cantidad de Betacaroteno presente en una muestra incógnita. (Mezquita, 2010)

Espectro:

Series de longitudes de onda de la radiación, pertenecientes a una porción específica del electromagnético continuo, Ej. El espectro visible, donde los "colores" son examinados aumentando la longitud de onda. Para la porción visible del continuo, los colores son rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, índigo y violeta. (Mezquita, 2010)

Deshidratación osmótica:

Es una técnica que permite eliminar parcialmente el agua de los tejidos de los alimentos por inmersión en una solución hipertónica, sin dañar el alimento y afectar desfavorablemente su calidad (Rastogi et al., 2002).

Espectrofotometría:

Son métodos cuantitativos de análisis químico que utilizan la luz para medir la concentración de las sustancias químicas. Además, se conocen como métodos espectrofotométricos y según sea la radiación utilizada como espectrofotometría de absorción visible (colorimetría), ultravioleta, infrarroja. (Mezquita, 2010)

Factores:

Son las condiciones del proceso que influencian la variable de respuesta. Estas pueden ser cuantitativas o cualitativas. (Cornell, 1990)

Filtración al vacío:

Es una técnica de separación de mezclas sólido-líquido. Esta técnica es más rápida que la filtración habitual por gravedad y está indicada cuando dichos procesos de filtración son muy lentos. (Mezquita, 2010)

Humedad Relativa:

Es la razón de la presión de vapor de agua presente en ese momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura. (Perry, 1984)

Materia Prima:

Se define como materia prima todos los elementos que se incluyen en la elaboración de un producto. La materia prima es todo aquel elemento que se transforma e incorpora en un producto final. Un producto terminado tienen incluido una serie de elementos y subproductos, que mediante un proceso de transformación permitieron la confección del producto final. (EcuRed, 2016)

Longitud de Onda:

La distancia de una cresta, de una onda electromagnética a la misma posición en la onda subsecuente. Distancia pico a pico, generalmente medida en nanómetros. (Mezquita, 2010)

Optimización:

Es un conjunto de resultados y métodos analíticos y numéricos enfocados a encontrar e identificar al mejor candidato de entre una colección de alternativas, sin tener que enumerar y evaluar explícitamente todas esas alternativas. (Pucuji, 2015)

Secado:

Es la remoción del líquido de un sólido por evaporación. (Perry, 1984)

Respuesta:

Es una cantidad medible cuyo valor se ve afectado al cambiar los niveles de los factores. El interés principal es optimizar dicho valor. (Cornell, 1990)

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación:

Según su finalidad será aplicativa, con esta investigación se pretende obtener los parámetros óptimos de la osmodeshidratación y secado convectivo para lograr la mayor retención de carotenoides del zapallo loche aplicando el método de Superficie de Respuesta.

Según su contexto será de laboratorio, la investigación se realiza en situaciones de laboratorio, lo que conlleva la creación intencionada de las condiciones de investigación a través del manejo de las variables independientes con mayor rigor y control de la situación para el logro de una buena respuesta de las variables dependientes.

3.1.2. Diseño de la investigación:

En la optimización de los parámetros de la osmodeshidratación y secado por convección, el diseño que permitirá la manipulación de las variables independientes y evaluar los resultados alcanzados por las variables dependientes será del tipo experimental, dentro de la categoría cuasi experimental.

a. Deshidratación Osmótica, Variables Independientes: Concentración de Solución Osmótica (% Sacarosa), Temperatura de Deshidratación del medio osmótico (°T) y tiempo (min) de inmersión para el osmodeshidratado;

b. Secado por Convección, Variables Independientes: Temperatura (°T) y tiempo (min) durante el secado convectivo.

En ambos casos la Variable Dependiente a cuantificar será % de retención de carotenoide.

3.2. Población y muestra

a. Población

Loche (*Cucúrbita moschata* Dutch.) procedente del valle productivo de la localidad de Íllimo, provincia de Ferreñafe, departamento de Lambayeque – Perú.

b. Muestra

5 kg. de muestra de Loche (*Cucúrbita moschata* Dutch.), las cuales fueron seleccionadas convenientemente en función a pesos y tamaños uniformes.

3.3. Hipótesis

H_1: Los parámetros óptimos que permite la mayor retención de carotenos en el loche, durante la osmodeshidratación son la temperatura, tiempo y concentración de la solución osmótica, en los valores de 60 °C, 110 min. y 55 % respectivamente, así mismo en la operación de secado por convección se establece los siguientes parámetros de temperatura y tiempo, 60°C y 120 min. respectivamente.

H_0: Los parámetros de osmodeshidratación a temperatura, tiempo y concentración de la solución osmótica, en los valores de 60 °C, 110 min. y 55 % respectivamente y secado por convección a temperatura y tiempo, 60°C y 120 min. respectivamente, no afectan la retención de carotenos.

3.4. Variables

En la Tabla 3.1 se detallan las variables dependientes e independientes:

Tabla 3.1

Variables dependientes e independientes.

VARIABLES	**Independientes X_1**	**Osmodeshidratado**	Concentración de Solución Osmótica (%v/v) Temperatura de Deshidratación del medio Tiempo de inmersión (min)
		Secado por convección	Temperatura del medio (°C) Tiempo de exposición (min)
	Dependientes X_2	Retención de Carotenoides (µg/g de muestra)	

3.5. Operacionalización

En la Tabla 3.2 se muestra la operacionalización de las variables, detallándose los rangos de estudio de las variables independientes, así como los instrumentos que se utilizarán para la cuantificación. Los rangos de trabajo se determinaron en función a experiencias reportadas por Nowicka, et al (2015); Libardo (2007); Rodríguez-Amaya (1999) y Perry (1984).

Tabla 3.2

Operacionalización de variables

Variables	Operación	Variable	Rangos	Indicador	Instrumentos/ Equipos
Independiente	**Osmodeshidratado**	Temperatura	[40-60]	°C	Termómetro
		Tiempo	[30-180]	min	Cronometro
		Concentración de Sacarosa	[40-70]	%	Brixómetro
	Secado por convección	Temperatura	[40-70]	°C	Termómetro
		Tiempo	[60-120]	min	Cronometro
Dependientes		Carotenos		%	Espectrofotómetro

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnica:

Observación No Experimental

Se observó los fenómenos en su contexto natural para su posterior análisis.

Observación Experimental

Se elaboró datos en condiciones relativamente controlados por el investigador, manipulando las variables

Recolección de información

Se recolectó información a través de datos primarios vía instrumentación y datos secundarios, vía biblioteca, laboratorios USS, plataformas digitales de información científica.

Análisis de la Información

Se examinó sistemáticamente un conjunto de elementos informativos para delimitar partes y descubrir las relaciones entre las mismas y las relaciones con el todo, a través de métodos estadísticos explicativos para la comprensión de los fenómenos estudiados.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos:

En los Anexos VI y VII, se pueden visualizar iconográficamente los instrumentos de recolección de datos empleados en la presente investigación, a continuación una descripción de cada una de ellas:

Baño María

Equipo de laboratorio, marca Tom's-USA Science – Tech Group, modelo CDK-S24, con capacidad de 10 L a 90±0.5°C, confiere temperatura uniforme a una sustancia líquida o sólida sumergida en agua.

Balanza analítica

Balanza gramera analítica electrónica, marca Henkel, modelo BQ1200CS, con precisión de 1.2Kg/0.1gr, capacidad de 1200 GRM, instrumento de pesaje que utiliza la acción de la gravedad para determinación de la masa

Cronómetro Digital

Es un reloj o una función de reloj que sirve para medir fracciones de tiempo, normalmente cortos y con exactitud.

Espectrofotómetro UV/visible, Marca: UNICO, Modelo: "S-2100UV+"

Espectrofotómetro digital completamente programable con un rango de longitud de onda: 200 a 1000 nm, precisión: ±2nm, ancho de banda: 4 nm, rango fotométrico: 0% t a 125% t; -0.3 a 2.5 a; -9999 a 9999, repetibilidad fotométrica: ±0.003 a a 0.5 a, pantalla digital lcd (4 líneas x 20 caracteres), memoria con capacidad hasta 200 curvas estándar, función de auto calibración, se puede programar hasta 200 métodos de pruebas.

Estufa

Modelo DHG-9030A, equipo que se utiliza para secar y esterilizar recipientes de vidrio y metal en el laboratorio. Se identifica también con el nombre de horno de secado, las estufas por lo general operan entre la temperatura ambiente y los 350°C.

Potenciómetro

Modelo HANNA pH 20-Ph 21, es un medidor de pH básico diseñado para la simplicidad de uso en todas las aplicaciones donde los controles diarios rápidos y eficaces se requieren.

Refractómetro portátil

El Modelo HI96801, es un refractómetro con compensación automática de temperatura y es útil para ambientes en los que las medidas se realizan en lugares donde varía la temperatura.

Software STATISTICA 7

Es un extenso sistema de desarrollo que integra análisis de datos, administración de bases de datos, gráficos, y aplicaciones personalizadas con un amplia selección de técnicas analíticas básicas y avanzadas para negocios, extracción de datos, ciencia e ingeniería.

Vernier

Modelo KAMASA KM-766, es una pieza que se aplica sobre una regla graduada para determinar dimensiones menores que las ofrecidas por la regla del objeto de estudio.

3.7. Procedimiento para la recolección de datos

Tabla 3.3

Etapas experimentales y de análisis que se realizaron para la obtención de parámetros óptimos de la osmodeshidratación y secado por convección para la retención de carotenos en el zapallo loche.

<table>
<tr><th>Caracterización M.P.</th><th>DATOS PRELIMINARES</th><th>OPTIMIZACIÓN</th><th colspan="4">VALIDACIÓN</th></tr>
<tr><th></th><th></th><th></th><th>Osmodeshidratación</th><th>Cuantificación por Espectrofotometría</th><th>Secado por Convección</th><th>Cuantificación por Espectrofotometría</th></tr>
<tr>
<td>Loche
%Humedad
°Brix
pH
Densidad</td>
<td>Acondicionamiento
Extracción
Filtrado al vacío
Centrifugado
Refrigerado
Espectrofotometría</td>
<td>Osmodeshidratado
% Concentración
°Temperatura
tiempo

Secado Convectivo
°Temperatura
tiempo</td>
<td>Materia Prima
Lavado
Desinfección
Cortado/Rallado
Inmersión en Solución hipertónica
Separación de fruta y Solución hipertónica
Drenado y Pesaje</td>
<td>Acondicionamiento
Extracción
Filtrado al vacío
Centrifugado
Refrigerado
Espectrofotometría</td>
<td>Pesado
Secado
Enfriamiento
Pesado</td>
<td>Acondicionamiento
Extracción
Filtrado al vacío
Centrifugado
Refrigerado
Espectrofotometría</td>
</tr>
<tr><th colspan="7">ANÁLISIS</th></tr>
<tr><td>Análisis fisicoquímicos</td><td>Contenido de Carotenos (µg/g)</td><td>Variables</td><td>% Humedad inicial
% Humedad final</td><td>% Carotenos (µg/g)</td><td>% H. inicial
% H. Final</td><td>% Carotenos final (µg/g)</td></tr>
</table>

3.7.1. Caracterización fisicoquímica de la Materia Prima

Determinación de Humedad

Se determinó empleando el método A.O.A.C. 7.003/84, 930.15/90 adaptados. Se pesó 5 g de muestra y se llevaron a una estufa a 105°C durante 4 horas, hasta tener peso constante. Se dejará enfriar en un desecador y se calculará el porcentaje de humedad por pérdida de peso según la fórmula 3.1:

$$\%\, Humedad = \frac{Peso\ inicial\ Muestra - Peso\ final\ Muestra}{Peso\ inicial\ Muestra} * 100 \qquad (3.1)$$

Determinación de Sólidos solubles:

Para la medición de sólidos solubles, se empleó el método refractométrico A.O.A.C. 932.12 y se realizó la lectura en un refractómetro digital marca HANNA HI96801 (0-32%).

Determinación de pH:

Se determinó por el método potenciométrico, con un pH-metro HANNA modelo pH 20 – pH 21, con electrodo de vidrio previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4 y 7, según el método A.O.A.C. 981.12

Densidad aparente:

Se determinó por el método de desplazamiento de volumen con un envase graduado utilizando agua destilada a 20°C como líquido de referencia y la densidad de los líquidos según el método A.O.A.C. 945.06

3.7.2. Análisis de Contenido de carotenoides

a. Curva Patrón

Se tomó como referencia la curva patrón de análisis de carotenos de Contreras (2004), quien empleó un estándar de β – caroteno de calidad analítica, del Laboratorio Sigma.

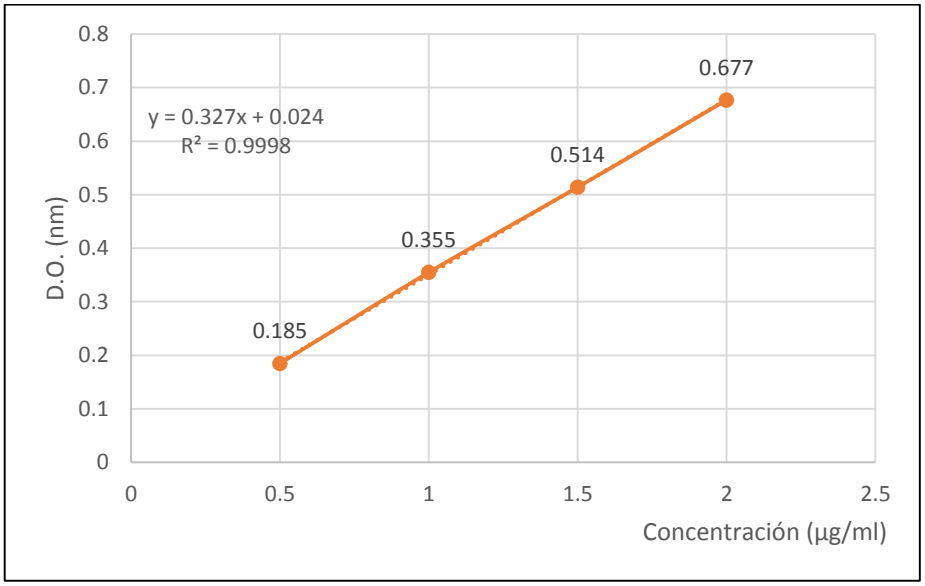


Figura 3.1: Curva de Calibración de análisis de carotenos
Fuente: Contreras (2004)

En la Figura 3.1 se muestra densidad óptica de las muestras a una longitud de onda de 450nm. utilizando como blanco éter de petróleo. A todas las muestras que presentaron una absorbancia mayor a 0.8 se les realizó diluciones con el objeto de cumplir con la Ley de Lambert y Beer, linealidad entre la densidad óptica y concentración para absorbancias inferiores a 0.8 (Williams y Wilson, 1981; citado por Contreras, 2004).

Los puntos de la curva fueron concentraciones de 0,5 µg/ml, 1,0 µg/ml, 1,5 µg/ml y 2,0 µg/ml. Se construyó la curva de calibración trazando un gráfico de la absorbancia

correspondiente contra la concentración de beta-caroteno contenida en cada una de las soluciones patrón.

b. Determinación del contenido de carotenoides totales en el loche fresco:

El contenido de carotenoides se determinó empleando éter de petróleo como solvente de extracción de pigmentos, dejándose en reposo por 24 horas a 4°C y seguido por un análisis espectrofotométrico de longitudes de onda, según el procedimiento descrito por Williams y Wilson, (1981).

Extracción de carotenoides:

Se molió en un crisol con mortero de porcelana 1 g de muestra de loche con 20 ml de solvente éter de petróleo durante aproximadamente 10 minutos hasta quedar finalmente como puré.

Filtración:

Este paso se realizó mediante un filtrado al vacío, para lo cual se montará el papel filtro en el Buchner con tampón al Erlenmeyer conectado vía tubo a una bomba de vacío el cual, agilizó el proceso de filtrado. Al finalizar el proceso, se vertió el extracto en tubos de ensayo con tampones y debidamente envueltos con papel aluminio para evitar exposición de la muestra a la luz.

Centrifugado:

Los tubos de ensayo se colocaron en el equipo de centrífuga para lograr la separación de componentes a analizar

posteriormente y se operó por un lapso de 10 minutos a baja velocidad (entre 2000 y 6000 R.P.M.). Inmediatamente se envolvieron con papel aluminio para evitar exposición de las muestras a la luz.

Refrigerado:

Se dejó refrigerar las muestras centrifugadas por 24 horas a 4°C.

Espectrofotometría:

La absorbancia del eluyente de color amarilla se midió a 450 nm de longitud de onda, en un espectrofotómetro (modelo: S-2100UV+). Todos los procedimientos de preparación y extracción se realizaron en condiciones de luz tenue.

3.7.3. Optimización

a. Diseño de contrastación

El diseño de contrastación se realizó con la metodología de "*Superficie de respuesta*".

b. Diseño experimental

A través del software Statistica 7, se empleó un Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR), el cual se basa en un diseño factorial con puntos centrales y axiales. Este tipo de diseño se utiliza cuando se quiera verificar la curvatura de un plano, o sea, cuando se quiera verificar la existencia de términos cuadráticos en el modelo de regresión (Vivanco, 2009).

c. Selección del modelo

Se probaron cuatro diferentes modelos secuencialmente en el planeamiento de compuesto central.

- Solamente términos lineales de los efectos principales.
- Términos lineales y cuadráticos de los efectos principales.
- Términos lineales de los efectos principales y las interacciones de segundo orden.
- Términos lineales y cuadráticos de los efectos principales y las interacciones de segundo orden.

Se aplicó los siguientes parámetros según se muestran en las siguientes tablas 3.4 y 3.5.

Tabla 3.4 *Valores utilizados en el DCCR para la osmodeshidratación del loche.*

Variable	Código	-1	0	+1
Temperatura (°C)	X1	40	50	60
Tiempo (min)	X2	30	105	180
Concentración	X3	40	55	70

Tabla 3.5 *Valores utilizados en el DCCR para el secado por convección del loche.*

Variable	Código	-1	0	+1
Temperatura (°C)	X1	40	55	70
Tiempo (min)	X2	60	90	120

3.7.4. Validación

Con los parámetros optimizados se ejecutaron y se determinaron experimentalmente el contenido de carotenos totales.

Los resultados experimentales se compararon con los resultados predichos por el modelo matemático seleccionado y al final se evaluará el porcentaje de retención de carotenos de acuerdo con Murphy et al. (1975)

$$R.V. = \frac{Contenido\ de\ carotenos\ por\ g\ de\ alimento\ después\ del\ procesado}{Contenido\ de\ carotenos\ por\ g\ de\ alimento\ antes\ del\ procesado} * 100 \qquad (3.2)$$

a. Osmodeshidratación

Se acondicionó la materia prima con las siguientes operaciones:

Recepción de Materia Prima

Las muestras de loche se recepcionaron teniendo en cuenta la sanidad del producto. Se pesaron todas y se eliminaron las muestras que presenten daños mecánicos (golpes, cortaduras), ataque microbiológico, o por insectos, material extraño, es decir, piedras, metales o partículas distintas a la materia prima en cuestión.

