

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y DE ALIMENTOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**“ELABORACIÓN TECNOLÓGICA DE UN SNACK A PARTIR DE LA
MEMBRANA CAPILAR DE LA MANDARINA (*Citrus reticulata*)
SECADA CON AIRE CALIENTE E INFRARROJO”**

TESIS PARA OBTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
DE ALIMENTOS

ANTONELLA MICHELLE ASTRID JULCA YACILA

Callao, 2023

PERÚ

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO EVALUADOR

PRESIDENTE: Dr. José Ramón Cáceres Paredes

SECRETARIO: Mg. Braulio Bustamante Oyague

VOCAL: Mg. Juan Reynaldo Sosa Nuñez

SUPLENTE : Dra. Alicia Cecilia Decheco Egusquiza

ASESOR (A) Mg. Genaro Christian Pesantes Arriola

Fecha de aprobación: 25 de setiembre 2023



Acta de Sustentación

En la Sala de Sección de Consejo de Facultad (2° Piso del Pabellón B-FIPA) de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos de la Universidad Nacional del Callao, Ubicado en la Av. Juan Pablo N°306, Bellavista, Callao Siendo las 10:30 del 25 de Setiembre del 2023. Los miembros del Jurado de Sustentación de tesis titulada "Elaboración Tecnológica de un Snack a partir de la membrana capilar de la mandarina (*Citrus reticulata*) Secada con aire caliente e infrarrojo" designados mediante Resolución N°070-2023-DFIPA conformado por:

Dr. José Ramón Cáceres Parede. Presidente
 Mg. Brulio Bustamante Oyague. Secretario
 Mg. Juan Reynaldo Sosa Nuñez. Vocal
 Dra. Alicia Cecilia Deheco Egúsquiza. Suplente
 Mg. Generaro Christian Pesantes Arriola. Asesor

Se reunieron para desarrollar en acto público de sustentación de la tesis indicada cuya autora es el bachiller la Srta Antonella Michelle Astrid Julca Yacila Previsu la lectura de la Resolución N°143-2023-DFIPA del 18 de Setiembre y el oficio N°053-2023-JRCP.-EPIA-FIPA del 13 de Setiembre del 2023. y en armonía con el Artículo 82. del Reglamento del Grado y títulos de Resol. N°099-2021-CU del 30 de Junio del 2021

Seguidamente se dio inicio a la Sustentación de la tesis invitando a la bachiller ANTONELLA MICHELLE ASTRID JULCA YACILA, para que sustente la tesis

"ELABORACION TECNOLÓGICA DE UN SNACK A PARTIR DE LA MEMBRANA CAPILAR DE LA MANDARINA (*Citrus reticulata*) Secada con AIRE CALIENTE e INFRARROJO"



Terminando la Sustentación de tesis, el Jurado de Sustentación sometió a la bachiller Antonella Michelle Astrid Julca Pacil a las Preguntas relacionadas a la tesis expuesta para ser absueltas por el Sustentante, culminada esta etapa el jurado realiza la deliberación para determinar la Calificación de la tesis, finalizada la deliberación el jurado de Sustentación otorga a la Tesis la Calificación de 16 (Dieciséis) Muy bueno

Seguidamente se dio lectura en público en acta de Sustentación

Acto seguido se realizó la juramentación del Titulado a cargo del Presidente del Jurado

Siendo las 11:36 horas del mismo día y habiendo cumplido con lo dispuesto en el Artículo 82 del reglamento de grado y titulado de pre-grado

Se declara cerrada la sesión, dando fe a lo actuado en la respectivas firmas

Dr. José R. Cáceres Paredes
Presidente Jurado Sustentación

Mg. Braulio Bustamante
Secretario Jurado Susten.

Mg. Juan R. Sosa Nuñez
Vocal Jurado Sustentación

Dr. Genaro Christian Pesenti
Arriola

Universidad Nacional del Callao
Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos
Escuela Profesional de Ingeniería de Alimentos
Oficio N° 078-2022-JRCP
Bellavista, 20 de noviembre de 2023

Sr. Dr.
Julio M. Granda Lizano
Decano
Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos
Universidad Nacional del Callao

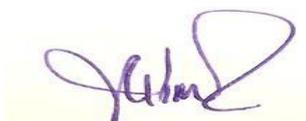
**Ref. INFORME FAVORABLE AL EJEMPLAR DE
TESIS PARA TITULACIÓN PROFESIONAL DE
INGENIERO DE ALIMENTOS**

Tengo a bien dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y hacer de su conocimiento que el día 25 de setiembre de 2023:se realizó la ceremonia de sustentación de tesis: "ELABORACIÓN TECNOLÓGICA DE UN SNACK A PARTIR DE LA MEMBRANA CAPILAR DE LA MANDARINA (*Citrus reticulata*) SECADA CON AIRE CALIENTE E INFRARROJO", presentada por la **Bachiller en Ingeniería de Alimentos Srta. ANTONELLA MICHELLE ASTRID JULCA YACILA**, la misma que fue aprobada; sin embargo, con la finalidad de mejorar en la redacción y presentación de la tesis, el jurado acordó formular algunas recomendaciones de forma -que se remitió a su despacho y a la interesada- tal como se indicó en el informe que se adjuntó al oficio N° 055-2023-JRCP que la interesada deberá de realizar en el ejemplar de la tesis antes de su impresión final, empastado y presentación para el trámite administrativo.

Por intermedio del presente, comunico que la Srta. Bach. Antonella Michelle Astrid Julca Yacila ha presentado su ejemplar de tesis levantando las recomendaciones de forma formuladas por el jurado de sustentación, las mismas que fueron evaluadas por el jurado que presido y en concordancia a lo establece el literal "e" artículo 80° del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Callao -aprobado mediante resolución N° 150-2023-CU- presento **INFORME FAVORABLE** para que la **Srta. Bach. Antonella Michelle Astrid Julca Yacila** realice el trámite administrativo para la obtención de su título profesional de Ingeniero de Alimentos adjuntando la documentación que establece el artículo 80° del reglamento antes mencionado.

Sin otro particular, aprovecho de la oportunidad para testimoniarle lossentimientos especiales de consideración.

Atentamente



Dr. José R. Cáceres Paredes
Profesor de la FIPA
jrcacersp@unac.edu.pe

cc.
Srta. Bach. Antonella Michelle Astrid Julca Yacila

Document Information

| | |
|--------------------------|--|
| Analyzed document | JULCA YACILA, ANTONELLA MICHELLE ASTRID-TESIS-2021.docx (D111189196) |
| Submitted | 8/12/2021 12:49:00 AM |
| Submitted by | unidad de investigación FIPA |
| Submitter email | investigacion.fipa@unac.pe |
| Similarity | 18% |
| Analysis address | investigacion.fipa.unac@analysis.arkund.com |

Sources included in the report

| | | | |
|-----------|---|---|-----------|
| W | <p>URL: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/93422/S%C3%81EZ%20-%20CARACTERIZACI%C3%93N%20DE%20POLVOS%20DE%20PIEL%20DE%20MANDARINA%20PARA%20SU%20USO%20COMO%20INGREDIENTE%20FUNCIONAL%20EN%20A...pdf?sequence=1&isAllowed=y Fetched: 8/12/2021 12:49:00 AM</p> |  | 10 |
| SA | <p>Universidad Nacional del Callao / PROCESO DE SECADO DE LA OCA (OXALIS TUBEROSA) EN UN SECADOR ROTATORIO DISCONTINUO (1).pdf Document PROCESO DE SECADO DE LA OCA (OXALIS TUBEROSA) EN UN SECADOR ROTATORIO DISCONTINUO (1).pdf (D83593830) Submitted by: fiq.investigacion@unac.edu.pe Receiver: fiq.investigacion.unac@analysis.arkund.com</p> |  | 4 |
| W | <p>URL: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2011/qf-espinoza_jl/pdfAmont/qf-espinoza_jl.pdf Fetched: 12/7/2020 7:27:32 AM</p> |  | 17 |
| W | <p>URL: https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v27n1/art08.pdf Fetched: 8/12/2021 12:49:00 AM</p> |  | 1 |
| W | <p>URL: https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2019/10/TFG-NataliaSanchezS.pdf Fetched: 1/31/2020 4:33:21 PM</p> |  | 1 |
| W | <p>URL: http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1967/Torres%20Lara.pdf?sequence=1&isAllowed=y Fetched: 11/19/2020 8:26:25 AM</p> |  | 2 |
| W | <p>URL: http://www.seminarioprocitrus.org/ponencias/diamartes/09-presentaci%C3%B3n-seminario-internacional.pdf Fetched: 8/12/2021 12:49:00 AM</p> |  | 2 |
| W | <p>URL: https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/22203/T-2676.pdf?sequence=1&isAllowed=y Fetched: 11/27/2019 8:57:22 AM</p> |  | 2 |
| W | <p>URL: https://gestion.pe/economia/procitrus-mandarinas-peruanas-llegarian-ano-japon-india-259788 Fetched: 8/12/2021 12:49:00 AM</p> |  | 7 |

Universidad Nacional del Callao / TESIS - MODELADO 2018 (Ventocilla Leon Marisol y Garces Villanueva Carlos).pdf

DEDICATORIA

A mi familia por su incondicional apoyo a lo largo de mi carrera universitaria, y a la memoria de mi madre.

AGRADECIMIENTO

A mi familia por los consejos, apoyo y buenos deseos durante toda la carrera universitaria.

A mi asesor por compartir sus conocimientos, por el tiempo dedicado y su profesionalismo, por brindarme todo su apoyo en los retos que ha implicado la investigación y que me ha impulsado a seguir estudiando.

