

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



**OPTIMIZACIÓN DEL SECADO OSMO - CONVECTIVO DE**

**(*Hylocereus megalanthus*) PITAHAYA.**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN  
INGENIERIA QUIMICA

AUTOR

TEODORA LLOCLLA AGUILAR

ASESOR

Dr. CESAR GUTIERREZ CUBA

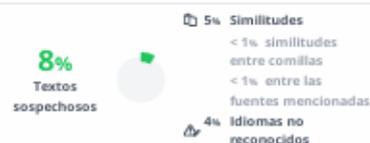
LINEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERIA DE PROCESOS

Callao, 2024

Perú



# TESIS DE MAESTRIA IQ - LLOCLLA AGUILAR TEODORA



Nombre del documento: TESIS DE MAESTRIA IQ - LLOCLLA AGUILAR TEODORA.pdf  
ID del documento: 9c11914468373da017bbde304cc5269f299fcadc  
Tamaño del documento original: 2,3 MB

Depositante: FIQ PREGRADO UNIDAD DE INVESTIGACION  
Fecha de depósito: 9/7/2024  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 9/7/2024

Número de palabras: 15.152  
Número de caracteres: 113.131

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes de similitudes

### Fuentes principales detectadas

| N° | Descripciones   | Similitudes | Ubicaciones | Datos adicionales                       |
|----|---|-------------|-------------|---|
| 1  | <a href="https://revistaneque.org/index.php/revistaneque/article/download/105/32/1/inline=1">revistaneque.org</a><br>4 fuentes similares                                    | 1%          |             | Palabras idénticas: 1% (207 palabras)   |
| 2  | <a href="https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/20.500.12952/7881/1/TESIS-ALBERDI.pdf">repositorio.unac.edu.pe</a><br>2 fuentes similares                                | 1%          |             | Palabras idénticas: 1% (222 palabras)   |
| 3  | <a href="https://revistaneque.org/index.php/revistaneque/article/download/105/320">revistaneque.org</a><br>3 fuentes similares  | 1%          |             | Palabras idénticas: 1% (180 palabras)   |
| 4  | <a href="https://doi.org/10.17268/ingyoind.sci.2018.01.10">doi.org   Deshidratación osmoconvectiva en frutas y hortalizas: Una revisión de de...</a><br>4 fuentes similares | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (118 palabras) |
| 5  | <a href="https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5583468.pdf">dialnet.unirioja.es</a><br>1 fuente similar   | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (109 palabras) |

### Fuentes con similitudes fortuitas

| N° | Descripciones  | Similitudes | Ubicaciones | Datos adicionales                      |
|----|--|-------------|-------------|--|
| 1  | <a href="https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/2020/01/9tahaya.pdf">www.inia.gob.pe</a>   | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (36 palabras) |
| 2  | <a href="https://fca.uncuyo.edu.ar/upload/17atc_della-rocca-uth-bs-as-version-comegida.pdf">fca.uncuyo.edu.ar</a>                                    | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (35 palabras) |
| 3  | <a href="http://literatura.cidiroaxaca.ipn.mx/bitstream/LITER_CIDIROAXA/525/1/Muñiz%20Becerr%C3%BA,5...">literatura.cidiroaxaca.ipn.mx</a>           | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (25 palabras) |
| 4  | <a href="https://www.redalyc.org/pdf/1953/195317606026.pdf">www.redalyc.org</a>  | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (28 palabras) |
| 5  | <a href="http://dx.doi.org/10.4067/s0718-07642016004000003">dx.doi.org   Kinetic of Osmotic Dehydration of Avocado (Persea americana), and Co...</a> | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (27 palabras) |

### Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://orcid.org/0000-0002-0055-7592?lang=es>
- <http://digital.csic.es/handle/10261/122055>
- <https://academic.oup.com/pcp/article/50/2/230/1859845?login=false>
- <https://orcid.org/0000-0002-1971-7330>
- <http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S190>

## INFORMACIÓN BÁSICA

**FACULTAD:** Ingeniería Química

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:** POSGRADO- Facultad de Ingeniería Química

**TÍTULO:** “Optimización del secado osmo - convectivo de (*Hylocereus megalanthus*) pitahaya.

**AUTOR/ CODIGO ORCID/ DNI**

Teodora Lloclla Aguilar / 00000002-0055-7592/ 10202558

**ASESOR/ CODIGO ORCID/ DNI:** Dr. Cesar Gutiérrez Cuba/ 0000-0002-8035-

417X / 28276220

**LUGAR DE EJECUCION:** - Laboratorio de Investigación (FIQ).

**UNIDAD DE ANALISIS:** La pitahaya de la región de Amazonas (Distrito de Churuja)

**TIPO/ENFOQUE/DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:**

Aplicada/ cuantitativo/ experimental

**TEMA OCDE:**

2. 04. 01 Ingeniería Química

## HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

La presente tesis fue sustentada por la bachillera AGUILAR LLOCLLA, TEODORA ante el JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS conformado por los siguientes docentes ordinarios.

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| Dr. CARRASCO VENEGAS LUIS AMERICO   | Presidente |
| Dr. DIAZ BRAVO PABLO BELIZARIO      | Secretario |
| Dr. MEDINA COLLANA JUAN TAUMAUTURGO | Miembro    |
| Mg. DIAZ GUTIERREZ ALBERTINA        | Miembro    |
| Dr. GUTIERREZ CUBA CESAR            | Asesor     |

Tal como este asentado en el libro N° 01 folio N° 015 acta N° 013 fecha 16 Agosto del 2024, para optar el grado de maestro en Ingeniería química, de conformidad establecido por el reglamento de grados y títulos aprobado con resolución N° 150- 2023-CU de fecha 15 de junio de 2023.

## **DEDICATORIA**

A mi familia que ha sido mi ejemplo, fuente de inspiración, motivación y sobre todo por el amor que siempre me han brindado, esto me ha permitido ser una persona mejor cada día y poder ayudar a mi prójimo.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por estar en todo momento y darme fuerzas para poder continuar con el plan de mi vida.

A mi asesor y mis jurados por sus tiempos ofrecidos e indicaciones durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

A los pobladores de Amazonas (distrito de Churuja) apoyo incondicional al brindarme las facilidades al momento de realizar los trabajos de campo.

A la universidad Nacional del Callao, en especial a la facultad de Ingeniería Química y al Instituto de Investigación Acuícolas y Agrarias, por darme la oportunidad de trascender mis conocimientos, técnicos y éticos en esta casa de estudios.

## ÍNDICE

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| INFORMACIÓN BASICA .....                                     | ii                                   |
| DEDICATORIA .....  | iv                                   |
| ÍNDICE.....  | 6                                    |
| INDICE DE TABLAS .....                                       | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| INDICE DE FIGURAS .....                                      | 8                                    |
| RESUMEN .....  | 10                                   |
| ABSTRACT.....  | 11                                   |
| <b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>                    | <b>14</b>                            |
| 1.1.Descripción de la realidad problemática. ....            | 14                                   |
| 1.2.Formulación del problema.....                            | 15                                   |
| 1.2.1.Problema general.....                                  | 15                                   |
| 1.2.2.Problemas específicos .....                            | 15                                   |
| 1.3.Objetivos de la investigación.....                       | 15                                   |
| 1.3.1.Objetivo general .....                                 | 15                                   |
| 1.3.1.Objetivos específicos.....                             | 15                                   |
| 1.4.Justificación.....                                       | 16                                   |
| 1.4.1.Legal.....   | 16                                   |
| 1.4.2.Teórica .....  | 16                                   |
| 1.5. Delimitantes de la investigación .....                  | 17                                   |
| 1.5.1.Teórica .....  | 17                                   |
| 1.5.2.Temporal .....   | 17                                   |
| 1.5.3. Espacial.....   | 17                                   |
| <b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>                               | <b>18</b>                            |
| 2.1. Antecedentes .....                                      | 18                                   |
| 2.1.1 Antecedentes internacionales .....                     | 18                                   |
| 2.1.2 Antecedentes nacionales .....                          | 19                                   |
| 2.2. Bases teóricas .....                                    | 21                                   |
| 2.2.2. Secado de alimentos .....                             | 24                                   |
| 2.2.3.Secado osmótico.....                                   | 24                                   |
| 2.2.4.Factores que influyen en el secado osmótico.....       | 25                                   |
| 2.2.5.Secado convectivo .....                                | 26                                   |
| 2.2.6.Cinética del secado .....                              | 27                                   |
| 2.2.7.Factores que influyen en el secado por convección..... | 28                                   |
| 2.2.8.Calidad en los productos secado por convección.....    | 29                                   |
| 2.2.9.Método de superficies de respuesta (RSM).....          | 30                                   |
| 2.3.Marco conceptual.....                                    | 32                                   |
| 2.4. Definición de términos básicos.....                     | 40                                   |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>III. HIPOTESIS Y VARIABLES .....</b>                                      | <b>41</b> |
| Hipótesis específicas.....   | 41        |
| 3.1.1. Operacionalización de variables.....                                  | 41        |
| Definición conceptual.....   | 41        |
| <b>IV. METODOLOGIA DEL PROYECTO .....</b>                                    | <b>44</b> |
| 4.1. Diseño metodológico.....  | 44        |
| 4.2 Método de investigación .....  | 44        |
| 4.3.Población y muestra.....   | 49        |
| 4.4.Lugar de estudio y periodo desarrollado .....                            | 49        |
| 4.5.Técnicas e instrumentos de recolección de la información .....           | 50        |
| 4.5.1.Técnicas .....   | 50        |
| 4.6.Análisis y procesamiento de recolección de datos.....                    | 51        |
| 4.7.Aspectos éticos en investigación .....                                   | 52        |
| <b>V.RESULTADOS .....</b>  | <b>53</b> |
| 5.1.Resultados descriptivos .....  | 53        |
| 5.1.1.Caracterización fisicoquímica de la pitahaya fresca .....              | 53        |
| 5.1.2 Proceso de secado osmótico .....                                       | 54        |
| 5.1.3 Parámetros óptimos de secado osmótico .....                            | 55        |
| 5.1.4. Proceso de optimización del secado convectivo .....                   | 57        |
| 5.1.5. Análisis fisicoquímicos del secado osmótico y convectivo .....        | 63        |
| <b>VI. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>                                 | <b>66</b> |
| 6.2.Contrastación de los resultados con los otros estudios similares .....   | 67        |
| 6.3.Responsabilidad ética .....  | 69        |
| <b>VII. CONCLUSIONES .....</b>   | <b>70</b> |
| <b>VIII. RECOMENDACIONES.....</b>  | <b>71</b> |
| <b>IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                  | <b>72</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>   | <b>82</b> |
| Anexo 1:Matriz de consistencia.....  |           |
| Anexo 2: Zonas de producción en el Perú .....                                | 95        |
| Anexo 3: Fotografías del proceso y equipos usados.....                       | 95        |
| Anexo 4: Analisis microbiologicas del procesos osmotico .....                | 95        |
| Anexo 5: Datos estadisticos de las pruebas .....                             | 95        |
| Anexo 6: La varianza con ANOVA del tratamiento osmotico .....                | 95        |
| Anexo 7: Hoja del programa de minitab 19 .....                               | 95        |
| Anexo 8: Norma para la pitahaya.....   | 95        |
| Anexo 9: Ficha tecnica de seguridad de la sacarosa.....                      | 95        |
| Anexo 10: Ficha de practicas de higiene y seguridad para los alimentos ..... | 95        |
| Anexo 11: Normalización de productos secos y deshidratados .....             | 95        |

## INDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1:</b> Composicion quimica de pitahaya .....                                 | 14 |
| <b>Tabla 2:</b> Usos e industrialización de pitahaya .....                            | 14 |
| <b>Tabla 3:</b> Destinos internacionales de pitahaya fresca 2021-2022 .....           | 15 |
| <b>Tabla 4:</b> Frutos secos y su humedad final .....                                 | 15 |
| <b>Tabla 5:</b> Cortes geometricos recomendados.....                                  | 15 |
| <b>Tabla 6:</b> Propiedades fisicoquimicas de la sacarosa .....                       | 15 |
| <b>Tabla 7:</b> Niveles de las variables de control en el secado osmótico.....        | 15 |
| <b>Tabla 8:</b> Niveles de las variables de control en el secado convectivo.....      | 15 |
| <b>Tabla 9:</b> Operacionalización de las variables.....                              | 16 |
| <b>Tabla 10:</b> Normas tecnicas para el analisis de la amteria prima.....            | 16 |
| <b>Tabla 11:</b> Normas tecnicas para el análisis de secado convectivo.....           | 16 |
| <b>Tabla 12:</b> Condiciones del diseño Box-Behnken del secado osmótico.....          | 17 |
| <b>Tabla 13:</b> Condiciones del diseño Box-Behnken del secado convectivo .....       | 17 |
| <b>Tabla 14:</b> Las características fisicoquimicas de pitahaya .....                 | 17 |
| <b>Tabla 15:</b> Especificaciones fisicas de pitahya.....                             | 17 |
| <b>Tabla 16:</b> Matriz codificada de las variables del secado osmotico .....         | 18 |
| <b>Tabla 17:</b> Analisis de varianza (ANOVA) .....                                   | 18 |
| <b>Tabla 18:</b> Resumen del modelo de tratamiento .....                              | 18 |
| <b>Tabla 19:</b> Matriz de las variables de estudio de secado convectivo .....        | 19 |
| <b>Tabla 20:</b> Analisis de varianza (ANOVA).....                                    | 21 |
| <b>Tabla 21:</b> Resumen del modelo de tratamiento de secado convectivo.....          | 24 |
| <b>Tabla 22:</b> Resumen del modelo en la determinación de la velocidad.....          | 24 |
| <b>Tabla 23:</b> Características fisicoquimicas de secado osmótico y convectivo ..... | 27 |

## INDICE DE FIGURAS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figura 1:</b> Pitahaya amarilla ( <i>Hylocereus megalanthus</i> ).....                  | <b>14</b> |
| <b>Figura 2:</b> Etapa del secado osmótico.....  | 14        |
| <b>Figura 3:</b> Estructura química de la sacarosa (azúcar).....                           | 15        |
| <b>Figura 4:</b> Configuración básica del secador convectivo de bandejas.....              | 15        |
| <b>Figura 5:</b> Cinética del secado de un alimento .....                                  | 15        |
| <b>Figura 6:</b> Factores que influyen en el secado .....                                  | 15        |
| <b>Figura 7:</b> Tipos de superficie de respuesta .....                                    | 15        |
| <b>Figura 8:</b> Punto óptimo, región experimental y de operabilidad .....                 | 15        |
| <b>Figura 9:</b> Esquema de una célula vegetal .....                                       | 16        |
| <b>Figura 10:</b> Células vegetales según el medio que se encuentra.....                   | 16        |
| <b>Figura 11:</b> Rodajas de pitahaya en solución osmótica .....                           | 16        |
| <b>Figura 12:</b> Etapas del secado osmótico y convectivo .....                            | 17        |
| <b>Figura 13:</b> Pitahaya de cáscara amarilla y pulpa blanca.....                         | 17        |
| <b>Figura 14:</b> Parámetros optimizados del secado osmótico.....                          | 17        |
| <b>Figura 15:</b> Curvas de contorno de superficie de respuesta .....                      | 17        |
| <b>Figura 16:</b> Superficie de respuesta del secado osmótico.....                         | <b>18</b> |
| <b>Figura 17:</b> Determinación de la humedad óptima .....                                 | 18        |
| <b>Figura 18:</b> Contorno de superficie de respuesta .....                                | 18        |
| <b>Figura 19:</b> Superficie de respuesta de la humedad en función de ( $T$ °C y min)..... | 19        |
| <b>Figura 20:</b> Determinación del tiempo óptimo.....                                     | 21        |
| <b>Figura 21:</b> Determinación de la velocidad óptima del proceso.....                    | 24        |
| <b>Figura 22:</b> Contorno de superficie de respuesta para la velocidad de secado .....    | 24        |
| <b>Figura 23:</b> Superficie de respuesta de temperatura en función de ( $m/s$ y min)..... | 27        |
| <b>Figura 24:</b> Vitamina C del secado.....   | 27        |

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar las condiciones óptimas para el proceso de secado osmo-convectivo de la pitahaya (*Hylocereus megalanthus*) con el fin de preservar sus propiedades fisicoquímicas y organolépticas. El proceso se dividió en dos fases: secado osmótico y secado convectivo. Se empleó un diseño experimental Box-Behnken para optimizar las variables de cada etapa y determinar el número de ensayos necesarios. La optimización de ambos procesos se realizó mediante la metodología de superficie de respuesta (MSR). Los resultados muestran que las condiciones óptimas para el secado osmótico fueron: concentración de sacarosa de 60°Brix, tiempo de inmersión de 157 minutos y una humedad final del 58%, con un índice de correlación  $R^2= 0.9543$ . Para el secado convectivo, la temperatura fue 55°C, velocidad del aire de 0.80 m/s, tiempo de secado 329.6 minutos y una humedad residual del 29.70%, con un índice de correlación  $R^2= 0.9456$ . Después de un periodo de tres días a temperatura ambiental, la humedad final fue 20%, lo que permite concluir que el proceso de secado osmo-convectivo es una alternativa viable para la reducción de la humedad en la pitahaya, manteniendo la integridad de sus propiedades fisicoquímicas en el producto final.

**Palabras Claves:** Pitahaya, osmo-convectivo, optimización, método de superficie respuesta (MSR).

## ABSTRACT

The objective of this study was to determine the optimal conditions for the osmo-convective drying process of dragon fruit (*Hylocereus megalanthus*) in order to preserve its physicochemical and organoleptic properties. The process was divided into two phases: osmotic drying and convective drying. A Box-Behnken experimental design was used to optimize the variables of each stage and determine the number of trials necessary. The optimization of both processes was carried out using the response surface methodology (MSR). The results show that the optimal conditions for osmotic drying were: sucrose concentration of 60°Brix, immersion time of 157 minutes and a final humidity of 58%, with a correlation index  $R^2= 0.9543$ . For convective drying, the temperature was 55°C, air speed of 0.80 m/s, drying time 329.6 minutes and a residual humidity of 29.70%, with a correlation index  $R^2= 0.9456$ . After a period of three days at room temperature, the final humidity was 20%, which allows us to conclude that the osmo-convective drying process is a viable alternative for reducing humidity in dragon fruit, maintaining the integrity of its properties. physicochemical characteristics in the final product.

**Keywords:** Pitahaya, osmo-convective, optimization, response surface method (MSR)

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi determinar as condições ótimas para o processo de secagem osmo-convectiva da pitaya (*Hylocereus megalanthus*), a fim de preservar suas propriedades físico-químicas e organolépticas. O processo foi dividido em duas fases: secagem osmótica e secagem convectiva. Um delineamento experimental Box-Behnken foi utilizado para otimizar as variáveis de cada etapa e determinar o número de tentativas necessárias. A otimização de ambos os processos foi realizada utilizando a metodologia de superfície de resposta (MSR). Os resultados mostram que as condições ótimas para secagem osmótica foram: concentração de sacarose de 60°Brix, tempo de imersão de 157 minutos e umidade final de 58%, com índice de correlação  $R^2= 0,9543$ . Para a secagem convectiva a temperatura foi de 55°C, velocidade do ar de 0,80 m/s, tempo de secagem de 329,6 minutos e umidade residual de 29,70%, com índice de correlação  $R^2= 0,9456$ . Após um período de três dias em temperatura ambiente, a umidade final foi de 20%, o que permite concluir que o processo de secagem osmo-convectiva é uma alternativa viável para redução de umidade em pitaya, mantendo a integridade de suas características físico-químicas. o produto final.

**Palavras-chave:** Pitahaya, osmo-convectivo, otimização, método de superfície de resposta (MSR).

## INTRODUCCIÓN

La pitahaya es una fruta nutricional que contiene antioxidantes, mucílagos, flavonoides, entre otros compuestos beneficiosos. Además, ayuda en la digestión rápida y desintoxica el organismo y neutraliza los radicales libres [1]. Uno de los componentes destacados de la pitahaya es la vitamina C, que actúa como un antioxidante y reduce el riesgo de enfermedades [2]. En Perú, el cultivo de pitahaya se concentra principalmente en las regiones de Amazonas y San Martín. En los últimos años, su cultivo se ha extendido en diferentes áreas del país. Según INIA, se cultivan unas 450 hectáreas, aunque solo 100 hectáreas están actualmente en producción, lo que no es suficiente para abastecer el mercado interno debido a una alta demanda. No obstante, gracias a un convenio comercial con Ecuador, esta fruta también ingresa a nuestro país. En la actualidad, existe una tendencia mundial hacia la investigación y desarrollo de técnicas de conservación de alimentos que permitan obtener productos con alta calidad nutricional, que sean similares en color, aroma y sabor a los alimentos frescos y que no contengan agentes químicos de conservación. Estas tendencias están alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 2030, en particular con el objetivo 3 de salud y bienestar, lo que presenta un desafío para la humanidad [3]. Esta investigación tiene como propósito determinar las condiciones óptimas del proceso de secado osmo-convectivo de la pitahaya para preservar sus propiedades fisicoquímicas. Además, se establecen las condiciones del proceso osmótico y convectivo que puedan ser aplicables en el sector industrial. Aún se requieren más estudios en los fluidos osmóticos debido a su importancia en el proceso de conservación de los alimentos.

## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción de la realidad problemática.**

La pitahaya es una fruta exótica de escasa difusión y consumo en nuestro país, a pesar de sus notables propiedades nutricionales y beneficios. Uno de los principales problemas es que durante el trayecto desde su cosecha hasta el consumidor final, la fruta pierde frescura y calidad. Este contexto resalta la necesidad de explorar alternativas para aumentar la vida útil de la pitahaya sin comprometer sus características fisicoquímicas. Es fundamental que los productores adquieran conocimientos sobre la conservación de la pitahaya para poder que iniciar procesos de industrialización de sus cultivos. La aplicación de tecnologías adecuadas y la diversificación de los derivados del fruto pueden abrir nuevas oportunidades de comercialización, lo que resultaría en mejores ingresos para los agricultores del distrito de Churuja-Amazonas. Por tanto, es necesario realizar estudios que permitan aprovechar al máximo las propiedades fisicoquímicas de la pitahaya, desarrollar técnicas de conservación adecuadas y elaborar diversos productos con valor agregado que estén disponibles en el mercado durante todo el año [1]. El avance tecnológico y las crecientes demandas de los consumidores por productos saludables hacen imperativa la necesidad de desarrollar un proceso de secado osmo-convectivo eficaz. Este proceso debe facilitar la reducción de la humedad mediante la aplicación controlada de operaciones de secado osmótico y convectivo, considerando factores críticos como la concentración de la solución osmótica, tiempo de inmersión, la temperatura, el flujo de aire y el tiempo de secado.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo se deberá optimizar el proceso de secado osmo-convectivo de pitahaya para mantener sus propiedades fisicoquímicas del producto final?

### **1.2.2. Problemas específicos**

¿Cómo se deberá optimizar el proceso de secado osmótico de pitahaya para mantener sus propiedades fisicoquímicas?

¿Cómo se deberá optimizar el proceso de secado convectivo de pitahaya para mantener sus propiedades fisicoquímicas?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Determinar las condiciones óptimas del proceso de secado osmo-convectivo de pitahaya para mantener sus propiedades fisicoquímicas del producto final.

### **1.3.1. Objetivos específicos**

Determinar las condiciones óptimas del secado osmótico de pitahaya para mantener sus propiedades fisicoquímicas.

Determinar las condiciones óptimas del secado convectivo de pitahaya para mantener sus propiedades fisicoquímicas.

## **1.4 Justificación**

### **1.4.1. Legal.**

El desarrollo de esta investigación permitirá aplicar las normas CODEX STAN 237-2003 (Anexo 8), que establecen los requisitos de calidad que debe cumplir la pitahaya de la especie (*Hylocereus megalanthus*). El propósito del Instituto Nacional de Calidad (INACAL) es mejorar la competitividad y comercialización de la pitahaya en los mercados nacional e internacional. Este Subcomité tiene como objetivo promover el desarrollo de estándares de calidad en la cadena productiva de la pitahaya mediante la elaboración de Normas Técnicas Peruanas sobre buenas prácticas para un adecuado manejo agrícola de este fruto. Esto permitirá establecer estándares fisicoquímicos del fruto y asegurar un proceso osmo-convectivo adecuado para el producto final, facilitando su manejo para los agricultores del Distrito de Churuja- Amazonas.

### **1.4.2. Teórica**

La presente investigación busca proporcionar información sobre la especie (*Hylocereus megalanthus*) pitahaya que se está cultivando en el Distrito de Churuja, región Amazonas. Para apoyar este cultivo, el INIA y el INACAL están formando equipos de trabajo que colaboran en la elaboración de las Normas técnicas peruanas (NTP) y en la capacitación de los agricultores de la zona. El proceso osmo-convectivo se utiliza frecuentemente en la conservación de los alimentos. Sin embargo, se requiere más investigaciones sobre los tipos y las caracterizaciones fisicoquímicas de los fluidos osmóticos. Estos estudios pueden contribuir a mejorar la preconservación o el pretratamiento de los alimentos, logrando así un secado convectivo óptimo.

### **1.4.3 Espacial**

La presente investigación comprende el espacio geográfico de Amazonas. Las unidades de análisis se sacarán de las plantaciones de la pitahaya del distrito Churuja.

## **1.5. Delimitantes de la investigación**

### **1.5.1. Teórica**

Esta investigación se centra en la conservación de alimentos mediante el proceso de secado osmo- convectivo, específicamente aplicado a la pitahaya del distrito de Churuja. Esta fruta destaca por su alto valor nutricional, especialmente su contenido de ácido ascórbico que se encuentra entre (4-25 mg/100g), y sus características fisicoquímicas y bioactivas que califican como un alimento funcional. La pitahaya es valiosa por sus características organolépticas y su origen silvestre, ofreciendo una alternativa productiva para pequeños agricultores debido a su alta demanda y los precios elevados en el mercado (15 - 26 nuevos soles por kilogramo), según INIA [1, 4].

### **1.5.2. Temporal**

La pitahaya en nuestro país es estacional y su proceso de cosecha corresponde a los meses de febrero y agosto, el experimento se realizó en estos meses estacionales del año 2023.

### **1.5.3. Espacial**

La pitahaya utilizada para este estudio proviene del Distrito de Churuja de la región Amazonas, cuyo tratamiento experimental se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química y el Instituto de Investigación Acuícolas y Agrarias (UNAC).

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1 Antecedentes internacionales**

En la investigación “Pitahaya deshidratada, una alternativa de generar economía local (cantón Palora-Provincia Morona Santiago)” los autores tuvieron como objetivo realizar revisiones bibliográficas donde realizaron descripciones técnicas del proceso de deshidratado de la pitahaya como una alternativa para el desarrollo económico local, aplicando una metodología de una investigación teórica con un enfoque documental. Entre los procesos que encontraron de deshidratación mencionan el de convección, conducción, radiación, liofilización, osmótica, natural y por congelación, estos procesos tienen por común el disminuir la cantidad acuosa de la fruta formando un producto sólido, como resultado de su investigación descriptiva dedujeron que la técnica de deshidratación por convección es la recomendada por ser económica y presentar una trazabilidad. La estandarización del proceso de deshidratación constituye un sistema amigable el cual podría ser realizado por los productores de la comunidad [5].

En la investigación “Influencia de un pre-tratamiento osmótico sobre el secado convectivo de pitahaya amarilla” los autores tuvieron como objetivo realizar el pre-tratamiento osmótico y posteriormente aplicar el secado convectivo, para ello usaron unos cilindros de pitahayas que fueron osmóticamente deshidratados con sacarosa 55 % (p/p) durante 45 min. como un pre-tratamiento al secado convectivo. El secado por aire caliente lo realizaron a las temperaturas de 50, 60 y 70°C. Compararon la cinética de secado de las muestras osmodeshidratado con las muestras no tratadas. Donde determinaron los coeficientes de difusión efectiva.

Obtuvieron los valores de la energía de activación fueron 29.56 y 16.93 kJ mol<sup>-1</sup> para las muestras pre-tratadas y para las no tratadas, respectivamente. Se plantearon el modelo matemático para simular las curvas experimentales de secado de las pitahayas. Los resultados que encontraron fue que el modelo de Weibull podría ser usado para simular los datos de secado experimental. Además, llegaron a concluir el encogimiento de las muestras se debió a los cambios en el volumen y se presentó con mayor encogimiento en las muestras sin pre tratar [6].

En la investigación “Calidad de frutos de pitahaya (*Selenicereus mega/anthus* Haw.) sometidos a diferentes recubrimientos durante el almacenamiento”, los autores tuvieron como objetivo evaluar el efecto de recubrimientos comestibles en la calidad poscosecha de pitahaya amarilla con el fin de mantener la calidad. La metodología que emplearon fue unos tratamientos completamente aleatorizados con tres recubrimientos (cerabrix, cera natural y testigo sin aplicación). Los resultados que encontraron en las aplicaciones de ceras en los frutos de pitahaya disminuyeron la pérdida de masa (PM), en un 21% durante el almacenamiento, especialmente el recubrimiento con cerabrix. Indicaron que la estabilidad de los frutos disminuyó a partir de los seis días post cosecha. Durante la poscosecha, los frutos de pitahaya encontraron un aumento en la intensidad respiratoria (IR) al pasar de 10,48 a 26,35 mg.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>, además, el pH aumentó de 4,13 a 5,17, mientras que los sólidos solubles totales (SST), la acidez total titulable (ATT) y la relación de madurez (RM) se redujeron [7].

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

En la investigación “Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos”, los autores tuvieron como objetivo evaluar sus características fisicoquímicas,

valor nutricional, ácido ascórbico, capacidad antioxidante, compuestos bioactivos como la betalainas, betaninas y betacianinas. Realizaron la revisión y compilación de información sobre estas características y beneficios a la salud, tales como; evitar el envejecimiento prematuro, reducir los niveles de presión arterial y aliviar los problemas estomacales e intestinales, donde recomiendan el consumo de pitahaya para contrarrestar enfermedades como la diabetes y cáncer al colon [1].

En la investigación “Características fisicoquímicas, nutricionales y morfológicas de frutas nativas”, los autores tuvieron como objetivo en su investigación la determinación de las características fisicoquímicas, nutricionales y morfológicas de cinco variedades de frutas nativas: Aguaymanto (*Physalis peruviana*), sanky (*Corryocactus brevistylus*), cocona (*Solanum sessiliflorum*), pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) y camu camu (*Myrciaria dubia*), procedentes de la región andina central y de la selva norte peruana. Determinaron el contenido de nutrientes, como vitamina C, fibra, sólidos solubles, para ello realizaron la selección y procedimiento para los frutos donde fueron lavados, pelados, pulpeados y liofilizados, para posteriormente, utilizaron los métodos analíticos estandarizados. Donde obtuvieron los siguientes resultados de los frutos frescos del aguaymanto, sanky y camu camu presentaron los mayores contenidos de vitamina C (43,0, 57,1 y 2780 mg por 100 g ) , respecto a la cocona y la pitahaya (4,54 y 8,0 mg por 100 ). El aguaymanto y la pitahaya (26,85 y 9,75 %) lograron los mayores contenidos de azúcares reductores. En el aguaymanto y la cocona encontraron los mayores valores de fibra (4,9 y 2,5%). Con relación al contenido de sólidos solubles (°Brix), la pitahaya y el aguaymanto mostraron los mayores valores (16,2 y 13,3). Con estos resultados que obtuvieron demostraron que los frutos nativos estudiados representan una fuente importante de nutrientes que podrían ser aprovechados en la alimentación humana [8].

En la investigación "Optimización del proceso de secado con radiación microondas de langostino (*Litopenaeus vannamei*) aplicando el método de superficie de respuesta", el autor tuvo como objetivo identificar las condiciones óptimas de secado para maximizar la capacidad de rehidratación del producto. Se empleó el método de superficie de respuesta (MSR) y un diseño factorial 2K, deshidratando trozos de langostino con microondas entre 209 y 696 watts. Las condiciones óptimas obtenidas fueron una masa de 6.34 g y potencia de 796.86 watts, logrando una capacidad de rehidratación predicha de 1.5437, validada experimentalmente en  $1.36 \pm 0.03$  [9].

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Pitahaya amarilla (*Hylocereus megalanthus*)

La pitahaya es un fruto de forma ovoide y alargado, su tamaño varía entre 8 y 12cm. Su peso promedio es de 300 g., su cáscara es escamosa y presenta brácteas. La pulpa es carnosa y cerosa, de color blanco y de sabor dulce; contiene semillas de color negro como se detalla en la figura1 [1,10].

#### Figura 1

*Pitahaya amarilla - Hylocereus megalanthus*



## Caracterización botánica taxonómica

Se considera a la pitahaya *Hylocereus megalanthus*, por sus cualidades y ser un fruto nativo de la región Amazonas-Perú. Y su taxonomía se puede clasificar según [ 11,12,13].

Reino.....Plantae  
Divisiòn.....Angiosperma  
Clase.....Equisetopsida  
Orden.....Caryophyllales Juss  
Familia.....Cactaceae Juss  
Genero.....Hylocereus  
Especie.....*Hylocereus megalanthus*

La composición química de pitahaya para una muestra de 100g de pulpa, se detalla en la tabla 1 [14].

**Tabla 1**

*Composición química de pitahaya*

| Componentes         | Morales-Silva<br>2015 | Mercado-Silva<br>2018 | ICBF 2018 |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| Agua (%)            | 85.9                  | 85                    | 85.5      |
| Proteína (g)        | 1.1                   | 0.4                   | 0.4       |
| Grasa (g)           | *                     | 0.1                   | 0.1       |
| Carbohidratos (g)   | 9.8                   | N                     | 13.6      |
| Fibra dietética (g) | N                     | 0.5                   | 3.3       |
| Vitamina C (mg)     | 7.34                  | 4                     | 20        |
| Calcio (mg)         | 8.26                  | 10                    | 26        |
| Hierro (mg)         | *                     | 0.3                   | 0.3       |
| Fosforo (mg)        | *                     | 26                    | 26        |
| Tiamina (mg)        | *                     | 0                     | 0.03      |
| Riboflavina (mg)    | *                     | 0                     | 0.04      |
| Niacina (mg)        | *                     | 0.2                   | 0.2       |
| Cenizas (g)         | 0.6                   | 0.4                   | 0.4       |

*Nota:* N: Valor no evaluado.

Altuna et al. (2018)

\*: Valor no encontrado.

## Industrialización y usos

La pitahaya tiene un gran potencial de uso industrial y utilización gracias a sus características fisicoquímicas y propiedades nutricionales, como se detallan en la tabla 2 [15].

**Tabla 2**

*Usos e industrialización de pitahaya*

|         | Usos                | Industrialización                  |
|---------|---------------------|------------------------------------|
| Frutos  | Alimentación humana | Pulpa, congelados, jugos           |
| Cascara | Industrial          | Jarabes, licores, colorantes, etc. |

Rodríguez (2016)

## Situación de pitahaya en el mundo y el Perú:

A nivel mundial es muy cotizada, en el Perú hay 220 variedades, y se adaptan a diferentes climas, en la tabla 3 se detallan los destinos de exportación [16].

**Tabla 3**

*Destinos internacionales de la pitahaya fresca 2021-2022*

| Países       | Monto (miles de dólares) | Participación |
|--------------|--------------------------|---------------|
| Aruba        | 3 960.00                 | 47%           |
| Países Bajos | 2 979.52                 | 35%           |
| Francia      | 1 054.20                 | 12%           |
| España       | 468.60                   | 6%            |
| Italia       | 46.90                    | 1%            |
| Total        | 8509.22                  | 100%          |

Adex (2023)

### 2.2.2 Secado de alimentos

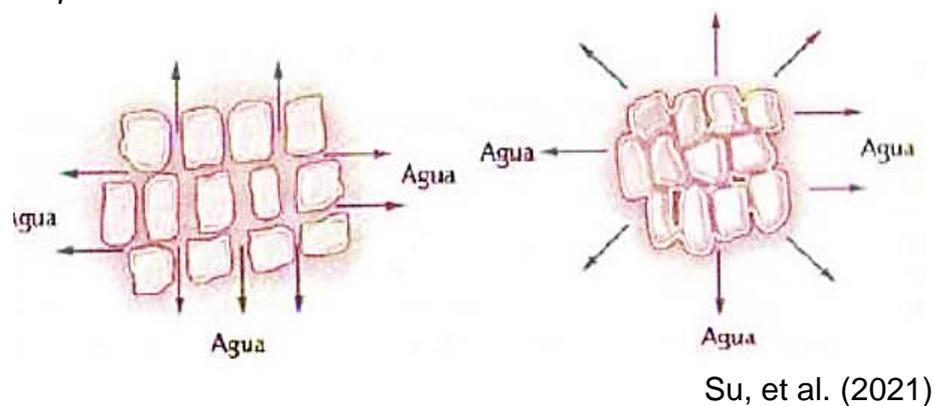
El secado es una técnica industrial que elimina el agua libre de los alimentos, mejorando su conservación, facilitando su transformación, reduciendo volúmenes de envasado, prolongando su almacenamiento y disminuyendo costos logísticos al evitar la necesidad de una cadena de frío [17].

### 2.2.3 Secado osmótico

El secado osmótico es una técnica que permite eliminar parcialmente el agua de los tejidos de los alimentos mediante su inmersión en una solución [18]. Durante este proceso, se produce un intercambio de flujo de agua desde el interior de la fruta hacia el exterior, buscando equilibrar el potencial químico del agua en ambos lados de las membranas celulares [19]. Este fenómeno involucra mecanismos de transferencia de fluidos a través de la membrana celular, lo que implica el movimiento de materiales sólidos hacia dentro o hacia fuera de la célula. Es importante señalar que las membranas celulares de los alimentos no son iguales, como se detalla en la figura 2 [20, 21].

**Figura 2**

*Etapa del secado osmótico*

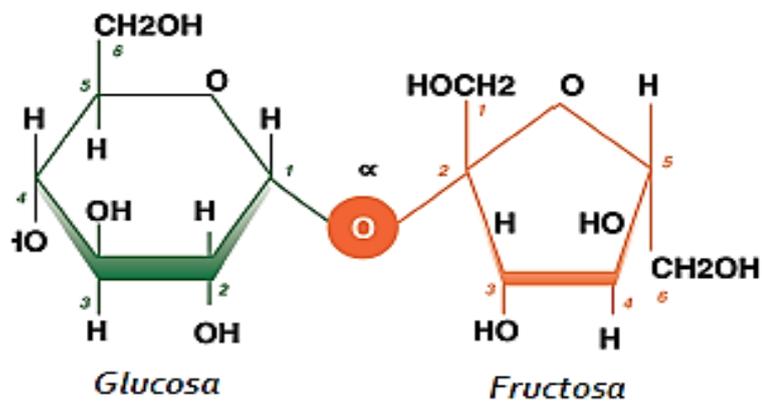


## **Agentes osmóticos**

Existen muchos agentes osmóticos, entre los que se encuentran soluciones de azúcares como la sacarosa, glucosa, fructosa, jarabe de maíz, y el sorbitol. Estos agentes deben ser solubles para facilitar el flujo de agua pura a través de la membrana del fruto. En el desarrollo del estudio se utilizó sacarosa, que tiene un poder endulzante relativo de 1 y un valor energético de 4 kcal/g. En la figura 3 se detalla la estructura de la sacarosa [22].

**Figura 3**

*Estructura química de la sacarosa (Azúcar).*



Osorio (2007)

### **2.2.4 Factores que influyen en el secado osmótico**

Para reducir el contenido de agua en los alimentos, con el objetivo de alargar su vida útil y mantener sus propiedades fisicoquímicas, es necesario considerar factores específicos según el alimento a tratar. A continuación, se mencionan algunos de estos que influyen en el secado osmótico:

**Geometría y tamaño del producto.** - El tamaño y la forma del producto son importantes debido a la transferencia de fluidos que ocurre durante la inmersión de la fruta. Los frutos de menor tamaño presentan una mayor superficie relativa en un volumen dado, lo que resulta en la mayor pérdida de agua [23].

**Tiempo de proceso osmótico.** - El tiempo de inmersión de un alimento en diferentes soluciones osmóticas es crucial y puede variar hasta alcanzar un peso constante, lo cual puede durar entre 3 y 7 horas [23] [24].

### **2.2.5 Secado convectivo**

Es una técnica sencilla que se realiza en una cámara cerrada con flujo de aire caliente. Es un proceso continuo y comúnmente utilizado para productos de bajo valor debido a la posible degradación de bioactivos termolábiles [25]. A pesar de esto, cumple con los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos en comparación con otros métodos [26]. En la figura 4 se visualiza un secador convectivo. El secado por convección puede clasificarse en 3 formas:

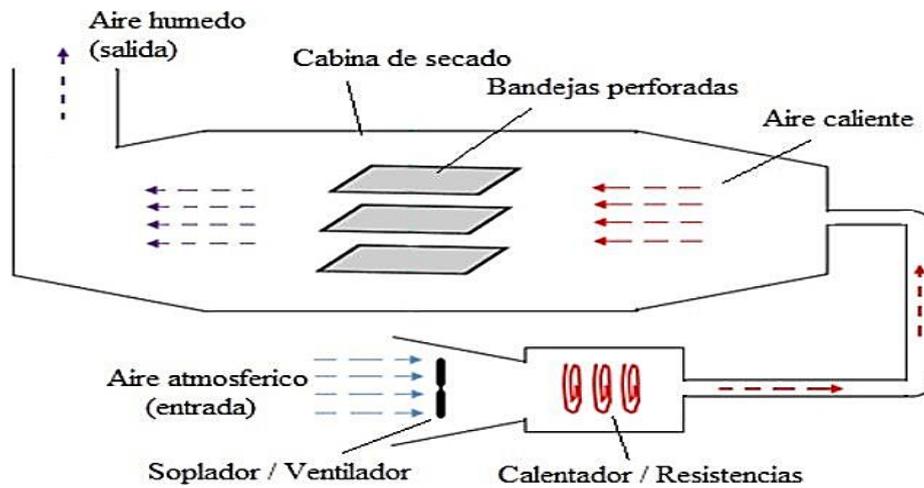
**Secado por aire caliente:** Se realiza mediante la aplicación de aire caliente a presión atmosférica directamente al alimento el contenido de agua en forma de vapor, el cual es arrastrado por el aire.

**Secado con aire caliente a presión de vacío:** Se realiza mediante la evaporación del agua del alimento al vacío, usando bajas presiones. El calor se añade de manera indirecta a través de paredes metálicas.

**Secado por liofilización:** Se lleva a cabo a temperaturas bajo cero y alto vacío, permitiendo que el agua se sublime directamente del material congelado [17].