Lavado y Desinfección

Este proceso se realizó con el objetivo de retirar las impurezas que el loche pueda traer a la planta desde el cultivo. La operación de lavado se realizó a mano y con la ayuda de un cepillo de cerdas suaves con abundante agua. La desinfección se llevó a cabo hipoclorito de sodio, a una dosis de 10ppm, con un tiempo de contacto de 3 minutos. Finalmente se enjuagó con abundante agua para retirar el cloro residual.

Cortado/Rallado

Tiene como principal finalidad facilitar la deshidratación y presentarlas en una forma apta para su consumo. El corte se realizó transversalmente y se sometió a un proceso de rallado con un rallador de acero inoxidable hasta su reducción de tamaño a delgadas láminas para favorecer la siguiente operación.

Inmersión en solución hipertónica

La solución hipertónica se preparó con agua + sacarosa, con una concentración que correspondió según el número de corrida, empleando una relación estandarizada de 1:3 p/v. El loche se sumergió en la respectiva solución hipertónica durante tiempos y temperaturas determinados en donde se llevó a cabo el fenómeno de la osmodeshidratación. Para la mantención de la temperatura del medio osmodeshidratante, se realizó dentro de un equipo Baño María, previamente calibrado y estandarizado.

Drenado

El loche se extrajo de la solución hipertónica una vez finalizado el tiempo de inmersión dados, consecuentemente se escurrió y se secó con papel toalla para retirar el exceso de jarabe en la superficie. Finalmente se pesó la muestra y se realizó la medición de humedad final, según la ecuación 3.1.

b. Cuantificación de carotenos por espectrofotometría

Las muestras de loche obtenidas con los mejores parámetros de osmodeshidratado se sometieron a extracción de

carotenos y análisis espectrofotométrico según se indicó en el punto 3.7.2, en donde se cuantificó el porcentaje de carotenos retenidos y el porcentaje de carotenos con el que ingresa al siguiente proceso de secado.

c. Secado por Convección

Debido a que el loche deshidratado osmóticamente aún contiene niveles significativos de humedad, se aplicó el proceso de secado por convección permitiendo extender la vida útil del producto por un tiempo mayor, aplicando los parámetros optimizados previamente obtenidos.

Pesado

Se pesaron las muestras de loche previamente osmodeshidratados para calcular el rendimiento del proceso.

Secado

Se colocaron las muestras de loche rallado osmodeshidratados dentro de la estufa, en donde se programó al equipo en la temperatura correspondiente y se controló el tiempo con el cronómetro según los parámetros indicados.

Enfriamiento y Pesado Final

Transcurrido el proceso de secado, se extrajeron de la estufa y se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Para determinar el porcentaje de humedad final de la muestra, se pesó en una balanza gramera analítica y se calculó según la ecuación 3.1.

d. Cuantificación de carotenos por espectrofotometría

Las muestras de loche obtenidas con los mejores parámetros de secado por convección se sometieron al análisis espectrofotométrico según se indicó en el punto 3.7.2, para la cuantificación del porcentaje de carotenos retenidos en tales condiciones y así determinar el porcentaje de carotenos retenidos durante estos dos procesos.

3.8. Análisis estadístico e interpretación de los datos

Para encontrar los valores óptimos, se utilizó el Software Statistica 7 y se aplicó el Método de Superficie de Respuesta (MSR), empleando el Diseño Compuesto Central Rotacional según se muestran en las tablas 3.6 y 3.7 para el osmodeshidratado y secado convectivo respectivamente.

Tabla 3.6

Matriz codificada de las variables de estudio - Osmodeshidratación

Standard Run	Variable Independiente			Variable Dependiente
	Temperatura	Tiempo	Concentración	Retención Caroteno µg/g
1	40.00	30.00	40.00	
2	40.00	30.00	70.00	
3	40.00	180.00	40.00	
4	40.00	180.00	70.00	
5	60.00	30.00	40.00	
6	60.00	30.00	70.00	
7	60.00	180.00	40.00	
8	60.00	180.00	70.00	
9	33.18	105.00	55.00	
10	66.82	105.00	55.00	
11	50.00	21.13	55.00	
12	50.00	231.13	55.00	
13	50.00	105.00	29.77	
14	50.00	105.00	80.23	
15 (C)	50.00	105.00	55.00	
16 (C)	50.00	105.00	55.00	
17 (C)	50.00	105.00	55.00	

Una vez encontrado los parámetros óptimos de osmodeshidratación, estas fueron validadas experimentalmente siendo sometidos a un nuevo proceso de osmodeshidratación en donde se aplicó dichos valores óptimos.

Al finalizar la operación, la muestra de loche osmodeshidratado con los parámetros óptimos, fue sometida a la siguiente operación de secado por convección, en donde se le aplicaron las siguientes corridas según indica la matriz codificada en la tabla 3.7.

Tabla 3.7

Matriz codificada de las variables de estudio – Secado Convectivo

Standard Run	**Variable Independiente**		**Variable Dependiente**
	Temperatura	Tiempo	Retención Caroteno µg/g
1	40,00	60,00	
2	40,00	120,00	
3	70,00	60,00	
4	70,00	120,00	
5	33,79	90,00	
6	76,21	90,00	
7	55,00	47,57	
8	55,00	132,43	
9	55,00	90,00	
10	55,00	90,00	
11	55,00	90,00	

3.9. Principios éticos

En el transcurso de la elaboración de este proyecto de investigación, se recopiló información sobresaliente de distintas fuentes bibliográficas, tales como: libros físicos y virtuales, artículos científicos, tesis, artículos científicos, páginas web, entre otros, los cuales se encuentran debidamente citados, evidenciando la prudencia y el respeto a la propiedad intelectual.

3.10. Principios de rigor científico

Para los análisis que permita cuantificar la variable dependiente, se tendrán en cuenta lo siguiente:

Credibilidad

El rigor científico en torno a la credibilidad implica la valoración de las situaciones en las cuales una investigación pueda ser reconocida como creíble, para ello, es esencial la pesquisa de argumentos fiables que pueden ser demostrados en los resultados del estudio realizado, en concordancia con el proceso seguido en la investigación. La credibilidad en la presente investigación, se apoya en los siguientes aspectos:

- Valoración por un asesor especialista de los instrumentos de investigación.
- Estimación valorativa de los datos derivados de los instrumentos aplicados.
- Armonía con la bibliografía consultada

Aplicabilidad

Los resultados de este estudio, no son transferibles ni aplicables a otros contextos y/o ámbitos de acción, criterio del cual se tiene razón plena. De todas maneras, podría ser referente para producir transferencias de los instrumentos y fases de la investigación en otra situación y/o contexto, dependiendo de la condición o grado de intensidad al acercamiento en cuanto a similitud del proceso desarrollado, de quien investiga y desea producir esa transferencia.

Dependencia

La naturaleza activa, permanente y relacionada con el tema del investigador en el estudio realizado, llevó a desarrollar algunas pautas de reconocimiento que han sido significativas para revisar el proceso de la investigación. Al concluir el proceso, el Asesor Especialista, ha realizado las revisiones pertinentes y las sugerencias al respecto.

Confirmabilidad

El grado de implicación del investigador en el estudio, no se ha eludido, en todo caso se extiende la garantía suficiente sobre el proceso de la investigación, producto de la información arrojada por los instrumentos aplicados, donde los datos no están sesgados, ni responden a ningún tipo de manipulación de naturaleza personal.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Resultados en tablas y gráficos.

4.1.1. Caracterización fisicoquímica de la materia prima

Se realizó la caracterización morfológica, físico y químico del loche proveniente del distrito de Íllimo, departamento de Lambayeque, en el Laboratorio de Química de la USS, cuyos datos se muestran en la Tabla 4.1; 4.2 y 4.3, así mismo la evidencia fotográfica en los Anexos V y VI.

Tabla 4.1

Lista de descriptores mínimos del zapallo Loche (Cucúrbita moschata Dutch.). *Observaciones realizadas con 5 frutos*

Variable	**Clase**	***Cucúrbita moschata* Dutch. (Loche)**
		N°/ (%)
Tamaño	Pequeño (≤ 20 cm)	1 (20%)
	Medio (21 a 30 cm)	3 (60%)
	Grande (31 a 40 cm)	1 (20%)
Forma	Cilíndrico	
	Elíptico	
	Piriformes	5 (100%)
Color de la cáscara	Verde oscuro	5 (100%)
	Verde claro	
	Anaranjado	
Color de la pulpa	Amarillo	
	Anaranjado	5 (100%)
	Crema	
Textura	Ondulado	
	Con verrugas	5 (100%)
	Reticulado	

Fuente: Laboratorio de Química de la Universidad Señor de Sipán, 2016

La exploración y colecta de fruto de zapallo loche (*Cucúrbita Moschata* Dutch.), se realizó entre Julio y Agosto del 2016, en el norte del Perú, en la Región Lambayeque, el cual comprende una extensa planicie costera.

El análisis de las propiedades físicas y químicas del loche fresco se realizó a través de los métodos A.O.A.C. descritos en el Anexo I.

Tabla 4.2

Propiedades físicas del loche fresco (Cucúrbita moschata Dutch.)

Propiedades Físicas	Unidades	Muestras			DS[b]	Promedio[b]	Variabilidad[b]
		M_1	M_2	M_3			
Humedad[a]	%	82.6	83.8	83.3	±0.602	83.23	0.0072
Densidad	g/cm^3	1.007	1.009	1.010	±0.0015	1.008	0.0015

Fuente: Laboratorio de Química de la Universidad Señor de Sipán, 2016

[a] = Los cálculos para el porcentaje de humedad del loche fresco se pueden visualizar en el Anexo II.

[b] = Los cálculos para la Desviación Estándar (DS), Promedio y variabilidad de las propiedades físicas del loche fresco se pueden visualizar en el Anexo III

Tabla 4.3

Propiedades químicas del loche fresco (Cucúrbita moschata Dutch.)

Propiedades Químicas	Unidades	Muestras			DS[b]	Promedio[b]	Variabilidad[b]
		M_1	M_2	M_3			
S. Solubles	°Brix	10	9.8	10	±0.115	9.93	0.0116
pH	-	6.5	6.7	6.4	±0.152	6.53	0.0070
Carotenos	µg/mL	1.884	1.883	1.889	±0.002	1.885	0.0012

Fuente: Laboratorio de Química de la Universidad Señor de Sipán, 2016

[c] = Los cálculos para la Desviación Estándar (DS), Promedio y variabilidad de las propiedades químicas del loche fresco se pueden visualizar en el Anexo IV

De acuerdo a las Tablas 4.2 y 4.3, el loche fresco posee un promedio de 83.23% de humedad, 1.008 g/cm^3 de densidad, 9.93°Brix, 6.53 de pH y 1.885 µg/mL de carotenos.

4.1.2. Acondicionamiento del Loche para la Optimización de la Osmodeshidratación

En esta etapa, se determinó los rangos de temperatura, concentración de la solución osmótica y tiempos de inmersión óptimos para el proceso del osmodeshidratado, siguiendo la ejecución de los 17 tratamientos indicados en la matriz codificada de las variables de estudio de la Tabla 3.6, y la secuencia de etapas experimentales de la Tabla 3.3, tal como lo evidencia las Figuras 4.1 y 4.2.

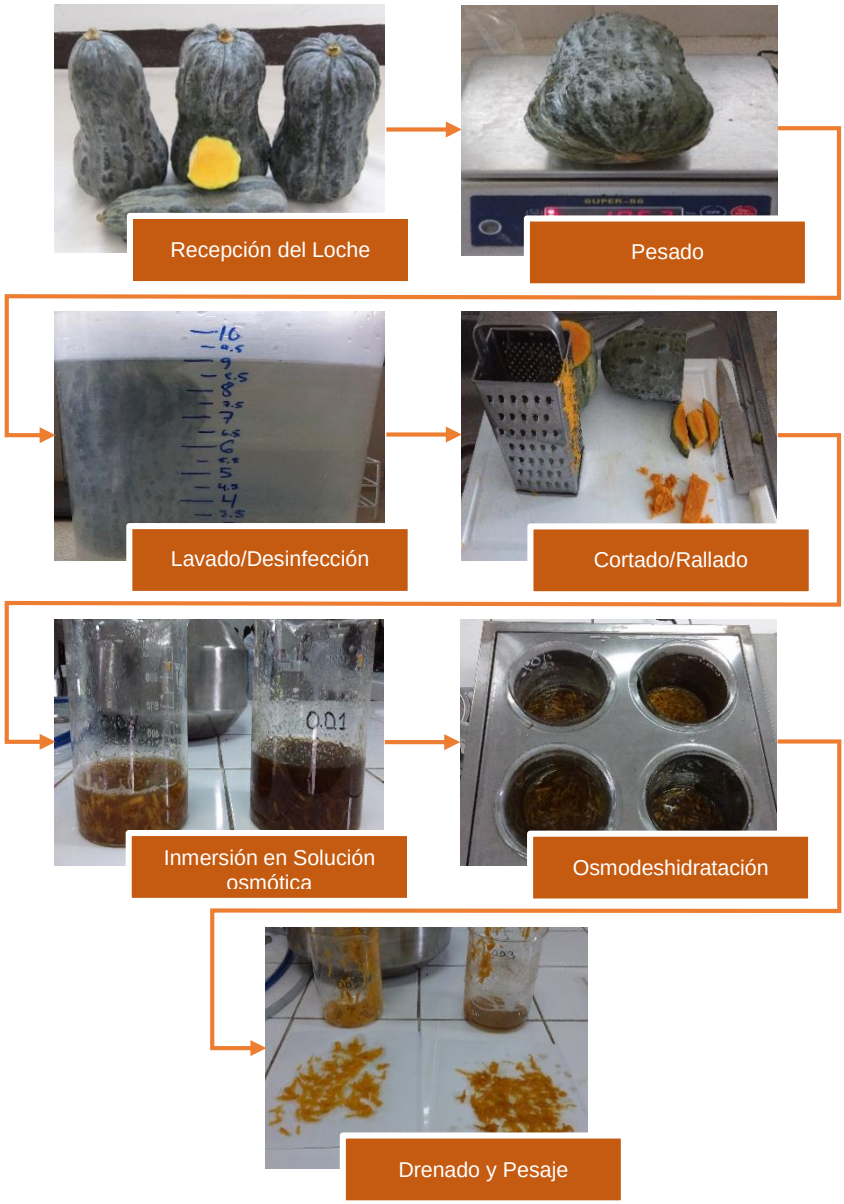


Figura 4.1: Etapas realizadas en el proceso de osmodeshidratación.
Fuente: Laboratorio de Química de la Universidad Señor de Sipán, 2016

Figura 4.2: Etapas realizadas para la cuantificación por espectrofotometría

Fuente: Laboratorio de Química de la Universidad Señor de Sipán, 2016

a. Evaluación Estadística de la Osmodeshidratación

En la Tabla 4.4 se muestran los valores obtenidos experimentalmente para la variable respuesta (carotenos). Los valores máximos de concentración de carotenos se dieron en los tratamientos 13; 15; 16 y 17 con valores de concentración de carotenos de 0.802; 0.719; 715 y 0.716 µg/g respectivamente. Estos tratamientos se realizaron a valores de 50°C, 105 minutos, 29.77°Brix para el tratamiento 13 y para los tratamientos 15; 16 y 17 se trabajó a 50°C, 105 minutos y 55°Brix. Asimismo, también se puede apreciar que los tratamientos cuyas respuestas experimentales fueron de niveles bajos de concentración de carotenos, corresponden a los tratamientos 2; 4; 11 y 12, con valores de concentración de 0.150; 0.171; 0.139

y 0.162 µg/g respectivamente. Estos tratamientos se realizaron a valores de 40°C, 30 minutos y 70°Brix para el tratamiento 2, 40°C, 180 minutos y 70°Brix para el tratamiento 4, 50°C, 21.13 minutos y 55°Brix para el tratamiento 11, 50°C, 231.13 y 55°C para el tratamiento 12.

Tabla 4.4

Respuestas de la matriz codificada de DCCR de las variables de estudio - Osmodeshidratación

Standard Run	Variable Independiente			Variable Dependiente	
	Temperatura (°C)	Tiempo (Min)	Concentración (°Brix)	Retención Caroteno µg/g	
1	40.00	30.00	40.00	0.609	32.3%
2	40.00	30.00	70.00	0.150	7.9%
3	40.00	180.00	40.00	0.265	14.0%
4	40.00	180.00	70.00	0.171	9.1%
5	60.00	30.00	40.00	0.285	15.1%
6	60.00	30.00	70.00	0.637	33.8%
7	60.00	180.00	40.00	0.528	28.0%
8	60.00	180.00	70.00	0.396	21.0%
9	33.18	105.00	55.00	0.294	15.6%
10	66.82	105.00	55.00	0.447	23.7%
11	50.00	21.13	55.00	0.139	7.4%
12	50.00	231.13	55.00	0.162	8.6%
13	50.00	105.00	29.77	0.802	42.5%
14	50.00	105.00	80.23	0.441	23.4%
15 (C)	50.00	105.00	55.00	0.719	38.1%
16 (C)	50.00	105.00	55.00	0.715	37.9%
17 (C)	50.00	105.00	55.00	0.716	38.0%

Fuente: Laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Medicina de la Universidad Señor de Sipán, 2016

Selección del modelo apropiado para el contenido de carotenos

Utilizando el software Statistica 7 y con los datos de la Tabla 4.3 se obtuvo los valores del R^2 y la suma de cuadrados del error que permitieron elegir el modelo adecuado para

predecir la concentración de carotenos (µg/g) del loche después de ser sometido al proceso del osmodeshidratado. En la Tabla 4.5, se conoció que el mejor modelo que correlaciona los datos experimentales de concentración de carotenos (µg/g) fue el modelo de "Términos lineales y cuadráticos de los efectos principales y las interacciones de segundo orden", ya que sí existió mucha diferencia con los modelos más simples. Además, también se muestran los R^2 y la suma de cuadrados del Error, el cual nos permitió seleccionar el modelo con el que se va a trabajar.