A la universidad, mi alma mater, por permitirme realizar la investigación y parte experimental en el Laboratorio de Ingeniería de Procesos y Operaciones Unitarias (LIPOU) y así de esta manera generar un aporte que contribuya para próximos estudios.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| ÍNDICE | 1 |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | 4 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 5 |
| RESUMEN | 7 |
| ABSTRACT..... | 8 |
| INTRODUCCIÓN..... | 9 |
| I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 10 |
| 1.1 Descripción de la realidad problemática | 10 |
| 1.2.1 Problema general | 12 |
| 1.2.2 Problemas específicos..... | 12 |
| 1.3 Objetivos | 12 |
| 1.3.1 Objetivo general | 12 |
| 1.3.2 Objetivos específicos..... | 13 |
| 1.4 Limitantes de la investigación..... | 13 |
| 1.4.1 Teórica | 13 |
| 1.4.2 Temporalidad..... | 14 |
| 1.4.3 Espacial..... | 14 |

| | |
|--|-----------|
| II. MARCO TEÓRICO | 15 |
| 2.1 Antecedentes del estudio. | 15 |
| 2.1.1 Antecedentes internacionales:..... | 15 |
| 2.1.2 Antecedentes nacionales:..... | 21 |
| 2.2 Bases teóricas | 23 |
| 2.2.1. Mandarina | 23 |
| 2.2.2 Secado | 31 |
| 2.3 Conceptual | 43 |
| 2.3.1 EL snack..... | 43 |
| 2.3.2 Membrana capilar..... | 45 |
| 2.3.3 Secado | 47 |
| 2.4 Definición de términos básicos | 50 |
| III. HIPÓTESIS Y VARIABLES | 53 |
| 3.1 Hipótesis..... | 53 |
| 3.1.1 Hipótesis general..... | 53 |
| 3.1.2 Hipótesis específicas | 53 |
| 3.2 Definición conceptual de las variables | 54 |
| 3.2.1 Operacionalización de las variables: | 56 |
| IV. DISEÑO METODOLOGICO..... | 57 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4.1 | Diseño metodológico | 57 |
| 4.2 | Método de investigación | 57 |
| 4.3 | Población y muestra | 63 |
| 4.4 | Lugar de estudio y periodo desarrollado..... | 64 |
| 4.5 | Técnicas e instrumentos para la recolección de información..... | 65 |
| 4.5.1 | Determinación de la humedad..... | 65 |
| 4.5.2 | Caracterización de la mandarina (<i>Citrus reticulata</i>) y la membrana capilar (muestra)..... | 65 |
| 4.5.3 | Secado por aire caliente e infrarrojo..... | 66 |
| 4.6 | Análisis y procedimientos de datos..... | 67 |
| 4.6.1 | Determinación de la humedad..... | 67 |
| 4.6.2 | Caracterización de la mandarina (<i>Citrus reticulata</i>) y la membrana capilar (muestra)..... | 67 |
| 4.6.3 | Modelamiento matemático de la cinética de secado..... | 68 |
| V. | RESULTADOS | 70 |
| 5.1 | Resultados descriptivos..... | 70 |
| 5.2 | Resultados inferenciales..... | 73 |
| VI. | DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 76 |
| 6.1 | Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados..... | 76 |

| | |
|---|------------|
| 6.2 Contrastación de los resultados con estudios similares..... | 76 |
| 6.3 Responsabilidad ética..... | 78 |
| CONCLUSIONES..... | 79 |
| RECOMENDACIONES | 80 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 81 |
| ANEXOS | 87 |
| ANEXO 1: Matriz de consistencia | 88 |
| ANEXO 2: Determinación de la humedad inicial..... | 89 |
| ANEXO 3: Caracterización de la mandarina..... | 90 |
| ANEXO 4: Desarrollo de la parte experimental | 97 |
| ANEXO 5: Formato N°1 | 104 |
| ANEXO 6: Curvas de secado de cada tratamiento | 105 |
| ANEXO 7: Snacks de membrana capilar de mandarina | 112 |
| ANEXO 8: Base de datos | 115 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----------|
| Tabla 1 <i>Composición nutricional de la mandarina.....</i> | 26 |
| Tabla 2 <i>Contenido de fotoquímicos de cáscaras de frutas</i> | 29 |
| Tabla 3 <i>Contenido de pigmentos vegetales</i> | 30 |

| | |
|--|----|
| Tabla 4 Operacionalización de las variables..... | 56 |
| Tabla 5 Diseño específico: diseño factorial 3x2 | 63 |
| Tabla 6 Modelos matemáticos de cinética de secado a usar..... | 69 |
| Tabla 7 Datos de las constantes según los modelos utilizados | 72 |
| Tabla 8 Datos de humedad final, tiempo de secado y rendimiento..... | 73 |
| Tabla 9 Resultados estadísticos de los modelos utilizados | 75 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Mandarina | 24 |
| Figura 2 Estructura de la hesperidina | 28 |
| Figura 3 Estructura de la nobiletina | 28 |
| Figura 4 Modelamiento de temperatura en secadores: (a) secadero discontinuo; (b) secadero adiabático continuo en contracorriente | 34 |
| Figura 5 Curva típica de velocidad de secado constante: (a) gráfica de los datos de humedad libre en función del tiempo. (b) curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre..... | 37 |
| Figura 6 Elaboración de un snack a partir de la membrana capilar de mandarina | 61 |
| Figura 7 Diagrama de flujo para el secado de la membrana capilar de la mandarina | 62 |

| | |
|--|-----------|
| Figura 8 <i>Diseño experimental del secado de la membrana capilar de la mandarina</i> | 63 |
| Figura 9 <i>Secador de cabina con flujo ascendente adaptado con infrarrojo</i> | 66 |
| Figura 10 <i>Valores estadísticos promedios para los modelos utilizados</i> | 74 |

RESUMEN

El presente trabajo estudió el proceso de secado a nivel piloto de la membrana capilar de la mandarina, utilizándose un secador de cabina con flujo de aire ascendente adaptado con un foco de infrarrojo y una bandeja única de 13.5 cm de diámetro, aplicándose temperaturas de 55, 65 y 75°C con una velocidad de aire de secado de 4.5 m/s, sin y con asistencia de infrarrojo de 127.6 W, de tal manera que se tuvieron 6 tratamientos (T1 = 55°C + 127.6 W, T2= 65°C + 127.6 W, T3= 75°C + 127.6 W, T4= 55°C, T5= 65°C y T6= 75°C).

Siendo los tiempos aplicados para el secado de la membrana capilar de la mandarina en los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6: 295, 280, 180, 780, 630 y 420 minutos respectivamente, finalmente se determinó que los parámetros más adecuados de temperatura y potencia de infrarrojo fueron los de 75°C y 127.6 W (T3) el cual presento una humedad final de 10.03 %.

Palabras claves: secado, infrarrojo, humedad, tiempo, membrana capilar.

ABSTRACT

The present work studied the drying process at a pilot level of the mandarin capillary membrane, using a cabin dryer with ascending air flow adapted with an infrared focus and a single tray of 13.5 cm in diameter, applying temperatures of 55, 65 and 75°C with a drying air speed of 4.5 m/s, without and with infrared assistance of 127.6 W, in such a way that there were 6 treatments (T1 = 55°C + 127.6 W, T2 = 65° C + 127.6 W, T3= 75°C + 127.6 W, T4= 55°C, T5= 65°C and T6= 75°C).

Being the times applied for drying the capillary membrane of the mandarin in treatments T1, T2, T3, T4, T5 and T6: 295, 280, 180, 780, 630 and 420 minutes respectively, it was finally determined that the most The appropriate temperature and infrared power were 75°C and 127.6 W (T3), which presented a final humidity of 10.03%.

Keywords: drying, infrared, humidity, time, capillary membrane.

INTRODUCCIÓN

Debido al estilo de vida actual, la población opta por el uso de alimentos de rápido consumo, es por eso que la industria alimentaria en los últimos años ha desarrollado diversidad de snacks.

Por otro lado, las exportaciones de cítricos en el Perú van creciendo, pero aún no lo hacen a un nivel lo suficientemente equitativo, ya que el mayor porcentaje de la producción de mandarina se deriva a los mercados locales, ocasionando una sobreoferta y un bajo precio.

Por tal razón proponemos la generación de un nuevo producto (snack a base de membrana capilar de la mandarina), con la finalidad de mejorar los ingresos y sostenibilidad en la producción.

Para la elaboración del snack de membrana capilar de la mandarina nos concentramos prioritariamente en el proceso de secado, evaluando los tratamientos aplicados y el tiempo de exposición del producto, de tal manera que se pueda conservar mejor las características sensoriales.

La parte experimental de este estudio se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería de Procesos y Operaciones Unitarias (LIPOU) perteneciente a la Universidad Nacional del Callao.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

En la actualidad en las pequeñas y grandes industrias de néctares, bebidas y otros productos a base de cítricos se genera en gran cantidad residuos orgánicos, de los cuales solo una pequeña parte es empleada en subproductos para la alimentación animal; y el resto es desechado, contribuyendo a la contaminación.

“Sin embargo, los residuos agroalimentarios pueden convertirse en productos de valor añadido, debido a que contienen compuestos que pueden otorgar funcionalidad, y podrían reintroducirse de diferentes modos en la cadena alimentaria” (Goula y Lazarides, 2015, como se citó en Sáez, 2017)

Por otro lado, nuestros hábitos alimenticios están influenciados por diversos factores, los cuales nos llevan a consumir productos procesados tales como los snacks, para saciar el hambre temporalmente; lo cual genera problemas en la salud, ya que estos productos contienen carbohidratos, lípidos y sodio en elevadas cantidades, aportando en exceso calorías al cuerpo. Pero, en los últimos años se ha difundido una cultura de alimentación saludable, diseñándose y promoviéndose el consumo de productos que ayudan a potenciar el valor nutritivo, por ello la industria está fabricando snacks saludables que contribuyen con la alimentación.

En cuanto al proceso, el secado es uno de los métodos más antiguos de conservación de alimentos. Esta técnica de conservación trata de preservar

la calidad de los alimentos bajando la actividad del agua (a_w) mediante la disminución del contenido de humedad del producto hasta un nivel seguro para su posterior almacenamiento y transporte, y así evitar la multiplicación microbiana y ralentizar o inactivar la actividad microbiana; en definitiva, evitar el deterioro del alimento (Vega y Lemus, 2006, como se citó en Sáez, 2017)

El secado se puede realizar utilizando diferentes métodos, entre ellos, se encuentra el secado por infrarrojos. La radiación es un método de transferencia de calor que permite el secado de alimentos producida por la interacción entre las ondas electromagnéticas originadas por el generador de infrarrojos (IR), y el agua presente en el alimento, originando vibraciones mecánicas de las moléculas o de un conjunto molecular particular en un fenómeno muy complejo de superposición, generando un calentamiento volumétrico. (Ratti y Mujumdar, 2006, como se citó en Puente, Echegaray, Castro y Di, 2013)

Por tal razón se decidió elaborar un snack con parte del bagazo (la membrana capilar) de la mandarina (*Citrus reticulata*), concentrándose en el proceso de secado, con aire caliente e infrarrojo, de la membrana capilar para así obtener un producto rico en fibra, se eligió este método porque al removerse el agua se dio estabilidad al producto y así se conservó por más tiempo.

Por consiguiente, fue fundamental determinar la técnica a emplear y los parámetros adecuados, la temperatura de aire de secado como variable independiente; la humedad y el tiempo del secado como variables dependientes

para la elaboración de un snack a base de membrana capilar de mandarina (*Citrus reticulata*), para así obtener un producto de calidad.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

- ¿Cómo sería la cinética de secado a nivel piloto, con aire convectivo ascendente e infrarrojo y su efecto en la humedad final y tiempo del secado del snack obtenido a partir de la membrana capilar de la mandarina (*Citrus reticulata*)?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo influye la temperatura del aire de secado y la potencia del dispositivo de infrarrojo, en la humedad final del snack obtenido a partir de la membrana capilar de la mandarina (*Citrus reticulata*)?
- ¿Cómo influye la temperatura del aire de secado y la potencia del dispositivo de infrarrojo, en el tiempo de secado del snack obtenido a partir de la membrana capilar de la mandarina (*Citrus reticulata*)?
- ¿Cuál es el modelo matemático que mejor describe la cinética de secado de la membrana capilar de la mandarina (*Citrus reticulata*) durante el proceso?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Determinar la cinética de secado a nivel piloto, con aire convectivo ascendente e infrarrojo y su efecto en la humedad final y tiempo del

secado del snack obtenido a partir de la membrana capilar de la mandarina (*Citrus reticulata*).