**Figura 4**

*Configuración básica del secador convectivo de bandejas.*



Sandulachi (2012) citado por Álvarez (2021)

### 2.2.6 Cinética del secado

El comportamiento del secado de un alimento es comúnmente mediante diagramas que muestran el contenido de humedad del alimento en función del tiempo de operación, así como la velocidad de secado en relación con el contenido de humedad del alimento. Las ecuaciones 1 y 2, detalladas a continuación, se utilizan para la construcción de los diagramas respectivos [27].

$$X_{bh} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa total de alimento}} = \frac{\text{Kg de agua}}{\text{Kg de solido humedo}} \quad (1)$$

$$X_{bs} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de alimento seco}} = \frac{\text{Kg de agua}}{\text{Kg de solido seco}} \quad (2)$$

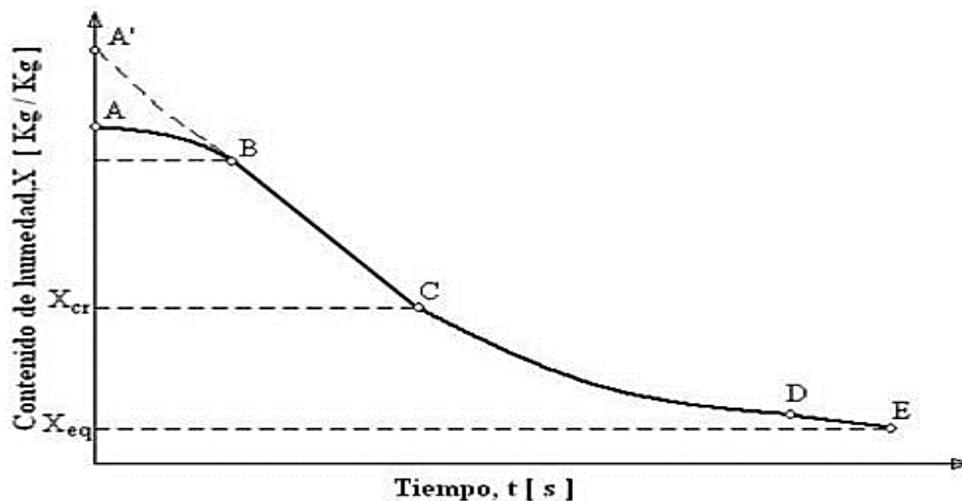
Donde:

$X_{bh}$ : humedad en base húmeda obtenido como el cociente entre la masa de agua dentro del alimento y su masa total.

$X_{bs}$ : humedad en base seca obtenido como el cociente entre la masa de agua en el alimento y su masa seca. En la figura 5 se muestra el ciclo del secado de un alimento y está formado por diferentes fases [28] [29]. En nuestro estudio se ha utilizado el secador de bandejas, caracterizado por su facilidad en la medición, así como una buena eficiencia para investigación [30].

**Figura 5**

*Cinética de secado de un alimento*



Brennan, 1998 citado por Álvarez (2020)

### 2.2.7 Factores que influyen en el secado por convección

Los factores que influyen en el secado convectivo se muestran en la figura 6. Durante el proceso, el alimento se seca mediante flujos de aire caliente, los factores a controlar incluyen la temperatura, la cantidad de alimento a secar, la velocidad del aire y el tiempo. El aire puede ser calentado directamente con una llama o indirectamente a través de tuberías calentadas con vapor o electricidad. En este estudio se utilizó un secador de bandejas, en el cual se colocan varias bandejas y el aire entra por un extremo y sale por el otro. Este tipo de secador es útil tanto para procesos a pequeña como a gran escala. El manejo adecuado de estas condiciones permite determinar las características específicas del secado convectivo[31][32].

## Figura 6

*Factores que influyen en el secado*



Singh (2013), citado por Chávez (2015)

### 2.2.8 Calidad en los productos secado por convección

La calidad de los alimentos varía según las necesidades y propósitos del consumidor, considerando varios factores complejos como los aspectos físicos, composicionales y microbiológicos. Es esencial combinar la calidad nutricional y sensorial del alimento [33]. Para frutas y verduras, la calidad se define por una interacción dinámica entre las propiedades fisicoquímicas inherentes de los productos y su percepción. Esto incluye características organolépticas, aspectos funcionales y contenido de fitonutrientes [34]. En el secado convectivo, diversos factores afectan el proceso, alterando las características fisicoquímicas del alimento como se mencionan a continuación [35].

- ✓ Espesor de muestra
- ✓ Flujo de aire
- ✓ Temperatura de secado
- ✓ Tiempo de secado
- ✓ La textura
- ✓ El color
- ✓ El aroma
- ✓ Valor nutricional y actividades enzimática

### 2.2.9 Método de superficies de respuesta (RSM)

La metodología de superficie de respuesta (RSM) es una técnica que permite estudiar las respuestas de experimentos, examinando los factores cuantitativos en el valor de la respuesta [36].

#### Elementos de la metodología de superficie respuesta (MSR)

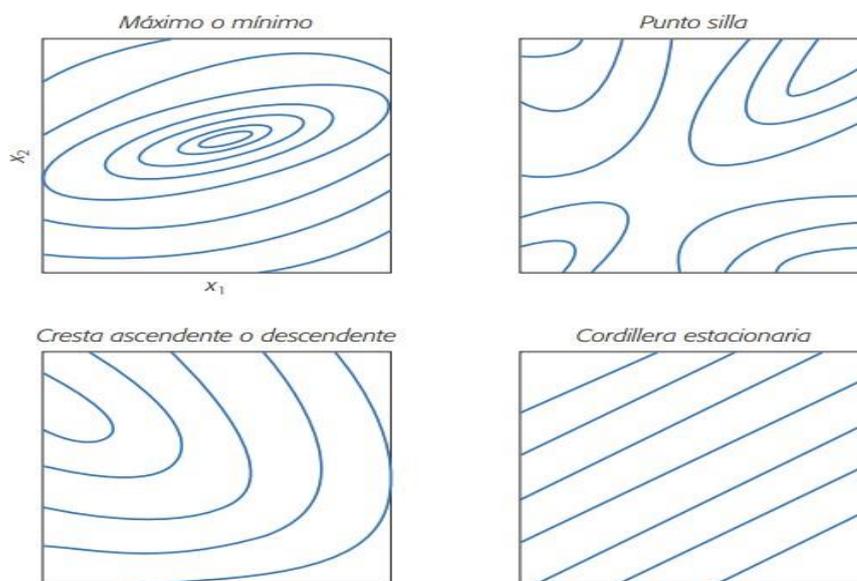
La metodología de la superficie de respuesta involucra tres aspectos:

**Diseño.** - Tienen implicancia significativa cuando se desea optimizar los procesos. Se deben aplicar las pruebas, especialmente aquellas que se ajustan a modelos de regresión lineal múltiple [37,38,39, 40].

**Optimización.** - La optimización de un proceso es la mejor manera de llevarlo a cabo un trabajo planificado [41]. También pretende encontrar las mejores condiciones de operación de un proceso fijo [42]. En la figura 7 se detallan los tipos de superficie de respuesta.

**Figura 7**

*Tipos de superficie de respuesta*

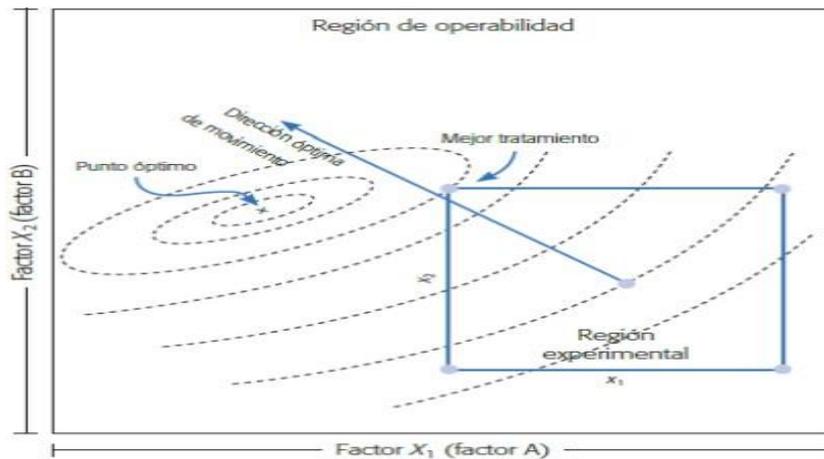


Gutiérrez (2008)

Para aplicar estos métodos de superficie de respuesta se establecen los valores de los factores que optimicen el valor de la variable respuesta, como se detalla en la figura 8 [43,44,45].

**Figura 8**

*Punto óptimo, región experimental y región de operabilidad*



Gutiérrez (2008)

### **Diseños para ajustar modelos de segundo orden.**

Para que un modelo de segundo orden sea adecuadamente diseñado, debe tener al menos tres niveles de factor (-1, 0, +1) ser rotatable. La rotabilidad es crucial, ya que la metodología de superficies de respuesta es optimizar sin conocer inicialmente la ubicación del óptimo. Un ejemplo de estos diseños es el diseño de Box- Behnken.

### **Diseño de Box-Behnken**

Los diseños de Box-Behnken consisten en combinaciones de tratamientos ubicados en los puntos medios de los bordes del espacio experimental. Estos diseños requieren al menos tres factores continuos, y los puntos en el diagrama representan las ejecuciones experimentales [47].

## 2.3 Marco conceptual

### 2.3.1 Secado de las frutas

Perú es un país mega diverso con una amplia variedad de frutas reconocidas internacional por sus propiedades nutricionales y funcionales. En el mercado, existe una creciente demanda de productos con colores atractivos y texturas diferenciadas, lo cual impulsa la necesidad de extender la vida útil de los productos mediante diversos métodos de conservación, buscando obtener productos para consumo que se asemejen lo más posible a su estado fresco y que sean mínimamente procesados [48]. Los frutos secos pueden variar en contenido de sólidos solubles (°Brix) entre los 40 y 75 [49], y se han documentado los porcentajes de humedad de varios frutos según diversos autores [50,51,52,53,54,55,56,57,58,59]. La tabla 4 detalla específicamente los niveles de humedad de algunos frutos.

**Tabla 4**

*Frutos secos y su humedad final*

| <b>Frutos secos</b> | <b>humedad</b> |
|---------------------|----------------|
| Tomate              | 15%            |
| Mango               | 14%-15%        |
| Manzana             | 14%- 25%       |
| Plátano             | 20.87 %        |
| Papaya              | 32 %           |
| Piña                | 15.75%         |
| Fresa               | 13- 15 %       |
| Pera                | 9.1538%        |
| Tuna                | 2 -5 %         |
| Kiwi                | 22 %           |

### 2.3.2 Mecanismo del secado osmótico

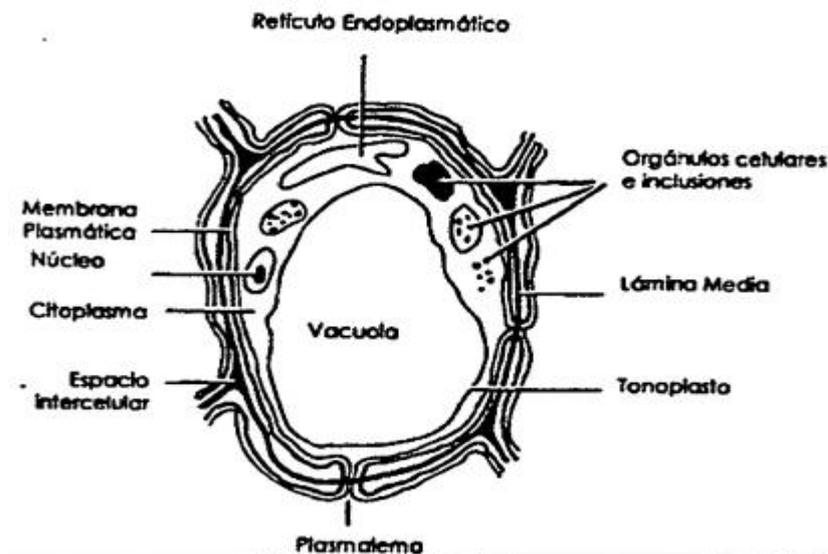
El secado osmótico implica la interacción entre el fruto, el agua y una solución de solutos concentrados, estableciendo un gradiente de presión osmótica entre el alimento y la solución. Las células del fruto actúan como membrana semipermeable, permitiendo tanto la entrada de solutos como la salida de agua [60].

### 2.3.3 Variables de operación proceso osmótico

**Características del fruto.** - Las propiedades físicas del fruto, como la estructura, tamaño, espesor, y distribución de los espacios intercelulares, así como el contenido inicial de sólidos solubles e insolubles, influyen significativamente en el comportamiento y el resultado final del secado osmótico [61]. En la figura 9 se detalla la célula vegetal.

#### Figura 9

Esquema de una célula vegetal

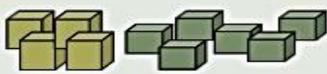
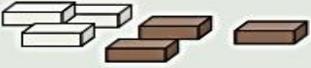
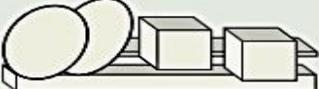


Alzamora et al. (1996)

**Impacto de las propiedades naturales del tejido en el proceso osmótico.** - Las propiedades naturales del tejido, como las membranas y paredes celulares, el nivel de compactación de la estructura celular y la composición química, juegan un papel crucial en el comportamiento global del tejido durante los procesos osmóticos [62].

**Forma geométrica del fruto.** - En la Tabla 5 se detallan los diferentes cortes geométricos que pueden emplearse en frutas y vegetales para llevar a cabo los procesos de secado osmótico, la uniformidad es crucial para garantizar la calidad del producto [63].

**Tabla 5**  
Cortes geométricos recomendados

| 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,       | Rodajas, cubos         |  |
| Manzana piña.  | Cubos, tiras           |  |
| Cebollas, pimientos  | Cubitos                |  |
| Patatas, camote.   | Rodajas, tiras, cubos. |  |

Suca (2010)

**Naturaleza de los solutos en la solución.** - El tipo de agente osmótico juega un papel crucial es la velocidad de difusión durante el proceso. En general, los agentes osmóticos de bajo peso molecular penetran más fácilmente en las células de la fruta en comparación con aquellos de peso molecular elevado [64]. Los sólidos utilizados en el secado osmótico difieren en estructura química, peso molecular, polaridad y permeabilidad, afectando la capacidad de cada soluto para causar pérdida de agua y ganancia de soluto por parte del alimento. La sacarosa es el soluto más comúnmente utilizado en estos procesos, elegido en base a tres criterios principales:

- \_ Las características sensoriales del producto
- \_ El costo del soluto
- \_ El bajo peso molecular del soluto

La concentración del soluto influye significativamente en la viscosidad de la solución, afectando el movimiento de las moléculas durante el proceso [64]. A medida que avanza el secado osmótico y los solutos penetran en el alimento, la concentración de solutos en la solución disminuye gradualmente, reduciendo el gradiente osmótico [65].

**Tipo de soluto.** - La elección del soluto depende del tipo de la fruta a tratar, y la calidad final deseada del producto. La sacarosa es el soluto más ampliamente utilizado para el secado osmótico de frutas, conocida por su capacidad para reducir el oscurecimiento y aumentar la retención de compuestos [66]. Consulta el Anexo 9 para obtener la ficha técnica detallada de la sacarosa.

**Concentración del agente osmótico.** - En este estudio, la concentración de la solución osmótica se midió en grados °Brix, una unidad la cantidad de sólidos disueltos en un líquido específico. La sacarosa tiene un valor de 100% de °Brix y está compuesta por una molécula glucosa y una fructosa, con una masa molar de aproximadamente 342,30 g/mol y un

punto de fusión cercano a los 185 ° C [67]. Consulta la tabla 6 para más detalles sobre las propiedades de la sacarosa.

**Tabla 6**

*Propiedades fisicoquímicas de la sacarosa*

| Sacarosa  |  |
|---|--|
| Nombre  | (IUPAC) sistemático  |
| Nombre  | General  |
| Formula semidesarrollada                                | $\alpha$ -D-glucopiranosil (1->2)- $\beta$ -D-fructofuranosido |
| Formula molecular                                       | C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>                |
| Identificaciones  |  |
| Numero CAS  | n/d  |
| Propiedades físicas                                     |  |
| Estado de agregación                                    | solido   |
| Apariencia  | Cristales blancos  |
| Densidad  | 158kg/m <sup>3</sup> ; 1.587g/cm <sup>3</sup>                  |
| Masa  | n/d  |
| Punto de fusión   | n/d  |
| Punto de ebullición                                     | K(102°C)   |
| propiedades químicas                                    |  |
| Solubilidad en agua                                     | n/d  |
| KPS   | n/d  |
| Valores en el SI y en condiciones normales (0°C y 1atm) |  |

Zamora-Navarro y Pérez-Llamas (2013)

**Temperatura de la solución osmótica.** - La temperatura de la solución osmótica es una variable crítica en el proceso de secado osmótico, ya que afecta significativamente su cinética dependiendo del tipo de sustancia osmótica utilizada [68]. Las temperaturas óptimas para este proceso se encuentran entre 20 y 40 °C, ya que preservan la integridad de los tejidos, la calidad nutricional del producto y son económicamente viables. Temperaturas inferiores a 40 – 50 °C permiten mantener la funcionalidad de las membranas celulares, favoreciendo la retención de ácidos orgánicos y nutrientes sin dañar las paredes celulares ni provocar

pérdidas de vitaminas [69,70].

**Tiempo de inmersión del fruto en la solución.** - El tiempo de inmersión es crucial para definir la cantidad de agua removida y los sólidos ganados durante el proceso de secado osmótico. La remoción de agua es generalmente más rápida que la penetración del soluto, permitiendo la deshidratación sin agregar grandes cantidades de soluto al producto. El tiempo de inmersión puede variar entre 1 y 18 horas, siendo más efectivo en las primeras 2 horas, cuando la pérdida de agua y la ganancia de sólidos son más rápidas [31][71][72]

**Relación masa de solución / masa del fruto.** - A mayor relación masa de solución sobre masa del fruto (es decir, mayor cantidad de jarabe respecto a la cantidad de fruta), mayor será la pérdida de agua y la ganancia de solutos [73].

#### **2.3.4. Fenómeno de osmosis**

La osmosis ocurre cuando dos soluciones de diferentes concentraciones son separadas por una membrana semipermeable, y el solvente difunde a través de la membrana desde el líquido de menor concentración al de mayor hasta equilibrar las concentraciones. Este fenómeno es espontáneo y no requiere energía. Según la concentración de solutos, los medios se clasifican en:

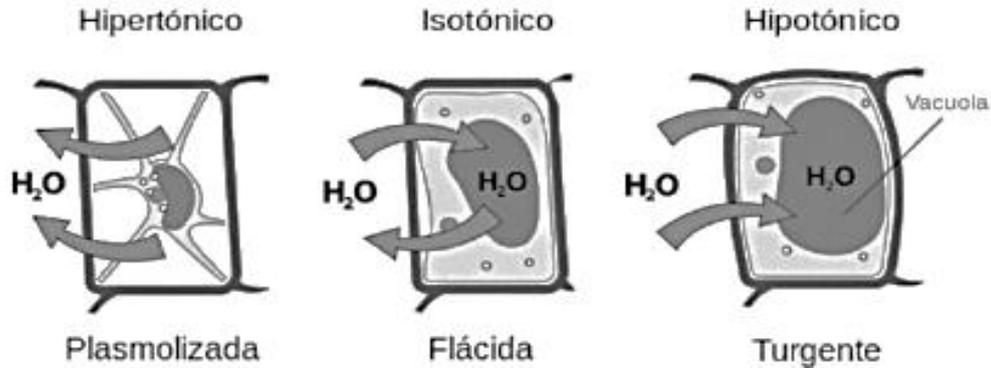
**Hipotónico:** Menor concentración de soluto en comparación con el medio adyacente.

**Hipertónico:** Mayor concentración de soluto en comparación con el medio adyacente.

**Isotónico:** Igual concentración en ambos medios, como se detalla en la figura 10.

**Figura 10**

Células vegetales según el medio que se encuentra.



Chirife (1984)

**La fuerza impulsora del fenómeno osmótico.** - La fuerza impulsora responsable del fenómeno osmótico, que provoca la transferencia de agua, se debe a la diferencia de potencial químico del agua entre las células y la disolución osmótica [74].

### 2.3.5. Fenómeno difusional

La difusión de agua y solutos en el fruto durante el secado osmótico ocurre dentro de las fases líquidas y en los espacios intercelulares, a través del líquido presente en ellos [75]. La fuerza que impulsa la difusión de los componentes en el sistema fruta-solutos es la diferencia de potencial químico en diferentes puntos del sistema. Cuando estas diferencias desaparecen, el sistema alcanza el equilibrio y cesa la transferencia de materia. El agua, debido a su pequeño peso molecular y alta permeabilidad del fruto en estudio, es el principal componente que se difunde durante el secado osmótico. El tratamiento osmótico con sacarosa promueve un aumento en los azúcares no reductores, una reducción en la acidez titulable, mayor rendimiento en el proceso osmótico y pérdida de agua en la fruta [76].

### **2.3.7. Mecanismo del secado convectivo**

El secado convectivo implica el transporte de cantidad de movimiento en el seno del aire, generando una gran turbulencia [77]. El movimiento del agua a través del alimento depende de su estructura porosa y de las interacciones del agua con la matriz alimentaria. En el secado por aire caliente, el movimiento de humedad por capilaridad ocurre en las primeras fases de desecación y el mecanismo difusional toma relevancia cuando el contenido de humedad es bajo. Estos procesos se realizan principalmente en secadores de bandejas de aire caliente, debido a su versatilidad y facilidad de manipulación. Estos secadores son utilizados para materiales sólidos como granos o frutas y son ampliamente usados en la industria [78]. La configuración básica de un secador de bandejas incluye:

Una fuente de alimentación para el producto.