Tabla 4.5

Análisis de los modelos de análisis del DCCR para la retención de carotenos en el loche osmodeshidratado

Modelos de análisis del DCCR				
	1	**2**	**3**	**4**
R^2	0.17129	0.63563	0.27951	0.74385
Suma de cuadrados del Error	1929.077	848.192	1677.167	596.282

Fuente: Statistica

En donde:

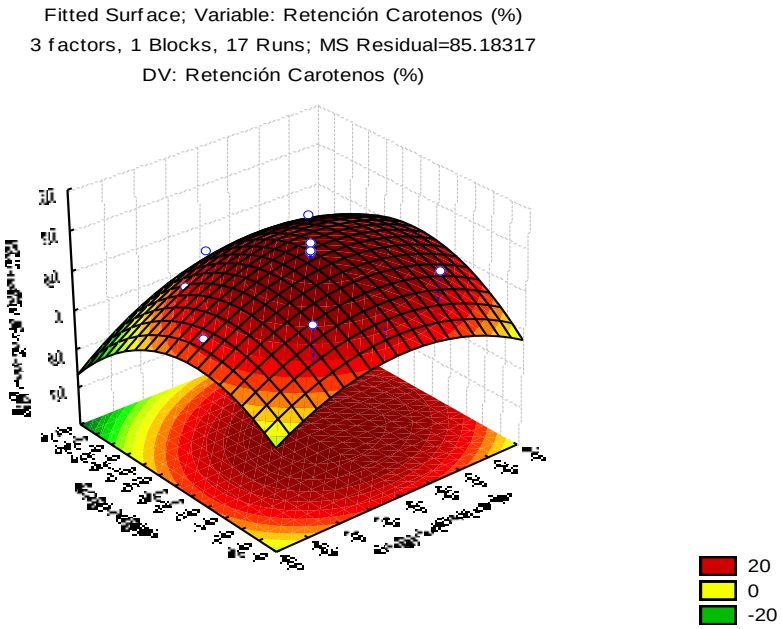
1="Solamente términos lineales de los efectos principales";

2="Términos lineales y cuadráticos de los efectos principales",

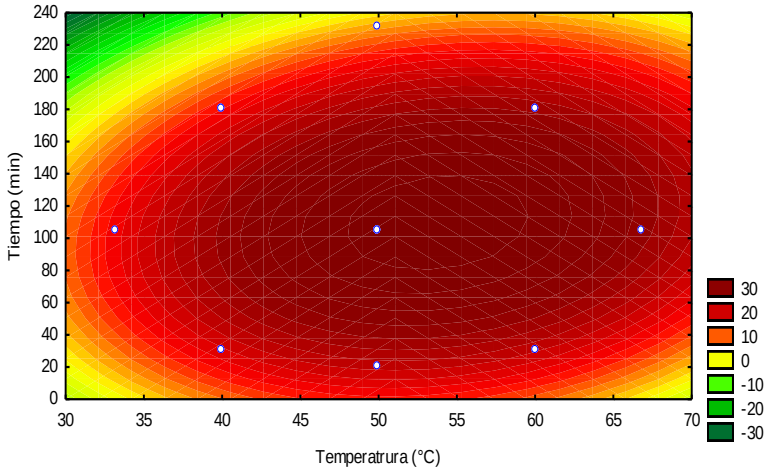
3="Términos lineales de los efectos principales y las interacciones de segundo orden";

4= "Términos lineales y cuadráticos de los efectos principales y las interacciones de segundo orden".

El elevado valor del coeficiente de determinación (R^2) del modelo seleccionado para predecir la mayor retención de carotenos en la osmodeshidratación del loche (R^2=0.74385) permitió interpretar los resultados mediante gráficos de superficie de respuesta y de contorno (Figura 4.3; 4.4 y 4.5)



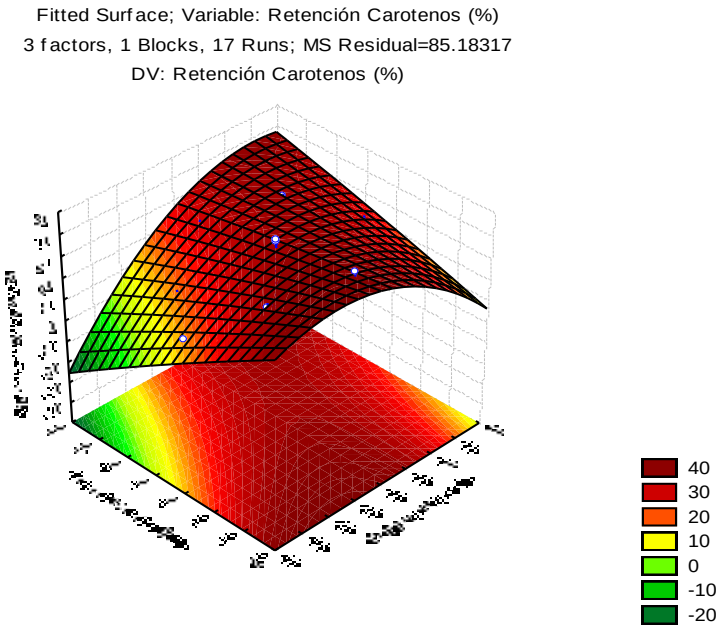
(a)



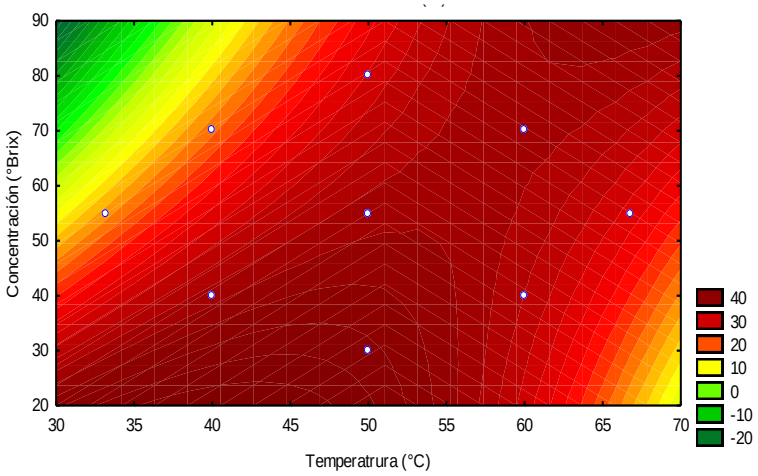
(b)

Figura 4.3: Gráficos de: (a) Superficie de respuesta; (b) Curvas de contornos. En el osmodeshidratado: Temperatura vs el tiempo
Fuente: Statistica 7.

Se observa en la Figura 4.3 que la forma de superficie de respuesta adopta una forma de montaña, en donde la respuesta presenta un “máximo”. Mediante la superposición de contornos, la región roja representa una combinación de temperatura y tiempo óptimos, en donde la mayor retención de carotenos está dada en rangos de temperatura de 45 – 55°C y tiempos de 100 – 120 minutos.



(a)



(b)

Figura 4.4: Gráficos de: (a) Superficie de respuesta; (b) Curvas de contornos. En el osmodeshidratado: Temperatura vs concentración
Fuente: Statistica 7.

En la Figura 4.4, la superficie de respuesta adopta una forma de silla, en donde la concentración de carotenos aumenta o disminuye a partir del centro de la superficie. La región de mayor retención de carotenos está dada en rangos de temperatura de 45 – 55 °C y concentración de 50 – 60 °Brix. La concentración de carotenos permanece constante ya sea que se aumente la temperatura y concentración de sacarosa.

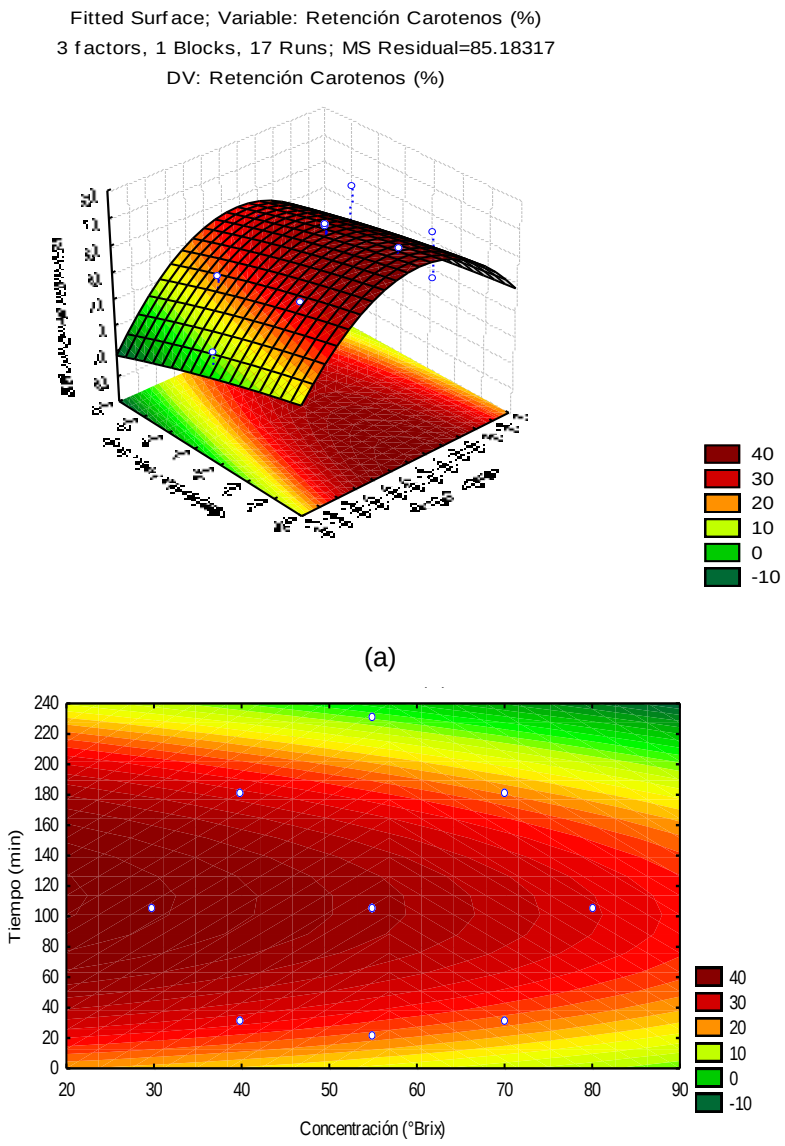


Figura 4.5: Gráficos de: (a) Superficie de respuesta; (b) Curvas de contornos. En el osmodeshidratado: Concentración vs tiempo
Fuente: Statistica 7.

La superficie de respuesta de la Figura 4.5 adopta una forma de cresta, en donde la concentración de carotenos presenta un máximo, es decir, la verdadera superficie es una montaña pero no observamos su pico sino un costado. Por lo tanto, la región óptima de concentración y tiempos están dadas por rangos de 50 – 60°Brix y 100 – 120 minutos, concordando el rango óptimo de concentración de sacarosa con el de la Figura 4.4.

El buen ajuste de los datos experimentales con los predichos se puede corroborar en la Figura 4.6, donde los valores observados, son los datos obtenidos experimentalmente en laboratorio y están representados por los puntos de color azul; los valores predichos son las que se determinan en base a la Ecuación 4.1 y están representadas por la línea de color rojo.

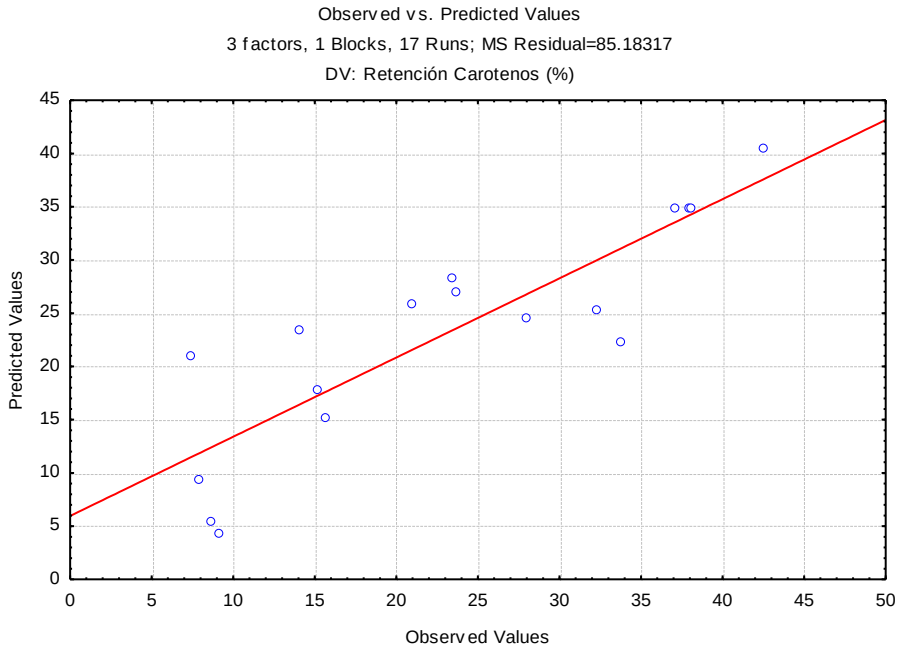


Figura 4.6: Linealidad de los valores experimentales con los predichos para la retención de carotenos en el loche osmodeshidratado.
Fuente: Statistica 7.

El valor residual (MS residual) producto de la diferencia entre los valores observados y predichos fue de 85.18317, el cual nos indica que los datos tienen un alto ajuste, y esto se puede corroborar con el valor R^2 obtenido que fue de 0.74%, es decir, el 26% de los datos no pueden ser representados por la Ecuación 4.1, y son aquellos valores que se encuentran alejados de la línea color rojo.

Realizando el análisis de varianza para la variable retención de carotenos y aplicando el modelo secundario seleccionado (Tabla 4.6), nos indica que el efecto principal (tiempo) es estadísticamente significativa ($p<0.05$), esto se puede interpretar que dicha variable influye en la concentración de carotenos durante el proceso de osmodeshidratación.

Tabla 4.6

Análisis de Varianza (ANVA) del modelo lineal/cuadrático de los efectos principales y las interacciones de segundo orden para la variable retención de carotenos en el loche osmodeshidratado.

Factor	SS	df	MS	F	p
(1)Temperatura(L)	170.269	1	170.2688	1.99885	0.200314
Temperatura(Q)	285.400	1	285.4003	3.35043	0.109878
(2)Tiempo(L)	2.266	1	2.2660	0.02660	0.875049
Tiempo(Q)	889.378	1	889.3779	10.44077	0.014427
(3)Concentración(L)	181.040	1	181.0404	2.12531	0.188239
Concentración(Q)	0.501	1	0.5012	0.00588	0.941007
1L by 2L	36.980	1	36.9800	0.43412	0.531041
1L by 3L	210.125	1	210.1250	2.46674	0.160271
2L by 3L	4.805	1	4.8050	0.05641	0.819068
Error	596.282	7	85.1832		
Total SS	2327.821	16			

Fuente: Statistica 7.

Esto se puede corroborar en el diagrama de Pareto, el cual se muestra en la figura 4.7, donde se puede apreciar que el tiempo de osmodeshidratado es significativo, ya que cruza la línea del valor “p” de confiabilidad.

Todas las variables influyen negativamente en la retención de los carotenos, de modo que la variable tiempo es la más influyente y las variables temperatura y concentración de sacarosa influyen en menor proporción.

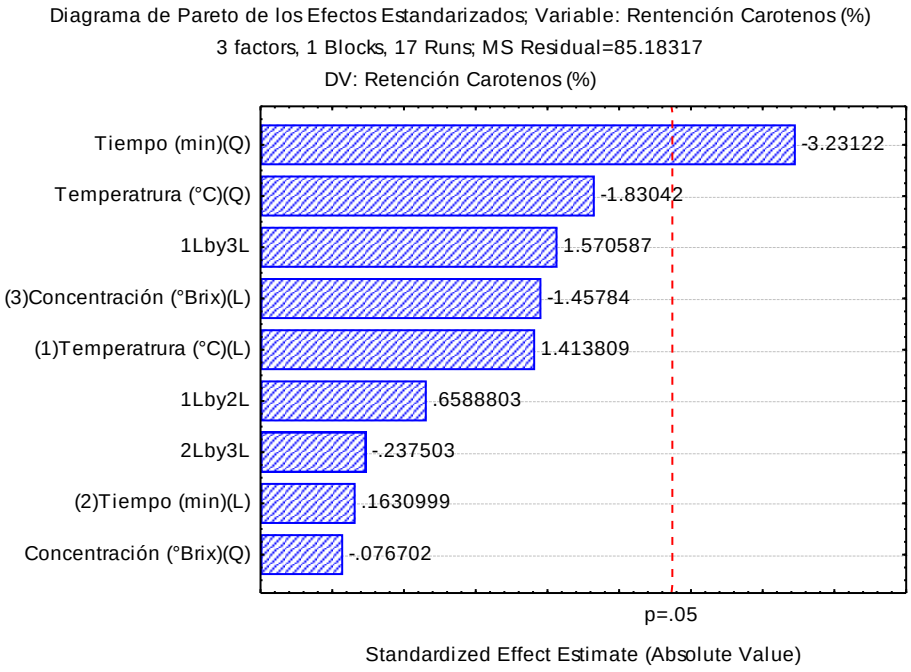


Figura 4.7: Diagrama de Pareto para la concentración de carotenos (µg/g) del loche osmodeshidratado
Fuente: Statistica 7.

Esto concuerda con Meléndez-Martínez et al., (2004); Howard et al., (1996) y Rodríguez-Amaya, (1999), quienes señalan que, a mayor tiempo de exposición del producto en determinadas condiciones de temperatura y concentración, su valor biológico se verá afectado.

Modelamiento matemático predictivo de contenido de carotenos en la osmodeshidratación

Las ecuaciones matemáticas que pueden predecir porcentaje de retención de carotenos para cualquier combinación de temperatura, tiempos y concentración de sacarosa en la osmodeshidratación, se muestra en el siguiente cuadro, los cuales son los coeficientes de regresión para el contenido de carotenos (Tabla 4.7) según el modelo secundario

seleccionado: “Términos lineales y cuadráticos de los efectos principales y las interacciones de segundo orden”.

Tabla 4.7

Análisis de Coeficientes de regresión para predecir el contenido de carotenos en el osmodeshidratado

Factor	Regressn Coeff.	Std.Err. Pure Err	t(3)	p	-95% Cnf.Limt	+95% Cnf.Limt
Mean/Interc.	-11.3746	106.4629	-0.10684	0.917913	-263.119	240.3701
(1)Temperatura(L)	3.0796	2.9814	1.03296	0.335985	-3.970	10.1294
Temperatura(Q)	-0.0491	0.0268	-1.83042	0.109878	-0.112	0.0143
(2)Tiempo(L)	0.3005	0.3033	0.99080	0.354789	-0.417	1.01758
Tiempo(Q)	-0.0019	0.0006	-3.23122	0.014427	-0.003	-0.0005
(3)Concentración(L)	-1.7782	1.7381	-1.02305	0.340332	-5.888	2.3318
Concentración(Q)	-0.0009	0.0119	-0.07670	0.941007	-0.029	0.0273
1L by 2L	0.0029	0.0044	0.65888	0.531041	-0.007	0.0132
1L by 3L	0.0342	0.0218	1.57059	0.160271	-0.017	0.0856
2L by 3L	-0.0007	0.0029	-0.23750	0.819068	-0.008	0.0062

Fuente: Statistica 7.

En la Tabla 4.7, se puede observar que los coeficientes de regresión, los términos cuadráticos de temperatura, tiempo y concentración se encuentran con signo negativo, indicando que influyen negativamente respecto a la retención de carotenos.

La predicción del índice de carotenos se presenta a partir de la ecuación cuadrática obtenida del análisis de regresión y comparada con los valores reales o experimentales. El modelo matemático para la retención de carotenos, se denotó por la siguiente ecuación cuadrática:

$$y = -11.3746 + 3.0796 * T - 0.0491 * T^2 + 0.3005 * t - 0.0019 * t^2 - 1.7782 * c - 0.0009 * c^2 + 0.0029 * T * t + 0.0342\, T * c + 0.0007 * t * c \quad (4.1)$$

Donde:

y = Índice de carotenos

T = Temperatura (°C)

t = Tiempo (Minutos)

c = Concentración (°Brix)

A través del análisis del coeficiente de determinación (R^2), se puede ratificar la validez del modelo de índice de carotenos. Considerando que se alcanzó un valor de R^2 adj.=0.71%, Gutiérrez y De la Vera (2004) señalan que aquellos modelos son adecuados cuando presentan un R^2 ajustado mayores a 70%.

b. Validación experimental del modelo lineal/cuadrático

En la Tabla 4.8, se describen los valores utilizados para la validación y sus resultados predichos y experimentales en función a los rangos o regiones de temperatura, tiempo y concentración óptimos.