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la influencia de la temperatura del aire de secado y la potencia del dispositivo infrarrojo, en la humedad final del snack obtenido a partir de la membrana capilar de la mandarina (*Citrus reticulata*).
- Evaluar la influencia de la temperatura del aire de secado y la potencia del dispositivo infrarrojo, en el tiempo de secado del snack obtenido a partir de la membrana capilar de la mandarina (*Citrus reticulata*).
- Identificar el modelo matemático que mejor describa la cinética de secado de la membrana capilar de la mandarina (*Citrus reticulata*) durante el proceso.

1.4 Limitantes de la investigación.

1.4.1 Teórica

- Se recopiló información de libros, revistas, tesis y otros trabajos en los cuales se realizó un proceso de secado con aire caliente con o sin infrarrojo utilizando bagazo u otra parte de las frutas y/o hortalizas; en la presente investigación solo se estudió la cinética de secado de la membrana capilar de la mandarina, su efecto en el tiempo de secado y humedad final del snack, se evaluó y determinó el modelo matemático que mejor describió la cinética de secado.

1.4.2 Temporalidad

- El tiempo de ejecución de la presente investigación fue de 20 meses.

1.4.3 Espacial

- El estudio fue a nivel piloto, la parte experimental se realizó en el Laboratorio de Ingeniería de Procesos y Operaciones Unitarias -LIPOU de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos, el análisis fisicoquímico fue realizado por el Laboratorio Certificaciones del Perú S.A-CERPER.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio.

2.1.1 Antecedentes internacionales:

De acuerdo con Calisto (2009):

Los países industrializados están enfrentando actualmente, entre otros, tres desafíos importantes: el adecuado control del costo de salud en la sociedad, el ofrecimiento a la población adulta de una oportunidad real de vivir no solo más, sino que mejor y, por último, proveer a los consumidores cada vez más ocupados una opción de alimentos procesados saludables o listos para el consumo. Por eso, es necesario mejorar la accesibilidad de los nutrientes para el consumidor. En este contexto, desde hace algún tiempo, se promueve el consumo de barras de cereales como alternativas saludables y nutritivas de alimentación. Ciertamente, esta oferta se ubica en un amplio campo de productos que buscan aportar nuevas alternativas de consumo orientadas a grupos de personas que privilegian hábitos y conductas saludables. En efecto los snacks saludables se han vuelto parte de la rutina de estudiantes, ejecutivos y en general de todo quien carece de tiempo para alimentarse de forma adecuada. Este segmento de la población está en el rango de edades de 10-60 años y manifiesta interés por incluir en su dieta alimentos que promuevan su salud.

Indican Dueñas y Vidal (2016):

Todas las variedades de alimentos necesitan, de alguna forma, ser conservadas principalmente para reducir o detener deterioros, para mantenerlos disponibles durante un periodo determinado de tiempo, manteniendo las propiedades nutricionales por el mayor tiempo posible o para obtener productos con valor agregado. Actualmente la radiación infrarroja es ampliamente usada en la industria para el secado de superficies o deshidratación de láminas delgadas como textiles, papel, films, pinturas y esmaltes; a pesar de que el secado infrarrojo de materiales porosos de gran espesor no ha sido desarrollado totalmente, numerosos estudios indican que esta tecnología puede ser aplicada en la deshidratación de alimentos, esperándose que esta aplicación en la industria alimentaria, represente un nuevo proceso para la elaboración de productos deshidratados de alta calidad a bajos precios. Algunas de las ventajas que tiene esta tecnología son la reducción del tiempo de secado, aumento de la eficiencia energética, temperatura homogénea en el producto mientras se seca, productos terminados de mejor calidad, alto control del proceso, ahorro en espacio y menor impacto ambiental.

Estudió Espinoza (2011):

El proceso de secado asistido infrarrojo del fruto de la murtila (*Ugni Molinae Turcz.*) mediante la determinación de los tiempos de secado, constantes cinéticas, modelos matemáticos de secado, difusividad efectiva y energía de activación. Se utilizó el secador infrarrojo-convectivo del Laboratorio de Procesos de Alimentos y se trabajó con una velocidad de aire igual a 1 m/s,

con tres temperaturas de secado (40, 50 y 60 °C) y tres potencias de infrarrojo (0, 400 y 800 W), generándose nueve tratamientos de secado diferentes. Mediante el registro de la pérdida de peso del fruto de murtila en el tiempo, se construyeron las curvas de secado para cada experiencia. La humedad final del producto se estableció en un 10% (base húmeda). Se midió el color y la presencia de polifenoles totales en las muestras frescas y en las muestras deshidratadas del fruto de la murtila y se determinó si el tratamiento aplicado en cada caso afectaba en forma significativa a estos parámetros. Los resultados obtenidos indican que, al aumentar las temperaturas y potencias de infrarrojo, disminuyen los tiempos de secado (hasta en un 85%), aumenta el valor de las constantes cinéticas de los modelos y aumenta la difusividad efectiva.

Evaluaron Michalewicz, Henriquez y Charamba (2011):

El estudio del proceso de secado de un producto que requiere del análisis de los fenómenos de transferencia de calor y masa que tienen lugar simultáneamente. En este proceso, el calor es transferido por convección del aire caliente para el producto, aumentando su temperatura, y la temperatura del agua contenida en la forma de humedad. La transferencia de masa ocurre cuando la humedad presente emigra en la forma de líquido o vapor del interior del producto hacia la superficie y entonces, es transferida para el aire en la forma de vapor de agua. Según Strumillo y Kudra (1989), el proceso es fuertemente influenciado por la temperatura y la velocidad de la corriente del aire que circula alrededor del producto. Para

la cuantificación de la influencia de los efectos antes mencionados se puede recurrir a procedimientos experimentales o a la simulación computacional; en el trabajo se emplearon muestras de cajuil (*Anacardium occidentale L.*) en rebanadas de 4, 7 y 10 x 10⁻³ m de espesor, utilizando un secador de laboratorio tipo bandeja, en donde se imponen las temperaturas y velocidades del aire para el secado dentro de los rangos 60 a 80 °C y 3 a 5 m/s, respectivamente. Se determina el perfil de contenido de humedad en la muestra respecto al tiempo de secado. Se aplican once modelos matemáticos disponible en la literatura para determinar el que correlacione los datos experimentales. De los resultados y de su análisis se establece que el modelo de Page es el más adecuado por la simplicidad con que relaciona el contenido de humedad con las variables temperatura y velocidad del aire de secado.

Afirman Puente et al. (2013):

Los descartes de limón contienen fibra, pectina, potasio, calcio y vitamina C; por lo tanto, es importante desarrollar alternativas de procesamiento de estos subproductos para agregarles valor y aumentar su vida útil. El objetivo de su investigación fue la aplicación del secado asistido por infrarrojos, como tecnología emergente, para estudiar el efecto de la temperatura de proceso sobre las cinéticas de secado de descartes de limón, utilizando un secador a escala de laboratorio, el mismo consiste en una cámara de secado formada por un material aislante, recubierto internamente con material refractante, en la parte superior de la cámara se encuentra una balanza con precisión de 0.01 g

(Radwag WTB3000, Polonia) para medir el peso de la muestra distribuida en una rejilla, en la parte inferior de la cámara, se encuentra un foco infrarrojo de 250W de potencia máxima (OSRAM Siccatherm 220-230V, Alemania), para efectos del secado, se regula la potencia a través de un potenciómetro, el que permite entregar distintas temperaturas de secado. En la parte lateral, la cámara posee un ventilador (Garrity YF52209, 130 m³ /h, China) que permite ingresar flujo de aire desde el ambiente para arrastrar el vapor formado por el secado y bajar la temperatura de los valores deseados. La muestra fue descongelada a temperatura de refrigeración (5°C) durante 24 horas previas al secado. La humedad inicial se determinó en estufa a 105°C por 5 horas según norma AOAC. En el secador las muestras fueron distribuidas en la rejilla formando una capa de 0.5 cm de espesor con un peso aproximado de 65 ± 2g, obteniendo una densidad de carga de 0.06 g/cm². Durante la experiencia de secado, se trabajó a tres temperaturas diferentes: 30, 40 y 50°C, con una velocidad de aire de 1 m/s. La variación de peso de la muestra durante el secado fue registrada en el computador, desde donde se obtuvieron los datos cada 15 minutos durante la primera hora, 30 minutos durante las dos horas posteriores y finalmente cada una hora hasta que la muestra llega a una humedad del 5% b.s.

Indica Ríos (2014):

El mejoramiento y desarrollo de nuevas tecnologías para el procesamiento de los alimentos ha conseguido alimentos más seguros para el consumo

humano, accesibles y duraderos, principalmente en productos altamente perecibles como carnes, granos, harinas, frutas y vegetales en general. Siendo la deshidratación una de las técnicas más utilizadas para conservar los alimentos; existe un nicho de mercado interesado en consumir frutas y vegetales deshidratados que preferentemente son utilizados por la industria alimenticia como materia prima para elaborar otros alimentos para consumo humano. La fruta deshidratada es una alternativa para que el ama de casa introduzca el consumo de fruta en niños y jóvenes a través de snacks nutritivos que aporten los requerimientos nutricionales adecuados para este grupo de consumidores jóvenes, sin embargo, tiene inconvenientes en cuanto al precio más alto que la fruta fresca y la estacionalidad de la producción de las variedades de fruta. No obstante, los snacks de frutas deshidratadas se pueden posicionar como una alternativa saludable a la confitería o snacks convencionales, o utilizarse para aportar interés y variedad al mercado de la comida sana.

Explica Sáez (2017):

Al igual que el resto de los cítricos, la mandarina se caracteriza por presentar una menor proporción de fruto comestible que otras frutas (citando a Fernández-López et al., 2004). En el proceso de elaboración de zumo de los cítricos, se descartan las cáscaras, semillas y membranas capilares, generándose un subproducto en principio rico en agua, azúcares solubles, fibra, ácidos orgánicos, aminoácidos y proteínas, minerales, aceites y lípidos, flavonoides y vitaminas; en el trabajo, la muestra de estudio consistió en las

partes no comestibles de la mandarina, conocidas también como bagazo. Se emplearon cáscaras de mandarina procedentes de una cooperativa valenciana y suministradas por un intermediario congeladas a granel en bolsas de 10-15 kg. El procedimiento de obtención de polvo de bagazo de mandarina consistió en descongelar las cortezas de mandarina llevándolas a temperatura ambiente durante 24 h aproximadamente. Previo al secado del bagazo, se realizó un primer triturado de éste en el procesador de alimentos Thermomix® (Vorwerk, España) durante 5 s a la máxima velocidad (10000 rpm). Una vez triturado, el residuo se distribuyó de forma homogénea en rejillas de plástico con apertura nominal de 2 mm, para ser sometidas posteriormente a un secado por aire caliente a 70 °C durante 24h en un secador convectivo (Pole- koAparatura, Katowice, Polonia), con la finalidad de conseguir una $a_w < 0,3$.