Una fuente de aire, que puede ser un ventilador o bomba neumática con sistema de calefacción.

Un colector de aire húmedo e impurezas, desde el cual el aire puede ser recirculado o no al equipo.

El secado en estos equipos puede ser:

**De flujo horizontal:** El aire circula paralelamente al lecho a secar.

**De flujo transversal:** El aire circula perpendicularmente al lecho a secar.

## 2.4 Definición de términos básicos

**Secado osmótico:** 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 [18].

**Secado por convección:** Es la técnica más utilizada debido a los bajos costos y facilidad de aplicación, donde el calor requerido para evaporar el agua, se debe a que el aire caliente está en contacto directo con las frutas [25].

**Diseño:** Es el proceso previo de predicción mental para encontrar soluciones en cualquier campo [37].

**Diseño experimental:** diseño está establecido que permite inducir cambios de respuesta [38].

**Diseño compuesto central:** Es para poder planificar un procedimiento experimental para confirmar los efectos de las variables independientes o factores que influyen en la respuesta [39].

**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 [41].

### **III. HIPOTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **Hipótesis general**

Las condiciones óptimas de secado de pitahaya se logran mediante el secado osmótico, seguido del secado convectivo para mantener sus propiedades fisicoquímicas del producto final.

##### **Hipótesis específicas**

Las condiciones de secado osmótico se logran utilizando una solución de sacarosa entre 10 y 70 °Brix.

Las condiciones óptimas del secado convectivo de pitahaya permitirán mantener sus propiedades fisicoquímicas.

#### **3.1.1 Operacionalización de variables**

##### **Definición conceptual**

Variable dependiente: Proceso de secado osmo-convectivo

Variable independiente: Condiciones de operación del secado osmo-convectivo de pitahaya

La parte operativa de los experimentos en los procesos de secado osmótico y de secado convectivo, se llevó a cabo conforme como se detalla en las tablas 7 y 8.

**Tabla 7**

*Niveles de las variables de control en el secado osmótico*

| Variable de control                | Nivel bajo (-1) | Nivel medio (0) | Nivel alto (1) |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Concentración de la sacarosa °Brix | 40              | 50              | 60             |
| Tiempo de inmersión min            | 20              | 180             | 350            |

**Tabla 8**

*Niveles de las variables de control en el secado convectivo*

| Variabes de control               | Nivel bajo (-1) | Nivel medio (0) | Nivel alto (1) |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Temperatura °C                    | 55              | 60              | 65             |
| Velocidad de aire (m/s)           | 0.4             | 0.8             | 1.0            |
| Tiempo de secado convectivo (min) | 20              | 180             | 360            |

En la tabla 9 se muestran la operación de variables.

**Tabla 9**

Operacionalización de las variables

| <b>Variab</b>  | <b>Definición conceptual</b>  | <b>Definición operacional</b>  | <b>Dimensiones</b>  | <b>Indicadores</b>   | <b>Métodos</b>  |
|--|---|--|---|--|---|
| <b>VD: Proceso de secado osmo-convectivo</b>                               | Son procesos que ayudan a disminuir el agua de los alimentos para su conservación adecuada [17,18 ].  | Las características que van definir este proceso secado osmo-convectivo van permitir su adecuado conservación [23,24]. | Características:<br>Organolépticas<br>Químicas<br>Nutricionales | Textura<br>Color<br>Olor<br>°Brix<br>pH<br>Vitamina C          | Observación<br>Análisis volumétricos<br><br>NTP 207.005 2018<br><br>NTP-ISO 6658:2008 |
| <b>VI: Condiciones de operación del secado osmo-convectivo de pitahaya</b> | Son aquellas condiciones más favorables que se aplican a las rodajas de pitahaya para obtener un producto deshidratado de mejor calidad[18,19]. | Se fijan las variables en base a un diseño experimental y se miden las propiedades fisicoquímicas del producto [24].   | Secado osmótico<br><br>Secado convectivo                        | Tiempo<br>°Brix<br>Humedad<br>Temperatura<br>Velocidad de aire | Determinación de la humedad:<br>AOAC 32.1.03, ISO 6540:1980.                          |

## IV. METODOLOGIA DEL PROYECTO

### 4.1. Diseño metodológico

El tipo de investigación es de nivel aplicativo causa - efecto, dado que se relaciona la variable independiente frente a la variable dependiente y el diseño es experimental, se seleccionaron los valores de las variables en forma arbitraria para medir sus efectos.

### 4.2 Método de investigación

El estudio fue diseñado para llevarse a cabo en cuatro fases, descritas a continuación:

#### **Fase I: Análisis físico-químico de pitahaya fresca**

En esta fase, se realizó la selección y preparación del fruto, evaluando sus características nutricionales y funcionales. Posteriormente, se llevaron a cabo análisis fisicoquímicos de la pitahaya fresca en el laboratorio, evaluando características organolépticas (textura, color y olor), fisicoquímicas (tamaño, humedad, pH, °Brix y acidez) y nutricionales (vitamina C y m.o). Los procedimientos seguidos en esta fase incluyeron métodos sensoriales, analíticos y microbiológicos. Los pasos específicos fueron:

**Selección y clasificación:** Se seleccionaron frutos con una masa de 300 g, color amarillo, estructura regular y forma ovoide.

**Lavado:** Se lavaron los frutos con agua y se extrajeron las espinas de la parte externa.

**Pelado:** El pelado se realizó manualmente utilizando un cuchillo de acero inoxidable esterilizado. Los cortes fueron

realizados de forma transversal, con un espesor de 5 mm y un diámetro de 5.4 cm, obteniendo rodajas. Para establecer el tamaño se usó una regla de 30cm., la reducción de la humedad se determina usando la ecuación (7).

$$\%H = \frac{(w_i - w_f)}{w_i} * 100 \quad (7)$$

Donde

%H es el porcentaje de humedad

$W_i$ : es la masa en gramos de la muestra al inicio del proceso

$W_f$ : es la masa de la muestra luego de un tiempo determinado.

El pH: Se llegó a medir con el Universal test paper, lo cual indica (pH0-pH14).

**Los grados °Brix:** Se pudo medir con el refractómetro. Este instrumento utiliza el índice de refracción, cociente entre la velocidad de la luz en el vacío, determina el contenido de sacarosa en las muestras y es una aplicación bien conocida en la industria alimentaria y de bebidas [26].

**La acidez:** Se ha calculado mediante la titulación con el NaOH

**La vitamina C:** Se ha realizado mediante la titulación con el método de Yodometria, se aplicó la ecuación (8).

$$C = \frac{V * M}{(V_0 * MW)} \quad (8)$$

Donde:

C = concentración de ácido ascórbico (mg/l)

V = volumen de solución estándar de yodo utilizado (ml)

M = molaridad de la solución estándar de yodo (mol/l)

$V_0$  = volumen de la muestra de jugo de fruta (ml)

$M_w$  = Peso molecular del ácido ascórbico (176.13 g/mol)

Se realizaron los análisis microbiológicos (m.o) en el secado y los resultados se encuentran en el anexo 4.

### **Fase II: Proceso de secado osmótica**

En esta fase, se evaluaron varias sustancias osmóticas y se decidió usar sacarosa debido a su alta presión osmótica, que crea un gradiente de potencial químico entre el agua contenida en el alimento y la solución osmótica, provocando el flujo de agua desde el interior del producto hacia la solución. La inmersión osmótica de la pitahaya se realizó introduciendo las rodajas de fruta (30 g) en un fluido osmótico con concentraciones de 40, 50 y 60 °Brix, manteniendo una relación fruta: jarabe de 1:3 a temperatura ambiente. Después de la inmersión, se procedió a drenar y enjuagar las rodajas en un colador para eliminar el jarabe superficial. Posteriormente, se dejaron reposar durante 3 horas para eliminar el exceso de líquido. Finalmente, se pesaron las rodajas de pitahaya, obteniendo un peso aproximado de 23 g. El procedimiento detallado se ilustra en la figura 11.

### **Figura 11**

*Rodajas de pitahaya en solución osmótica (sacarosa).*



### **Fase III: Proceso de secado convectivo**

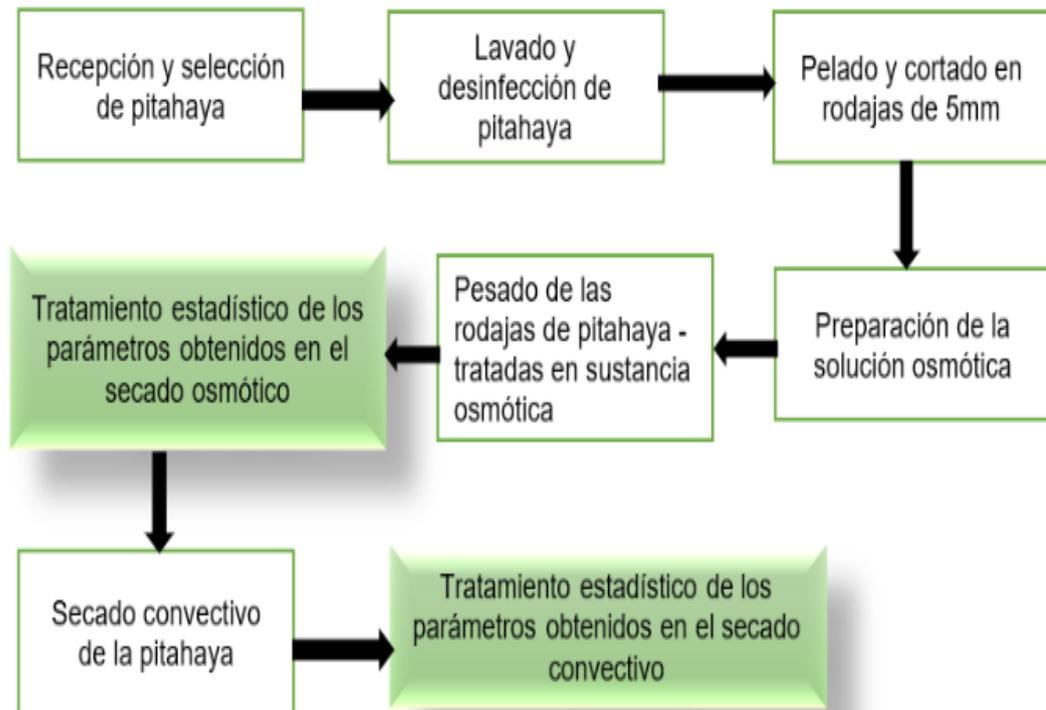
El secado convectivo es un proceso que reduce la cantidad de agua en los alimentos para prolongar su vida útil y adecuada conservación. La pérdida de humedad de las rodajas de pitahaya se determinó usando la ecuación 7. En esta fase, se evaluaron las características del secador convectivo de bandejas, estableciendo los parámetros a controlar: temperatura, tiempo, velocidad del aire caliente y estabilidad del equipo. Las condiciones de secado fueron: temperaturas de operación de 55, 60 y 65 °C, tiempos de 20, 180 y 360 minutos, y velocidades de aire caliente de 0.4, 0.8 y 1.0 m/s. Posteriormente, se determinaron las condiciones óptimas utilizando el método de superficie de respuesta (MSR).

### **Fase IV: Análisis fisicoquímico de pitahaya seca**

Los análisis realizados durante el secado convectivo abarcaron una evaluación integral de propiedades fisicoquímicas y sensoriales, tales como textura, color, sabor, contenido de humedad, acidez, pH, y niveles de vitamina C, además del control microbiológico (m.o.). Para determinar la vitamina C, se empleó el método de titulación con yodo ( $KIO_3$ ) y yoduro de potasio (KI), utilizando almidón como indicador. Las ecuaciones y procedimientos aplicados fueron los mismos que en la Fase I de la investigación. La figura 12 ilustra detalladamente el proceso conjunto de secado osmótico y convectivo.

**Figura 12**

*Etapas del proceso secado osmótico y convectivo de pitahaya.*



### **4.3. Población y muestra**

#### **4.3.1 Población**

Para el desarrollo de las pruebas experimentales se emplearon 30 kilos de pitahaya procedentes del distrito de Churuja- Amazonas, como se muestra en la figura 14.

#### **Figura 13**

*Pitahaya de cascara amarilla la pulpa blanca*



#### **4.3.2 Muestra**

Como muestra para cada experiencia se emplearon rodajas de pitahaya fresca con una masa de 30g.

### **4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado**

La investigación se desarrolló en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química e Instituto de Investigación Acuícolas y Agrarias de la UNAC. El periodo de estudio fue de 3 meses debido a que la fruta es estacional y no está presente todo el año.

## 4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de la información

### 4.5.1. Técnicas

Las observaciones de los fenómenos se realizaron con la finalidad de obtenerla información necesaria para la investigación. La experimentación inicial para el estudio de secado osmótico y convectivo de las rodajas de pitahaya se llevó a cabo en el laboratorio. Para los análisis fisicoquímicos se siguieron las normas técnicas detalladas en las tablas 10 y 11.

**Tabla 10**

*Normas técnicas para el análisis de la materia prima*

| Análisis      | Técnica    | Norma                    |
|---------------|------------|--------------------------|
| Masa          | Metrología | RD. N° 001-2017          |
| Espesor       | Metrología | INACAL/DM/NTP<br>203.121 |
| Concentración | Metrología | A.O.A.C 932.12-<br>2005  |
| °Brix<br>pH   | Metrología | A.O.A.C 981.12-<br>2005  |

Higiene: Se ha seguido los principios generales de higiene de los alimentos CODEX [56].

**Tabla 11**

*Normas técnicas para el análisis de secado osmo- convectivo*

| Análisis                          | Técnica    | Norma                              |
|-----------------------------------|------------|------------------------------------|
| Humedad                           | Secado     | A.O.A.C 7.003<br>A.O.A.C el 934.06 |
| Determinación de la<br>vitamina C | Titulación | NTP N° 203.110-2009                |

Snack según la NTP 209.145:1980 (revisada el 2017) frutos secos

#### 4.6. Análisis y procesamiento de recolección de datos

El análisis y procesamiento de los datos estadísticos se realizaron utilizando el software Minitab 19, con un diseño experimental de Box-Behnken. Para optimizar las condiciones del proceso de secado osmótico y convectivo, se aplicó la metodología de superficie de respuesta (MSR). Esta metodología permitió generar una serie de tablas, gráficos y análisis de varianza (ANOVA). El ANOVA descompone la variación total presente en el conjunto de datos en varios componentes, cada uno asociado a una fuente específica de variación. Después de completar los procesos de secado osmótico y convectivo, se evaluaron cada uno de los resultados con sus respectivos análisis estadísticos. En la tabla 12 se presenta el diseño experimental de la etapa de secado osmótico de pitahaya, y en la tabla 13 se muestra el diseño experimental de la etapa de secado convectivo.

**Tabla 12**

*Condiciones del diseño de Box-Behnken - secado osmótico*

| Corridas | Tiempo (min) | Concentración °Brix |
|----------|--------------|---------------------|
| 1        | 20           | 40                  |
| 2        | 20           | 60                  |
| 3        | 350          | 40                  |
| 4        | 350          | 60                  |
| 5        | 180          | 50                  |
| 6        | 180          | 50                  |
| 7        | 180          | 50                  |
| 8        | 350          | 50                  |
| 9        | 180          | 50                  |

**Tabla 13**

*Condiciones del diseño de Box-Behnken-secado convectivo.*

| Corridas | Tiempo (min) | Temperatura (°C) | Velocidad de aire (m/s) |
|----------|--------------|------------------|-------------------------|
| 1        | 20           | 55               | 0.8                     |
| 2        | 360          | 55               | 0.8                     |
| 3        | 20           | 65               | 0.8                     |
| 4        | 360          | 65               | 0.8                     |
| 5        | 20           | 60               | 0.4                     |
| 6        | 360          | 60               | 0.4                     |
| 7        | 20           | 60               | 1.0                     |
| 8        | 360          | 60               | 1.0                     |
| 9        | 180          | 55               | 0.4                     |
| 10       | 180          | 65               | 0.4                     |
| 11       | 180          | 55               | 1.0                     |
| 12       | 180          | 65               | 1.0                     |
| 13       | 180          | 60               | 0.8                     |
| 14       | 180          | 60               | 0.8                     |
| 15       | 180          | 60               | 0.8                     |

#### **4.7. Aspectos éticos en investigación**

Se han seleccionado y aplicado los conocimientos teóricos basados en una revisión exhaustiva de estudios previos sobre el secado de alimentos y los equipos utilizados, con el objetivo de obtener un producto final de calidad adecuada para el consumo humano, manteniendo sus propiedades y beneficios. Los resultados obtenidos mediante los experimentos de los procesos químicos se presentaron sin alteraciones, y los datos estadísticos se registraron con precisión. Las medidas y observaciones se realizaron bajo las mismas condiciones de operación durante los procesos de secado osmótico y convectivo en el laboratorio de la FIQ-UNAC, asegurando la integridad y veracidad de la investigación.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados descriptivos

El trabajo de investigación se dividió en dos partes: primero, el tratamiento secado osmótico, y segundo, el secado convectivo de pitahaya mediante aire caliente en un secador de bandejas.

#### 5.1.1. Caracterización fisicoquímica de la pitahaya fresca

En esta fase, se llevaron a cabo las caracterizaciones según las normas técnicas de la AOAC. Los resultados obtenidos se muestran en las tablas 14 y 15.

**Tabla 14**

*Características fisicoquímicas de pitahaya fresca*

| Humedad | Acidez | pH   | °Brix | Vitamina C |
|---------|--------|------|-------|------------|
| 82%     | 1.23%  | 4.86 | 21    | 5.5mg      |

**Tabla 15**

*Especificaciones físicas del fruto pitahaya*

| Variable            | Clase                   |
|---------------------|-------------------------|
| Tamaño              | Mediano 300g            |
| Forma               | Ovalada                 |
| Color de la pulpa   | Blanco con pepas negras |
| Color de la cascara | Amarillento             |
| Textura             | Gelatinoso(mucilago)    |

### 5.1.2 Proceso de secado osmótico

En esta etapa, se evaluaron soluciones osmóticas de sacarosa a concentraciones 40, 50 y 60 °Brix utilizando una masa inicial de 30 g de pitahaya. El tiempo de inmersión varió entre 20, 180 y 350 minutos, con una relación fruta: jarabe de (1: 3) a una temperatura ambiental de 22° C. Los resultados específicos se presentan detalladamente en la tabla 16.

**Tabla 16**

*Matriz codificada de las variables de estudio secado osmótico*

| Corridas | Tiempo (min) | Concentración (°Brix) | Humedad |
|----------|--------------|-----------------------|---------|
| 1        | 20           | 40                    | 82.6%   |
| 2        | 20           | 60                    | 82.6%   |
| 3        | 350          | 40                    | 83.8%   |
| 4        | 350          | 60                    | 58.67%  |
| 5        | 180          | 50                    | 65.3%   |
| 6        | 180          | 50                    | 65.82%  |
| 7        | 180          | 50                    | 65.82%  |
| 8        | 350          | 50                    | 72.3%   |
| 9        | 180          | 50                    | 65.82%  |

Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la influencia del tiempo y la concentración de sacarosa en °Brix. La significancia de estos factores se determinó mediante los valores “p”, y de acuerdo con los resultados obtenidos, se estableció su relevancia estadística ( $p < 0.05$ ). Los detalles de estos análisis se muestran en la tabla 17.

**Tabla 17**

*Análisis de varianza (ANOVA)*

| Fuente              | G |           | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|---------------------|---|-----------|-----------|---------|---------|
|                     | L | SC Ajust. |           |         |         |
| Tiempo (min)        | 1 | 0.000276  | 0.000276  | 3.81    | 0.0108  |
| Concentración °Brix | 2 | 0.000147  | 0.000073  | 1.01    | 0.0428  |
| Error               | 5 | 0.000363  | 0.000073  |         |         |
| Falta de ajuste     | 2 | 0.000166  | 0.000083  | 1.26    | 0.0400  |
| Error puro          | 3 | 0.000197  | 0.000066  |         |         |
| Total               | 8 | 0.000804  |           |         |         |

### 5.1.3 Parámetros óptimos de secado osmótico

Aplicando el método de superficie de respuesta, se determinaron los parámetros óptimos para el secado osmótico, obteniendo una concentración de 60°Brix y un tiempo de 157.28 minutos. La humedad residual alcanzada fue aproximadamente del 58%, como se muestra detalladamente en la figura 14. El coeficiente de determinación  $R^2$  fue de 0.9589, indicando una buena capacidad del modelo para predecir los resultados. Es importante destacar que la humedad reportada está en base seca que es de 4%, un equivalente aproximado a 23.33% en base húmeda. Los detalles del tratamiento se encuentran en la tabla 18.