Tabla 4.8

Valores empleados para la validación y resultados predichos y observados

Temperatura (°C)	Tiempo (Min.)	Concentración (°Brix)	Carotenos Modelo Matemático	Carotenos Experimental	Retención (%)	Promedio de retención
45°C	80'	50°Brix	0.764 µg/g	0.699 µg/g	37.1%	37.4 %
50°C	100'	55°Brix	0.791 µg/g	0.735 µg/g	39%	
50°C	**107.49'**	**55°Brix**	**0.794 µg/g**	**0.738 µg/g**	**39.2%**	
55°C	120'	60°Brix	0.792 µg/g	0.647 µg/g	34.3%	

El contenido máximo de Carotenos experimentales en el osmodeshidratado fue de 0.738 µg/g y una retención promedio de 37.4% obtenida con la Ecuación 3.2, el cual indica que el modelo funciona, ya que es un valor bastante similar al predicho por el modelo matemático siempre y cuando se trabajen con los parámetros optimizados de la experimentación y se conserven la temperatura, tiempo y concentración constantes.

4.1.3. Acondicionamiento del Loche para la Optimización del Secado Convectivo

Esta etapa permitió determinar la temperatura y tiempos óptimos para el proceso de secado por convección, siguiendo la ejecución de los 11 tratamientos indicados en la matriz codificada de las variables de estudio de la Tabla 3.7, y la secuencia de etapas experimentales de la Tabla 3.3, tal como lo evidencia las Figuras 4.8 y 4.2.

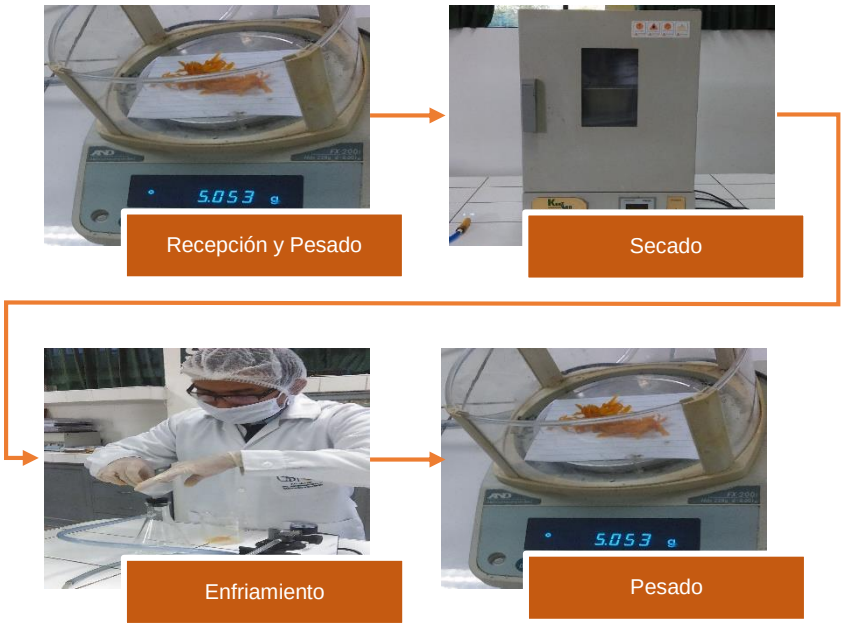


Figura 4.8: Etapas realizadas para el secado por convección del loche previamente osmodeshidratado.
Fuente: Laboratorio de Química de la Universidad Señor de Sipán, 2016

a. Evaluación Estadística del Secado Convectivo

En la Tabla 4.9 se observan los valores obtenidos experimentalmente para la variable respuesta (carotenos). También se puede observar que los valores máximos de retención de carotenos se dieron en los tratamientos 3 y 6, cuyos valores de concentración de carotenos son de 0.618 y 0.515 µg/g respectivamente. Estos tratamientos se realizaron a valores de

70°C y 60 minutos para el tratamiento 3 y para el tratamiento 6, se trabajó a 76.21°C y 90 minutos.

Tabla 4.9

Matriz codificada de las variables de estudio – Secado Convectivo

Standard Run	Variable Independiente		Variable Dependiente	
	Temperatura	Tiempo	Retención Caroteno µg/g	
1	40,00	60,00	0.212	28.7%
2	40,00	120,00	0.266	36.0%
3	70,00	60,00	0.618	83.7%
4	70,00	120,00	0.475	64.3%
5	33,79	90,00	0.106	14.4%
6	76,21	90,00	0.515	69.8%
7	55,00	47,57	0.312	42.3%
8	55,00	132,43	0.389	52.7%
9	55,00	90,00	0.292	39.6%
10	55,00	90,00	0.295	40.0%
11	55,00	90,00	0.293	39.7%

Asimismo, también se puede apreciar que los tratamientos cuya retención de carotenos fueron las más bajas, corresponden a los tratamientos 1 y 5, con valores de concentración de 0.212 y 0.106 µg/g respectivamente. Estos tratamientos se realizaron a valores de 40°C y 60 minutos para el tratamiento 1 y para el tratamiento 5, 33.79°C y 90 minutos. Los tratamientos de mayor temperatura y menor tiempo presentaron mayor contenido de carotenos entre 0.515 y 0.618 µg/g, por lo que procesar con alta temperatura y tiempo corto es una buena alternativa.

Selección del modelo apropiado para el contenido de carotenos

A través del software Statistica 7 y con los datos de la Tabla 4.10 se obtuvo los valores del R^2 y la suma de cuadrados del error que permitieron elegir el modelo adecuado para predecir la concentración de carotenos (µg/g) del loche después de ser sometido al proceso de secado convectivo.

En la Tabla 4.10, se conoció que el mejor modelo que correlaciona los datos experimentales de retención de carotenos (µg/g) fue el modelo de “Términos lineales y cuadráticos de los efectos principales y las interacciones de segundo orden”, ya que sí existió diferencia con los modelos más simples. Además, también se muestran los R^2 y la suma de cuadrados del Error, el cual nos permitió seleccionar el modelo con el que se va a trabajar.

Tabla 4.10

Análisis de los modelos del DCCR para la retención de carotenos en el loche secado por convección previamente osmodeshidratado

Modelos de análisis del DCCR				
	1	**2**	**3**	**4**
R^2	0.83917	0.89431	0.88495	0.94008
Suma de cuadrados del Error	626.155	411.489	447.933	233.266

Fuente: Statistica 7

En donde:

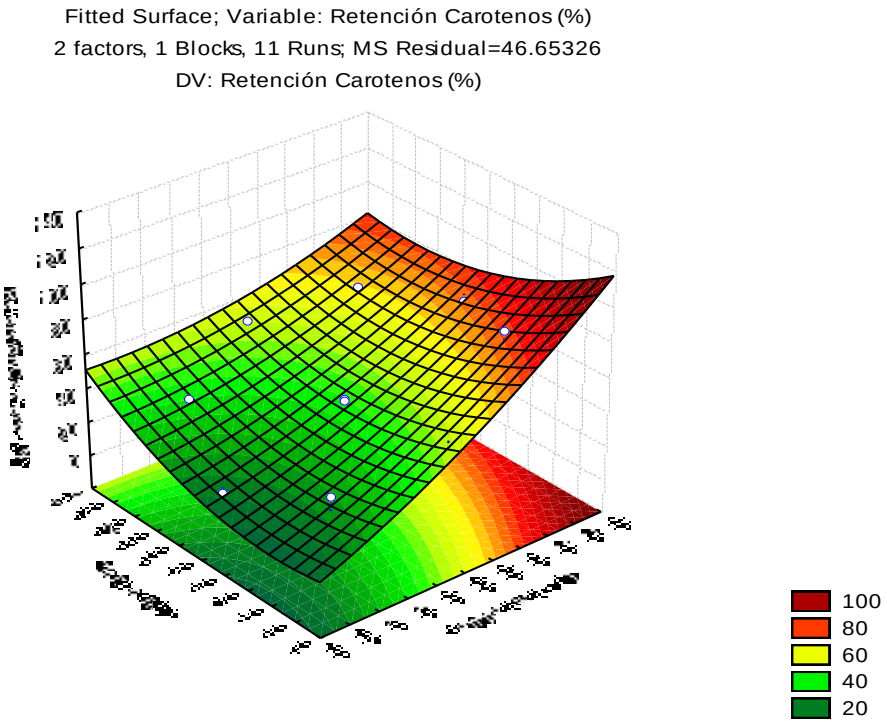
1=“Solamente términos lineales de los efectos principales”;

2=“Términos lineales y cuadráticos de los efectos principales”;

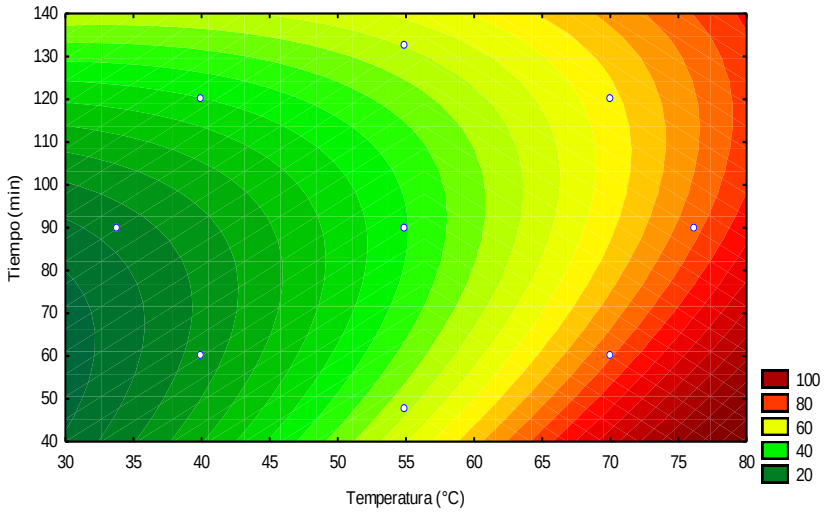
3=“Términos lineales de los efectos principales y las interacciones de segundo orden”;

4=“Términos lineales y cuadráticos de los efectos principales y las interacciones de segundo orden”.

El elevado valor del coeficiente de determinación (R^2) del modelo seleccionado para predecir la mayor retención de carotenos en el secado por convección del loche (R^2=0.94008) permitió interpretar los resultados mediante gráficos de superficies de respuesta y gráficos de contorno (Figura 4.8).



(a)



(b)

Figura 4.9: Gráficos de: (a) Superficie de respuesta; (b) Curvas de contornos. En el secado convectivo del loche previamente osmodeshidratado: Temperatura vs el tiempo.

Fuente: Statistica 7.

La Figura 4.9 nos muestra que la superficie de respuesta adopta una forma de valle ascendente. La región óptima del secado convectivo está dado por temperaturas entre 70 – 80 °C

y tiempos entre 50 – 70 minutos. También se puede observar mediante la superposición de contornos, que la degradación de carotenos aumenta conforme se prolonga el tiempo y la temperatura de secado sea baja, debido a una continua actividad enzimática. (Rodríguez-Amaya, 1999)

El buen ajuste de los datos experimentales con los predichos se puede corroborar en la Figura 4.10, donde los valores observados, son los datos obtenidos experimentalmente en laboratorio y están representados por los puntos de color azul; los valores predichos son las que se determinan en base a la Ecuación 4.1 y están representadas por la línea de color rojo, por lo tanto se puede apreciar que los valores experimentales están muy cercanas a los valores predichos.

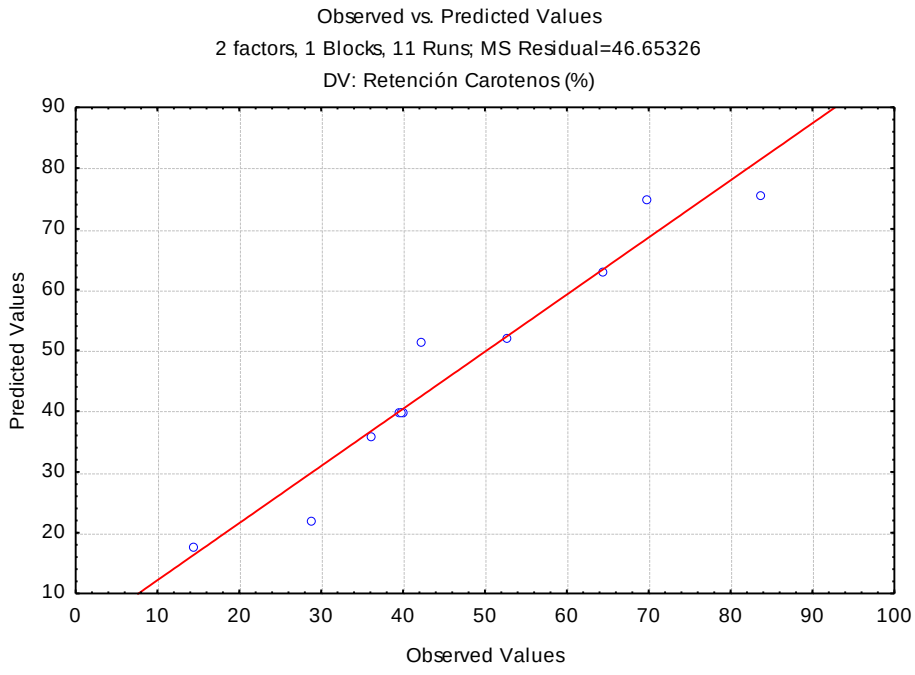


Figura 4.10: Linealidad de los valores experimentales con los predichos para la concentración de carotenos del loche secado por convección previamente osmodeshidratado
Fuente: Statistica 7.

El valor residual producto de la diferencia entre los valores observados y predichos fue de 46.65326, el cual nos indica que los datos tienen un alto ajuste, y esto se puede corroborar con el valor R^2 obtenido que fue de 0.94%, es decir, sólo el 6% de los datos no pueden ser representados por la Ecuación 4.2, y son aquellos valores que se encuentran alejados de la línea color rojo.

Realizando el análisis de varianza para la variable retención de carotenos y aplicando el modelo secundario seleccionado (Tabla 4.11), nos indica que el efecto principal (temperatura) es estadísticamente significativa ($p<0.05$), esto se puede interpretar que dicha variable influye en la concentración de carotenos durante el proceso de secado convectivo.

Tabla 4.11

Análisis de Varianza (ANVA) del modelo lineal/cuadrático de efectos principales y las interacciones de segundo orden para la variable retención de carotenos en el loche secado por convección previamente osmodeshidratado.

Factor	SS	df	MS	F	p
(1)Temperatura(L)	3266.237	1	3266.237	70.01089	0.000399
Temperatura(Q)	60.030	1	60.030	1.28673	0.308089
(2)Tiempo(L)	0.850	1	0.850	0.01822	0.897888
Tiempo(Q)	200.621	1	200.621	4.30025	0.092802
1L by 2L	178.266	1	178.266	3.82015	0.108043
Error	233.266	5	46.653		
Total SS	3893.242	10			

Fuente: Statistica 7.

Esto se puede corroborar en el diagrama de Pareto, el cual se muestra en la figura 4.11, donde se puede apreciar que la

temperatura en el secado convectivo es significativo, ya que cruza la línea del valor “p” de confiabilidad.

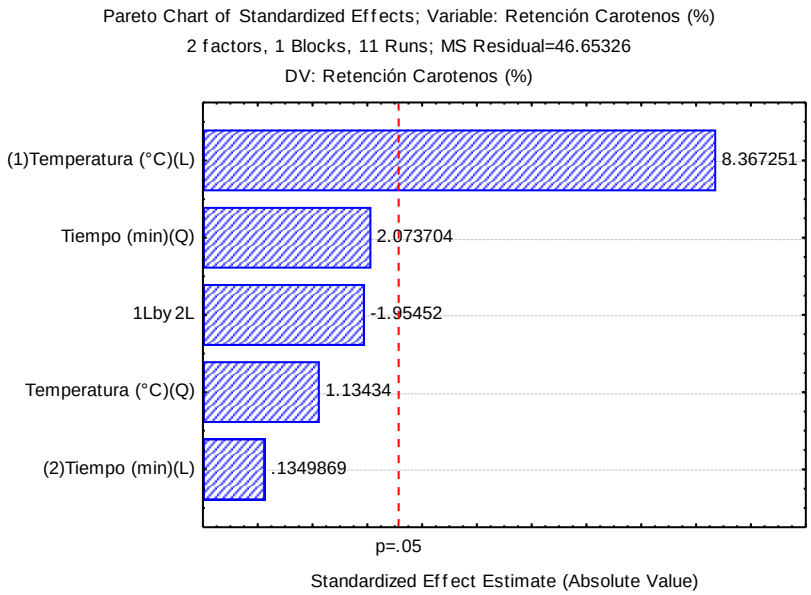


Figura 4.11: Diagrama de Pareto para la retención de carotenos del loche secado por convección previamente osmodeshidratado
Fuente: Statistica 7.

Sólo la variable temperatura es la que influye en la retención de carotenos durante el secado convectivo, debido a que la capacidad antioxidante (Rodríguez-Amaya, 1999) del loche, fue potenciada durante el osmodeshidratado, provocando una disminución de los radicales libres e inactivando a las enzimas oxidativas. (Henderson y Yapias, 2014); por otro lado, la variable tiempo según el gráfico, nos señala que no es significativo, precisamente por emplear tiempos cortos de secado.

En comparación con el osmodeshidratado, las temperaturas son más bajas, pero el tiempo de permanencia bajo esas temperaturas es mayor, mientras que en el secado se empleó temperaturas más altas, pero el tiempo de permanencia fue menor.

Modelamiento matemático predictivo de contenido de carotenos en el secado convectivo

Las ecuaciones matemáticas que pueden predecir el porcentaje de retención de carotenos para cualquier combinación de temperaturas y tiempos en el secado convectivo, por lo que se muestran en los siguientes cuadros, los coeficientes de regresión para la retención de carotenos (Tabla 4.12) según el modelo secundario seleccionado: "Términos lineales y cuadráticos de los efectos principales y las interacciones de segundo orden".

Tabla 4.12

Análisis de Coeficientes de regresión para predecir el porcentaje de retención de carotenos en el loche secado por convección previamente osmodeshidratado.

Factor	Regressn Coeff.	Std.Err. Pure Err	t(5)	p	-95% Cnf.Limt	+95% Cnf.Limt
Mean/Interc.	-11.2464	62.92192	-0.17874	0.865161	-172.992	150.4995
(1)Temperatura(L)	1.0881	1.57069	0.69274	0.519323	-2.949	5.1257
Temperatura(Q)	0.0145	0.01277	1.13434	0.308089	-0.018	0.0473
(2)Tiempo(L)	-0.3654	0.71496	-0.51105	0.631072	-2.203	1.4725
Tiempo(Q)	0.0066	0.00319	2.07370	0.092802	-0.002	0.0148
1L by 2L	-0.0148	0.00759	-1.95452	0.108043	-0.034	0.0047

Fuente: Statistica 7.