2.1.2 Antecedentes nacionales:

Señala Gutiérrez (2014):

El material de desecho de los cítricos está constituido principalmente por cáscaras, semillas y membranas capilares a partir de los cuales se pueden obtener harinas cítricas, pectina cítrica, aceites esenciales, pigmentos y productos cítricos especiales; así como también compuestos bioactivos que tienen efectos benéficos sobre la salud, tales como la fibra dietaria, los polifenoles y los flavonoides (Citando a Rincón et al., 2007). Parte de la investigación consistió en el proceso de secado del bagazo de la mandarina, la cual fue deshidratada en un secador de bandejas a 65 °C por

18 horas, a la velocidad del aire propia del equipo. La temperatura escogida es acorde con los datos reportados por Garau et al. (2007) y Larrauri (1999), y el tiempo escogido es acorde con los datos reportados por Choi et al. (2013). Posteriormente las cáscaras secas pasaron por una molienda en un molino de martillos, con el fin de obtener un producto pulverulento similar al salvado de trigo y finalmente se realizó un tamizado para obtener un producto de tamaño de partícula similar al salvado de trigo. Se dispuso en serie al tamiz Tyler # 10 y al tamiz Tyler # 20, siendo el retenido de este último el producto que sustituirá parcialmente a la harina de trigo, y que será llamado “bagazo de mandarina en polvo”.

Informa Huerta (2019):

La ciencia al fin demostró que el consumo de alimentos ultra procesados como los productos empaquetados o bebidas envasadas incrementan la posibilidad de mortalidad en las personas. Así lo comprobó el artículo científico publicado en la revista de la Asociación Médica de Norteamérica (JAMA por su sigla en inglés) el cual fue elaborado por investigadores de la Universidad de la Sorbona.

La investigación consistió en hacer un seguimiento a la dieta alimenticia durante ocho años a un grupo de casi 45.000 franceses adultos mayores a los 45 años, de los cuales 73% eran mujeres. Se les preguntó qué comían y cuánto. Lo que se conoce como el diario de la alimentación.

Lo que se descubrió a partir de la investigación fue que el 14.4% del peso total de alimentos totales que consume el grupo de franceses son

procesados. Incluso, se comprobó que el 30% de las calorías que tienen en su organismo provienen de los alimentos ultra procesados.

Sin embargo, el hallazgo más importante fue que por cada aumento del 10% en el consumo de los alimentos ultra procesados en la dieta, la posibilidad de mortalidad se incrementa en 14% por cáncer o enfermedades del corazón.

A lo que se refiere la investigación son aquellos que son producidos en masa. Se ofrece en cajas, botellas y generalmente almacenan alimentos con calorías vacías con altos conocidos en azúcares, grasas y sales.

Además, son bajos en fibras y contienen aditivos alimentarios contaminantes para la salud y que incluso puede ser cancerígenos, la gente consume estos alimentos de manera masiva porque son fáciles de preparar, están prehechos, se conservan fácilmente y no se malogran.

También se les vende de manera intensa en los supermercados.

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Mandarina

a. Generalidades

Según el Ministerio de Agricultura y Riego (2014), la mandarina (*Citrus reticulata*), **Figura 1**, es el fruto del árbol mandarino, planta perenne, perteneciente a la familia de las rutáceas, originario del Asia Oriental (China e Indochina). La planta es más resistente al frío y más tolerante a la sequía que el naranjo, pero los frutos son sensibles.

Figura 1

Mandarinas



Fuente: Adaptado de Minagri: Perú es el principal exportador de mandarinas en América, por El Comercio, 2018. Recuperado 15 de septiembre del 2018 desde: <https://elcomercio.pe/economia/peru/minagri-peru-principal-exportador-mandarinas-america-noticia-564893>

El factor limitante es la temperatura mínima, ya que no tolera temperaturas inferiores a 3°C; pues la temperatura es la que determina su desarrollo vegetativo, floración, cuajado y calidad de los frutos. Las temperaturas altas constantes mantienen altos niveles de clorofilas y su color es persistentemente verde. Necesitan suelos permeables y poco calizos y un medio ambiente húmedo tanto en el suelo como en la atmósfera. Se recomienda que el suelo sea profundo para garantizar el anclaje del árbol, una amplia exploración para garantizar una buena nutrición y un crecimiento adecuado. Los suelos deben tener una proporción equilibrada de elementos gruesos y finos (textura), para garantizar una buena aireación y facilitar el paso del agua, además de proporcionar una estructura que mantenga un buen estado de humedad y una buena capacidad de cambio

catiónico. No toleran la salinidad y son sensibles a la asfixia radicular. En general la salinidad afecta al crecimiento de las plantas.

La mandarina comparte las propiedades vitamínicas de la naranja como alimento que protege ante las infecciones, además de ser depurativa y antioxidante. Son poco calóricas (54cal/100gr), muy ricas en agua (86%), y no contienen grasas. También son ricas en fibra (1,9gr/10gr), contienen hidratos de carbono (9gr/100gr), una buena cantidad de potasio (185mg/100gr), calcio (36mg/100gr), magnesio (11mg/100gr), fósforo (117,2mg/100gr), y contienen pequeñas cantidades de vitaminas del grupo B, además de folato (21mg/100gr), vitamina C (35mg/100gr) y vitamina A (106mg/100gr). (Ministerio de Agricultura y Riego, 2014)

La composición nutricional más detallada se muestra en la **Tabla 1**.

Tabla 1

Composición nutricional de la mandarina.

| | Por 100 g de porción comestible | Por unidad (85 g) | Recomendaciones día-hombres | Recomendaciones día-mujeres |
|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Energía (Kcal) | 43 | 26 | 3.000 | 2.300 |
| Proteínas (g) | 0,8 | 0,5 | 54 | 41 |
| Lípidos totales (g) | Tr | Tr | 100-117 | 77-89 |
| AG saturados (g) | — | — | 23-27 | 18-20 |
| AG monoinsaturados (g) | — | — | 67 | 51 |
| AG poliinsaturados (g) | — | — | 17 | 13 |
| ω -3 (g)* | — | — | 3,3-6,6 | 2,6-5,1 |
| C18:2 Linoleico (ω -6) (g) | — | — | 10 | 8 |
| Colesterol (mg/1000 kcal) | 0 | 0 | <300 | <230 |
| Hidratos de carbono (g) | 9 | 5,5 | 375-413 | 288-316 |
| Fibra (g) | 1,9 | 1,2 | >35 | >25 |
| Agua (g) | 88,3 | 54,0 | 2.500 | 2.000 |
| Calcio (mg) | 36 | 22,0 | 1.000 | 1.000 |
| Hierro (mg) | 0,3 | 0,2 | 10 | 18 |
| Yodo (μ g) | Tr | Tr | 140 | 110 |
| Magnesio (mg) | 11 | 6,7 | 350 | 330 |
| Zinc (mg) | 0,4 | 0,2 | 15 | 15 |
| Sodio (mg) | 2 | 1,2 | <2.000 | <2.000 |
| Potasio (mg) | 160 | 97,9 | 3.500 | 3.500 |
| Fósforo (mg) | 17,2 | 10,5 | 700 | 700 |
| Selenio (μ g) | Tr | Tr | 70 | 55 |
| Tiamina (mg) | 0,07 | 0,04 | 1,2 | 0,9 |
| Riboflavina (mg) | 0,02 | 0,01 | 1,8 | 1,4 |
| Equivalentes niacina (mg) | 0,3 | 0,2 | 20 | 15 |
| Vitamina B ₆ (mg) | 0,07 | 0,04 | 1,8 | 1,6 |
| Folatos (μ g) | 21 | 12,9 | 400 | 400 |
| Vitamina B ₁₂ (μ g) | 0 | 0 | 2 | 2 |
| Vitamina C (mg) | 35 | 21,4 | 60 | 60 |
| Vitamina A: Eq. Retinol (μ g) | 56 | 34,3 | 1.000 | 800 |
| Vitamina D (μ g) | 0 | 0 | 15 | 15 |
| Vitamina E (mg) | — | — | 12 | 12 |

Tablas de Composición de Alimentos. Moreiras y col., 2013. (MANDARINA). Recomendaciones: Ingestas Recomendadas/día para hombres y mujeres de 20 a 39 años con una actividad física moderada. Recomendaciones: Objetivos nutricionales/día. Consenso de la Sociedad Española de Nutrición Comunitaria, 2011. Recomendaciones: Ingestas Dietéticas de Referencia (EFSA, 2010). Tr: Trazas. 0: Virtualmente ausente en el alimento. —: Dato no disponible. *Datos Incompletos.

Fuente: Adaptado de la Fundación Nacional de Nutrición (n.d). Recuperado 15 de septiembre del 2018 desde: <https://fen.org.es/MercadoAlimentosFEN/pdfs/mandarina.pdf>

A pesar de que la mandarina aporta menos cantidad de vitamina C que otros cítricos, sigue siendo una fuente excelente de esta vitamina.

Asimismo, las hojas contienen un principio amargo que se emplea como tónico y aperitivo. Su aceite esencial se extrae prensando la piel, siendo muy efectivo para despertar el apetito y ayuda a dormir. Tiene una fragancia dulce y aromática, es antiséptico, antiespasmódico, carminativo, digestivo, diurético suave, emoliente, laxante suave y estimulante digestivo (Ministerio de Agricultura y Riego, 2014)

b. Compuestos fenólicos

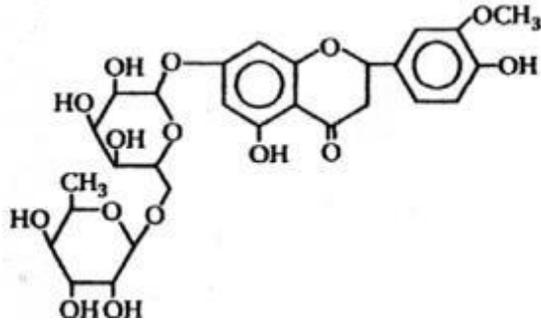
Los flavonoides están presentes en la mayoría de las plantas, sin embargo, existen unos que son específicos de los cítricos y sus patrones varían dependiendo de cada especie, estos compuestos son: las flavanonas glicosídicas y las flavonas polimetoxiladas. Los principales flavonoides de los cítricos son: antocianinas, flavones, flavonoles o flavanonas. Las flavanonas glicosídicas más comunes en las frutas cítricas son: hesperidina, naringina, neohesperidina, narirutin, nobiletina. (Manthey y Grohmann, 2001, como se citó en Escobar, 2010)

En la **Figura 2** se muestra la estructura química de la hesperidina, es una flavanona glicosídica presente en frutas y vegetales, en los frutos cítricos se encuentra en la naranja, en mandarinas, limones, limas y en algunos híbridos (Del Río et al., 2004, como se citó en Escobar, 2010)

En la **Figura 3** se muestra la estructura química de la nobiletina, es un flavonoide polimetoxilado presente en la cáscara de mandarinas y naranjas. (Escobar, 2010)

Figura 2

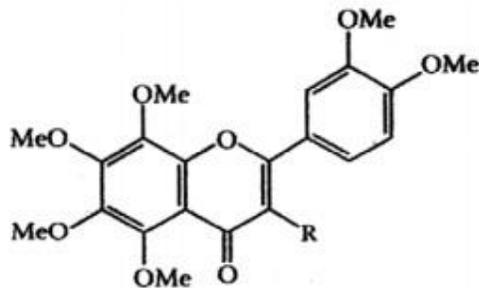
Estructura de la hesperidina



Fuente: Tomada de Extracción de compuestos fenólicos de las cáscaras de cítricos producidos en México, por Escobar, M., 2010, México D.F. <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/9612>

Figura 3

Estructura de la nobiletina



Fuente: Tomada de Extracción de compuestos fenólicos de las cáscaras de cítricos producidos en México, por Escobar, M., 2010, México D.F. <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/9612>

Los fitoquímicos que presenta la cascara de mandarina deshidratada en estufa son: polifenoles, flavonoides, flavanoles, clorofilas y carotenoides como se muestra en la **Tabla 2** y **Tabla 3**.