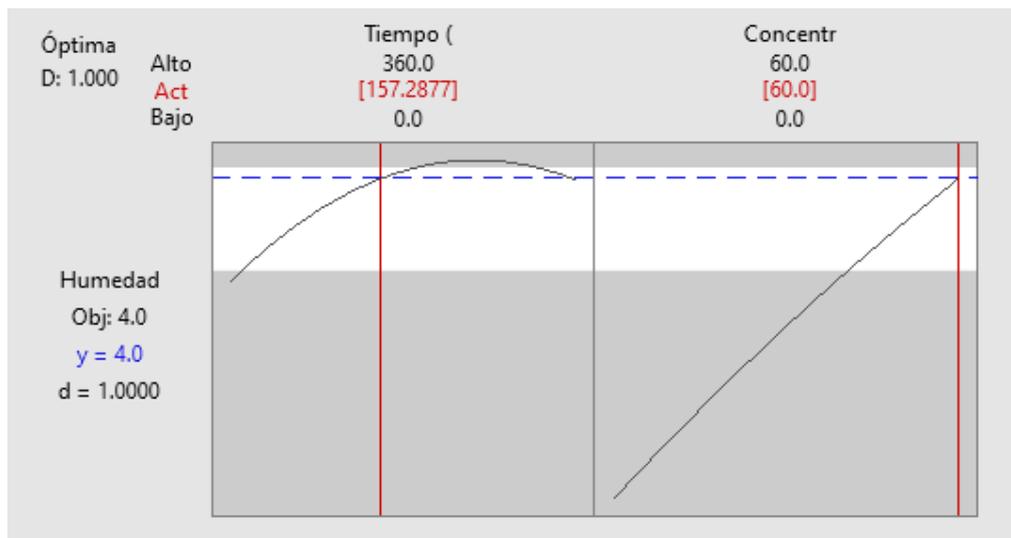
**Tabla 18**

Resumen del modelo del tratamiento

| S        | R-cuadrado | R-cuadrado(ajustado) |
|----------|------------|----------------------|
| 0.260942 | 95.89%     | 95.43%               |

**Figura 14**

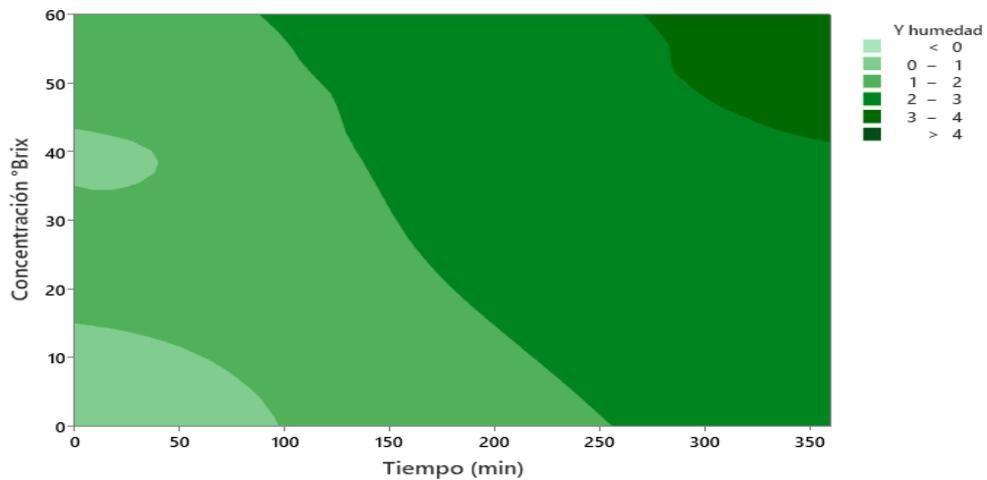
°Parámetros optimizados del secado osmótico



Las curvas de contorno permitieron la visualización de la relación entre los factores del secado osmótico, donde cada contorno representa una altura específica de la superficie de respuesta. Estas curvas ilustran las diferentes combinaciones de niveles de factores que generan variaciones en la respuesta, como se muestra detalladamente en la figura 15.

**Figura 15**

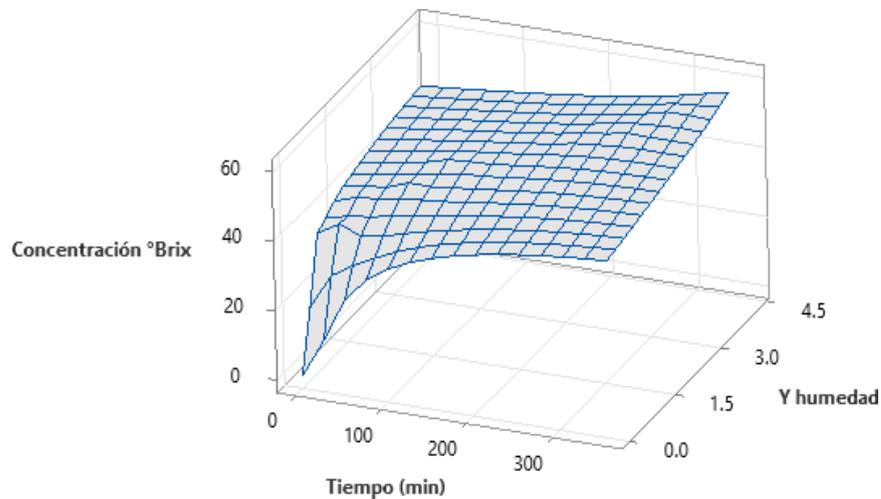
*Contorno de superficie de respuesta*



En la figura 16, se describe la trayectoria de las variables mediante la superficie de respuesta.

**Figura 16**

*Superficie de respuesta del secado osmótico*



#### 5.1.4. Proceso de optimización del secado convectivo

En este proceso de secado convectivo, se determinaron diversos procedimientos y se aplicó el Método de Superficie de Respuesta (MSR) para desarrollar los parámetros óptimos. La tabla 19 detalla la matriz utilizada para obtener estos parámetros.

**Tabla 19**

*Matriz codificada de las variables de estudio de secado convectivo*

| Corridas | Tiempo (min) | Temperatura (°C) | Velocidad de aire (m/s) | Humedad |
|----------|--------------|------------------|-------------------------|---------|
| 1        | 20           | 55               | 0.8                     | 54.35%  |
| 2        | 360          | 55               | 0.8                     | 28.9%   |
| 3        | 20           | 65               | 0.8                     | 50.01%  |
| 4        | 360          | 65               | 0.8                     | 23.40%  |
| 5        | 20           | 60               | 0.4                     | 36.0%   |
| 6        | 360          | 60               | 0.4                     | 36.96%  |
| 7        | 20           | 60               | 1.0                     | 41.31%  |
| 8        | 360          | 60               | 1.0                     | 36.0%   |
| 9        | 180          | 55               | 0.4                     | 41.31%  |
| 10       | 180          | 65               | 0.4                     | 40.0%   |
| 11       | 180          | 55               | 1.0                     | 45.66%  |
| 12       | 180          | 65               | 1.0                     | 45.0%   |
| 13       | 180          | 60               | 0.8                     | 50.96%  |
| 14       | 180          | 60               | 0.8                     | 50.0%   |
| 15       | 180          | 60               | 0.8                     | 50.0%   |

Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la significancia de los factores velocidad, tiempo y temperatura en el proceso de secado convectivo. La significancia de estos factores fue determinada mediante los valores "p", y los resultados mostraron significancia estadística ( $p < 0.05$ ). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de investigación. Los resultados detallados se presentan en la tabla 20.

**Tabla 20***Análisis de varianza ANOVA*

| <b>Fuente</b>            | <b>GL</b> | <b>SC Ajust.</b> | <b>MC Ajust.</b> | <b>Valor F</b> | <b>Valor p</b> |
|--------------------------|-----------|------------------|------------------|----------------|----------------|
| Velocidad de aire<br>m/s | 1         | 0.011614         | 0.011614         | 0.75           | 0.0405         |
| Tiempo (min)             | 2         | 0.047284         | 0.023642         | 1.53           | 0.0260         |
| Temperatura °C           | 2         | 0.002421         | 0.001210         | 0.08           | 0.0925         |
| Error                    | 11        | 0.170270         | 0.015479         |                |                |
| Falta de ajuste          | 7         | 0.078977         | 0.011282         | 0.49           | 0.805          |
| Error puro               | 4         | 0.091293         | 0.022823         |                |                |
| Total                    | 16        | 0.231192         |                  |                |                |

Para el secado convectivo de la pitahaya, los resultados muestran que la variabilidad total de la respuesta, específicamente la humedad residual tras el secado, es explicada en un 96.04% ( $R^2$  ajustado) por el modelo seleccionado. Esto indica que el modelo tiene un alto poder predictivo. En la tabla 21 se presenta un resumen detallado del modelo.

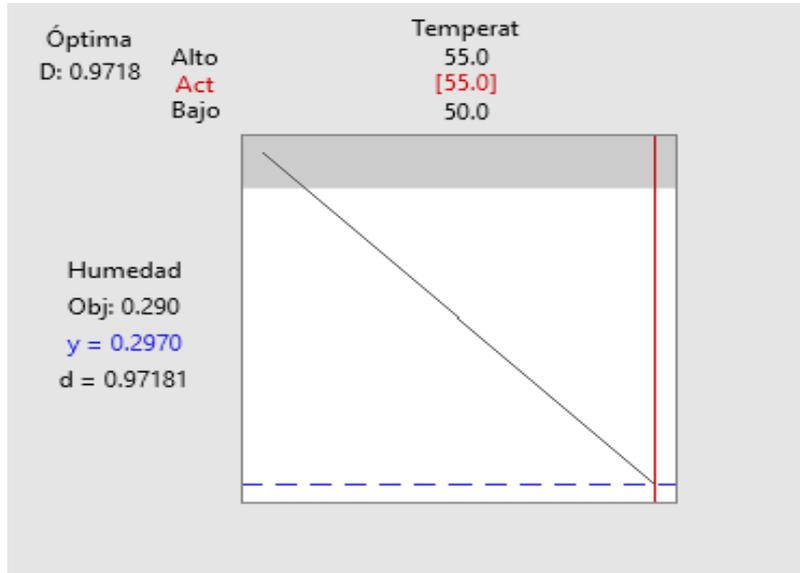
**Tabla 21***Resumen del modelo de tratamiento de secado convectivo*

| <b>S</b>  | <b>R-cuadrado</b> | <b>R-cuadrado(ajustado)</b> | <b>R-cuadrado<br/>(pred)</b> |
|-----------|-------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 0.0367708 | 96.44%            | 96.04%                      | 94.56%                       |

Realizando los análisis de los datos presentados en la tabla 16, y aplicando la metodología de superficie de respuesta (RSM), se determinó que la temperatura óptima de secado convectivo es de 55°C, obteniendo una humedad final del producto de 29.70%. La figura 17 muestra este resultado, mientras que la figura 18 ilustra el comportamiento de la curva de contorno. En la figura 19 se detallan las proyecciones de los parámetros del proceso.

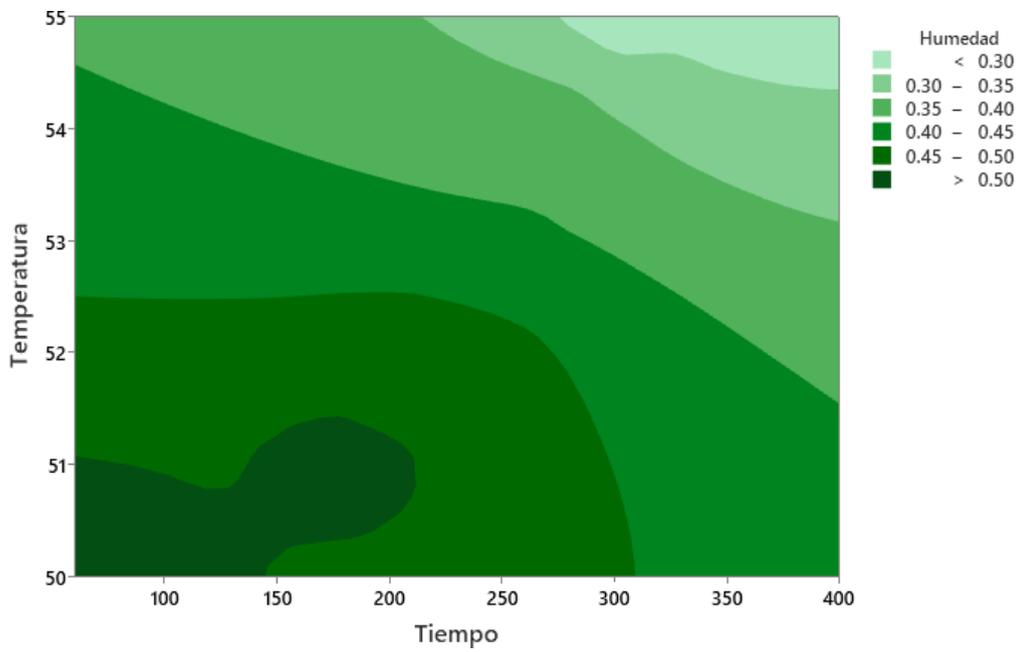
**Figura 17**

*Determinación de la humedad óptimo.*



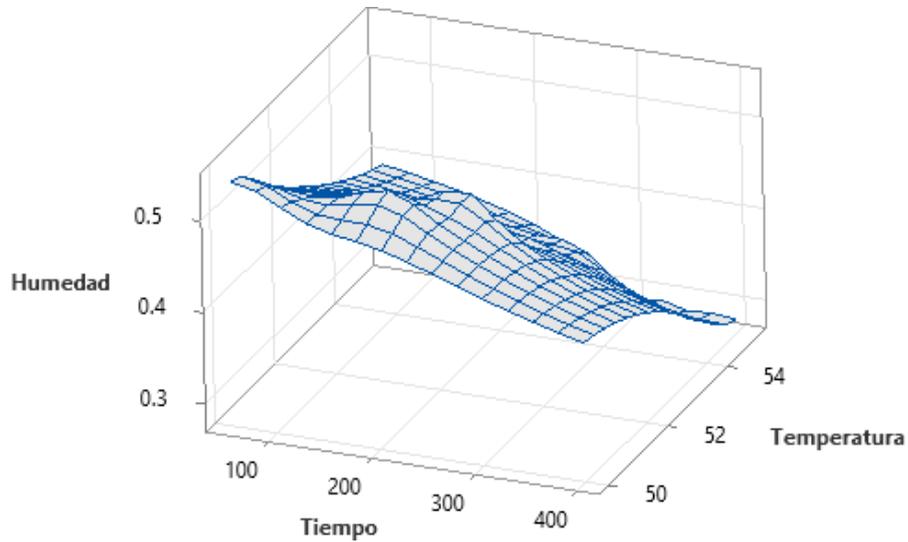
**Figura 18**

*Contorno de la superficie de respuesta*



**Figura 19**

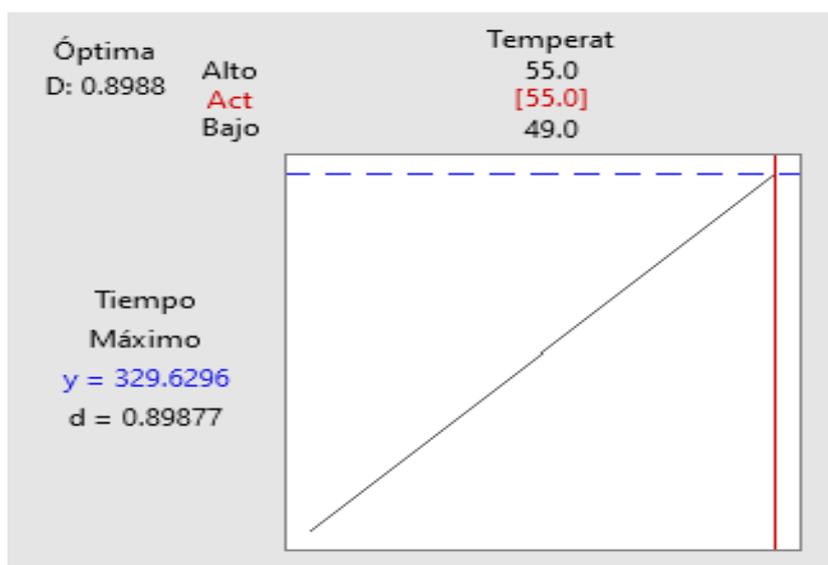
*Superficie de respuesta de la humedad en función a la temperatura y el tiempo*



Para la determinación del tiempo óptimo de secado, se tomó como referencia la humedad óptima y la temperatura correspondiente. El valor obtenido fue de 329.62 minutos para el secado convectivo de la pitahaya. Los resultados se detallan en la figura 20.

**Figura 20**

*Determinación del tiempo optimo*



En el secado convectivo de pitahaya, se estableció una relación de alto poder predictivo, como se detalla en la tabla 22, que presenta el resumen del modelo. En la figura 21, se muestra el comportamiento de la velocidad, y en la figura 22, se observa el comportamiento de la curva de contorno en el punto óptimo de velocidad. Finalmente, en la figura 23, se detallan las proyecciones del proceso de secado convectivo.

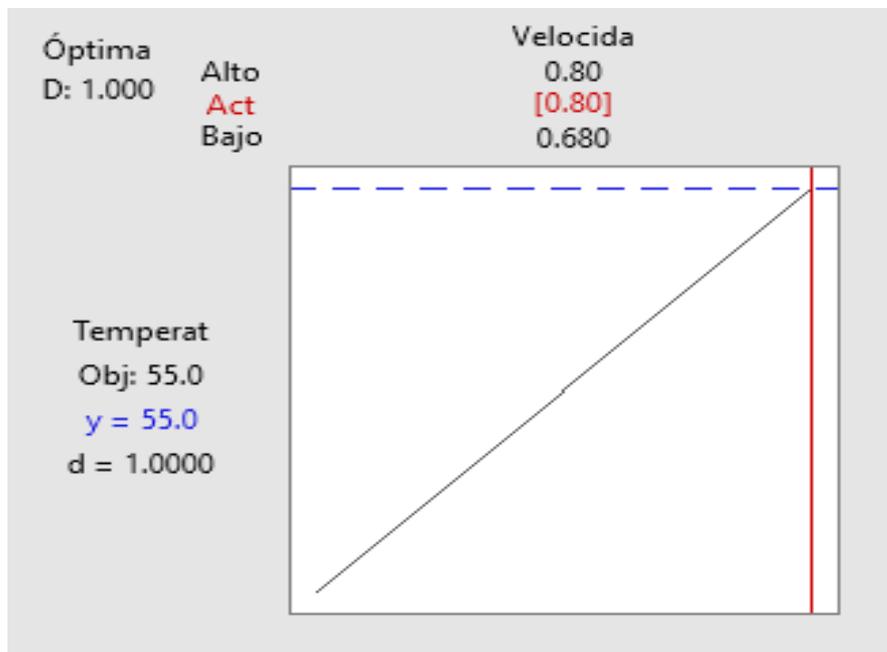
**Tabla 22**

*Resumen del modelo para la determinación de la velocidad*

| S | R-cuadrado | R-cuadrado(ajustado) | R-cuadrado (pred) |
|---|------------|----------------------|-------------------|
| 0 | 100.00%    | 100.00%              | 100.00%           |

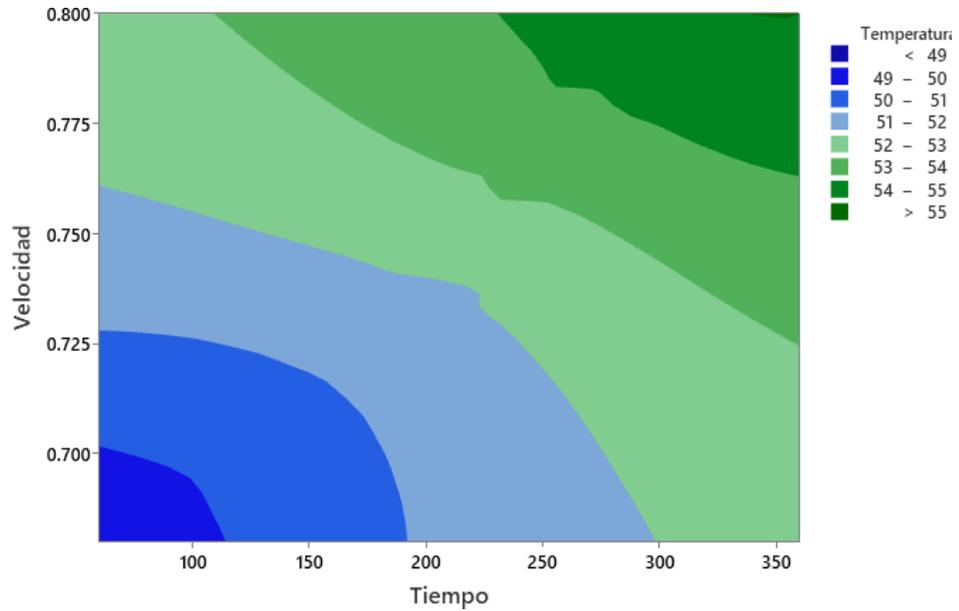
**Figura 21**

Determinación de la *velocidad optima del proceso*.



**Figura 22**

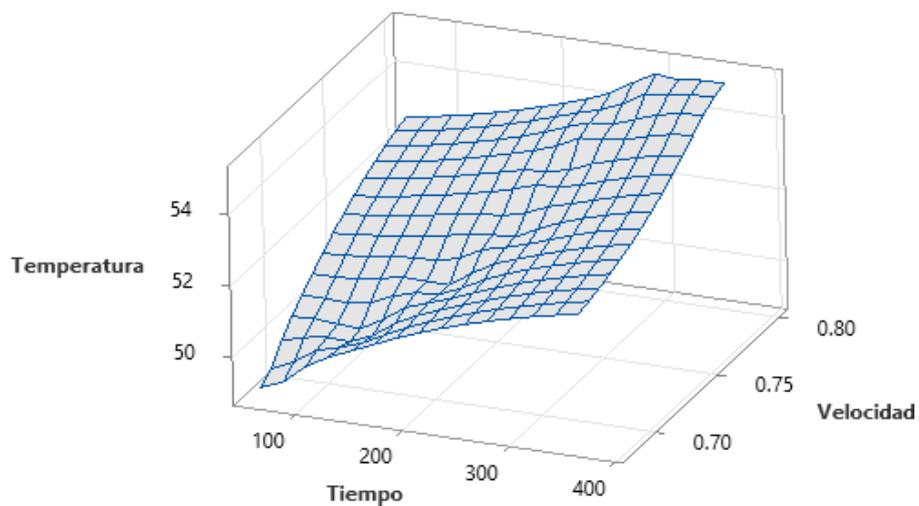
*Contorno de la superficie de respuesta para la velocidad del proceso.*



Los valores experimentales obtenidos se acercaron notablemente a los previstos por el modelo matemático, lo que confirma la validez de los resultados obtenidos mediante la metodología de superficie de respuesta.