El modelo matemático para la retención de carotenos se denota por la siguiente ecuación cuadrática:

$$y = -11.2464 + 1.0881 * T + 0.0145 * T^2 - 0.3654 * t + 0.0066 * t^2 - 0.0148 * T * t \quad (4.2)$$

Donde:

y = Índice de carotenos

T = Temperatura (°C)

t = Tiempo (Minutos)

A través del análisis del coeficiente de determinación (R^2), se puede ratificar la validez del modelo de índice de carotenos. Ya que se alcanzó un valor de R^2=0.94% y $R_{ajustado}$=0.88%, Gutiérrez y De la Vera (2004) señalan que aquellos modelos son adecuados cuando presentan un R^2 ajustado mayores a 70%.

b. Validación experimental del modelo lineal/cuadrático

En la Tabla 4.13, se describen los valores empleados para la validación y los resultados predichos y experimentales en función a los rangos o regiones de temperaturas y tiempos óptimos.

Tabla 4.13

Valores empleados para la validación y resultados predichos y observados

Temperatura (°C)	Tiempo (Min.)	Carotenos Modelo Matemático	Carotenos Experimental	Retención (%)	Promedio de retención
70	40’	0.667 µg/g	0.642 µg/g	87%	**81.5 %**
75	50’	0.697 µg/g	0.538 µg/g	72.9%	
75	**60’**	**0.642 µg/g**	**0.610 µg/g**	**82.6%**	
80	60’	0.793 µg/g	0.664 µg/g	83.7%	

El contenido máximo de Carotenos experimentales obtenido en el secado convectivo fue de 0.664 µg/g, es decir, se presenta una retención promedio de 81.5%, lo que nos señala que el modelo funciona, ya que es un valor bastante similar al predicho por el modelo matemático siempre y cuando se trabajen con los parámetros optimizados de la experimentación y se mantengan la temperatura y tiempo, además este elevado porcentaje de retención después del secado, previo tratamiento térmico de deshidratación osmótica, tiene concordancia con la literatura y eso se trató en las discusiones.

4.1.4. Pérdida de la humedad en el proceso

Los resultados de la pérdida de humedad (%) del antes, durante y después del proceso para las muestras de zapallo de loche bajo condiciones optimizadas de osmodeshidratado y secado convectivo se muestran en la Tabla 4.14 y 4.15 respectivamente.

Tabla 4.14

Pérdida de humedad en base húmeda en el proceso de osmodeshidratado del zapallo loche

Muestra	Condiciones iniciales del Sólido		Pérdida de humedad (%)		Condiciones finales	
	Peso (g)	Humedad i (%)	(%)	(g)	Peso (g)	Humedad f_{bh} (%)
Loche	50.031	83%	18	7.475	41.011	80.015*

* Los cálculos para el porcentaje de humedad final en base húmeda del loche osmodeshidratado se pueden visualizar en el Anexo IX.

El porcentaje de pérdida de humedad del zapallo loche bajo estas condiciones de temperatura, tiempo de inmersión y concentración de sacarosa, fue de 18% respecto al contenido total de agua. El contenido de humedad con que el que sale el loche del proceso de osmodeshidratación es de 80.015%

Tabla 4.15

Pérdida de humedad y rendimiento del proceso de secado convectivo del zapallo loche previamente osmodeshidratado

Muestra	Condiciones iniciales		Pérdida de humedad (%)	Condiciones finales			Rendimiento (%)
	Peso (g)	Humedad i (%)	(%)	Peso (g)	Humedad (g)	Humedad f (%)	
Loche O.D.	41.011	80.015	85.35	6.004	35	14.65	12

La Tabla 4.15 muestra un gran porcentaje de pérdida de humedad (85.35%) respecto al contenido de agua con el que ingresó la muestra a la cámara de secado (41.011 g), obteniéndose 6.004 g de muestra, con un contenido de humedad final de 14.65% y un rendimiento de 12% al final del proceso.

Con el proceso de secado convectivo, se pretendió disminuir la humedad que aún posee la muestra osmodeshidratada a contenidos de humedad alrededor de 10%, a fin de no permitir el crecimiento de bacterias y hongos en el producto (Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 1996), sin embargo, las muestras osmodeshidratadas y secadas con aire caliente, tuvieron una humedad cercana al 15%, siendo riesgoso para el almacenamiento debido a una posible proliferación de microorganismos, excepto si se emplea un empacado al vacío.

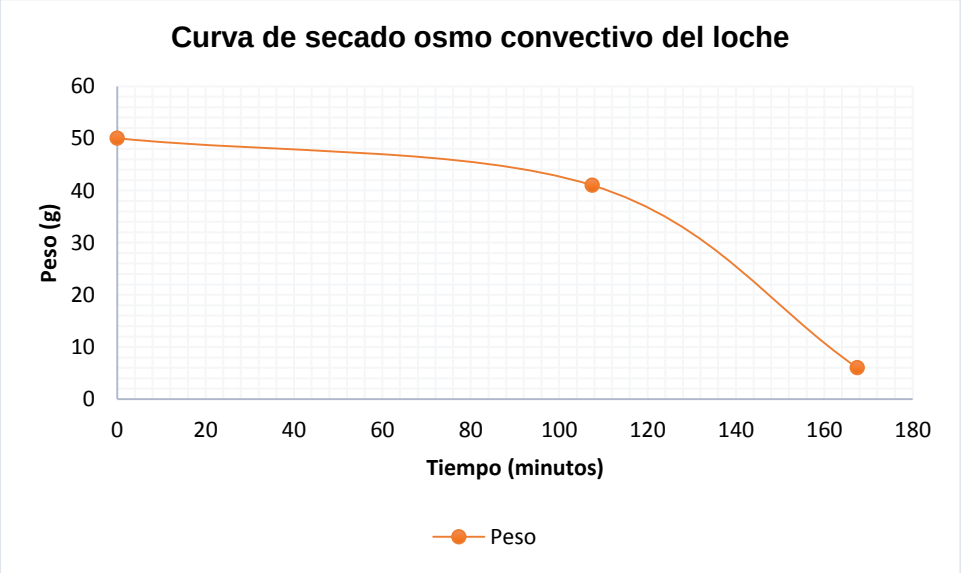


Figura 4.12: Curva de secado osmo convectivo de muestras de zapallo loche
Fuente: Statistica 7.

En la Figura 4.12 se presenta el cambio de humedad del loche a través del tiempo en ambos procesos, bajo condiciones de T°=50°C, tiempo= 107.49 minutos y concentración de sacarosa = 55°Brix en el

osmodeshidratado; en el secado convectivo a T°= 75°C y tiempo = 60 minutos. Se puede observar que la curva de secado desciende más rápidamente en cuanto la muestra es sometida a aire forzado. Del mismo modo se observó que la curva de las muestras durante el proceso de osmodeshidratado, descienden en forma lenta, debido a la dificultad en la eliminación del agua por la formación de una capa del jarabe residual del proceso de O.D. en la superficie de la muestra.

4.1.5. Evaluación de la Retención de Carotenos

Las condiciones del procesamiento (concentración, tiempo y temperatura) influyeron en la retención de los carotenos, así como también factores de grado de madurez y parte de las muestras de zapallo loche utilizadas, algunas más maduras que otras, sin embargo esto no constituyó un problema.

A continuación se muestra en la Tabla 4.16 el porcentaje de retención de carotenos obtenida en cada una de las etapas de la experimentación de la presente investigación.

Tabla 4.16

Porcentaje de retención obtenida por medio de la optimización de los parámetros de la osmodeshidratación y el secado por convección.

	Loche Fresco	Loche Osmodeshidratado	Loche O.D. y secado con aire caliente
Carotenos	1.884 µg/g	0.738 µg/g	0.610 µg/g
Retención	100%	39.2%	32.37%

Estos valores de retención verdadera (RV) han sido calculados de acuerdo con Murphy et al. (1975), según se indicó en la ecuación 3.2.

Aplicando dicha ecuación, tenemos:

$$R.V. = \frac{0.738\ \mu g/g}{1.884\ \mu g/g} * 100 = 39.2\% \longrightarrow$$ Retención en el O.D.

$$R.V. = \frac{0.610\ \mu g/g}{1.884\ \mu g/g} * 100 = 32.37\% \longrightarrow$$ Retención en el S.C.

Por tanto, estos valores se calcularon en función al contenido de carotenos en el zapallo loche fresco versus los contenidos de carotenos en el zapallo loche después de cada etapa, obteniéndose un 32.37% de retención verdadera de carotenos en todo el proceso.

4.2. Discusión de resultados

Los resultados mostrados en la Tabla 4.1, indican las características físicas de la materia prima con la que se trabajó en todos los tratamientos. El contenido de humedad obtenida experimentalmente fue de 83.57%, nos indica que la materia prima ha sido acondicionada favorablemente, por lo tanto corresponde a un fruto fresco, y guarda relación con los valores obtenidos por INDECOPI (2012), quienes señalaron que el loche lambayecano posee un 82% de humedad, tal como se detalló en la Tabla 2.2.

En la deshidratación osmótica óptima de la pulpa de zapallo loche, Nsonzi y Ramaswamy (1998), indican que el agua y los constituyentes naturales se transfieren hacia la solución osmótica desde los espacios extracelulares y simultáneamente los solutos de la solución osmótica se transfieren hacia el producto mediante un mecanismo semejante pero de dirección opuesta, conocido como Transporte Difusional Convectivo o TDC (Spiazzi y Mascheroni, 2001), de este modo se removió hasta un 4.10% del peso total en forma de agua, mientras que Ortiz (2012) logró remover hasta un 12.61% empleando melaza de caña como medio hipertónico. Asimismo, Lenart (1996), señaló que el tiempo de inmersión es una variable importante, ya que de ello depende la mayor transferencia de masa.

Torres et al. (2013), sostienen que el tiempo de inmersión favorece a la ganancia de sólidos, pero tiempos muy prolongados ocasionan la impregnación de los sólidos en el producto, lo cual fue un inconveniente para la extracción de carotenos luego del osmodeshidratado, ya que las paredes celulares estaban impregnadas de sólidos que dificultaron la extracción, a diferencia de la extracción después del secado, fue mucho más rápida y eficiente llegando el loche incluso quedarse como polvo incoloro.

Luego del proceso de osmodeshidratación, los jarabes (medio osmótico) adquirieron las características aromáticas, color y sabor propios del zapallo loche, lo cual está de acuerdo con (Camacho, 1997, citado por Zapata J., 1998). Sin embargo, existen desventajas en el proceso para la reutilización de estos jarabes, no obstante algunos autores como López B. (2001); Pereda O. et al., (1998), recomiendan que este producto puede ser útil en otros procesos de osmodeshidratación, previa concentración, o para edulcorar y desarrollar otro tipo de productos con alta concentración de sólidos como mermeladas, dulces, pastas, entre otros.

Con el proceso de secado convectivo, se pretendió disminuir la humedad que aún posee la muestra osmodeshidratada a contenidos de humedad alrededor de 10%, a fin de no permitir el crecimiento de bacterias y hongos en el producto (Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 1996), sin embargo, las muestras osmodeshidratadas y secadas con aire caliente, tuvieron una humedad cercana al 12%, siendo riesgoso para el almacenamiento debido a una posible proliferación de microorganismos, excepto si se emplea un empacado al vacío.

El rendimiento de las muestras de loche osmodeshidratado sometidas a secado por convección a temperaturas óptimas fue de un 12%, es decir que de 50.031 g que entró al proceso, se obtuvo 6.004 g de loche deshidratado. Similares valores de rendimiento (8-12%) de materia seca estable también obtuvo Ortiz (2012) aplicando estos métodos combinados.

Con respecto al contenido de carotenos del loche en fresco, los niveles obtenidos son bajos (1.884 µg/g) en comparación con otras variedades de zapallo. En tal sentido, Arima y Rodríguez-Amaya (1990), encontraron una variedad de zapallo indígena de la zona Noreste de Brasil, la Baianinha, *C. moschata*, cuyos promedios de β-carotenos fueron de 235 µg/g. Ramos y Rodríguez-Amaya. (2009) reportaron valores similares de 100.5 µg/g. Estas diferencias según Rodríguez-Amaya (1997) se pueden atribuir a varios elementos como el grado de madurez, variedades, efectos climáticos o geográficos, diferencias de cultivares, parte utilizada del fruto, manejo post-cosecha y almacenamiento.

Ortiz et al. 2008, reportan valores de 45% de retención de carotenos totales en frutos zapallos deshidratados con aire caliente sometidos a osmodeshidratación previa, empleando melaza pura, sin exposición al sol, valor no muy distante de esta investigación, donde se obtuvo un 32.34% de retención de carotenos.

La información dada en los gráficos y tablas sugieren que la retención de carotenos totales en la pulpa del zapallo loche secado con aire caliente, previamente osmodeshidratado, el aumento de concentración de sacarosa en el medio osmótico, es irrelevante para los fines de retención de carotenos, más sí es relevante para la ganancia de sólidos. Esto discrepa con lo que sostienen Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado (1996), quienes señalan que el empleo de Sacarosa aumenta la retención de volátiles.

Gonçalvez et al. (2007) señaló en su estudio los efectos de la temperatura sobre la peroxidasa en zapallos (*Cucúrbita máxima* L.) en un rango de 75-95°C que la inactivación de dichas enzimas sigue un modelo de Arrhenius de primer orden; de este modo la temperatura juega un papel importante durante la osmodeshidratación así como también el tiempo de inmersión en el medio osmótico, ya que al emplearse temperaturas medianamente altas (47-55°C), así como también el uso de sacarosa (Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 1996) éstas cumplirían parcialmente la

función de inhibición de enzimas responsables del pardeamiento de Maillard, la isomerización de los carotenos (Abushita et al. 2000) y la permeabilidad de las membranas celulares de la pulpa, facilitando así el fenómeno de la ósmosis. Al respecto, Rodríguez-Amaya (1997), indicó que esta operación produce “pérdidas significativas iniciales de caroteno a través de la degradación térmica, pero mejora la retención de los carotenos en forma apreciable durante el secado y almacenamiento posterior”, lo cual coincide con los valores obtenidos en nuestro estudio, en el osmodeshidratado, 39.1% y en el secado por convección, un promedio de 82.6% de retención de carotenos, de modo que procesar el secado con alta temperatura, bajo sombra y en tiempos cortos, es una buena alternativa. Similar retenciones de carotenos después de tratamiento térmico, en zapallos *C. máxima* “Exposição” y *C. moschata* “Menina Brasilera” fueron > 75%, según reportaron Provesi, Odebrecht y Amante, 2011.

Con respecto al secado, los resultados asociados a la pérdida de humedad se relacionan con el tiempo de deshidratación osmótica y temperatura de secado convectivo. A medida que aumenta el tiempo de deshidratación osmótica aumenta la pérdida de humedad pero lentamente, debido a la formación de una capa de la solución hipertónica en la superficie de la muestra, mientras que en el secado, la velocidad de pérdida de agua es rápida, debido a la aplicación de altas temperaturas en cortos tiempos. Ortiz (2012) llego a la misma conclusión aplicando estos métodos combinados.

Muchas investigaciones demostraron que los carotenos, incluyendo a las provitaminas A, están “más concentradas en la cáscara que en la pulpa de las frutas” (Rodríguez-Amaya 1999). Por lo tanto, se asume que sólo al pelar las frutas y vegetales se puede minimizar considerablemente la concentración de carotenos. En muestras de *C. pepo* y *C. moschata* inmaduras, las frutas enteras tuvieron contenidos de β-caroteno cinco veces mayores que las muestras peladas (1.5 comparados con 0.3 y 1.0 comparados con 0.2 µg/g, respectivamente) (Arima y Rodríguez-Amaya 1988),

CAPÍTULO V: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

5.1. Optimización de los parámetros de temperatura, tiempo y concentración en la osmodeshidratación

Para determinar los parámetros óptimos en la osmodeshidratación, se procedió a transformar la variable (contenido de caroteno) en una variable llamada “Desirability” o “Deseable”, por lo cual se requiere determinar cuál es la combinación de temperatura, tiempo y concentración de sacarosa en el medio osmótico para determinar el valor máximo de concentración de carotenos en el loche osmodeshidratado.

En la Figura 5.1, se muestra la intersección de las variables independientes optimizadas y con la máxima retención posible (deseable) de contenido de caroteno en el loche osmodeshidratado, en donde los parámetros óptimos de temperatura, tiempo y concentración de sacarosa están dados por los siguientes valores: 50°C, 107.49 minutos y 55°Brix respectivamente.