Tabla 2

Contenido de fitoquímicos de cáscaras de frutas.

| Recurso | Polifenoles ^a (mg AGE/100g) | Flavonoides ^b (mg CE/100g) | Flavanoles ^b (mg CE/100g) | Antocianinas ^c (mg C3G/100g) |
|-----------|---|--|---|---|
| Plátano | 24.42±0.65 | 16.83±1.88 | 0.36±0.17 | ND |
| Sandía | 26.73±3.37 | 22.25±2.84 | 1.79±0.13 | ND |
| Papaya | 37.00±0.89 | 24.72±1.63 | 0.42±0.11 | ND |
| Limón | 75.95±2.29 | 61.85±9.30 | 0.17±0.08 | ND |
| Naranja | 76.65±3.66 | 63.56±3.09 | 0.07±0.02 | ND |
| Mandarina | 93.71±2.56 | 68.66±2.19 | 0.18±0.06 | ND |
| Manzana | 106.18±2.08 | 67.89±4.51 | 6.92±0.17 | 7.10±0.58 |
| Uva | 113.40±9.34 | 93.26±8.88 | 4.38±0.02 | 9.48±0.12 |
| Mango | 2639.69±170.49 | 1463.26±95.83 | 0.94±0.14 | ND |
| Palta | 9088.63±149.89 | 6290.27±222.61 | 1.89±0.12 | ND |

Los resultados se expresan como media ± SD (n = 3). ND = no determinado. ^a AGE, ácido gálico equivalente. ^b CE, catequina equivalente. ^c C3G, cianidina-3-glucósido.

Fuente: Adaptada de Componentes fitoquímicos y capacidad antioxidante de cáscaras de frutas de mayor consumo en el Perú, por Hurtado, R. y Ortiz, L., 2018.

https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/622870/Hurtado_vr.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Tabla 3*Contenido de pigmentos vegetales*

| Recurso | Clorofilas totales ^a (mg/100g) | Carotenoides totales ^b (mg/100g) | Ratio (a+b)/(x+c) |
|-----------|--|--|-------------------|
| Naranja | 0.76±0.00 | 0.53±0.00 | 1.45 |
| Mandarina | 0.27±0.02 | 3.09±0.01 | 0.09 |
| Limón | 7.10±0.09 | 1.47±0.02 | 4.82 |
| Sandía | 10.21±0.00 | 0.76±0.00 | 13.44 |
| Papaya | 1.27±0.01 | 2.91±0.00 | 0.44 |
| Uva | 1.08±0.04 | 1.64±0.04 | 0.66 |
| Palta | 18.70±0.08 | 3.76±0.00 | 4.98 |
| Manzana | 0.16±0.00 | 0.32±0.00 | 0.50 |
| Mango | 0.14±0.01 | 0.74±0.00 | 0.19 |
| Plátano | 0.15±0.00 | 0.48±0.00 | 0.32 |

Los resultados se expresan como media ± SD (n = 3). ^a Clorofilas totales (a+b): a: clorofila a; b: clorofila b. ^b Carotenoides totales (x+c): x: xantofilas; c: carotenos.

Fuente: Adaptada de Componentes fitoquímicos y capacidad antioxidante de cáscaras de frutas de mayor consumo en el Perú, por Hurtado, R. y Ortiz, L., 2018.

https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/622870/Hurtado_vr.pdf?sequence=5&isAllowed=y

2.2.2 Secado

a. Conceptos generales

El estudio del secado se refiere a la eliminación de agua de los materiales de proceso y de otras sustancias. En general, el secado significa la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de cierto material. En el secado, el agua casi siempre se elimina en forma de vapor con aire. (Geankoplis, 2006)

En general, el secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo. El secado es habitualmente la etapa final de una serie de operaciones y, con frecuencia, el producto que se extrae de un secadero pasa a empaquetado. (McCabe, Smith y Harriot, 2007)

b. Secado de Alimentos

El secado de alimentos es una de las técnicas más antiguamente utilizada para la conservación de alimentos. Es uno de los procesos más rentables para conservar productos alimenticios, el cual se basa en la remoción de agua mediante la aplicación de calor. La operación de secado además conlleva una apreciable reducción del peso y volumen de los alimentos que se deshidratan, consiguiéndose así una importante reducción de los costes de transportes y almacenamiento de estos productos. (Dueñas y Vidal, 2016)

El secado de materiales biológicos se emplea como técnica de preservación. Los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua. Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua. Los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso. Sin embargo, generalmente es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 5% en peso en los alimentos, para preservar su sabor y su valor nutritivo. Los alimentos secos pueden almacenarse durante periodos bastante largos. (Geankoplis, 2006)

c. Modelos de temperatura en secaderos.

La forma en la que la temperatura varía en los secaderos depende de la naturaleza y contenido de líquido del material, de la temperatura del medio de calefacción, del tiempo de secado y de la temperatura final que toleran los sólidos secos. Sin embargo, el modelo de variación es similar para todos los secaderos.

En un secadero discontinuo con un medio de calefacción a temperatura constante, véase la **Figura 4-a**, la temperatura de los sólidos húmedos aumenta rápidamente desde su valor inicial T_{sa} , hasta la temperatura de vaporización T_v .

En un secadero no adiabático sin gas de barrido, T_v es prácticamente la temperatura de ebullición del líquido a la presión existente en el secadero.

Si se utiliza un gas de barrido, o el secadero es adiabático, T_v es la temperatura húmeda del gas, o un valor muy próximo a ella; dicha temperatura es la de saturación adiabática si el gas es aire y el líquido que se evapora es agua. El secado transcurre a T_v durante un período de tiempo considerable; es decir, que gran parte del líquido se puede vaporizar a temperatura inferior a la del medio de calefacción. En las etapas finales del secado la temperatura de los sólidos asciende hasta T_{sa} , que puede ser ligeramente superior a T_v o considerablemente superior.

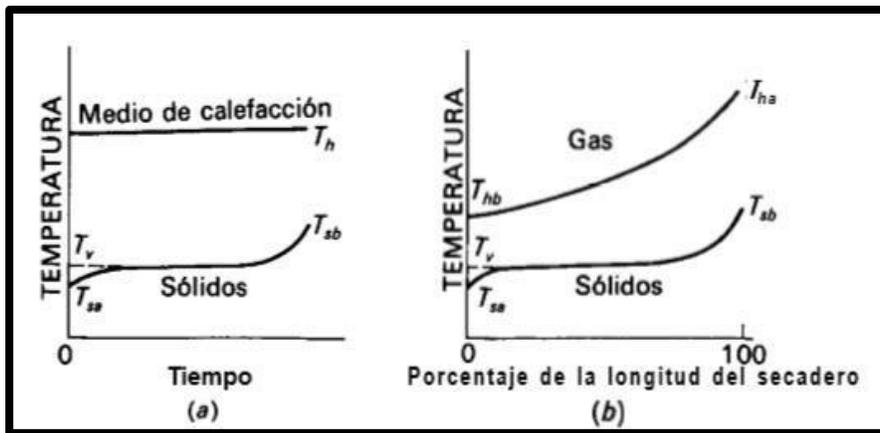
El tiempo de secado que se representa, véase la **Figura 4-a** puede ser de pocos segundos o de horas. Los sólidos pueden estar a T_v durante la mayor parte del ciclo de secado o durante una pequeña fracción del mismo. La temperatura del medio de calefacción puede ser constante, tal como se muestra en la figura, o puede programarse para seguir una secuencia durante el secado.

En un secadero continuo cada partícula o elemento del sólido pasa a través de un ciclo similar al que se muestra en la **Figura 4-a**, en su recorrido desde la entrada hasta la salida del secadero. Cuando se opera en estado estacionario la temperatura en cualquier punto del secadero continuo es constante, pero varía a lo largo de la longitud del secadero. En la **Figura 4-b**, se muestra un modelo de temperatura para un secadero adiabático en contracorriente. La entrada de los sólidos y la salida del gas se encuentran a la izquierda, mientras que la entrada del gas y la salida de los sólidos lo está a la derecha. Los sólidos se calientan rápidamente desde T_{sa} hasta

T_v . La temperatura de vaporización T_v , es constante puesto que la temperatura húmeda no varía. (Esto no se cumplirá si se suministrase calor indirectamente a los sólidos.) Cerca de la entrada del gas los sólidos pueden calentarse a temperaturas superiores a T_v , el gas caliente entra en el secadero a T_{ha} , generalmente con poca humedad, se enfría, rápidamente al principio, y después más lentamente a medida que disminuye la diferencia de temperatura. Su humedad aumenta continuamente a medida que se va evaporando líquido. (McCabe et al, 2007)

Figura 4

Modelamiento de temperatura en secaderos: (a) secadero discontinuo; (b) secadero adiabático continuo en contracorriente.



Fuente: Tomada de *Operaciones unitarias de Ingeniería química*. (7a ed.) por McCabe et al., 2007, México: Editorial McGraw-Hill/interamericana editores S.A. <https://es.slideshare.net/darwinvargasmantilla/operaciones-unitarias-en-ingenieria-quimica-7ma-edicin-warren-l-mc-cabefreelibrosorg>

d. Determinación experimental de la velocidad de secado.

Para determinar experimentalmente la velocidad de secado de un material, se procede a colocar una muestra en una bandeja. Si se trata de material sólido se debe llenar por completo la base de la bandeja, de manera que sólo quede expuesta a la corriente de aire de secado la superficie de dicho sólido. La pérdida en peso de humedad durante el secado puede determinarse a diferentes intervalos sin interrumpir la operación, colgando la bandeja de una balanza adaptada a un gabinete o a un ducto a través del cual fluye el aire de secado. Al realizar experimentos de secado por lotes, deben tomarse ciertas precauciones para obtener datos útiles en condiciones que se semejen lo más posible a las que imperaran en operaciones a gran escala. La muestra no debe ser demasiado pequeña y se debe introducir en una bandeja similar a la que se usará en producción. La relación entre superficie de secado y superficie de no secado (superficie aislada) así como la profundidad del lecho del sólido deben ser idénticas. La velocidad, la humedad, la temperatura y la dirección del aire deben ser las mismas y constantes para simular un secado en condiciones constantes. (Geankoplis, 2006)

e. Grafica de la curva de velocidad de secado.

En la **Figura 5-b**, se muestra la curva de velocidad de secado para condiciones de secado constante. Empezando en el tiempo cero, el contenido inicial de humedad libre corresponde al punto **A**. Al principio, el sólido suele estar a una temperatura inferior de la que tendrá al final, y la

velocidad de evaporación va en aumento. Al llegar al punto **B**, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio.

Por otra parte, si el sólido está bastante caliente al principiar la operación, la velocidad de secado puede iniciarse en un punto **A'**. Este periodo inicial de ajuste en estado no estacionario suele ser bastante corto y por lo general se pasa por alto en el análisis de los tiempos de secado.