**Figura 23**

*Superficie de respuesta de temperatura en función de la velocidad y tiempo*



### 5.1.5 Análisis fisicoquímicos del secado osmótico y convectivo

Los análisis fisicoquímicos se llevaron a cabo siguiendo la norma ISO/IEC 17025. La reducción adecuada de la humedad del producto final se logró gracias a la regulación precisa de la temperatura y la velocidad del aire dentro del secador. La optimización de estos parámetros permitió mantener la calidad nutricional del producto. En la tabla 23, se detallan los resultados de los análisis fisicoquímicos y nutricionales, mientras que la figura 24 muestra el comportamiento de la vitamina C en el producto final.

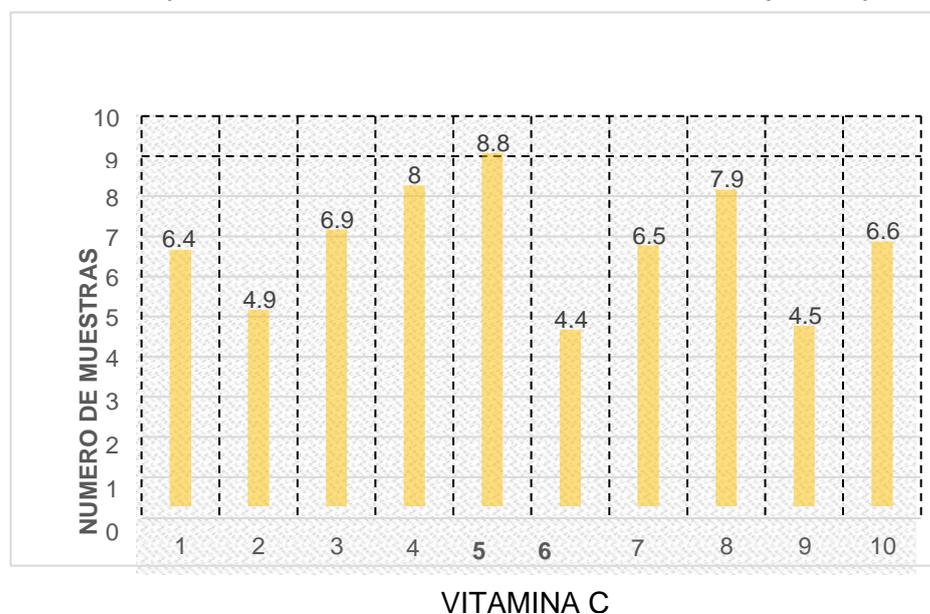
**Tabla 23**

*Las características fisicoquímicas del secado osmótico y convectivo*

|                   | Humedad | Acidez % | pH  | °Brix | Vitamina C |
|-------------------|---------|----------|-----|-------|------------|
| Secado osmótico   | 58%     | 1.066    | 5.9 | 18    | 5.8        |
| Secado convectivo | 29.70%  | 0.046    | 6.8 | 19    | 6.8        |

**Figura 24**

*Vitamina C posterior al secado convectivo de las rodajas de pitahaya.*



## **5.2 Resultados Inferenciales**

La investigación se llevó a cabo en dos etapas: la primera etapa involucró el secado osmótico y la segunda etapa aplicó el secado convectivo. Inicialmente, se realizó el análisis de las características fisicoquímicas y nutricionales de la pitahaya fresca, como se detallan en las tablas 11 y 12.

### **Secado Osmótico**

En el proceso de secado osmótico, se utilizó una relación fruta-solución de 1:3, empleando muestras de 30 g de pulpa de pitahaya en rodajas con un diámetro de 5.4 cm y un espesor de 5 mm. La sacarosa se utilizó como solución osmótica en concentraciones de 40, 50 y 60 °Brix. Aplicando la metodología de superficie de respuesta, se identificaron los puntos óptimos con una concentración de 60 °Brix, un tiempo de 157.28 minutos y una humedad del 58%. El coeficiente de determinación fue  $R^2 = 0.9589$ , como se indica en la tabla 15. Los puntos óptimos se ilustran en las figuras 12, 13 y 14.

### **Secado Convectivo**

En la segunda etapa, el secado convectivo se realizó utilizando un secador de bandejas a temperaturas de 55, 60 y 65 °C, con velocidades de aire caliente de 0.4, 0.8 y 1.0 m/s y tiempos de 20, 180 y 360 minutos. Mediante la metodología de superficie de respuesta, se determinaron los parámetros óptimos: una humedad final de las rodajas de pitahaya de 29.70%, una temperatura de 55°C, una velocidad de aire de 0.8 m/s y un tiempo de 329.62 minutos. El coeficiente de determinación fue  $R^2 = 0.9604$ , como se detalla en la tabla 18. Los parámetros óptimos se ilustran en las figuras 20, 21, 22 y 23.

### **Análisis Estadístico**

Los resultados se analizaron mediante ANOVA, mostrando una significancia de  $p < 0.05$ , confirmando la validez del modelo utilizado. Los análisis fisicoquímicos y nutricionales del producto final

se realizaron de acuerdo con los métodos AOAC y la norma ISO/IEC 17025. Estos resultados demuestran la efectividad de las condiciones óptimas de secado osmótico y convectivo en la conservación de la calidad de la pitahaya.

## **VI. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

### **6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados**

El estudio se centró en verificar la hipótesis de que las condiciones óptimas de secado de la pitahaya se alcanzan mediante el secado osmótico seguido del secado convectivo. Inicialmente, se evaluaron las características fisicoquímicas de la pitahaya fresca, obteniendo valores de humedad del 82%, pH de 4.86, sólidos solubles °Brix de 21 y vitamina C de 5.5 mg. Estos datos proporcionaron la base para el diseño del proceso de secado osmótico, que incluyó tiempos de inmersión de 20, 180 y 350 minutos, utilizando sacarosa como sustancia osmótica y un período de drenado de 3 horas en reposo. Se aplicó el diseño experimental de Box-Behnken para optimizar las condiciones, utilizando el Método de Superficie de Respuesta, lo que resultó en una concentración óptima de sacarosa de 60 °Brix, un tiempo de 157.28 minutos y una humedad del 58%. Los análisis de varianza (ANOVA) confirmaron la significancia estadística ( $p < 0.05$ ), lo que condujo a rechazar la hipótesis nula y validar la hipótesis de investigación.

Posteriormente, se realizó el secado convectivo, evaluando propiedades fisicoquímicas como un pH de 5.9, °Brix de 18 y una humedad del producto final de 29.70%. Mediante la metodología de Superficie de Respuesta, se determinaron los parámetros óptimos: temperatura de 55°C, tiempo de 329.62 minutos, velocidad de aire caliente de 0.8 m/s y humedad del 29.70%. Los análisis estadísticos ANOVA nuevamente mostraron significancia ( $p < 0.05$ ), lo que respaldó la aceptación de la hipótesis de investigación sobre la influencia del secado convectivo en las propiedades fisicoquímicas de la pitahaya.

El producto final fue sometido a análisis fisicoquímicos adicionales conforme a los procedimientos de la metodología AOAC, revelando un pH de 6.8, °Brix de 19, acidez de 0.046 y humedad del 29.70%.

La característica nutricional, como la vitamina C con 6.8 mg, se confirmó como adecuada para el consumo humano mediante análisis microbiológico detallado, como se muestra en el anexo 4.

Este estudio confirma que el proceso combinado de secado osmótico y convectivo optimiza las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de la pitahaya, garantizando un producto final de alta calidad y seguridad alimentaria.

## **6.2. Contrastación de los resultados con los otros estudios similares**

Aguiar-Uvidia (2022) realizó un estudio titulado "Pitahaya deshidratada, una alternativa para generar economía local (cantón Palora-Provincia Morona Santiago)". Su investigación tuvo como objetivo revisar y describir técnicas para la elaboración de pitahaya deshidratada como una alternativa para el desarrollo económico local. Utilizaron un enfoque teórico documental, obteniendo información de fuentes confiables como artículos científicos, revisiones, tesis y páginas web.

En su estudio, exploraron diversos métodos de deshidratación como la convección, conducción, radiación, liofilización, osmótica, natural y por congelación. Observaron que todos estos métodos comparten el objetivo de reducir el contenido acuoso de la fruta para obtener un producto sólido. Sin embargo, debido a sus bajos costos de implementación y su factibilidad, concluyeron que la técnica de deshidratación por convección es la más recomendada.

En nuestro caso, elegimos el secado osmótico y convectivo debido a su versatilidad y costos más bajos, lo cual también se alinea con la experiencia y recomendaciones de Aguiar-Uvidia. Estos métodos permitieron optimizar las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de la

pitahaya, asegurando un proceso eficiente y un producto final de alta calidad para el consumo humano.

En el estudio realizado por Ayala et al. (2014) titulado "Influencia de un pre-tratamiento osmótico sobre el secado convectivo de pitahaya amarilla", se propuso realizar un pre-tratamiento osmótico seguido de secado convectivo. Utilizaron cilindros de pitahaya deshidratados osmóticamente en una solución de sacarosa al 55 % (p/p) durante 45 minutos como pre-tratamiento antes del secado convectivo. En nuestra investigación sobre el secado osmo-convectivo de pitahaya, aplicamos un pre-tratamiento con sacarosa a 60 °Brix y durante 157.28 minutos. El secado por aire caliente se llevó a cabo a temperaturas de 50, 60 y 70 °C, comparando la cinética de secado entre las muestras osmodeshidratadas y las no tratadas, determinando los coeficientes de difusión efectiva.

En nuestro estudio, ajustamos las condiciones de temperatura a 55, 60 y 65 °C, observando que la temperatura óptima para el secado convectivo fue de 55 °C, lo cual es consistente con los hallazgos de Ayala et al. Esto confirma que la temperatura de 55 °C proporciona las condiciones más efectivas para el secado convectivo de pitahaya.

Por otro lado, Verona et al. (2020) en su investigación titulada "Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos", se enfocaron en estudiar los valores nutricionales y la composición de la pitahaya, conocida popularmente como "fruta del dragón". Este fruto, originario de Centroamérica y la selva peruana, presenta una variabilidad en colores como amarillo, púrpura, rojo y blanco, cada uno con características nutricionales particulares. Destacaron el contenido de ácido ascórbico, siendo más alto en la especie roja con valores entre 4-25 mg/100g.

En este trabajo, analizamos el contenido de vitamina C, también conocida como ácido ascórbico, encontrando 5.8 mg en el secado osmótico y 6.8 mg/100g en el secado convectivo de pitahaya (*Hylocereus megalanthus*). Estos resultados coinciden con los hallazgos reportados por Verona et al., fortaleciendo así la investigación sobre el secado osmo-convectivo de la pitahaya y confirmando su potencial para preservar los compuestos bioactivos importantes durante el proceso de secado.

### **6.3. Responsabilidad ética**

En esta investigación, se han adherido a un conjunto de normas morales que guían la veracidad, honestidad, rigurosidad y exhaustividad del estudio. Se ha contado con el respaldo de citas bibliográficas académicas y la orientación constante de asesores, quienes han promovido la integridad científica indispensable para cualquier investigación. En la actualidad, la responsabilidad ética es fundamental en la conducta humana, especialmente en el ámbito de la investigación científica, donde contribuye significativamente al desarrollo social. La ética no solo moldea la personalidad y el carácter de los investigadores, dotándolos de principios y valores morales que regulan su comportamiento, sino que también fortalece sus capacidades profesionales y de toma de decisiones éticas [49].

## VII. CONCLUSIONES

Se logró determinar las condiciones óptimas para el proceso de <sup>25</sup>secado osmo-convectivo de pitahaya, manteniendo sus propiedades fisicoquímicas. Inicialmente, se evaluaron las características fisicoquímicas de la pitahaya fresca, que incluyeron un pH de 4.86, °Brix de 21, vitamina C de 5.5 mg y una humedad inicial del 82%. Estos datos fueron fundamentales para aplicar la metodología de superficie de respuesta (MSR). Los resultados demuestran que ambos procesos son viables y efectivos para la conservación de pitahaya mediante el secado.

En el secado osmótico, se utilizó sacarosa debido a su capacidad para extraer agua de la fruta, con una concentración óptima de 60°Brix y un tiempo de inmersión de 157.28 minutos, con una humedad residual del 58%, asegurando un tratamiento efectivo y conservando las propiedades fisicoquímicas deseadas.

Por otro lado, en el secado convectivo se determinaron los parámetros operativos óptimos usando el método de superficie de respuesta (MSR) : temperatura de 55°C, tiempo de 329.62 minutos, velocidad de aire de 0.8 m/s y una humedad final del 29.70%. Después de un periodo de tres días a temperatura ambiental, la humedad ha seguido disminuyendo al 20%, lo que permite concluir que el proceso de secado osmo-convectivo es una alternativa viable para la reducción de la humedad en la pitahaya, manteniendo la integridad de sus propiedades fisicoquímicas en el producto final.

## VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda prestar especial atención a la etapa de maduración y a los métodos de recolección y transporte del *Hylocereus megalanthus* (pitahaya), particularmente en el distrito de Churuja, región Amazonas. La preservación de la calidad del fruto es crucial, ya que las propiedades fisicoquímicas pueden verse afectadas por factores ambientales. El manejo postcosecha debe incluir controles precisos para minimizar la degradación de compuestos bioactivos.

Para investigaciones futuras, es esencial aplicar un diseño experimental robusto y optimizar los métodos y programas de análisis de manera costo-efectiva. En el ámbito de la ingeniería química, esto incluye la integración de trazabilidad en los procesos de producción de alimentos orgánicos y la innovación en tecnologías de conservación. La implementación de software de bajo costo pero científicamente riguroso puede facilitar la investigación sin sacrificar la precisión ni la reproducibilidad.

Es indispensable también llevar a cabo un análisis exhaustivo de los aspectos microbiológicos de la pulpa de *Hylocereus megalanthus*, especialmente en relación con la selección de agentes osmóticos. Debido a la capacidad del fruto para facilitar la transferencia de masa durante el secado convectivo, la elección del agente osmótico correcto puede optimizar los procesos de tratamiento, incrementando la eficiencia y el aprovechamiento del fruto en aplicaciones industriales.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] . VERONA-PAUCAR, 2020. Pitahaya (Hylocereus spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. Revista: Scientia Agropecuaria, 11(3), 439-453. Disponible: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>.
- [2] . MORAGA-NAVARRETE, 2009. *Effect of maltodextrin on the stability of freeze-dried borojo powder*. Revista: Journal of Food Engineering. 97. 72-78.
- [3] . CIB, CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS 2014. *CIB - Centro de Investigaciones Biológicas - Memoria Científica 2013-2014*. Recuperado de <http://digital.csic.es/handle/10261/122055>.
- [4] . WANG Q, LAI T, QIN G AND TIAN S. 2009. Response of jujube fruits to exogenous oxalic acid treatment based on proteomic analysis. *Plant & Cell Physiol* 50:230-242. <https://academic.oup.com/pcp/article/50/2/230/1859845?login=false>.
- [5] . AGUIAR- UVIDIA 2022. Pitahaya deshidratada, una alternativa para gerar economia local (Cantão de Palora-Morona Santiago). Volumen 5 / No. 12 / mayo-agosto <https://doi.org/10.33996/revistaneque.v5i12.91> ISSN: 2631-2883 Páginas 449 – 464/ <https://orcid.org/0000-0002-1971-7330> Universidad Estatal Amazónica. Puyo, Ecuador.
- [6] . AYALA et al., 2014. Influencia de un pre-tratamiento osmótico sobre el secado convectivo de pitahaya amarilla/a School of Food Engineering. Universidad del Valle. Cali. Colombia, [alfredo.ayala@correounivalle.edu.co](mailto:alfredo.ayala@correounivalle.edu.co) / Facultad de Ingeniería y Administración. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. Colombia, [lserna@unal.edu.co](mailto:lserna@unal.edu.co) / Food Engineering Research Group. Universidad Nacional de Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina, [kdiscala@gmail.com](mailto:kdiscala@gmail.com) / CONICET.

- [7] . ALVAREZ ET AL., 2023. Calidad de frutos de pitahaya (*Selenicereus mega/anthus* Haw.) sometidos a diferentes recubrimientos durante el almacenamiento Print version ISSN 1900-3803 On-line version ISSN 2539-0279/ Entramado vol.19 no.1 Cali Jan./June 2023 Epub Apr 27, 2023/ <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.8507> /Docente investigador Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA) Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - Uptc - Sede Tunja Colombia [javieralvarez@uptc.edu.co](mailto:javieralvarez@uptc.edu.co)/[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1900-38032023000100148&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1900-38032023000100148&script=sci_arttext).
- [8] . OBREGÓN ET AL., 2021. Características fisicoquímicas, nutricionales y morfológicas de frutas nativas/Rev. investig. Altoandin. vol.23 no.1 Puno ene-mar 2021/versión On-line ISSN 2313-2957/<http://dx.doi.org/10.18271/ria.2021.202> /[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2313-29572021000100017&lang=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572021000100017&lang=es).
- [9] . ALBERDI VALLE, 2023. "Optimización del proceso de secado con radiación microondas de langostino (*litopenaeus vannamei*) aplicando el método de superficie de respuesta" , URI: <https://hdl.handle.net/20.500.12952/7881>.
- [10] . VARGAS- LOPEZ 2020. Guía Técnica del cultivo de pitahaya (*Hylocereus megalanthus*) en la región Amazonas <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/1052>. <http://162.248.52.172:8080/> ISBN: -9972-44-046-5/<https://pgc.snia.inia.gob.pe:8443/>
- [11] . UNT, D. R. 1996. Cactaceae Systematics Initiatives: Bulletin of the International Cactaceae Systematics Group (No. 1-20). D. Hunt.
- [12]. ARÉVALO, D. 2017. Manejo agronómico del cultivo de pitahaya. CEDEVA, Perú. 36 p.

- [13] . MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CHURUJA 2018. Mejoramiento de la cadena productiva de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) con tecnologías innovativas, para su articulación competitiva al mercado agroexportador, distrito Churuja, provincia Bongará, Amazonas”. Amazonas, Perú.
- [14] . ALTUNA, J.L.; SILVA, M.; ÁLVAREZ, M.; *ET AL.* 2018. Yellow pitaya (*hylocereus megalanthus*) fatty acids composition from ecuadorian amazonia. Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research 11: 218-221. [ [Links](#) ].
- [15]. RODRÍGUEZ, A. 2016. *Producción y comercialización de pitahayas en México*. Revista. Claridades Agropecuarias. Recuperado de: <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/082/ca082.pdf>
- [16]. ADEX, 2023. *Vienen desarrollado un trabajo para el mejoramiento de las semillas y de esa manera poder tener una fruta más estandarizada en calidad, calibre, contenido y mejora de grados brix*. [ADEX: Pitahaya y maracuyá de Perú darán que hablar en los mercados internacionales en los próximos años - \(agronline.pe\)](#)
- [17]. BARBOSA-CÁNOVAS G, IBARZ A. 2002 Unit Operations in Food Engineering. 1st Edition. Boca Raton: CRC Press.
- [18]. SINGH 2013: Libro de Ingeniería de Alimentos, Zaragoza – España, Acribia.
- [19] . DELLA, P., Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente, MSc. Tecnología de los Alimentos, Ciudad Autónoma de Buenos Aires (Argentina): Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, 17-18 (2010).
- [20]. PARZANESE, M. 2020, Tecnologías para la Industria Alimentaria. Deshidratación osmótica. Alimentos Argentinos.

- [21]. FAN, K., ZHANG, M., & BHANDARI, B. 2019. Osmotic ultrasound dehydration pretreatment improves moisture adsorption isotherms and water state of microwave-assisted vacuum fried purple-fleshed sweet potato slices. *Food and Bioproducts Processing*, 154-164. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.03.011>
- [22]. SU, Y., ZHANG, M., CHITRAKAR, B., & ZHANG, W. 2021. Reduction of oil uptake with osmotic dehydration and coating pre-treatment in.
- [23]. OSORIO, C., FRANCO, M.S., CASTAÑO, M.P., GONZÁLEZ-MIRET, M.L., HEREDIA, F.J., & MORALES, A.L. 2007. Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8:353–359. DOI: 10.1016/j.ifset.2007.03.009.
- [24]. COLINA M. 2010, *Deshidratación de Alimentos*. México D.F.-México: Editorial Trillas.
- [25]. GEANKOPLIS C. 1998. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Tercera edición. México: CECSA.
- [26]. SANDULACHI E. 2012. Water activity concept and its role in food preservation. *Meridian Ing.* pag; 4: 40 – 48.
- [27]. JOAQUI ORTEGA, F. 2020. Obtención de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* (K. Schum) ex Vaupel) deshidratada mediante el tratamiento de convección en la vereda Jericó municipio de Palestina departamento del Huila. Recuperado en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/38822>.
- [28]. STRUMILLO C, KUDRA T. 1986. *Drying: principles, applications and design*. NY: Gordon and Breach Science Publishers; 1986.
- [29]. FELLOWS, P, (2009), *Tecnología del Procesado de Alimentos: Principios y Prácticas*, Zaragoza – España, Acribia
- [30]. BRENNAN J, BUTTERS J, COWELL N, LILLEY A. 1998. *Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos*. Tercera Edición. Zaragoza: Acribia; 1998.