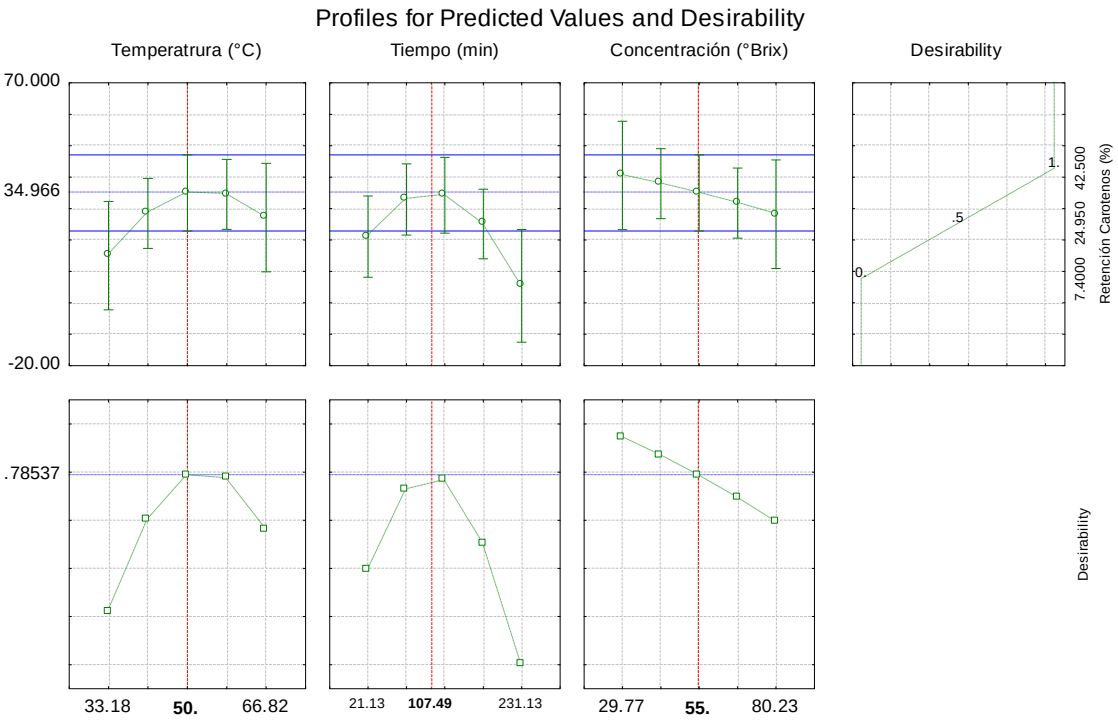
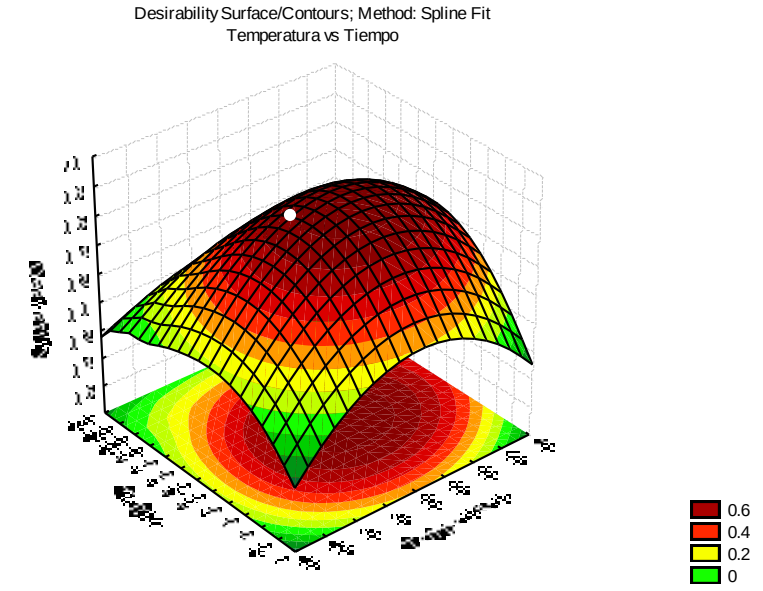
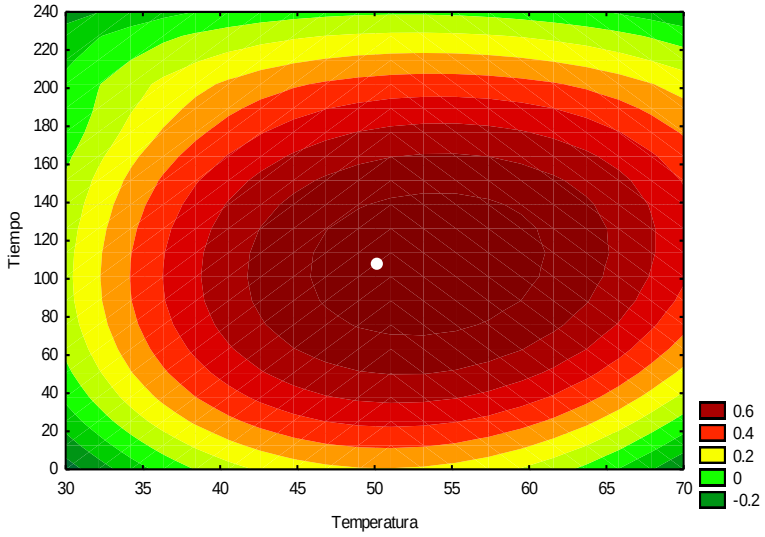


Figura 5.1: Perfil de las variables predictivas y deseables.
Fuente: Statistica 7.



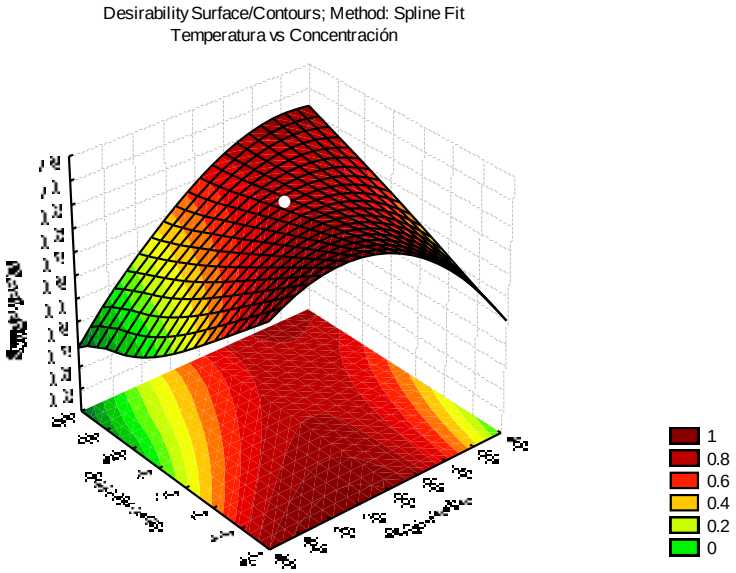
(a)



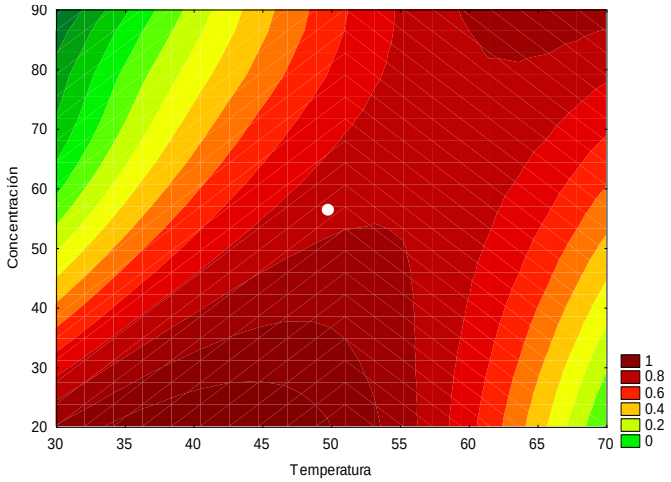
(b)

Figura 5.2: Gráficos de: (a) Superficie de respuesta; (b) Curvas de contornos; del valor deseable de retencón de carotenos en loche osmodeshidratado: Temperatura y Tiempo. *Fuente:* Statistica 7.

Como se puede apreciar en la Figura 5.2, el valor máximo de carotenos deseable en función a la temperatura y tiempo, se encuentra en la región más roja y concuerda con el Perfil de las variables predictivas y deseables (Figura 5.1), el cual se obtiene a través de una combinación de temperatura y tiempo de 50°C y 107.49 minutos respectivamente.



(a)

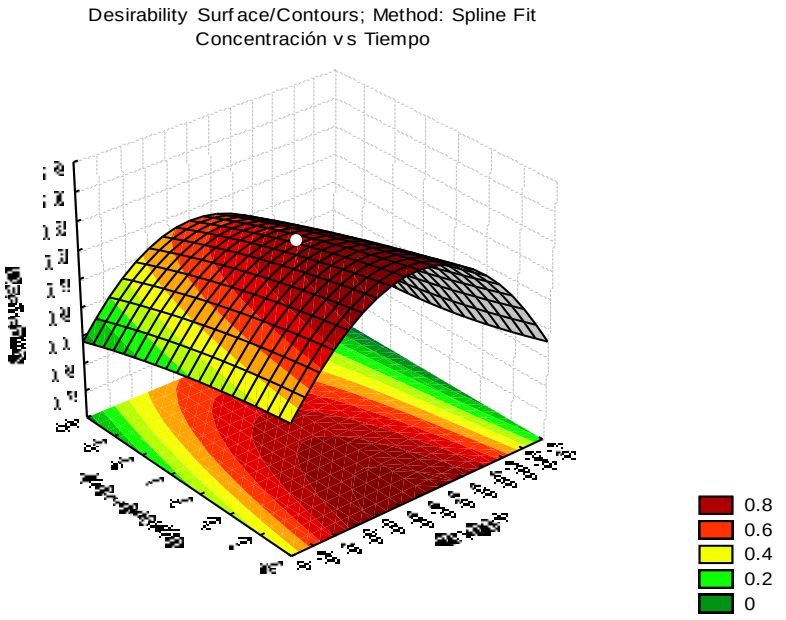


(b)

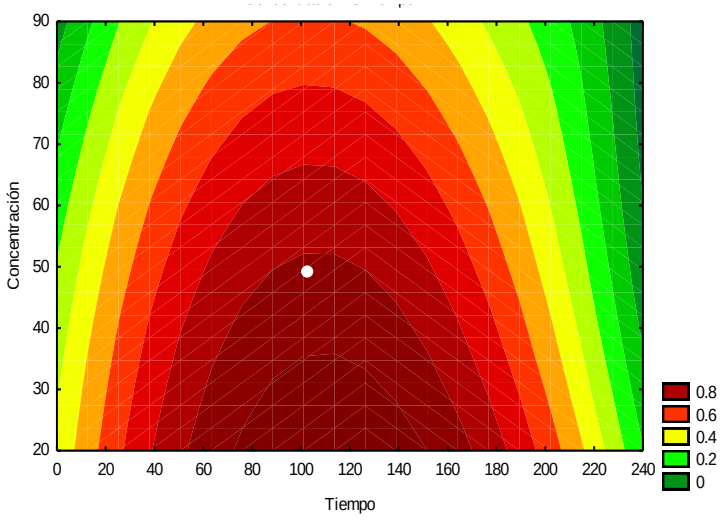
Figura 5.3: Gráficos de: (a) Superficie de respuesta; (b) Curvas de contornos; del valor deseable de retención de carotenos en loche osmodeshidratado: Temperatura y Concentración.

Fuente: Statistica 7.

La Figura 5.3, el valor máximo de carotenos deseable en función a la temperatura y tiempo, se encuentra en la región roja y concuerda con el Perfil de las variables predictivas y deseables (Figura 5.1), el cual se obtiene a través de una combinación de temperatura y concentración de 50°C y 55°Brix respectivamente.



(a)



(b)

Figura 5.4: Gráficos de: (a) Superficie de respuesta; (b) Curvas de contornos; del valor deseable de retención de carotenos en loche osmodeshidratado: Concentración y Tiempo.

Fuente: Statistica 7.

La Figura 5.4, el valor máximo de carotenos deseable en función al tiempo y la concentración de sacarosa, se encuentra en la región roja y concuerda con el Perfil de las variables predictivas y deseables (Figura 5.1), el cual se obtiene a través de una combinación de tiempo y concentración de 107.49 minutos y 55° Brix respectivamente.

5.2. Optimización de los parámetros de temperatura y tiempo en el secado convectivo

Para determinar los parámetros óptimos en el secado por convección, se procedió a transformar la variable (contenido de caroteno) en una variable llamada “Desirability” o “Deseable”, por lo cual se requiere determinar cuál es la combinación de temperatura y tiempo de secado para determinar el valor máximo de concentración de carotenos en el loche seco previamente osmodeshidratado.

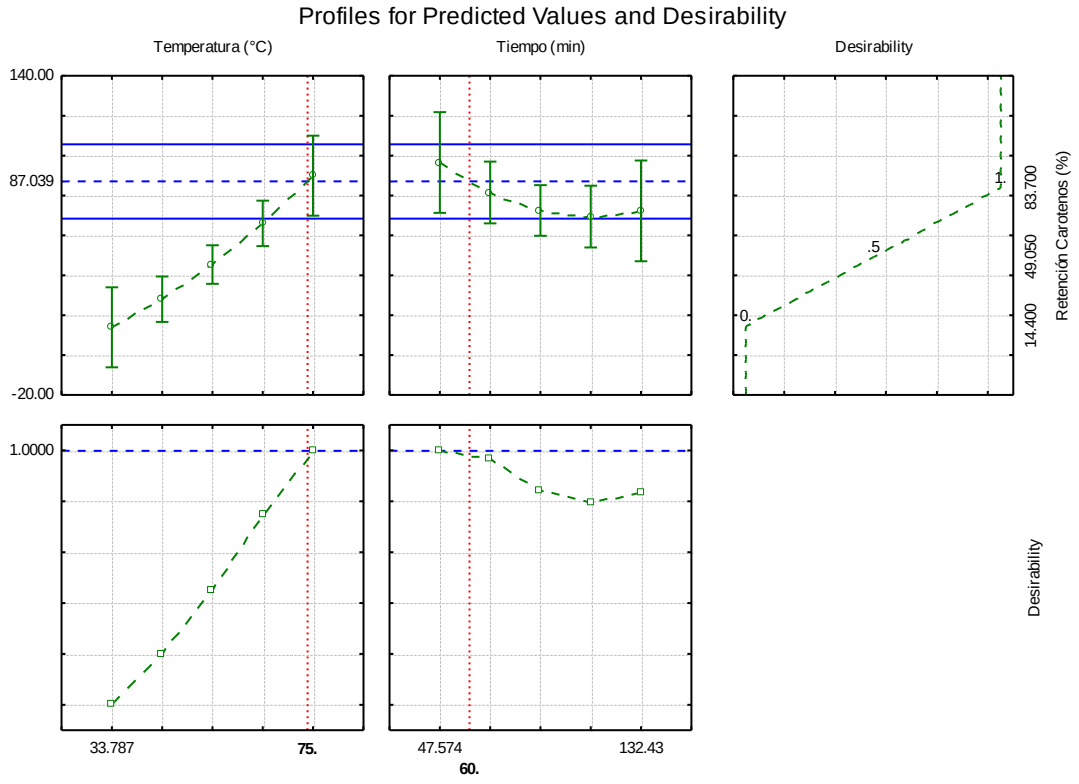
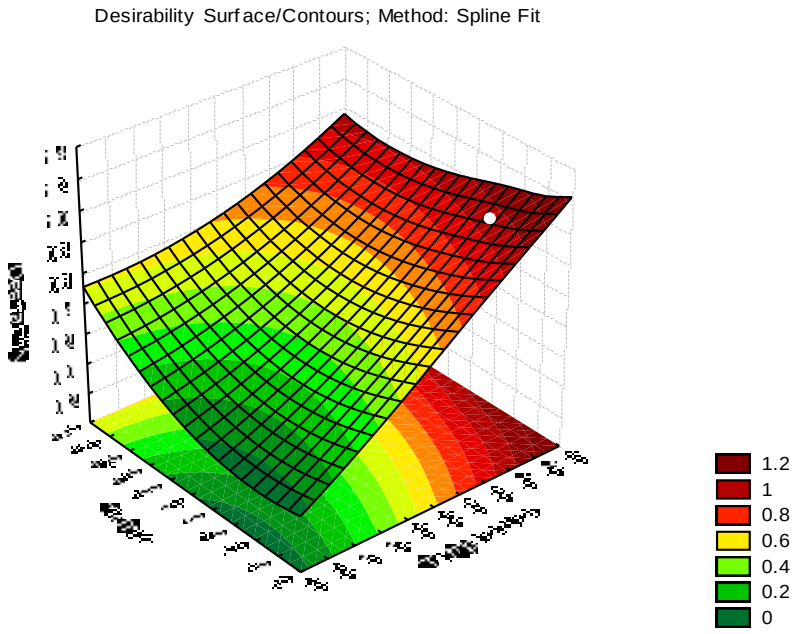


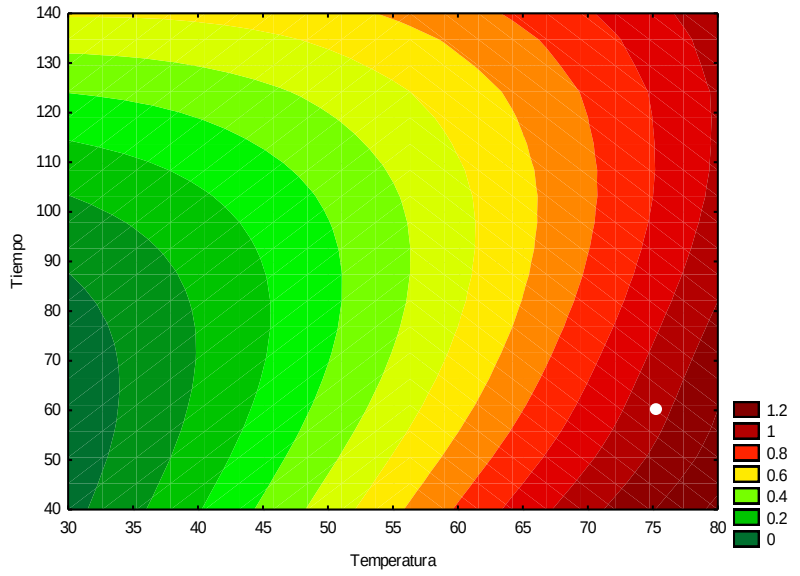
Figura 5.5: Perfil de las variables predictivas y deseables en el secado convectivo
Fuente: Statistica 7.

La Figura 5.5, muestra la intersección de las variables independientes optimizadas con la máxima retención posible (83.7%) de contenido de caroteno en el loche sometido a secado convectivo previamente osmodeshidratado, en donde señala que los parámetros óptimos son T°=75°C

y tiempo = 60 minutos.



(a)



(b)

Figura 5.6: Gráficos de: (a) Superficie de respuesta; (b) Curvas de contornos; del valor deseable de retención de carotenos en loche secado por convección previamente osmodeshidratado en función al tiempo vs temperatura.

Fuente: Statistica 7.

La Figura 5.6 muestra que la superficie de respuesta adopta una forma de valle ascendente, en donde los parámetros óptimos están dados por una T°= 75°C y tiempo de secado = 60 minutos; ambos parámetros ubicados

dentro de la región más roja de la gráfica.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

El zapallo loche fresco (*Cucúrbita moschata* Ducht.), presentó frutos pequeños, alargados, cuello poco pronunciado y superficie muy rugosa; su pulpa es anaranjada, compacta. El tamaño de este fruto es de 21 a 30 cm, piriforme, con color predominante de la cáscara color verde oscuro. Posee un 83.5% de humedad y una densidad de 1.007 g/cm3. Además cuenta con un pH de 6.5, sólidos solubles presentes de 10°Bx y concentración de carotenos de 1.884 µg/g.

Los parámetros óptimos de la osmodeshidratación para la retención de carotenos son: Temperatura =50°C, Tiempo de inmersión = 107.49 minutos y Concentración de sacarosa = 55°Brix. Asimismo, mediante el Análisis de los Efectos Estimados y el Diagrama de Pareto se determinó que la variable significativa ($p<0.05$) para el proceso fue el Tiempo de inmersión.

Los valores óptimos de secado convectivo para la retención de carotenos son: Temperatura = 75°C y Tiempo = 60 minutos. Asimismo, mediante el Análisis de los Efectos Estimados y el Diagrama de Pareto se determinó que la variable significativa ($p<0.05$) para el proceso fue la Temperatura.

Aplicando los parámetros óptimos en la osmodeshidratación y secado por convección, se obtuvo una retención de 32.37% de carotenos del zapallo loche, es decir, 0.610 µg/g de 1.884 µg/g han sido retenidos.

El rendimiento al final del proceso de secado osmo convectivo fue de 12%.

6.2. Recomendaciones

Procesar zapallos loches en un nivel óptimo de madurez porque es la etapa en la cual el alimento es apropiado para el procesamiento y contiene un alto nivel de carotenos.

Evitar pelar la cáscara del loche, considerando que es comestible en aquellos platillos cuya base es este producto o de otro modo, minimizar las pérdidas durante el corte o pelado de la cáscara para la preparación de snacks, por lo que podría ser una alternativa de evaluación futura a fin de elevar el nivel de contenido de carotenos del zapallo loche (*Cucúrbita moschata* Ducht) evaluando también su cáscara.