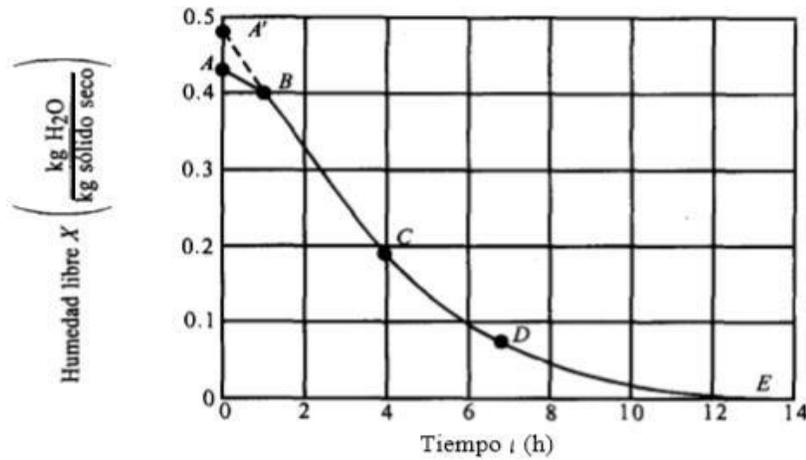
La curva de la **Figura 5-a** es recta entre los puntos **B** y **C**, por lo que la pendiente y la velocidad son constantes durante este periodo. Este periodo de velocidad constante de secado corresponde a la línea **BC** en la **Figura 5-**

b. En el punto **C** de ambas gráficas, la velocidad de secado comienza a disminuir en el periodo de velocidad decreciente, hasta llegar al punto **D**. En este primer periodo de velocidad decreciente, la velocidad corresponde a la línea **CD** en la **Figura 5-b**, y por lo general es lineal. En el punto **D** la velocidad de secado disminuye con más rapidez aún, hasta que llega al punto **E**, donde el contenido de humedad de equilibrio es X^* , y $X = X^* - X^* =$

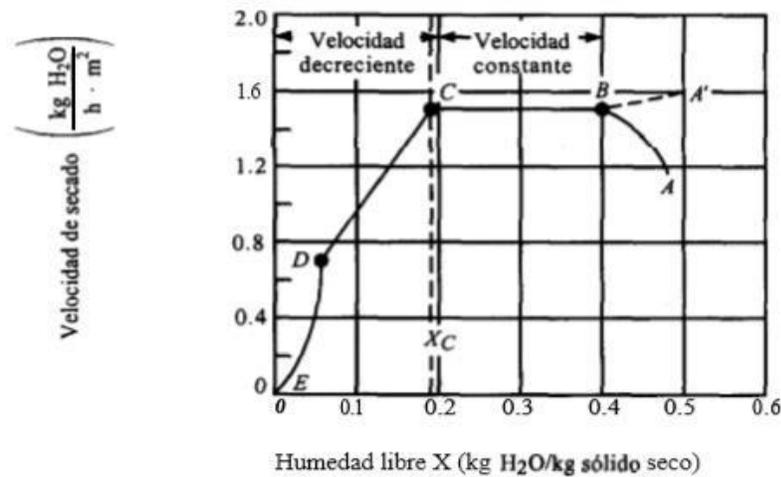
0. En el secado de algunos materiales, la región **CD** no existe, o bien, constituye la totalidad del periodo de velocidad decreciente. (Geankoplis, 2006)

Figura 5

Curva típica de velocidad de secado constante: (a) gráfica de los datos de humedad libre en función del tiempo. (b) curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.



(a)



(b)

Fuente: Tomada de *Procesos de transporte y principios de procesos de separación (incluye operaciones unitarias)*. (4a. ed.) por Geankoplis, C., 2006. México. Editorial Ccsa. Recuperado 15 de septiembre del 2018 desde: <https://es.slideshare.net/MagnusMG/christie-john-geankoplis-procesos-de-transporte-4a-edicin>

f. Secado durante el periodo de velocidad constante:

El secado de diversos sólidos bajo diferentes condiciones constantes de secado casi siempre produce curvas de forma variable en el periodo de velocidad decreciente, pero en general siempre están presentes las dos zonas principales de la curva de velocidad de secado: el periodo de velocidad constante y el periodo de velocidad decreciente.

Durante el primer periodo, la superficie del sólido está muy mojada al principio y sobre ella hay una película de agua continua. Esta capa de agua es agua no combinada y actúa como si el sólido no estuviera presente. La velocidad de evaporación con las condiciones establecidas para el proceso es independiente del sólido y esencialmente igual a la velocidad que tendría una superficie líquida pura. Sin embargo, las ondulaciones y hendiduras en la superficie del sólido ayudan a obtener una velocidad más alta de la que tendría una superficie completamente plana.

Si el sólido es poroso, la mayor parte del agua que se evapora durante el periodo de velocidad constante proviene de su interior. Este periodo es continuo mientras el agua siga llegando a la superficie con la misma rapidez con la que se evapora. La evaporación durante este periodo es similar a la que existe cuando se determina la temperatura de bulbo húmedo, y en ausencia de transferencia de calor por radiación o conducción, la temperatura de la superficie equivale en forma aproximada a la temperatura de bulbo húmedo. (Geankoplis, 2006)

g. Secado durante el periodo de velocidad decreciente:

El punto C de la **Figura 5-b** corresponde al contenido crítico de humedad libre **X_c**. En este punto no hay suficiente agua en la superficie para mantener una película continua. La superficie ya no está totalmente mojada, y la porción mojada comienza a disminuir durante el periodo de velocidad decreciente hasta que la superficie queda seca en su totalidad en el punto **D** de la **Figura 5-b**.

El segundo periodo de velocidad decreciente empieza en el punto **D**, cuando la superficie esta seca en su totalidad. El plano de evaporación comienza a desplazarse con lentitud por debajo de la superficie. El calor de evaporación se transfiere a través del sólido hasta la zona de vaporización. El agua evaporada atraviesa el sólido para llegar hasta la corriente de aire. En algunos casos no hay discontinuidad definida en el punto **D**, y el cambio de condiciones de secado de una superficie con humedad parcial a una superficie completamente seca, es tan gradual que no se detecta un punto de inflexión.

Es posible que la cantidad de humedad que se elimina durante el periodo de velocidad decreciente sea bastante pequeña; no obstante, el tiempo requerido puede ser largo. En la **Figura 5** se ilustra este efecto. El periodo **BC** para un secado de velocidad constante dura unas 3.0 h y hace que **X** disminuya de 0.40 a 0.19, esto es, una reducción de 0.21 kg H₂O/kg sólido seco. El periodo de velocidad decreciente **CE** continúa durante unas 9.0 h y **X** disminuye solamente de 0.19 a 0. (Geankoplis, 2006)

h. Modelamiento de la cinética de secado

Vega et al. (2010, como se citó en Puente et al., 2013) describen que el uso de modelos matemáticos que representen la cinética de secado de los alimentos contribuye a predecir tiempos de procesamiento y así optimizar la eficiencia del secado.

La cinética de secado debe ser modelada mediante cinco ecuaciones empíricas ampliamente utilizadas en la mayoría de los materiales orgánicos y biológicos, estas ecuaciones utilizan una relación denominada índice de humedad (MR) como variable, relacionando la gradiente de humedad de la muestra en el tiempo real (X_{wt}) con humedad inicial (X_{wo}) y la humedad equilibrio (X_{we}). Estas son: Newton, Henderson-Pabis, Page, Page modificada y logarítmico. Siendo asumidas la contracción y la resistencia externa como despreciable. Donde k es parámetro cinético (min^{-1}), n y a son parámetros empíricos (adimensionales) y t es el tiempo de secado (min). (Vega, Lemus, Tello, Miranda y Yagnam, 2009)

Ecuaciones para el modelamiento:

$$\text{Índice de humedad: } MR = \frac{X_{wt} - X_{we}}{X_{wo} - X_{we}} \dots (1)$$

$$\text{Newton: } MR = e^{-kt} \dots (2)$$

$$\text{Henderson-Pabis: } MR = ne^{-kt} \dots (3)$$

$$\text{Page: } MR = e^{-k.t^n} \dots (4)$$

$$\text{Page modificada: } MR = e^{-(k.t)^n} \dots (5)$$

Logarítmico: $MR = ne^{-kt} + a$... (6)

Para observar cualquier influencia de la temperatura de secado en los parámetros cinéticos k , una ecuación de tipo Arrhenius ($k = k_0 e^{-E_a/RT}$), a partir de la cual se obtiene la energía de activación (E_a kJ mol⁻¹), que muestra sensibilidad del parámetro a la temperatura (citando a Simal et al). La energía de activación puede ser determinada por la representación gráfica entre $\ln k$ versus T^{-1} (K). (Vega et al, 2009)

A continuación, se describen los modelos matemáticos:

- Modelo de Newton:

Esta ecuación se basa en el supuesto de que la disminución de la humedad es proporcional a la diferencia instantánea entre el contenido de humedad del material (asumido uniforme en toda la cantidad de producto) y el contenido de humedad en equilibrio con el aire de secado evaluado mediante la isoterma de sorción del producto (Aversa *et al.*, 2007, como se citó en Collazo, Morejón, Fernández y Vázquez, 2018)

La ecuación se representa por: $MR = e^{-kt}$

Donde, k es constante del modelo y t es el tiempo.

- Modelo de Henderson y Pabis:

El modelo de Henderson y Pabis es el primer término de una solución general de las series de la segunda ley de Fick. Este modelo también es conocido como modelo exponencial bi-paramétrico (Iguazú y col, 2003). La pendiente de este modelo, el coeficiente k , está relacionada con la

difusividad efectiva de la humedad cuando el proceso de secado se lleva a cabo sólo en el período decreciente y el control del proceso es por la difusión del líquido (Doymaz, 2005; Gazor y Mohsenimanesh, 2010, como se citó por Unigarro, 2017).

La ecuación se representa por: $MR = ne^{-kt}$

Donde, n y k son constantes del modelo y t es el tiempo.

- Modelo de Page:

El modelo de Page es una modificación empírica del modelo de Lewis, que corrige algunas deficiencias. Este modelo sugiere la utilización de dos constantes empíricas, las cuales han demostrado buenos ajustes para describir el secado de diversos productos agrícolas, como la soja, judías verdes, maíz y nueces de pistacho (Iguaz y col, 2003; Doymaz, 2005; Rafiee y col, 2009; Kashaninejad y col, 2007, como se citó por Unigarro, 2017).

La ecuación se representa por: $MR = e^{-k.t^n}$

Donde, k y n son constantes del modelo y t es el tiempo.

- Modelo de Page modificado:

Los modelos de secado basados en la teoría de difusión de líquidos han sido preferidos por los investigadores en el área de secado de alimentos. Entre ellos se encuentran el modelo de Page modificado. Este modelo de secado no solo permite predecir el mejor proceso, sino que también ofrece herramientas para predecir las condiciones de almacenamiento y empaque; además, ayuda a establecer el contenido final de humedad de los productos agrícolas y los requisitos del proceso de secado (Vega y Fito, 2005 como se

citó en Torregroza, Montes, Ávila y Remolina, 2014)

La ecuación se representa por: $MR = e^{-(k.t)^n}$

Donde, k y n son constantes del modelo y t es el tiempo.