- [31]. COLINA M. 2010, *Deshidratación de Alimentos*. México D.F.-México: Editorial Trillas.
- [32]. SINGH, P; HELDMAN, D, (2013) *Introducción a la Ingeniería de Alimentos*, Zaragoza – España, Acribia.
- [33]. KYRIACOU, M. C., & ROUPHAEL, Y. 2018. Towards a new definition of quality for fresh fruits and vegetables. *Scientia Horticulturae*, 234, 463-469. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.046>.
- [34]. DEVAHASTIN, S., & NIAMNUY, C. 2010. Invited review: Modelling quality changes of fruits and vegetables during drying: a review: Modelling quality changes of Página 90 fruits and vegetables. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(9), 1755-1767.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02352.x>
- [35]. HANUSHKODI, S., WILSON, V. H., y SUDHAKAR, K. 2017. Mathematical modeling of drying behavior of cashew in a solar biomass hybrid dryer. *Resource-Efficient Technologies*, 3(4), 359-364. doi: <https://doi.org/10.1016/j.reffit.2016.12.002>
- [36]. FIGUEROA, G (2003) “Utilización de una superficie de respuesta utilizando JMP IN Mosaicos matemáticos”. p.17-23.
- [37]. BUGOCH, L. et. At., 2011. Characterization of quinoa proteinchitosan blend edible films. *Food Hydrocolloids* (25):879-886.
- [38]. SU, Y., ZHANG, M., CHITRAKAR, B., & ZHANG, W. 2021. Reduction of oil uptake with osmotic dehydration and coating pre-treatment in/ [doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100825](https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100825)
- [39]. GUTIÉRREZ, HUMBERTO., Y VARA ROMAN, D. L. 2012. “Análisis y diseño de experimentos” (3a. edición.). México D.F.: McGrawHill.  
[https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis\\_y\\_diseno\\_experimentos.pdf](https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf)

- [40]. YE, CL; JIANG, C. J. 2011. Optimization of extraction process of crude polysaccharides from *Plantago asiática* L. by response surface methodology. *Carbohydrate Polymers* (84):495–502.
- [41]. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. 2014. “Diccionario de la lengua española “(23.aed.)
- [42]. KRAJEWSKI, LEE, RITZMAN, LARRY Y MALHOTRA, MANOJ, 2008 “Administración de operaciones: procesos y cadenas de valor”. Octava edición. México D.F.: Editorial Pearson Educación.
- [43]. GUTIÉRREZ-PULIDO, H. Y DE LA VARA SALAZAR, R. 2003. Control estadístico de calidad y Seis Sigma. En prensa, McGraw-Hill, México. microwave-assisted vacuum fried potato chips. *Food Bioscience*, 100825. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100825>.
- [44]. DE LA VARA, R. Y J. DOMÍNGUEZ (2002). Métodos de superficie de múltiple respuesta: un estudio comparativo. *Revista Matemática: Teoría y Aplicaciones* 9, 47-65.
- [45]. GUTIÉRREZ PULIDO, 2008 Análisis y diseño de experimentos por el método de superficie de respuesta  
[https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis\\_y\\_diseo\\_experimentos.pdf](https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseo_experimentos.pdf).
- [46]. GIL MARTÍNEZ 2019 METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA (RSM) <https://github.com/CristinaGil/Ciencia-de-Datos-R>.
- [47]. RAYMOND H. MYERS, DOUGLAS C. MONTGOMERY, CHRISTINE M. ANDERSON-COOK. Response surface methodology : process and product optimization using designed experiments, 3rd Edition. <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section3/pri3364.htm>
- [48]. VON MAY ET AL., 2012 Investigación y conservación de la biodiversidad en Perú: importancia del uso de técnicas modernas y procedimientos administrativos eficientes/ *Rev. peru. biol.* 19(3): 351 – 358. Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM

- [49] . <https://www.directoalpaladar.com/cultura-gastronomica/que-grados-brix-como-nos-ayudan-a-saber-azucar-que-tienen-alimentos-como-frutas-verduras>.
- [50] . <https://lifestyle.fit/alimentos/verduras-hortalizas/tomate-seco-beneficios-contraindicaciones/2021>
- [51] . ZULUAGA ET AL., 2010. Evaluación de las características físicas de mango deshidratado aplicando secado por aire caliente y deshidratación osmótica/ Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Núcleo el Volador. Medellín. Antioquia. email: [jdzuluag@gmail.com](mailto:jdzuluag@gmail.com)
- [52] . SILBERMINS, R.; VALLEY 2020. Evaporating Company, comunicación personal - Sepag, A.; Valley Evaporating Company, comunicación personal.
- [53] .CARRILLO-CARRILLO 2019. Deshidratación de plátano (Musa paradisiaca) por medio de radiación solar en un secador directo/ ORCID: 0000-0002-6196-0561/ 10.35429/JOES.2019.19.6.19.23.
- [54]. VELASQUEZ- MARQUEZ, 2009. Deshidratación osmótica de frutos de papaya hawaiana (carica papaya l.) en cuatro agentes edulcorantes.
- [55] . CARRILLO-CARRILLO 2020. Deshidratación de piña (Ananas comosus) mediante radiación solar en un secador directo. Universidad Autónoma de Zacatecas. Campus UAZ Siglo XXI edificio 6, Km 6 s/n carretera Zacatecas- Guadalajara, ejido "la Escondida", C.P 98160, Zacatecas, México. [jmgarcia@uaz.edu.mx](mailto:jmgarcia@uaz.edu.mx).
- [56] . santana - cubillos 2016. Propuesta de diseño de un deshidratador tipo bandeja para la producción de frutas orgánicas tipo snacks para ecovital orgánico fundación universidad de américa facultad de ingenierías Bogotá, d.c.
- [57]. CHIQUILLANQUI- 2014. Influencia de la temperatura y pre-tratamiento

- osmótico en el tiempo de secado y coeficientes de transferencia de masa y calor en el deshidratado de pera (*Pyrus cummunis*). Huancayo – Perú
- [58]. CISNEROS 2017. Desarrollo de una bebida a partir de lactosuero y gel deshidratado de tuna (*Opuntia ficus-Indica*)
- [59] . CHUQUILLANQUI ROMERO 2017. Modelamiento de Azuara, Magee y Peleg en cinética de deshidratación osmótica de kiwi,
- [60]. BARBOSA, G. y H. VEGA, 2000. Deshidratación de alimentos, 2<sup>na</sup> ed., Zaragoza (España): Acriba.
- [61]. TORRES -BALTAZAR, 2013. Optimización de las condiciones de deshidratación osmótica de espárrago (*Asparagus officinalis*) utilizando la metodología de superficie de respuesta. S. Agropecuaria 3(1): 7-18.
- [62] . BARAT, J.M., 1998. "Desarrollo de un modelo de la deshidratación osmótica como operación básica". Ph.D. Thesis, UPV, España
- [63]. SUCA, C.; SUCA, G. 2010. Deshidratación osmótica de alimentos. En: Boletín de divulgación tecnológica agroindustrial 1(1): 24
- [64]. PHISUT, N. 2012. Mini Review Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. International food Research Journal, 1-12. [http://www.ifrj.upm.edu.my/19%20\(01\)%202011/\(2\)IFRJ-2011-168%20Phisut.pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/19%20(01)%202011/(2)IFRJ-2011-168%20Phisut.pdf). [ Links].
- [65]. SLUKA-FERNÁNDEZ, 2014. Optimización de la técnica de osmodeshidratación al vacío en cubos de batata (*Ipomoea batatas* L.). Revista Agron. Noroeste Argent. 34(2): 17–20
- [66]. RAMALLO- MASCHERONI, 2010. Dehydrofreezing of pineapple. J. Food Eng., 99(3): 269-275.
- [67]. ZAMORA-NAVARRO Y PÉREZ-LLAMAS. 2013. Importancia de la sacarosa en las funciones cognitivas: conocimiento y comportamiento. Nutr. Hosp. [online], 28(4):106-111. [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0212-](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-)

[16112013001000013.](#)

- [68]. BARBOSA, G.; VEGA, H. 2000. Deshidratación de alimentos. Ed. Acribia.España
- [69]. AHMED, I.; QAZI, I.; JAMAL S. 2016. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. Innovative Food Science and Emerging Technologies 34: 29-43
- [70]. BRENNAN, 2008. Manual de proceso de alimentos JG. ISBN: 978-84-200-1099-1. Editado por: Acribia, S.A. 2008.
- [71]. MUNDADA- MASKE, 2011. Mass transfer kinetics during osmotic dehy
- [72]. CORTEZ, O. 2001. Efecto de las películas de quitosano sobre la transferencia de masa en la deshidratación osmótica de papaya. Tesis de maestría. UDLA-P.
- [73]. RAMALLO – MASCHERONI, 2010. Dehydrofreezing of pineapple. J. Food Eng., 99(3): 269-275.
- [74]. CHIRIFE, J., & RESNIK, S. (1984). Unsaturated solutions as reference sources of water activity at various temperatures. Journal of Food Science, 49, 1486-1488.
- [75]. FITO, P. 1994. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. Journal of Food Engineering, 22, 313-328.
- [76]. PEREIRA- MACHADO, 2008. Influencia del agente osmótico en la composición físico-química y en la cinética de secado de la manzana Gala Revista Ciência Agronômica, vol. 39, núm. 1, enero-marzo, 2008, pp. 173-176 Universidade Federal do Ceará Ceará, Brasil
- [77] . FITO- BARÁT, 2001. Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- [78]. BARBOSA – VEGA, 2009. Deshidratación de Alimentos, Zaragoza - España, Editorial Acribia S.A, pp. 235-253, 2000.

- [79] . COLINA M., 2011, Deshidratación de Alimentos, México D.F.- México, Editorial Trillas.
- [80]. KYRIACOU, M. C., & ROUPHAEL, Y. 2018. Towards a new definition of quality for fresh fruits and vegetables. *Scientia Horticulturae*, 234, 463-469. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.046>
- [81]. HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C., Y BAPTISTA LUCIO, P. 2010. *Nacimiento de un proyecto de investigación cuantitativa o mixta: la idea*. En Metodología de la investigación. (pp. 24- 30).
- [82]. NORMA 17025. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y ISO-IEC-17025-2017.pdf. calibración/<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/66912/9fb1bc6a513547>
- [83] . Ficha de datos de la sacarosa/ <https://www.carlroth.com/medias/SDB-4621-ES>.
- [84]. INIA

## **ANEXOS**

**Anexo 1:**

Matriz de consistencia

“OPTIMIZACIÓN DEL SECADO OSMO - CONVECTIVO DE (Hylocereus megalanthus) PITAHAYA

| PROBLEMA GENERAL  | OBJETIVO GENERAL  | HIPÓTESIS GENERAL  | VARIABLE DEPENDIENTE   | DIMENSIONES   | INDICADORES   | MÉTODO  |
|---|---|--|--|---|---|---|
| ¿Cómo se deberá optimizar el proceso de secado osmo-convectivo de pitahaya para mantener sus propiedades fisicoquímicas del producto final? | Determinar las condiciones óptimas del proceso de secado osmo-convectivo de pitahaya para mantener sus propiedades fisicoquímicas del producto final. | Las condiciones óptimas del proceso de secado osmo-convectivo de pitahaya permitirá establecer las propiedades fisicoquímicas. | Proceso de secado osmo-convectivo                                | Características:<br>Organolépticas,<br>Químicas.<br>Nutricionales | Textura<br>Color<br>Olor<br>pH<br>Vitamina C<br>Bacterias | Tipo: Aplicado<br><br>Nivel: Explicativo                |
| SUB – PROBLEMA  | OBJETIVOS ESPECÍFICOS   | HIPÓTESIS ESPECÍFICAS  | VARIABLES INDEPENDIENTES   | DIMENSIONES   | INDICADORES   |   |
| ¿Cómo se deberá optimizar el proceso de secado osmótico de pitahaya para mantener sus propiedades fisicoquímicas?                           | Determinar las condiciones óptimas del secado osmótico de pitahaya para mantener sus propiedades fisicoquímicas.                                      | Las condiciones óptimas del secado osmótico de pitahaya permitirá establecer las propiedades fisicoquímicas                    | Condiciones de operación del secado osmo-convectivo de pitahaya. | Secado osmótico de pitahaya.                                      | Tiempo<br>°Brix<br>%humedad                               | Enfoque:<br>Cuantitativo<br><br>Diseño:<br>Experimental |
| ¿Cómo se deberá optimizar el proceso de secado convectivo de pitahaya para mantener sus propiedades fisicoquímicas?                         | Determinar las condiciones óptimas del secado convectivo de pitahaya para mantener sus propiedades fisicoquímicas.                                    | Las condiciones óptimas del secado convectivo de pitahaya permitirá establecer las propiedades fisicoquímicas.                 |  | Secado convectivo de pitahaya.                                    | Tiempo<br>Temperatura<br>Velocidad de aire<br>% humedad   |   |

## Anexo 2:

Zonas de producción en el Perú

Fichas de productores de Amazonas

### Ficha de productores de pitahaya zona de Amazonas

|  |  |
|--|--|
| Cantidad de la organizaciones                                | 05   |
| Nombre de la organizaciones                                  | Asociación de Productores La Fortaleza de Cuchulia, Asociación de Productores de Pitahaya Fruta de Gocta – Matiaza Rimachi Valera, Asociación de Productores Agroecológicos Juntos al Campo, Comunidad Campesina Shipasbamba, Asociación de Productores de Pitahaya – Churuja. |
| Distritos productores  | Jazán, Shipasbamba, Churuja, Valera  |
| Cantidad de hectáreas  | 20 - 30 Has.   |
| Productividad por hectárea                                   | 5 Tn/Campaña.  |
| Producción total de la organización                          |  |
| Precio local   | S/. 8.00 por kilogramo   |
| Certificaciones  | Ninguna  |
| Meses de cosecha   | Abri, Mayo - Julio, Agosto - Noviembre, Diciembre  |
| Cantidad para ofertar  | 100 Tn   |
| Variedades   | Pitahaya Amarilla (90%), otras variedades rojas.   |
| Descripción del producto                                     | Pitahaya frutos frescos  |
| Tipo de proceso post cosecha                                 | Selección, clasificación, limpieza.  |
| A que altitud se encuentran ubicadas las fincas.             | 1200 – 1800 msnm.  |
| Disponibilidad del producto para embarque (Meses), cantidad. | Limitado   |
| Ubicación de las fincas.                                     | Ubicación diversa, casi todas a borde de carretera o fácil acceso.   |

Fuente: Jefatura Sede Amazonas – Sierra y Selva Exportadora 2021

## Producción de la pitahaya

### PRODUCCIÓN DE PITAHAYA - PRINCIPALES ZONAS PRODUCTORAS

| REGION      | PRODUCCIÓN (Ton.) |      |      |      |      | AREA COSECHADA (Ha.) |      |      |      |      | Rendimiento (T/Ha) |      |      |      |      | Precios (S./Kg.) |      |       |       |      |     |
|-------------|-------------------|------|------|------|------|----------------------|------|------|------|------|--------------------|------|------|------|------|------------------|------|-------|-------|------|-----|
|             | 2016              | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2016                 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2016               | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2016             | 2017 | 2018  | 2019  | 2020 |     |
| TOTAL       | 97                | 105  | 158  | 142  | 336  | 18                   | 28   | 29   | 34   | 45   | 5                  | 4    | 5    | 4    | 7    |                  |      | 20.95 | 12.09 |      |     |
| AMAZONAS    | 72                | 79   | 131  | 109  | 116  | 13                   | 23   | 24   | 26   | 30   | 6                  | 3    | 5    | 4    | 4    | 4.4              | 4.8  | 22.1  | 11.6  | 11.6 |     |
| ICA         | 25                | 27   | 27   | 29   | 56   | 5                    | 5    | 5.2  | 5.2  | 6.7  | 5                  | 5    | 5    | 6    | 8    | 11.6             | 15.6 | 15.3  | 14.4  | 11.2 |     |
| LA LIBERTAD |                   |      |      | 4    | 6    |                      |      |      | 3    | 2    |                    |      |      | 1    | 3    |                  |      |       |       | 10.0 | 7.1 |
| LIMA        |                   |      |      |      | 159  |                      |      |      |      | 6    |                    |      |      |      | 25   |                  |      |       |       |      | 6.0 |

Fuente: Direcciones Regionales Agrarias

### Anexo 3:

Fotografías de los procesos y equipos

A: Fruto de la Pitahaya en proceso de pelado de la cascara gruesa.



B: Fruto de la Pitahaya en proceso de partido en rodajas.



C: Pruebas del proceso osmótico en las rodajas, agitación de la solución de la sacarosa.



D: Prueba osmótica de las rodajas



E: Pruebas del proceso osmótico de las rodajas, para retirar la sacarosa



F: Después del proceso osmótico se va a pesar para evaluar la humedad



Equipos utilizados en estos procesos.

A: Anemómetro.



B: Secador de bandejas.



## Anexo 4:

### Análisis microbiológicos del proceso osmóticos

#### RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

| Agente microbiano        | Inmersiones |                  |                  |
|--------------------------|-------------|------------------|------------------|
|                          | Sacarosa    | Miel             | Limón            |
| Aerobios mesófilos UFC/g | 102         | $6.2 \cdot 10^2$ | $1.7 \cdot 10^3$ |
| Mohos UFC/g              | <3          | $2.8 \cdot 10$   | $4.5 \cdot 10^2$ |

UFC/g= Unidad formadora de colonias.

#### VII. PRODUCTOS DE CONFITERÍA

Considerando como un producto semejante a como fruta confitada dentro de la norma Sanitaria, al producto deshidratado de la Pitajaya y tratado osmóticamente en soluciones de sacarosa, miel y limón, la norma menciona los siguientes parámetros de control microbiológicos.

VII.3 Caramelos blandos, semiblandos y duros con relleno, goma de mascar, marshmallows y otros productos de confitería con o sin relleno, fruta confitada.

| Agente microbiano        | Límite por g |                |
|--------------------------|--------------|----------------|
|                          | m            | M              |
| Aerobios mesófilos UFC/g | $10^2$       | $10^4$         |
| Mohos UFC/g              | $5 \cdot 10$ | $3 \cdot 10^2$ |

Los resultados osmóticos que dieron buenos resultados son con sacarosa y miel. Pero el óptimo es con la solución de Sacarosa.

Autor:

Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano. Resolución N° 591-2008-MINSA-27/06/2008.

El Codex Alimentarius establece estándares internacionales para garantizar la inocuidad y calidad de los alimentos, incluyendo los frutos deshidratados y sus procesos de tratamiento. En el caso de Perú, el documento “Criterios Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad para los Alimentos y Bebidas de Consumo Humano”, aprobado por Resolución Ministerial N° 615-2003-SA/DM, establece los parámetros microbiológicos que deben cumplir los productos para ser considerados seguros para el consumo humano. Esta normativa fue actualizada en 2017 para adaptarse a los avances científicos y las exigencias del mercado, asegurando que tanto los productos procesados como los deshidratados cumplan con los requisitos de inocuidad alimentaria.

1. **Parámetros microbiológicos:** La norma establece límites específicos para patógenos como *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, y mohos y levaduras, entre otros, en frutos deshidratados. Estos parámetros son esenciales para evitar la proliferación de microorganismos que podrían comprometer la salud pública.
2. **Procesos de deshidratación:** Los frutos deshidratados, como la pitahaya, deben pasar por procesos de deshidratación controlados para reducir la actividad acuosa y prevenir el desarrollo de patógenos. La normativa también sugiere el monitoreo de los niveles de humedad residual, que no deben superar el límite permisible según las características del fruto.
3. **Métodos de control:** La norma detalla los procedimientos analíticos y de control que deben emplearse, como el uso de pruebas de laboratorio para garantizar que los productos cumplan con los límites microbiológicos permitidos. Estas pruebas incluyen métodos de detección rápida y análisis específicos para bacterias y hongos.
4. **Actualización 2017:** La actualización de la normativa en 2017 incluyó la incorporación de nuevos estándares internacionales del Codex Alimentarius, ajustando los niveles permisibles de microorganismos y añadiendo criterios adicionales para nuevos productos y procesos.