Trabajar en un ambiente con condiciones de luz tenue y procesar térmicamente el zapallo loche inmediatamente luego de ser cortado, pelado, rallado, etc. a fin de evitar una sobreexposición al oxígeno y provoque una degradación de los carotenos.

Emplear indumentaria de protección al manipular el reactivo Éter de petróleo. Trasvasar en un pote pequeño polarizado herméticamente cerrado la cantidad estimada a emplear para evitar el uso directo desde el envase principal y contaminar el reactivo.

Realizar la extracción de carotenos, con al menos 40 ml en 2 g de muestra, ya que el éter es extremadamente volátil; de trabajar con menos (20 ml), es muy probable que toda la muestra extraída se evapore junto con el éter y sea insuficiente para su filtrado.

En las soluciones osmóticas de alta concentración (60 - 80°Bx), agregar gradualmente el azúcar en constante agitación, de preferencia con rápida agitación mecánica o magnética, a fin de evitar saturar el medio osmótico y prolongar el tiempo de mezclado.

Utilizar una mezcla de otros solventes (acetona químicamente pura, alcohol isopropílico, benceno, hexano, etc.) para potencial el poder disolvente del éter de petróleo.

Utilizar curva patrón de carotenos con elaboración propia para mayor precisión.

Realizar un estudio comparativo de cuantificación de carotenos del loche entre métodos de mayor precisión (HPLC).

Utilizar agitadores mecánicos en el proceso de osmodeshidratado para mejorar la transferencia de masa y el rendimiento final del proceso.

Evaluar la influencia de la temperatura y tiempo de escaldado en inmersión y a vapor en las propiedades fisicoquímicas del loche como un pretratamiento antes del osmodeshidratado.

REFERENCIAS

Abushita A. A., Daood H.G. y Biacs P.A. (2000). Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and techonological factors. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48: 2075-2081

Abraão, A. S., Lemos, A. M., Vilela, A., Sousa, J. M. y Nunes, F. M. (2013). Influence of osmotic dehydration process parameters on the quality of candied pumpkins. Food and Bioproducts Processing, 91:481-494.

Arima, H. K. and D. B. Rodriguez-Amaya. (1988). Carotenoid composition and vitamin A value of commercial Brazilian squashes and pumpkins. J. Micronutr. Anual. 4: 177-191.

AOAC, (2002). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists.

Aquino, E. L. (2012). Efecto de la presión de vapor y tiempo de extracción en el rendimiento y en las características fisicoquímicas de aceite de cedrón (Aloysia triphylla). Agroind Sci. Trujillo-Perú.

Argaiz, A., López-Malo, A., Palou, E. y Welti Chanes, J. (1994). Osmotic dehydration of papaya with corn syrup solids. Drying technol., 12(7): 1709-1725.

Arteaga G., Lichang E., Vasquez-Arteaga M. y Nakai S., (1994). Systematic experimental designs for product formula optimization. Trends Food Sci. Technol. 5: 243-254.

Axtel, B. (1990). Food Processing Programme Manager. Intermediate Technology Publications. p. 40.

Ayala J. y Pardo R. (1985). Optimización por Diseños Experimentales con Aplicaciones en Ingeniería. Lima - Perú. pp 261.

Barbosa-Cánovas, G. y Vega-Mercado, H. (1996). "Deshidratación de Alimentos". Editorial Acribia S.A. Zaragoza -España. pp. 297.

Bildwell, R. G. S. (1979). Plant Physiology (2nd ed.). New York: Macmillan Pub. Co. New York, EUA.

Briton, G. (1985). General carotenoid method. In: Methods in enzymology. Acadademic Press inc. Ed: J.H. Law and H.C. Riling, vol. 111:113-149.

Cáritas del Perú, (2012). Manual de Cultivo: Loche de Lambayeque. Lima – Perú.

Chen, B. y Huang, J. (1998). *Degradation and isomerization of chlorophyll and b-carotene as affected by various heating and ilumination treatments*. Food Chemistry; 62: 299-307.

Cornell, J. (1990). How to apply response surface methodology. American Society for Quality, Milwaukee.WI., USA.

Cortez , O. (1998). Efecto de las películas de quitosano sobre la transferencia de masa en la transferencia de mas en la deshidratación osmótica de papaya. Tesis de maestría. UDLA-P.

Danilenko, M., y Levy, J. (2012). Carotenoids and apocarotenoids in cellular signaling related to cancer: A review. Molecular Nutrition y Food Research, 56(2), 259–269. Recuperado el 28 marzo de 2016 de: http://doi.org/10.1002/mnfr.201100311

Della, P., (2010). Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente. Tesis de maestría. Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires – Argentina. 213 pp.

Díaz, M., (2003). Evaluación premiliminar de la vida anaquel de papaya tratada osmóticamente con películas de quitosano. Tesis de grado. Recuperado el 04 abril 2016 de: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos

Estrada, B. A.; Rozo, A. (2004). Estudio de la cinética de deshidratación de zapallo, *Cucúrbita maxima* (Duch. ex lam) de la variedad unapal-mandarino, por métodos combinados (Deshidratación osmótica y Secado con Aire Caliente). Tesis de Grado (Ing. Agroind.) Palmira: Universidad Nacional de Colombia. 86 p.

FAO, (1997). Procesamiento a pequeña escala de frutas y hortalizas amazónicas nativas e introducidas. Manual técnico. Recuperado el 15 de abril de http://www.fao.org/docrep/x5029s/X5029S00.htm#Contents

Fellows, M. (1994). Tecnología del Procesado de Alimentos. Editorial Acribia Zaragoza –España. Pp.549

Garcia, C. C., Mauro, M. A., y Kimura, M. (2007). Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucúrbita moschata*). Journal of Food Engineering, 82(3), 284–291. doi:10.1016/j.jfoodeng.2007.02.004

García Reyes, M., Gómez-Sánchez Prieto, Iván Espinoza Barrientos, Cecilia Bravo Rebatta, F., y Ganoza Morón, L. (2009). Tablas peruanas de composicion de alimentos. Ciencia y Tecnología de Alimentos - RVCTA - Revista Venezolana.

Geankoplis Ch., (1993). Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. Ed. Continental S.A. México.

Giraldo, D. P., Arango, L. N., Márquez, C. J., (2004). Osmodeshidratación de mora de castilla (Rubus Glaucus Benth.) con tres agentes edulcorantes. Revista Facultad Nacional. Vol. 57, No. 1

Gonçalvez, E., et al. (2007). Modelling the kinetics of peroxidase inactivation, colour and texture changes of pumpkin (*Cucúrbita maxima* L.) during blanching.

Journal of food engineering. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.01.011. Lisboa, Portugal.

González, E., Montenegro, M., Nazareno, M., y López, B. (2001). Carotenoid composition and vitamin A value of an Argentinian squash (*Cucúrbita moschata*). Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 51(4), 395-399. Recuperado en 13 de abril de 2016, de: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttextypid=S00040622200 1000400012ylng=esytlng=en.

Gutiérrez, H. y De La Vara, R. (2004). Análisis y diseño de Experimentos. Mc Graw-Hill. Interamericana Editores. México.

Henderson, C. y Muñoz, E. (2014). Determinación de la cantidad de polifenoles y su actividad antioxidante en el zapallo loche (*Cucúrbita moschata* Duchesne) fresco, sancochado y frito procedente del departamento de Lambayeque. Tesis de Grado. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Líma, Perú.

Heng, W., Gilbert, J.L. (1990). Osmotic dehydration of papaya: influence of process variables on the quality. Sciences des Aliments. 10:831-848.

Henry, L., Puspitasari-Nienaber, N., Jarén-Galán, M., Van Breemen, R., Catignani, G. y Schwartz, S. (2000). *Effects of ozone and oxygen on the degradation*

of carotenoids in an aqueous model system. Journal of Agricultural and Food Chemistry; 48(10): 5008-5013.

Howard L.R., Braswell D.D., Aselage J. (1996). Chemical composition and color of strained carrots as affected by processing. Journal of Food Science; 61(2): 327-330.

Ibarz A. y Barboza-Cánovas G.V.. (2005). Operaciones Unitarias en la ingeniería de los alimentos. Ed.: Mundi-Prensa. Madrid-España.

Instituto Peruano del Espárrago y Hortalizas - IPEH (2009). Proyecto Chavimochic. Boletín informativo. Recuperado de http://www.chavimochic.gob.pe/portal/Ftp/Informacion/Boletines/B_Abril_2009.pdf

Lazarides H.N. (2004). Osmotic preconcentration: Developments and prospects. En: Minimal Processing of foods and process optimization. Ed (es): R.P. Singh y f.A. Oliveira. CRS Press

Lee, C. H., Cho, J. K., Lee, S. J., Koh, W., Park, W., y Kim, C. H. (2002). Enhancing β-carotene content in Asian noodles by adding pumpkin powder. Cereal Chemistry, 79(4), 593–595.

Lerici, C. R, (1988). Osmotic dehydration of fruits: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. Journal Food Science, Oxford, v.50, p.1217-1226

Lenart A. 1996. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. Drying Tech., 14(2): 391-413.

Linden, C.; Lorient, D. (1996). Bioquímica agroindustrial: Revalorización alimentaria de la producción agrícola. Acribia. 428p. Zaragoza, España.

López, M. (2001). Secado de frutas y verduras. Ed. Fundación Mariano Ospina Pérez. Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA. 44 p. Huila, Colombia.

Mállap, C. I., (2012). Aplicación del Método de Superficie de respuesta en el estudio del efecto de la temperatura y la velocidad del aire de secado convectivo en la humedad y pérdida del ácido fólico del Espárrago verde previamente osmodeshidratado. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Trujillo. 78 pp.

Mangles, A.; Holden J.; Beecher G.; Forman M. y Lanza E. (1993). Carotenoid of fruits and vegetables: An evaluation of analytic data. Journal of the American Dietetic Association. 93: 284-296, EUA.

Marcotte, M. (1988). Mass transport phenomena in osmotic processes; experimental measurements and theoretical considerations. Tesis de maestría, The University of Alberta, Department of Food Science, Edmonton, Alberta.

Meléndez-Martínez, A. J., Vicario, I. M., y Heredia, F. J. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. Archivos Latinoamericanos de

Nutrición, 54(2), 209-215. Recuperado en 14 de abril de 2016, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttextypid=S00040622200 4000200011ylng=esytlng=es

Meyers, K. J., Mares, J. A., Igo, R. P., Truitt, B., Liu, Z., Millen, A. E., others. (2014). Genetic evidence for role of carotenoids in age-related macular degeneration in the carotenoids in age-related eye disease study (CAREDS). Investigative Ophthalmology y Visual Science, 55(1), 587–599

Molano, I., Serna, C. y Castaño, C. (1996). Deshidratación de Piña Variedad Cayena Lisa por Métodos Combinados. En: Revista Cenicafé. Vol. 47, No. 3; p.140-158.

Montgomery, D. C. (1991). Design and Analysis of Experiments, 3rd. ed., John Wiley and Sons, New York, NY, USA.

Mujumdar, A. S. (1987). Handbook of Industrial Drying. Marcel Dekker, Inc. E.U.A.

Murphy, E.; Criner, P. y Gray, B. (1975). *Comparisons of methos for calculating retentions of nutrients in cooked food.* Journal Agriculture Food Chemical. 23:1153-1157

Nascimento, P. (2006). Avaliação da retenção de carotenóides de abóbora, mandioca e batata doce. Dissertação Mestrado (Eng Ciência Alimento).

São José do Rio Preto: Universidade Estadual Paulista. 67f Tomada de:http://www.biblioteca.unesp.br/bibliotecadigital/document/get.php/4133/nascimento_p_me_sjrp.pdf Acceso: 21/12/2015

Neumark, H. (1970). Low utilization of carotene by sheep. Israel: Volcani Institute of Agricultural Research. Tomado de: http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/afris/refs/365. Acceso: 01/04/2016

Nsonzi, F.; Ramaswamy, S. (1998). Osmotic dehydration kinetics of blueberries. Drying Tech. 16(3/5): 725-741.

Noseworthy, J., y Loy, B. (2008). Improving eating quality and carotenoid content of squash. In M. Pitrat (Ed.), Proceedings of the IXth EUCARPIA meeting on genetics and breeding of Cucúrbitaceae, INRA, Avignon (France), May 21–24th, 521–528.

Nowicka, P., Wojdyło, A., Lech, K., y Figiel, A. (2015). Influence of Osmodehydration Pretreatment and Combined Drying Method on the Bioactive Potential of Sour Cherry Fruits. Food and Bioprocess Technology, 8(4), 824–836.

Ortiz G. S., Sánchez L. J, Valdés R. M., Baena G., D. y Vallejo, F. A., (2008). Efecto de la osmodeshidratación y secado en la retención de carotenos en fruto de zapallo. Acta Agronómica, 57(4), 269-274.

Ortiz, B. S., (2003). Secado con bomba de calor para la deshdratación de frutos. Tesis de grado. Universidad de las Américas Puebla. Cholula, Puebla – México. Recuperado el 15 de abril del 2016 de: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/ortiz_a_bs/

Pereda O., et al. (1998) Tecnología de los alimentos: componentes de los alimentos y procesos. Síntesis, 365 p. Madrid, España.

Perry, R. H. (1984). Perry´s Chemical Engineers Handbook. Sexta edición. Mc Graw Hill.

Ponting, J. D. (1973). Osmotic Dehydration of Fruits: Recent Modification and Applications. Proc Bioch 8(12): 18-20.

Pucuji, E. A., (2015). Programación lineal multicriterio y minimización del error en problemas de clasificación: Aplicación en la calificación crediticia. Tesis de Grado. Escuela Politécncia Nacional. Quito – Ecuador. 188 pp.

Proyecto Chavimochic. (2009) *Boletín informativo Abril 2009.* Recuperado de http://www.chavimochic.gob.pe/portal/Ftp/Informacion/Boletines/B_Abril_2009.pdf

Provesi J., Odebrecht C., y Amante E. (2011). Changes in carotenoids during processing and storage of pumpkin puree. Food Chemistry. Doi 10.1016/j.foodchem.2011.03.027

Rahman, S. and Perera C., 1996. Osmotic dehydration: a pretreatment for fruit and vegetables to improve quality and process efficiency. The Food Technologist, 25: 144-147

Ramos, D. y Rodriguez-Amaya, D. (2009). Determination of the vitamin A value of common Brazilian leafy vegetables. J. Micronutr. Anual. 3:147-155.

Raoult-Wack, A., Botz, O., Guilbert, S. y Ríos G. (1991). Simultaneous water and solute transportation in shrinking media- Part 1. Simultaneous dewatering and impregnation soaking process analysis (osmotic dehydration). Drying Technol. 9 (3): 589-612. Citado en “Dehydration of foods”, Barbosa-Cánovas, G. y Vega Mercado, H. Chapman y Hall, New York, EUA.

Rastogi, N., Raghavarao, K., Niranjan, K. y Knorr, D., (2002). Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer, Trends in Food Science and Technology, 13, 48-59.

Rodríguez-Amaya, D. B. (1999). La retención de los carotenoides, provitamina A en alimentos procesados preparados y almacenados. Brasil, SP: Universidade Estadual de Campinas. 105 p.

Rodríguez-Amaya, D. B.; Kimura, M. (2004). Handbook for Carotenoid Analysis. Washington, DC: IFPRI- CIAT. 63 p. (HarvestPlus Technical Monograph 2).

Rodríguez-Amaya, D. B. (2003). Enhancing the carotenoid levels of foods through agriculture and food technology. Internet Paper for Food, Nutrition and Health. FoodAfrica, Internet Forum 31.

Sacchetti G., Gianotti A., Dalla Rosa M. (2001). Sucrose-salt combined effects on masstransfer Kinetics and product acceptability. Study on apple osmotic treatments. Journal of Food Engineering, v.49, p. 163-173.

Selim, K., Tsimidou, M., Biliaderis, C. (2000). *Kinetic studies of degradation of saffron carotenoids encapsulated in amorphous polymer matrices*. Food Chemistry; 71: 199-206.

Simal, S.; Deya, E.; Frau, M.; Rossello, C. (1997). Simple Modelling of Air Drying Curves of Fresh and Osmotically Predehydrated Apple Cubes. J. Food Eng 33: 139-150.

Sharoni, Y., Linnewiel-Hermoni, K., Khanin, M., Salman, H., Veprik, A., (2012). *The role of lycopene and its derivatives in the regulation of transcription systems: implications for cancer prevention.* 96(5):1173S-8S. doi: 10.3945/ajcn.112.034645.

Spiazzi E. y Mascheroni R. (2001). Modelo de deshidratación Osmótica de alimentos vegetales. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA). MAT – Serie A. 4. p. 23-32. La Plata, Argentina

Sluka, E. F., Monserrat, S. V, Orlando, C. A., y Fernández, M. C. (2014). Optimización de la técnica de osmodeshidratación al vacío en cubos de batata (Ipomoea batatas L .). 34, 17–20.

Suca, C. A., Suca, G. R., (2010). Deshidratación osmótica de alimentos. En: Boletín de divulgación tecnológica agroindustrial. Vol.1, No 1. Pág. 24.

Torres, D., Salvador, D., Baltazar, R y Siche, R. (2013). Optimización de las condiciones de deshidratación osmótica de espárrago (Asparragus officinalis) utilizando la metodología de superficie de respuesta. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.

Wagner, L. y Warthesen, J. (1995). *Stability of spray-dried encapsulated carrot carotenes*. Journal of Food Science; 60: 1048-1052.

Waliszewski, K.; Pardio, V.; Ramírez, M. (2002). Effect of Chitin on color during osmotic dehydration of Banana Slices. Drying Technology 20 (3): 719-726

Williams, B. y Wilson, K. (1981). Principios y técnicas de bioquímica experimental. Ed. Omega S.A. Barcelona, España.

WHO. Global prevalence of vitamin A deficiency in populations at risk 1995–2005. WHO Global Database on Vitamin A Deficiency. Geneva, World Health Organization (2009)

Zapata, E. y Castro, G. (1999). Deshidratación osmótica de frutas y vegetales. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Vol. 52, No.1 p. 451-466. Medellín, Colombia.

Zapata, J. (1998). Determinación de parámetros cinéticos del alcohol etílico como agente osmodeshidratante. Tesis (Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín, Colombia.

ANEXOS

ANEXO I

Métodos para la determinación de pH, acidez, sólidos solubles, sólidos totales

Método para determinación del pH (A.O.A.C. 981.12)

Procedimiento:

Colocar en un vaso de precipitación 10 g de muestra a 20 ºC.

Sumergir la membrana del vidrio del pH – metro.

Tomar lectura cuando se establezca la medida.

Método para la determinación de sólidos solubles (A.O.A.C. 932.12)

Procedimiento:

Colocar 2 a 3 g de muestra a 20 ºC en el visor del refractómetro.

Tomar la lectura directa de la concentración de sólidos solubles expresado en ºBrix.

Método para la determinación de Humedad (A.O.A.C. 932.12)

Procedimiento:

Pesar 5 g de muestra

Llevar la muestra a una estufa a 105°C durante 4 horas

Se dejará enfriar en un desecador y se calculará el porcentaje de humedad por pérdida de peso:

$$\%\, Humedad = \frac{Peso\ inicial\ Muestra - Peso\ final\ Muestra}{Peso\ inicial\ Muestra} * 100$$

Método para la determinación de Densidad Aparente (A.O.A.C. 945.06)

Procedimiento:

Llenar agua destilada a 20°C como líquido de referencia en una probeta graduada.