- Modelo logarítmico:

Este modelo es una modificación del modelo de Henderson y Pabis con una constante empírica adicional (a). Este modelo ha sido utilizado con éxito para el ajuste de las cinéticas de secado en diferentes condiciones de operación, tal es el caso de semillas de *Jatropha curcas* L., granos, aceitunas verdes y semilla de calabaza (Demir y col, 2007; Sacilik, 2007; Sirisomboon y Kitchaiya, 2009 como se citó por Unigarro, 2017).

La ecuación se representa por: $MR = ne^{-kt} + a$

Donde, k y n son constantes del modelo, t es el tiempo y a es una constante empírica adicional.

2.3 Conceptual

2.3.1 EL snack

Un snack es un alimento que se consume fuera del horario de la comida principal, cabe mencionar que durante décadas se ha consumido este tipo de productos fritos debido a la combinación única de flavor y textura, sin embargo los hábitos actuales se orientan hacia el consumo de alimentos saludables, esto obliga a las empresas productoras de dichos alimentos a

buscar nuevas alternativas para la elaboración de sus productos que eviten procesos de fritura, con la finalidad de disminuir el contenido en grasas y calorías en los productos finales (Techpress, 2012)

Es importante saber que las frutas deshidratadas son ricas en beneficios y propiedades, debido a su proceso de deshidratación contienen casi 4 veces más la cantidad de vitaminas y minerales que la pieza de fruta fresca, este proceso aporta un reducido tamaño y por tal motivo algunos de los beneficios que aportan al organismo son (El Productor, 2019):

- Fibra y potasio, como consecuencia a su elevado contenido de antioxidantes y otros compuestos vegetales que ofrecen diversos beneficios al organismo.
- Al no contener agua, reducen en gran medida su tamaño y se convierten en un aperitivo hipercalórico rico en nutrientes.
- Intervienen en la prevención de las enfermedades cardiovasculares ideales para deportistas que buscan recuperarse después de un esfuerzo muy intenso.
- Son una excelente fuente de energía gracias a su alto contenido en hidratos de carbono simples, que destacan por aportar energía rápidamente.
- Son ideales en caso de anemia, en especial cuando se consumen junto con alimentos ricos en vitamina C, principalmente porque esta vitamina ayuda a mejorar la absorción del hierro.
- Útil para mejorar el tránsito intestinal.

Snack es el nombre genérico de los alimentos ligeros que se consumen entre comidas o que acompañan las fiestas y otras ocasiones de entretenimiento. El término proviene del inglés y puede ser traducido al español como aperitivo, bocaditos, botana, picada, pasapalos, picoteo, piscofrito, tentempié o refrigerio según el país. (Significados, 2019)

Los *snacks* son un tipo de alimento que en la cultura occidental no es considerado como uno de los alimentos principales del día. Generalmente se utilizan para satisfacer temporalmente el hambre, proporcionar una mínima cantidad de energía para el cuerpo o simplemente por placer.

Comúnmente se sirven en reuniones o eventos. Estos alimentos contienen a menudo cantidades importantes de edulcorantes, conservantes, saborizantes, sal, y otros ingredientes atractivos, como el chocolate, cacahuetes y sabores especialmente diseñados. (Educalingo, sin fecha)

2.3.2 Membrana capilar

Las membranas capilares de los cítricos permiten obtener harinas, pectina, aceites esenciales, pigmentos y productos cítricos especiales; así como compuestos bioactivos que tienen efectos benéficos sobre la salud, tales como la fibra, y los polifenoles, en especial los flavonoides. (Madrid, 2013)

Sustancias o compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos también conocidos como nutraceuticos o fitoquímicos son componentes que se encuentran en los alimentos principalmente en frutas y verduras, influyen en la actividad celular y en los mecanismos fisiológicos. Además, están implicados en la prevención de

procesos patológicos, es decir, muestran beneficios en diversas enfermedades, como enfermedades crónicas no transmisibles, cáncer, alzheimer, entre otras. (Cárdenas et al, 2015, como se citó en Hurtado y Ortiz, 2018). Los efectos beneficiosos de estos compuestos se han atribuido a su poder antioxidante y actividades de captación de radicales que pueden retrasar o inhibir la oxidación del ADN, proteínas y lípidos. (Ayala et al. 2011, como se citó en Hurtado y Ortiz, 2018)

Fibra

La fibra es el componente no digerible de los alimentos de origen vegetal (como cereales, frutas, verduras y leguminosas) que contribuye a la buena salud. Las enzimas del sistema digestivo no rompen este importante componente de los alimentos; lo que significa que viaja casi intacta a través de todo el sistema digestivo, incluyendo el colon. El hecho de que la fibra no sea digerida por el cuerpo es una de las razones por las que es tan benéfica para la salud. La fibra está constituida por tres componentes, cada uno de los cuales tiene un efecto diferente en el organismo: Polisacáridos, Lignina, Almidones resistentes y oligosacáridos no digeribles. (Prieto y Villaseñor, 2009)

Fibra insoluble

Como su nombre lo indica, no se disuelve en agua. Actuando como una esponja, esta fibra aumenta su tamaño y absorbe mucho más que su peso en agua. De esta forma, la fibra insoluble proporciona volumen, que puede ayudar a sentirse satisfecho por más tiempo. Además, la fibra insoluble

contribuye a acelerar el movimiento de los alimentos a través del sistema digestivo y ayuda a promover la regularidad y reducir la incidencia de estreñimiento. Algunos ejemplos de fibra insoluble son: el salvado de trigo, salvado de maíz, trigo integral, verduras y frutas. (Prieto y Villaseñor, 2009)

Fibra soluble

Como su nombre lo indica, se puede disolver en agua. De hecho, puede absorber agua y, al hacerlo, forma una especie de gel. El consumo de fibra soluble incrementa la sensación de saciedad, puede ayudar a disminuir los niveles de colesterol LDL en la sangre (de lipoproteínas de baja densidad, conocido también como el “colesterol malo”) y a mantener estables los niveles de glucosa sanguínea, al reducir el aumento en los niveles de glucosa en la sangre que ocurre después de comer. Algunos ejemplos de fibras solubles son: psyllium, salvado de avena, manzanas, peras, leguminosas y cebada. (Prieto y Villaseñor, 2009)

2.3.3 Secado

La deshidratación o secado de los alimentos permite asegurar una buena estabilidad por descenso de la actividad de agua (a_w).se puede realizar por evaporación, sublimación y por arrastre. (Jeantet, Croguennec, Schuck y Brulé, 2013)

Convección

El calor se transfiere al sólido que se está secando mediante una corriente de aire caliente (u otro fluido) que además de transmitir el calor necesario para la evaporación del agua es también el agente transportador del vapor

de agua que se elimina del sólido. (Fito et al., 2001, como se citó en Espinoza, 2011)

Contenido de humedad en base húmeda (x).

El contenido de humedad de un sólido generalmente se describe en función del porcentaje en peso de humedad (Galicia, Zaldivar y Hernández, 2009), se sobreentiende que está expresado en base húmeda, es decir, como:

$$x = \frac{X}{1-X} \left[\frac{kg H_2O}{kg SH} \right] \quad (7)$$

Contenido de humedad, base seca (X).

Es el contenido de humedad en el sólido seco (Galicia et al. 2009):

$$X = \frac{1}{1-x} \left[\frac{kg H_2O}{kg SS} \right] \quad (8)$$

Radiación infrarroja (IR)

El calentamiento por infrarrojos (IR) durante el secado de productos, no es un método muy común, pero su aplicación se ha incrementado en los últimos años. Aunque este tipo de transmisión de calor se utilizó de forma accidental en el pasado, acompañando otros tipos de transferencia de calor durante el secado, los secadores por infrarrojos se diseñan en la actualidad para utilizar el calor radiante como fuente primaria de energía. (Fito, Andres, Albors y Barat, 2016)

Aplicación de la radiación infrarroja

Sandu (1986, como se citó en Paulino, Abrahan, Sosa, Martínez y Olalde, 2016) afirma que la aplicación en el procesamiento de alimentos ha ganado un gran interés debido a la inherente ventaja sobre el calentamiento con aire caliente. El procesamiento con radiación infrarroja se ha aplicado en panificación, rostizado, tratamientos térmicos (escaldado, pasteurización, esterilización, etc.), y deshidratación de alimentos.

Y a diferencia del secado con aire caliente en el secado por radiación infrarroja la energía en forma de ondas electromagnéticas se absorbe directamente en el alimento. La radiación infrarroja tiene significativas ventajas con respecto al secado convencional. Algunas de estas ventajas son: las elevadas velocidades de secado proporcionan ahorros significativos de energía, se presentan elevados coeficientes de transferencia de calor, el tiempo de procesamiento es corto, el proceso se puede realizar a temperatura ambiente, y la distribución uniforme de temperaturas proporciona un producto de mejor calidad. La eficiencia de la operación de secado en los equipos de radiación infrarroja se ve aumentada si se suministra una corriente de aire caliente cuyo objetivo es la remoción del vapor de agua de los alimentos (Humesh, 2004 como se citó en Paulino et al., 2016)

Cuando el material es expuesto a radiación infrarroja, penetran las ondas electromagnéticas en la superficie del material, comenzando así la vibración de las moléculas, debido a la absorción de la radiación hasta el centro del material. El calentamiento rápido del material incrementa la migración de

humedad hacia la superficie externa. El aire que fluye remueve la humedad desde la superficie hasta la salida del equipo. (Sakai y Hanzawa, 1994, como se citó en Paulino et al., 2016)

Secado por radiación infrarrojo

Se basan en la transferencia de energía radiante para evaporar la humedad del producto. Esta energía se produce eléctricamente (infrarrojos) o por refractarios calentados con gas. (Dueñas y Vidal, 2016)

2.4 Definición de términos básicos

Actividad de agua (a_w)

La actividad de agua de un producto se caracteriza por la relación entre la presión parcial de vapor de agua de un producto (P_p) y la presión parcial de vapor del agua pura (P_e), a la misma temperatura θ . (Jeantet et al, 2013)

Bagazo

Residuo fibroso resultante de la trituración, presión o maceración de frutos, semillas, tallos, etc., para extraerles su jugo, especialmente el de la vid o la caña de azúcar. (Real Academia Española, 2018).

Humedad

En general el término “humedad” se usa para describir la cantidad de agua que tienen los materiales o sustancias.

Debido a que la mayoría de los materiales sólidos están constituidos de materia seca y agua, se puede establecer que la masa total (m_h) del material es igual a la suma de su masa seca (m_s) y de su masa de agua (m_{H_2O}).

(Martines y Lira, 2010).

Infrarrojo (IR)

El infrarrojo es un tipo de radiación electromagnética cuya longitud de onda es más larga que la de la luz visible pero más corta que la de las microondas. La radiación infrarroja puede ser clasificada en tres regiones llamadas cercana o near (NIR), media o mid (MIR) y lejana o far (FIR), cuyas longitudes de ondas se encuentran entre 0,75 a 1,4; 1,4 a 3 y 3 a 1000 μm respectivamente. (Krishnamurthy et al., 2008, como se citó en Espinoza, 2011)

Temperatura del aire de secado

La temperatura del aire de secado es el parámetro de mayor flexibilidad en un sistema de secado a altas temperaturas e influye significativamente en la tasa y la eficiencia de secado y en la calidad del producto final. (Gan y Sandoval, 2003)

Tiempo de secado

El tiempo de secado depende del material, esto define las características que tendrá la curva de secado. El tiempo de secado debe ser determinado separadamente para el primer y segundo periodo de secado. (Dávila, 2004)

Potencia eléctrica

La potencia eléctrica es la proporción por unidad de tiempo, o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico, es decir, la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio o *watt* (W). (“Potencia eléctrica”, 2023).