#### Pruebas para las frutas secas- ADEX.

| 14.3 Frutas y hortalizas desecadas, deshidratadas o liofilizadas |           |       |   |   |               |                   |
|--|-----------|-------|---|---|---------------|-------------------|
| Agente microbiano  | Categoría | Clase | n | c | Límite por g. |                   |
|  |           |       |   |   | m             | M                 |
| Mohos  | 3         | 3     | 5 | 1 | 10            | 10 <sup>2</sup>   |
| Levaduras  | 3         | 3     | 5 | 1 | 10            | 10 <sup>2</sup>   |
| <i>Escherichia coli</i>  | 5         | 3     | 5 | 2 | 10            | 5x10 <sup>2</sup> |
| <i>Salmonella sp.</i>  | 10        | 2     | 5 | 0 | Ausencia/25 g | ---               |

## Anexo 5:

Datos de la parte estadística del proceso

### A: DATOS DE LA SECADO SOMOTICO- CONVECTIVO

*Datos del tratamiento osmótico con la sacarosa a diferentes °Brix.*

| Tiempo de inmersión | Masa de la muestra osmohidratada 40 °Brix | Masa de la muestra osmohidratada 50 °Brix | Masa de la muestra osmohidratada 60 °Brix |
|---------------------|---|---|---|
| 0                   | 30  | 30  | 30  |
| 20                  | 29,6                                      | 29.9                                      | 29,4                                      |
| 40                  | 28,91                                     | 28.8                                      | 28,7                                      |
| 60                  | 28,7                                      | 28.7                                      | 28,5                                      |
| 80                  | 28,4                                      | 28.4                                      | 28,0                                      |
| 100                 | 27,6                                      | 28.0                                      | 27,5                                      |
| 120                 | 27,7                                      | 27.9                                      | 27,4                                      |
| 140                 | 27,2                                      | 27.8                                      | 27,0                                      |
| 160                 | 27,2                                      | 27.7                                      | 27,2                                      |
| 180                 | 26,7                                      | 26.7                                      | 26,5                                      |
| 200                 | 26,4                                      | 26.2                                      | 26,0                                      |
| 220                 | 25,3                                      | 25.3                                      | 25,5                                      |
| 240                 | 25,0                                      | 25.0                                      | 25,0                                      |
| 260                 | 24,7                                      | 24.9                                      | 24,9                                      |
| 280                 | 24,4                                      | 24.8                                      | 24,5                                      |
| 300                 | 24,1                                      | 24.1                                      | 24,1                                      |
| 320                 | 24,0                                      | 24.0                                      | 23,8                                      |
| 340                 | 23,8                                      | 23.8                                      | 22,5                                      |
| 360                 | 23,5                                      | 23.5                                      | 22,0                                      |
| 380                 | 23,4                                      | 22.4                                      | 21,5                                      |
| 400                 | 23,0                                      | 21.0                                      | 20,0                                      |

**B: DATOS DE LA DESHIDRATACION A DIFERENTES TEMPERATURA**

*La humedad a la temperatura de 55°C a velocidad de aire caliente*

*(0.4; 0.8; 1.0 m/s).*

| Tiempos(min) | Humedad.(V 0.4m/s) | Humedad.(V 0.8m/s) | Humedad.(V 1m/s) |
|--------------|--------------------|--------------------|------------------|
| 0            | 0.5714             | 0.8232             | 0.3137           |
| 20           | 0.5627             | 0.8064             | 0.3103           |
| 40           | 0.537              | 0.7862             | 0.2746           |
| 60           | 0.5284             | 0.5284             | 0.2432           |
| 80           | 0.5149             | 0.5149             | 0.23498          |
| 100          | 0.54               | 0.504              | 0.20904          |
| 120          | 0.4913             | 0.4913             | 0.1666           |
| 140          | 0.4345             | 0.4345             | 0.1616           |
| 160          | 0.4098             | 0.4098             | 0.1463           |
| 180          | 0.389              | 0.389              | 0.1304           |
| 200          | 0.3757             | 0.3757             | 0.1025           |
| 220          | 0.3292             | 0.3292             | 0.10256          |
| 240          | 0.28477            | 0.28477            | 0.07899          |
| 260          | 0.24475            | 0.24475            | 0.0666           |
| 280          | 0.20588            | 0.20588            | 0.0604           |
| 300          | 0.136              | 0.136              | 0.04761          |
| 320          | 0.10743            | 0.10743            | 0.034482         |
| 340          | 0.07692            | 0                  | 0.02777          |
| 360          | 0.06087            | 0                  | 0.02097          |
| 380          | 0                  | 0                  | 0                |
| 400          | 0                  | 0                  | 0                |

Datos de la humedad de las rodajas de la Pitahaya con las diferentes velocidades de aire (0.4; 0.8; 1.0 m/s). a la temperatura de 60°C.

*La humedad a la temperatura de 60°C a velocidad de aire caliente (0.4; 0.8; 1.0 m/s).*

| Tiempos | Y humedad<br>0.4 m/s | Y Humedad<br>0.8 m/s | Y Humedad<br>1m/s |
|---------|----------------------|----------------------|-------------------|
| 0       | 0,5714               | 0.50909091           | 0.00331422        |
| 20      | 0,5627               | 0.53080569           | 0.00336244        |
| 40      | 0,5370               | 0.54634146           | 0.003266          |
| 60      | 0,5284               | 0.55721393           | 0.00295242        |
| 80      | 0,5149               | 0.56852792           | 0.00283176        |
| 100     | 0,504                | 0.57435897           | 0.00278349        |
| 120     | 0,49130              | 0.58947368           | 0.00263865        |
| 140     | 0,4345               | 0.59893048           | 0.0021072         |
| 160     | 0,4098               | 0.61538462           | 0.00186545        |
| 180     | 0,389                | 0.62921348           | 0.00162357        |
| 200     | 0,3757               | 0.64367816           | 0.00145419        |
| 220     | 0,3292               | 0.66666667           | 0.00138158        |
| 240     | 0,28477              | 0.69135803           | 0.00116369        |
| 260     | 0,24475              | 0.72727273           | 0.00089725        |
| 280     | 0,20588              | 0.73684211           | 0.00080033        |
| 300     | 0,1360               | 0.74666667           | 0.0005337         |
| 320     | 0,10743              | 0.75167785           | 0.00041245        |
| 340     | 0,07692              | 0.85496183           | 0.00033969        |
| 360     | 0,06087              | 0.90322581           | 0.00016987        |
| 380     | 0                    | 0                    | 0                 |
| 400     | 0                    | 0                    | 0                 |

Datos de la humedad de las rodajas de la Pitahaya con las diferentes velocidades de aire (0.4; 0.8; 1.0 m/s) a una temperatura de 65°C

*Humedad a temperatura de 65°C a velocidad de aire caliente (0.4; 0.8; 1.0 m/s).*

| Tiempos | Y Humedad (0.4m/s) | Y humedad (0.8 m/s) | y humedad (1.0m/s) |
|---------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 0       | 0.46               | 0.465               | 0.44               |
| 20      | 0.471794872        | 0.474489796         | 0.463157895        |
| 40      | 0.479166667        | 0.481865285         | 0.475675676        |
| 60      | 0.494623656        | 0.508196721         | 0.488888889        |
| 80      | 0.505494505        | 0.531428571         | 0.497175141        |
| 100     | 0.528735632        | 0.547058824         | 0.511627907        |
| 120     | 0.538011696        | 0.563636364         | 0.55               |
| 140     | 0.554216867        | 0.58125             | 0.571428571        |
| 160     | 0.567901235        | 0.603896104         | 0.61971831         |
| 180     | 0.597402597        | 0.636986301         | 0.651851852        |
| 200     | 0.609271523        | 0.664285714         | 0.704              |
| 220     | 0.621621622        | 0.694029851         | 0.733333333        |
| 240     | 0.647887324        | 0.775               | 0.765217391        |
| 260     | 0.681481481        | 0.808695652         | 0.8                |
| 280     | 0.73015873         | 0.845454545         | 0.846153846        |
| 300     | 0.807017544        | 0.861111111         | 0.88               |
| 320     | 0.876190476        | 0.885714286         | 0.926315789        |
| 340     | 0.901960784        | 0.978947368         | 0.977777778        |
| 360     | 0.958333333        | 1                   | 1                  |
| 380     | 1                  | 1                   | 1                  |
| 400     | 1                  | 1                   | 1                  |

**Anexo 6:** La varianza con ANOVA del tratamiento osmótico

| <i>Estadísticas de la regresión</i>                   |           |
|---|-----------|
| Coefficiente de correlación múltiple                  | 0.9898046 |
| Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>          | 0.9797132 |
| Coefficiente de determinación R <sup>2</sup> ajustado | 0.9746415 |
| Error típico  | 0.1944167 |
| Observaciones   | 11        |

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

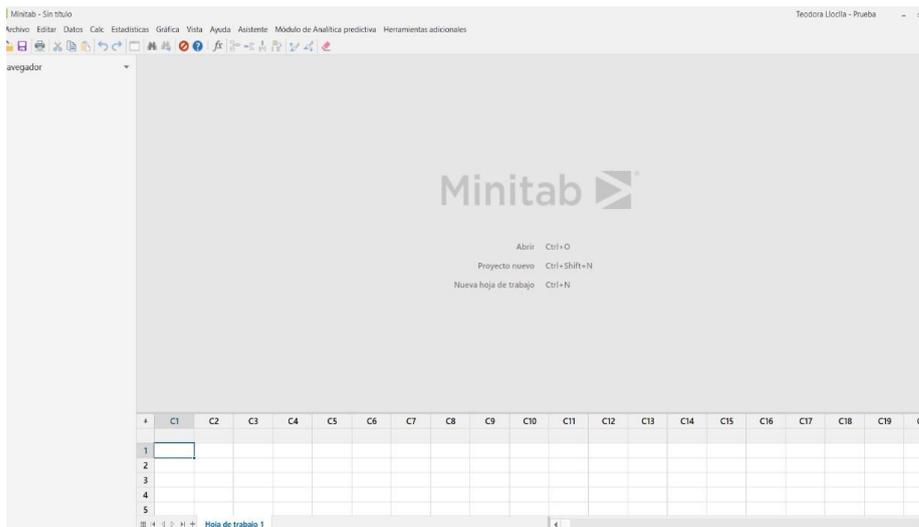
|           | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Promedio de los cuadrados | F          | Valor crítico de F | F          |
|-----------|--------------------|-------------------|---------------------------|------------|--------------------|------------|
| Regresión | 2                  | 14.6030716        | 7.30153581                | 193.173234 | 1.6937E-07         | 4.45897011 |
| Residuos  | 8                  | 0.30238292        | 0.03779786                |            |                    |            |
| Total     | 10                 | 14.9054545        |                           |            |                    |            |

|              | Coefficientes | Error típico | Estadístico t | Probabilidad | Inferior 95% | Superior 95% | Inferior 95.0% | Superior 95.0% |
|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| Intercepción | -0.00017866   | 0.19386456   | 0.00092155    | 0.99928728   | 0.44723114   | 0.44687383   | 0.44723114     | 0.44687383     |
| Variable X 1 | 0.00766595    | 0.00078297   | 9.79089792    | 9.9366E-06   | 0.00586043   | 0.00947148   | 0.00586043     | 0.00947148     |
| Variable X 2 | 0.01721234    | 0.00600604   | 2.86583758    | 0.02096254   | 0.00336238   | 0.0310623    | 0.00336238     | 0.0310623      |

## Anexo 7:

### Hoja del programa de minitab 19

Aplicación de la metodología de la superficie de respuesta para la optimización de los parámetros de trabajo en la técnica de la osmótico y el secado en las rodajas de la pitahaya amarilla aplicando el programa de Minitab 19 última versión.



### La hoja de cálculo de los puntos óptimos

The screenshot shows the Minitab 19 software interface with a regression analysis worksheet and an open "Optimizador de respuesta: Configuración" dialog box. The worksheet title is "Análisis de regresión: Y humedad vs. Tiempo (min); Temperatura ° C". The dialog box contains the following information:

| Respuesta | Meta      | Inferior | Objetivo | Superior | Ponderación | Importancia |
|-----------|-----------|----------|----------|----------|-------------|-------------|
| Y humedad | Maximizar | 0.0608   | 0.5714   | 0.5714   | 1           | 1           |

**Método**  
Codificación de predictores: [ ]

**Ecuación de regresión**  
Y humedad = 0.6156

**Coefficientes**  
Término: C  
Constante: 0.6156  
Tiempo (min): -0.001

**Resumen del modelo**

Funciones de deseabilidad para diferentes metas - cómo las ponderaciones afectan su forma:

- Minimizar la respuesta: Weight 0.1, Target, Upper
- Alcanzar un valor objetivo: Weight 0.1, Lower, Target, Upper
- Maximizar la respuesta: Weight 0.1, Lower, Target

The dialog box has "Aceptar" and "Cancelar" buttons. The worksheet below shows the following data:

|    | C1           | C2              | C3        | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 | C13 |
|----|--------------|-----------------|-----------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
|    | Tiempo (min) | Temperatura ° C | Y humedad |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |
| 11 | 360          | 65.0            | 0.0608    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |
| 12 |              |                 |           |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |
| 13 |              |                 |           |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |
| 14 |              |                 |           |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |
| 15 |              |                 |           |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |

## Anexo 8:

### Norma para la pitahaya

#### NORMA PARA LA PITAHAYA (CODEX STAN 237-2003)

##### 1. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

Esta Norma se aplica a las especies y variedades comerciales de pitahayas obtenidas de los géneros *Selenicereus* e *Hylocereus*, de la familia *Cactaceae*, que habrán de suministrarse frescas al consumidor, después de su acondicionamiento y envasado. Se excluyen las pitahayas destinadas a la elaboración industrial.

##### 2. DISPOSICIONES RELATIVAS A LA CALIDAD

###### 2.1 REQUISITOS MÍNIMOS

En todas las categorías, a reserva de las disposiciones especiales para cada categoría y las tolerancias permitidas, las pitahayas deberán:

- estar enteras;
- estar sanas, deberán excluirse los productos afectados por podredumbre o deterioro que hagan que no sean aptos para el consumo;
- estar limpias, y exentas de cualquier materia extraña visible;
- estar prácticamente exentas de plagas que afecten al aspecto general del producto;
- estar prácticamente exentas de daños causados por plagas;
- estar exentas de humedad externa anormal, salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica;
- estar exentas de cualquier olor y/o sabor extraños<sup>1</sup>;
- ser de consistencia firme;
- tener un aspecto fresco;
- estar exentas de rajaduras en la corteza;
- estar dotadas de un pedúnculo o tallo con una longitud comprendida entre los 15 y 25 mm;
- estar sin espinas.

2.1.1 Las pitahayas deberán haber alcanzado un grado apropiado de desarrollo y madurez<sup>2</sup>, teniendo en cuenta las características de la variedad y/o tipo comercial y la zona en que se producen.

El desarrollo y condición de las pitahayas deberán ser tales que les permitan:

- soportar el transporte y la manipulación; y
- llegar en estado satisfactorio al lugar de destino.

## Anexo 9:

### Ficha de datos de seguridad de la sacarosa

#### Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2020/878/UE



**D (+) - Sacarosa  $\geq$ 99,5 %, p.a.**

número de artículo: **4621**  
Versión: **4.0 es**  
Reemplaza la versión de: 19.10.2021  
Versión: (3)

fecha de emisión: 06.07.2015  
Revisión: 02.03.2024

### SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

#### 1.1 Identificador de producto

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Identificación de la sustancia | <b>D (+) - Sacarosa <math>\geq</math>99,5 %, p.a.</b> |
| Número de artículo             | 4621  |
| Número CE                      | 200-334-9   |
| Número CAS                     | 57-50-1   |

#### 1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| Usos pertinentes identificados: | Producto químico de laboratorio<br>Uso analítico y de laboratorio                   |
| Usos desaconsejados:            | No utilizar para propósitos privados (domésticos).<br>Alimentos, bebidas y piensos. |

#### 1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Carl Roth GmbH + Co. KG  
Schoemperlenstr. 3-5  
D-76185 Karlsruhe  
Alemania

**Teléfono:**+49 (0) 721 - 56 06 0  
**Fax:** +49 (0) 721 - 56 06 149  
**e-mail:** [sicherheit@carlroth.de](mailto:sicherheit@carlroth.de)  
**Sitio web:** [www.carlroth.de](http://www.carlroth.de)

Persona competente responsable de la ficha de datos de seguridad: Department Health, Safety and Environment

**e-mail (persona competente):** [sicherheit@carlroth.de](mailto:sicherheit@carlroth.de)

**Proveedor (importador):** QUIMIVITA S.A.  
Calle Balmes 245, 6a Planta  
08006 Barcelona  
+34 932 380 094  
-  
[ranguita@quimivita.es](mailto:ranguita@quimivita.es)  
[www.quimivita.es](http://www.quimivita.es)

**CODIGO DE PRACTICAS DE HIGIENE PARA LAS FRUTAS DESECADAS  
(CAC/RCP 3-1969)**

**SECCION I - AMBITO DE APLICACION**

El presente código de prácticas de higiene se aplicará a todas las frutas que han sido desecadas por medios naturales o artificiales, o por una combinación de ambos. La fruta se seca hasta que se haya eliminado la mayor parte de su humedad y, además, podrá someterse a un tratamiento inocuo y adecuado durante su preparación y envasado para facilitar su comercialización por los canales normales de distribución. Las frutas reguladas por este Código comprenden las manzanas, albaricoques, melocotones (duraznos), peras, nectarinas, ciruelas pasas, higos, dátiles y productos de la vid, tales como uvas pasas y pasas de Corinto. Las frutas que no sean producto de la vid, antes de desecarlas, si se desea, y siempre que sea aplicable respecto a las frutas en cuestión, podrán deshuesarse, despepitarse, cortarse en rajas, cubos, cuartos, mitades o subdividirse en cualquier otra forma. Este Código no se aplicará a las frutas denominadas comúnmente "frutas deshidratadas", cuyo contenido de humedad no exceda del cinco por ciento.

**SECCION II - DEFINICIONES**

Para los fines de este código de prácticas no se considera necesario establecer ninguna definición.

**SECCION III - REQUISITOS DE LAS MATERIAS PRIMAS**

**A. Saneamiento ambiental en las zonas de cultivo y producción de alimentos**

- 1) **Evacuación sanitaria de las aguas residuales de origen humano y animal.** Deberán tomarse las precauciones adecuadas para asegurarse que las aguas residuales de origen humano y animal se eliminen de tal modo que no constituyan un peligro para la higiene ni la sanidad públicas, y deberá ponerse especial cuidado en proteger los productos contra la contaminación por estos desechos.
- 2) **Calidad sanitaria del agua de riego.** El agua empleada para regar no deberá constituir ningún peligro público contra la salud del consumidor a través de la fruta.
- 3) **Lucha contra las enfermedades y las plagas vegetales y animales.** Las zonas de cultivo deberán mantenerse libres de frutas podridas o descompuestas que puedan atraer a los insectos, roedores y pájaros. Cuando se adopten medidas para combatir las plagas, el tratamiento con agentes químicos, biológicos o físicos deberá hacerse únicamente de acuerdo con las recomendaciones del organismo oficial competente, bajo la supervisión directa de personal plenamente familiarizado con los peligros que pueden presentarse, incluyendo la posibilidad de que las frutas retengan residuos tóxicos.

**B. Recolección y producción de alimentos en condiciones higiénicas**

- 1) **Equipo y recipientes para los productos.** El equipo y recipientes que se empleen para envasar los

## Anexo 11:

### Normalización de productos secos y deshidratados

# COMISIÓN DEL CODEX ALIMENTARIUS



Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura



Organización  
Mundial de la Salud

Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia - Tel: (+39) 06 57051 - Correo electrónico: [codex@fao.org](mailto:codex@fao.org) - [www.codexalimentarius.org](http://www.codexalimentarius.org)

Tema 6 del programa

CX/PFV 16/28/6

Junio de 2016

## PROGRAMA CONJUNTO FAO/OMS SOBRE NORMAS ALIMENTARIAS COMITÉ DEL CODEX SOBRE FRUTAS Y HORTALIZAS ELABORADAS

28.<sup>a</sup> reunión  
Washington D.C., Estados Unidos de América  
del 12 al 16 de septiembre 2016

### DOCUMENTO DE DEBATE SOBRE LA NORMALIZACIÓN DE PRODUCTOS SECOS Y DESHIDRATADOS

Se invita a los miembros y observadores del Codex a que examinen las conclusiones y recomendaciones que figuran en el párrafo 12, teniendo en cuenta el mandato del grupo de trabajo (párrafo 5) y la información y datos de los párrafos 7, 8 y 11, para ayudar al Comité a decidir el modo de continuar avanzando en la normalización de los productos secos y deshidratados en el Comité del Codex sobre Frutas y Hortalizas Elaboradas.

#### INTRODUCCIÓN

1. El Comité del Codex sobre Frutas y Hortalizas Elaboradas en su 26.<sup>a</sup> reunión (octubre de 2012) convino en que la delegación del Brasil prepararía un documento de debate sobre formas de abordar la normalización de los productos secos y deshidratados y, entre otras, sobre la posibilidad de disponer de una norma general para estos productos.<sup>1</sup> Preparado por el Brasil con asistencia de la Secretaría del Codex.
2. En la 27.<sup>a</sup> reunión del CCPFV (septiembre de 2014) el Brasil presentó un documento de debate sobre la normalización de los productos secos y deshidratados<sup>2</sup>, con un panorama general de las normas y de la normalización sobre productos secos y deshidratados en el Codex, en el que mostraba la importancia de este conjunto de productos para el comercio internacional. Después de la presentación tuvo lugar un debate en el comité sobre las consideraciones, conclusiones y preguntas presentadas en el documento.
3. El documento de debate revaluó asimismo el planteamiento del CCPFV para la revisión de una serie de normas para las conservas de frutas y hortalizas, concretamente, si podrían o no simplificarse y agruparse en normas más horizontales para facilitar su aceptación por parte de los miembros del Codex, así como su ulterior actualización en el futuro. Este planteamiento sigue la recomendación de la Comisión del Codex Alimentarius en el sentido de avanzar hacia normas horizontales y simplificadas para los productos siempre que sea posible, en lugar de elaborar normas detalladas particulares<sup>3</sup>.
4. El Comité observó el interés generalizado manifestado durante la presentación del documento de debate y convino en crear un grupo de trabajo electrónico (GTe) sobre productos secos y deshidratados. La lista de participantes en el GTe electrónico figura en el apéndice II del presente documento.
5. El mandato de este GTe es reevaluar las conclusiones y recomendaciones del documento de debate, valorar las disposiciones de las demás normas sobre productos secos y deshidratados que pudiera ser