Colocar la muestra en la probeta graduada

Medir el volumen de agua desplazada por la muestra

ANEXO II

Cálculo de Determinación de Humedad: A.O.A.C. 7.003/84

@105°C x 4 h

Muestra	Peso Promedio Unidad	Estado
Loche	39.602 g	Maduro

N°	Código	Muestra	W_P	W_{Li}	$W_{(P+Li)i}$	$W_{(P+Li)f}$	W_F
01	L1	Loche	48.454 g	5.006 g	53.460 g	49.323 g	0.869 g
02	L2		35.611 g	5.021 g	40.631 g	36.423 g	0.812 g
03	L3		34.743 g	5.057 g	39.800 g	35.585 g	0.842 g

$$\%\ Humedad = \frac{Peso\ inicial\ muestra - Peso\ final\ muestra}{Peso\ inicial\ muestra} * 100$$

Resultados finales del Análisis de Humedad @ 105°C										
LOCHE										
Código	$W_{(P+Li)f}$	% Humedad		Gr. Humedad		% Materia Seca		Gramos de materia Seca		Característica de la materia seca
L1	49.323 g	82.6%	**83.2%**	4.137 g	**4.187 g**	17.4%	**16.8%**	0.869 g	**0.841 g**	Oscuro / rígido
L2	36.423 g	83.8%		4.209 g		16.2%		0.812 g		Oscuro / rígido
L3	35.585 g	83.3%		4.215 g		16.7%		0.842 g		Oscuro / rígido

ANEXO III

Cálculos para la obtención de la Desviación estándar, promedio y variabilidad de la caracterización física del loche fresco

Humedad

Promedio

$$\bar{x} = \frac{82.6 + 83.8 + 83.3}{3} = 83.23$$

x	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$
82.6	$82.6 - 83.23 = -0.63$	$(-0.63)^2 = 0.3969$
83.8	$83.8 - 83.23 = 0.57$	$(0.57)^2 = 0.3249$
83.3	$83.3 - 83.23 = 0.07$	$(0.07)^2 = 0.0049$
		$\sum 0.7267$

Desviación Estándar

$$D.S. = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{0.7267}{2}} = 0.602$$

Variabilidad

$$Var = \frac{\sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N - 1}}}{\bar{x}} = \frac{0.602}{83.23} = 0.0072$$

Densidad

Promedio

$$\bar{x} = \frac{1.007 + 1.009 + 1.010}{3} = 1.008$$

x	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$
1.007	$1.007 - 1.008 = -0.001$	$(-0.001)^2 = -0.000001$
1.009	$1.009 - 1.008 = 0.001$	$(0.001)^2 = 0.000001$
1.010	$1.010 - 1.008 = 0.002$	$(0.002)^2 = 0.000004$
		$\sum 0.000004$

Desviación Estándar

$$D.S. = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{0.000004}{2}} = 0.0015$$

Variabilidad

$$Var = \frac{\sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N - 1}}}{\bar{x}} = \frac{0.0015}{1.008} = 0.0015$$

ANEXO IV
Cálculos para la obtención de la Desviación estándar, promedio y variabilidad de la caracterización química del loche fresco

Sólidos solubles

Promedio

$$\bar{x} = \frac{10 + 9.8 + 10}{3} = 9.933$$

x	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$
10	$10 - 9.933 = 0.067$	$(0.067)^2 = 0.0045$
9.8	$9.8 - 9.933 = 0.133$	$(0.133)^2 = 0.0176$
10	$10 - 9.933 = 0.067$	$(0.067)^2 = 0.0044$
		$\sum 0.0264$

Desviación Estándar

$$D.S. = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{0.0264}{2}} = 0.115$$

Variabilidad

$$Var = \frac{\sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N - 1}}}{\bar{x}} = \frac{0.115}{9.933} = 0.0116$$

Potencial de Hidrógeno

Promedio

$$\bar{x} = \frac{6.5 + 6.7 + 6.4}{3} = 6.54$$

x	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$
6.5	$6.5 - 6.533 = -0.04$	$(-0.04)^2 = -0.0016$
6.7	$6.7 - 6.533 = 0.16$	$(0.16)^2 = 0.0256$
6.4	$6.4 - 6.533 = -0.14$	$(-0.14)^2 = -0.0196$
		$\sum 0.0044$

Desviación Estándar

$$D.S. = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{0.0044}{2}} = 0.046$$

Variabilidad

$$Var = \frac{\sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N - 1}}}{\bar{x}} = \frac{0.046}{6.54} = 0.0070$$

Carotenos

Promedio

$$\bar{x} = \frac{1.884 + 1.883 + 1.889}{3} = 1.885$$

$\boldsymbol{x}$	$\boldsymbol{x - \bar{x}}$	$\boldsymbol{(x - \bar{x})^2}$
1.884	$1.884 - 1.885 = -0.001$	$(-0.001)^2 = -0.000001$
1.883	$1.883 - 1.885 = -0.002$	$(-0.002)^2 = -0.000004$
1.889	$1.889 - 1.885 = 0.004$	$(0.004)^2 = 0.000016$
		$\sum 0.000011$

Desviación Estándar

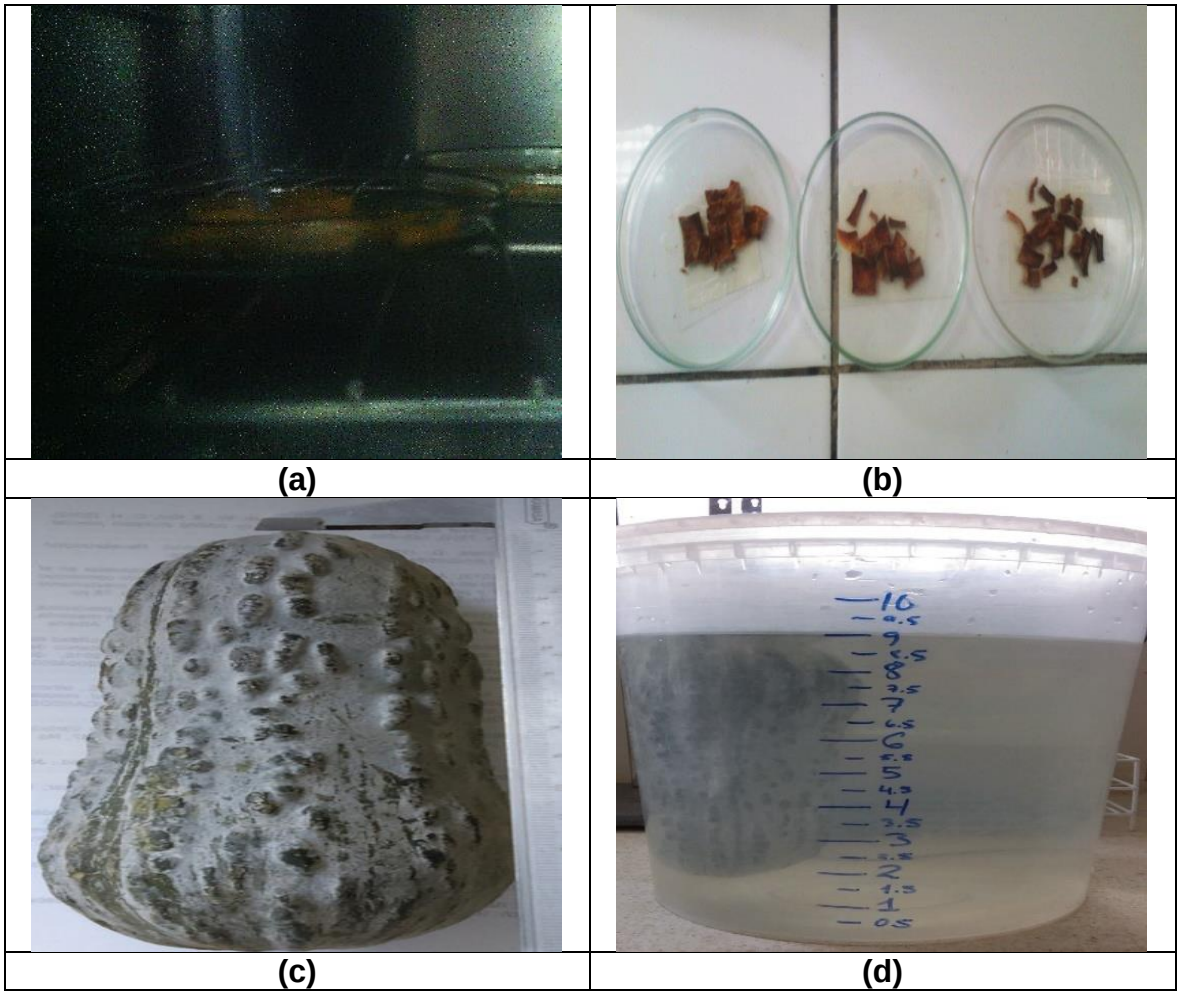
$$D.S. = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{0.0044}{2}} = 0.0023$$

Variabilidad

$$Var = \frac{\sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N - 1}}}{\bar{x}} = \frac{0.0023}{1.885} = 0.0012$$

ANEXO V

Caracterización física del zapallo loche (*Cucúrbita moschata* Ducht)

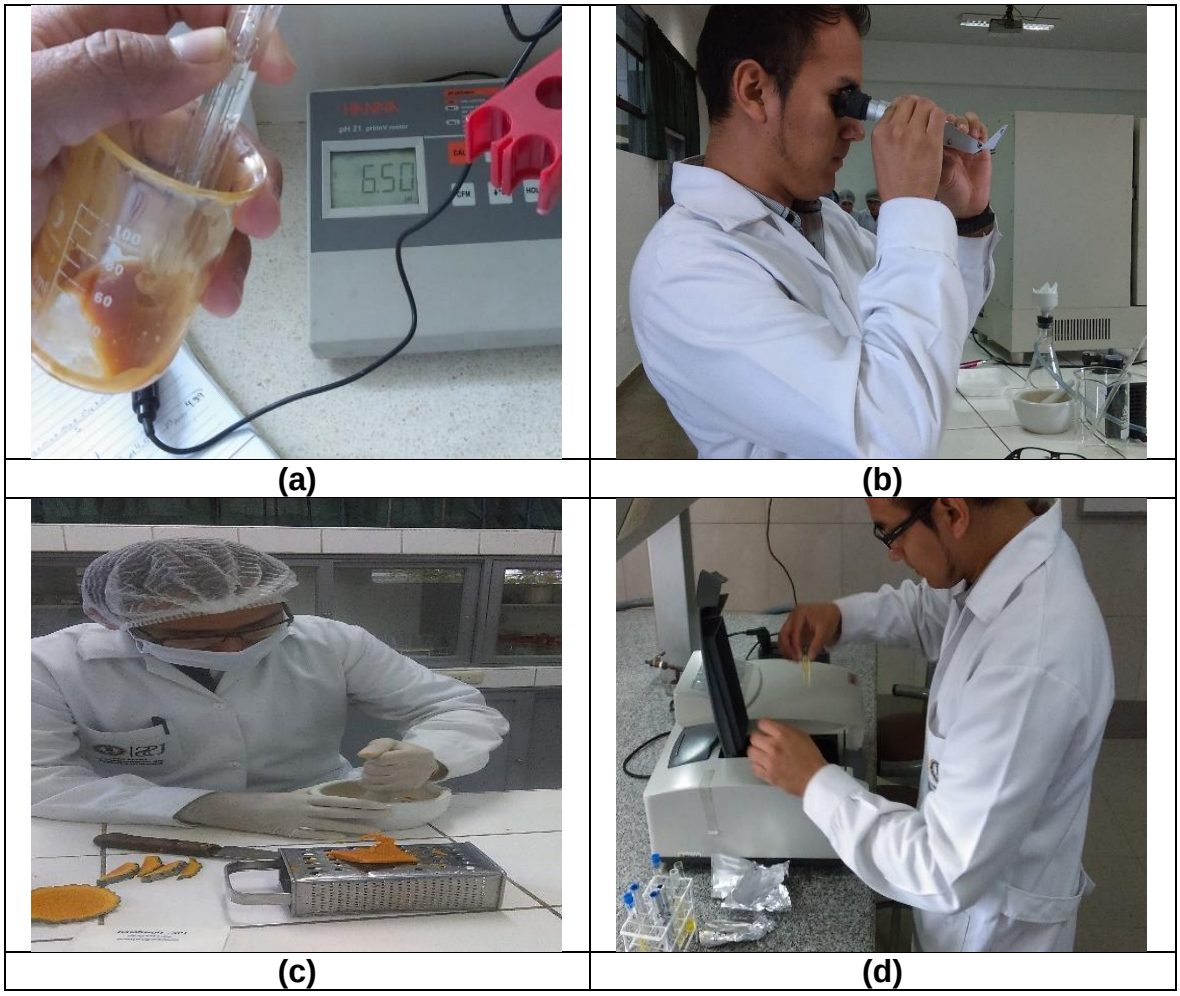


Anexo II: Caracterización física del Loche, (a) Muestras de loche fresco en estufa, (b) Muestras secas de loche, (c) Muestra ejemplar de loche fresco entero y (d) Desplazamiento de volumen de agua destilada para medir densidad aparente.

Fuente: Laboratorio de Química de la Universidad Señor de Sipán, 2016

ANEXO VI

Caracterización química del zapallo loche (*Cucúrbita moschata* Ducht)



(a) **(b)**

(c) **(d)**

Anexo III: Caracterización química del loche. (a) Análisis de pH en potenciómetro; (b) Lectura de °Brix en el refractómetro; (c) Extracción de carotenos del loche y (d) Análisis Espectrofotométrico.

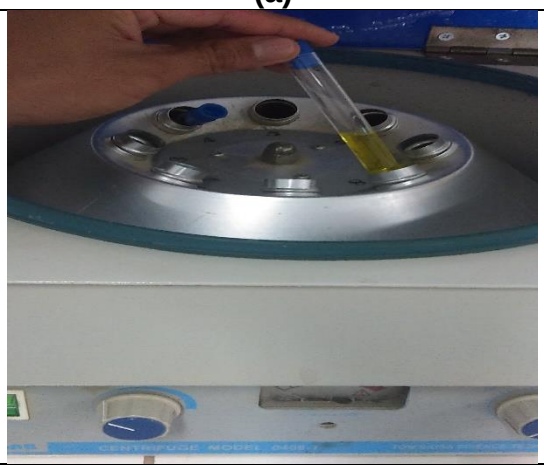
Fuente: Laboratorio de Química de la Universidad Señor de Sipán, 2016

ANEXO VII

Equipos empleados en la investigación

(a)

(b)



(c)

(d)

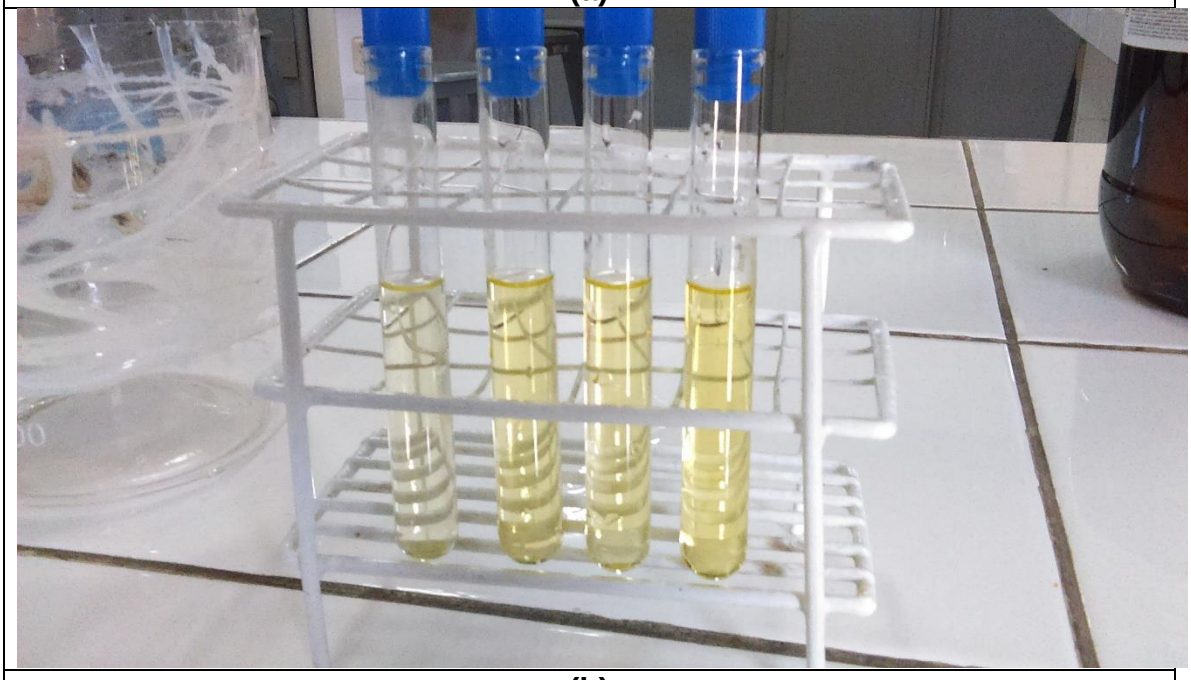
Anexo IV: Equipos: a) Baño maría marca Tom's-USA Science – Tech Group, modelo CDK-S24; (b) Estufa eléctrica DHG 9030A; (c) Centrífuga y (d) Espectrofotómetro UV/Visible, Modelo: S 2100UV

Fuente: Laboratorio de Química de la Universidad Señor de Sipán, 2016

ANEXO VIII

Materiales empleados en la investigación

(a)



(b)

Anexo V: Equipos: a) Mesa de trabajo con todos los materiales empleados en la investigación y (b) Muestras diluidas de caroteno en éter de petróleo.

Fuente: Laboratorio de Química de la Universidad Señor de Sipán, 2016

ANEXO IX

Cálculos para la determinación de humedad en base seca en y al final del Proceso

Muestra	Condiciones iniciales del Sólido				Pérdida de humedad (%)		Condiciones finales			Porcentaje de Humedad en base húmeda al final del O.D. (%)
	Peso (g)	Humedad Inicial (%)	Contenido de agua (g)	Contenido de Sólido Seco (g)	(%)	(g)	Peso (g)	Contenido de Agua (g)	Contenido de Sólido	
Loche	50.031	83%	41.526	8.505	18	7.475	41.011	34.051	52.556	80.015

Contenido de Sólido Seco:

50.031 g_____100%

X _____ 83%

Agua = 41.526 g

➡ 50.031 g – 41.526 g = 8.505 g de S.S.

Contenido de Humedad:

41.526 g_____100%

X _____ 18%

Agua = 7.475 g

➡ 41.526 g – 7.475 g = 34.054 g de agua que queda en el loche

Sólido= S.S. + Agua

8.505 + 34.051 = 42.556 g

42.556 g_____100%

34.051 g_____ X%

➡ 80.015% de humedad que posee el loche al final del osmodeshidratado.