Velocidad de secado

Se entiende por velocidad de secado a los puntos de humedad que se extraen en una unidad de tiempo. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, sin fecha)

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

- Con una temperatura del aire de secado a 55°C y empleando el modelo matemático de Page se describirá con mayor precisión la cinética de secado a nivel piloto, con aire convectivo ascendente e infrarrojo y permitirá determinar su efecto en la humedad final y tiempo del secado del snack obtenido a partir de la membrana capilar de la mandarina (*Citrus reticulata*).

3.1.2 Hipótesis específicas

- Con una temperatura del aire de secado a 55°C y la potencia del dispositivo de infrarrojo se alcanzará una humedad final menor al 15%, en el snack obtenido a partir de la membrana capilar de la mandarina (*Citrus reticulata*).
- Con una temperatura del aire de secado a 55°C y la potencia del dispositivo de infrarrojo se obtendrá el menor tiempo de secado, en el snack obtenido a partir de la membrana capilar de la mandarina (*Citrus reticulata*).
- El modelo matemático, obtenido según la ecuación de Page se ajusta más a la cinética de secado de la membrana capilar de la mandarina (*Citrus reticulata*).

3.2 Definición conceptual de las variables

Actividad de agua (a_w)

La actividad de agua de un producto se caracteriza por la relación entre la presión parcial de vapor de agua de un producto (P_p) y la presión parcial de vapor del agua pura (P_e), a la misma temperatura ^o. (Jeantet et al, 2013)

Humedad

En general el término “humedad” se usa para describir la cantidad de agua que tienen los materiales o sustancias.

Debido a que la mayoría de los materiales sólidos están constituidos de materia seca y agua, se puede establecer que la masa total (m_h) del material es igual a la suma de su masa seca (m_s) y de su masa de agua (m_{H_2O}). (Martines y Lira, 2010).

Potencia eléctrica

La potencia eléctrica es la proporción por unidad de tiempo, o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico, es decir, la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio o *watt* (W). (“Potencia eléctrica”, 2023).

Temperatura del aire de secado

La temperatura del aire de secado es el parámetro de mayor flexibilidad en un sistema de secado a altas temperaturas e influye significativamente en la tasa y la eficiencia de secado y en la calidad del producto final. (Gan y Sandoval, 2003).

Tiempo de secado

El tiempo de secado depende del material, esto define las características que tendrá la curva de secado. El tiempo de secado debe ser determinado separadamente para el primer y segundo periodo de secado. (Dávila, 2004)

Velocidad de secado

Se entiende por velocidad de secado a los puntos de humedad que se extraen en una unidad de tiempo. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, sin fecha)

3.2.1 Operacionalización de las variables:

Tabla 4

Operacionalización de las variables

| VARIABLE | | | DIMENSIONES | INDICADOR | ESCALA | MÉTODO |
|---------------|--------------|-----------------------|--|---------------------|-------------|---|
| INDEPENDIENTE | Cuantitativa | Temperatura de secado | Eficiencia de secado | Actividad de agua. | 55 °C | Se seleccionó en el panel de control la temperatura requerida para el secado. |
| | | | | | 65° C | |
| | | | | | 75° C | |
| CONTROL | Cuantitativa | Potencia eléctrica | Porción por unidad de tiempo entregada | Potencia eléctrica. | 127.6 W | Se seleccionó en el panel de control la potencia requerida. |
| | Cuantitativa | Velocidad de secado | Puntos de humedad que se extraen en una unidad de tiempo | - | 4.5 m/s | Se calibró la velocidad de aire de secado. |
| DEPENDIENTE | Cuantitativo | Tiempo de secado | Depende del material | - | “X” minutos | Se colocó en una hoja de cálculo los periodos de tiempo (intervalos). |
| | Cuantitativa | Humedad | Cantidad de agua que tiene el material. | Masa seca . | - | Se colocó los datos de la humedad, según los periodos de tiempo. |

IV. DISEÑO METODOLOGICO

4.1 Diseño metodológico

La investigación que presentamos es:

- Aplicada, porque el propósito es resolver un problema de residuos orgánicos utilizando parámetros adecuados con la membrana capilar de la mandarina;
- Cuantitativa, porque centra de manera predominante la cuantificación de las variables dependientes: humedad y tiempo de secado de la membrana capilar de la mandarina; y finalmente
- Experimental, porque se seleccionó siguiendo un modelo, la variable independiente: Temperatura del aire de secado; se manipuló provocando cambios esperados en las variables dependientes: humedad y tiempo de secado de la membrana capilar de la mandarina.

El diseño de la investigación:

- Se realizaron etapas previas al experimento central, la caracterización de la mandarina y determinación de la humedad de la membrana capilar, posterior a ello se realizó un experimento de tipo investigación experimental con diseño específico: diseño factorial 3x2., y a los resultados obtenidos se les realizó un modelamiento matemático.

4.2 Método de investigación

Descripción de las etapas de la elaboración del snack.

Lavado

El lavado es una operación que generalmente constituye el punto de partida de cualquier proceso de producción para frutas y hortalizas.

Normalmente es una operación que a pequeña escala se realiza en estanques con agua recirculante o simplemente con agua detenida que se reemplaza continuamente.

La operación consiste en eliminar la suciedad que el material trae consigo antes que entre a la línea de proceso, evitando así complicaciones derivadas de la contaminación que la materia prima puede contener. Este lavado debe realizarse con agua limpia, lo más pura posible y de ser necesario potabilizada mediante la adición de hipoclorito de sodio, a razón de 10 ml de solución al 10% por cada 100 litros de agua.

Es aconsejable ayudarse con implementos que permitan una limpieza adecuada del material, de manera de evitar que la suciedad pase a las etapas siguientes del proceso. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, sin fecha)

Selección

Una vez que la materia prima está limpia, se procede a la selección, es decir, a separar el material que realmente se utilizará en el proceso del que presenta algún defecto que lo transforma en material de segunda por lo que será destinado a un uso diferente o simplemente eliminado. Esta selección se realiza en una mesa adecuada a tal propósito o en una cinta transportadora en el caso de contar con una instalación de pequeña escala semimecanizada. Se trata, entonces, de separar toda fruta u hortaliza que no presente uniformidad con el lote, en cuanto a madurez, color, forma, tamaño, o presencia de daño mecánico o microbiológico.

Algunas veces para apreciar la uniformidad o la calidad de un material es necesario cortarlo en dos para verificar su interior. La uniformidad es un factor

de calidad relevante, ya que se le da la mayor importancia a que el material sea homogéneo y uniforme. La selección cumple la función de producir tal homogeneidad. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, sin fecha)

Pelado o mondado

Es otra operación que se realiza regularmente. Consiste en la remoción de la piel de la fruta u hortaliza. Esta operación puede realizarse por medios físicos como el uso de cuchillos o aparatos similares, también con el uso del calor; o mediante métodos químicos que consisten básicamente en producir la descomposición de la pared celular de las células externas, de la cutícula, de modo de remover la piel por pérdida de integridad de los tejidos.

El pelado es una operación que permite una mejor presentación del producto, al mismo tiempo que favorece la calidad sensorial al eliminar material de textura más firme y áspera al consumo. Además, la piel muchas veces presenta un color que es afectado por los procesos térmicos normalmente usados en los métodos de conservación. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, sin fecha)

Extracción por presión

Se utiliza principalmente para la extracción de aceites y zumos. Suele combinarse con la reducción de tamaño para incrementar el rendimiento. Los componentes extraídos de los vegetales se destinan, bien a su consumo o bien a un proceso de elaboración posterior.

La extracción por presión se realiza, bien en dos fases (una primera de reducción de tamaño y obtención de pulpa y una segunda de separación en prensa) o en una sola fase, que incluye la rotura celular y la extracción del líquido por presión (Ceupe Magazine, sin fecha)

Congelación

La congelación es el proceso de transformación del agua en hielo por exposición a bajas temperaturas y se realiza en varias etapas. En una primera fase la temperatura del alimento desciende por debajo de 0°C, pero aún no ha empezado a congelarse; es la etapa de subenfriamiento. La siguiente fase es la nucleación donde, de manera espontánea, se forman núcleos de hielo a partir de los cuales comenzarán a formarse los cristales. Por último, durante la fase de crecimiento de los cristales, estos crecerán hasta que toda el agua presente en el alimento termina por convertirse en hielo. Al finalizar el proceso, el alimento habrá alcanzado la temperatura del congelador (Gonzales, sin fecha)

Descongelación

La descongelación es el proceso contrario a la congelación, solo que más lento (para diferenciales de temperatura iguales pero invertidos). Todas las alteraciones relativas a la calidad del producto (pérdida de textura, de agua, de sabor, etc.) que se pudieron producir durante la congelación quedan evidenciadas durante la descongelación (Gonzales, sin fecha)

Pesado

Pesado puede referirse al acto de comprobar el peso de un objeto, que puede hacerse estimativamente levantándolo, o usarse instrumentos específicos, como una balanza (Deconceptos, 2022).

Secado

La preservación de alimentos a través de la remoción de agua, es probablemente una de las técnicas más antiguas que existen. En el pasado, el proceso se simplificaba poniendo directamente el producto al sol, esparcido en el suelo sobre sacos, esteras de hojas de plantas e incluso directamente en el

suelo desnudo (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, sin fecha)

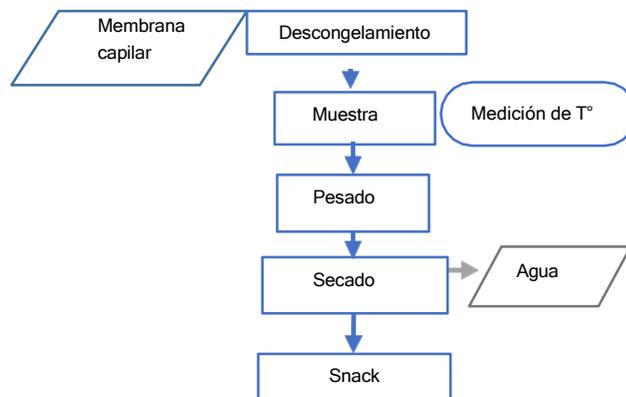
4.2.1 Muestra

Para cada experiencia de secado se descongelo una muestra, 24 horas antes de iniciar el proceso, para la muestra a secar se siguió los pasos según la

Figura 6.

Figura 6

Elaboración de un snack a partir de la membrana capilar de mandarina



El método que se utilizó fue el experimental, en donde se manipuló la variable independiente y se determinó cómo afectaba a las variables dependientes.

Se trabajó con una carga de densidad de 4 Kg/m² aproximadamente, velocidad fija (4.5 m/s), temperaturas de secado (55, 65 y 75°C), potencia de infrarrojo (127.6 W), generándose 6 tratamientos de secado diferentes como podemos observar en la **Figura 7** y **Figura 8**.

Figura 7

Diagrama de flujo para el secado de la membrana capilar de la mandarina.

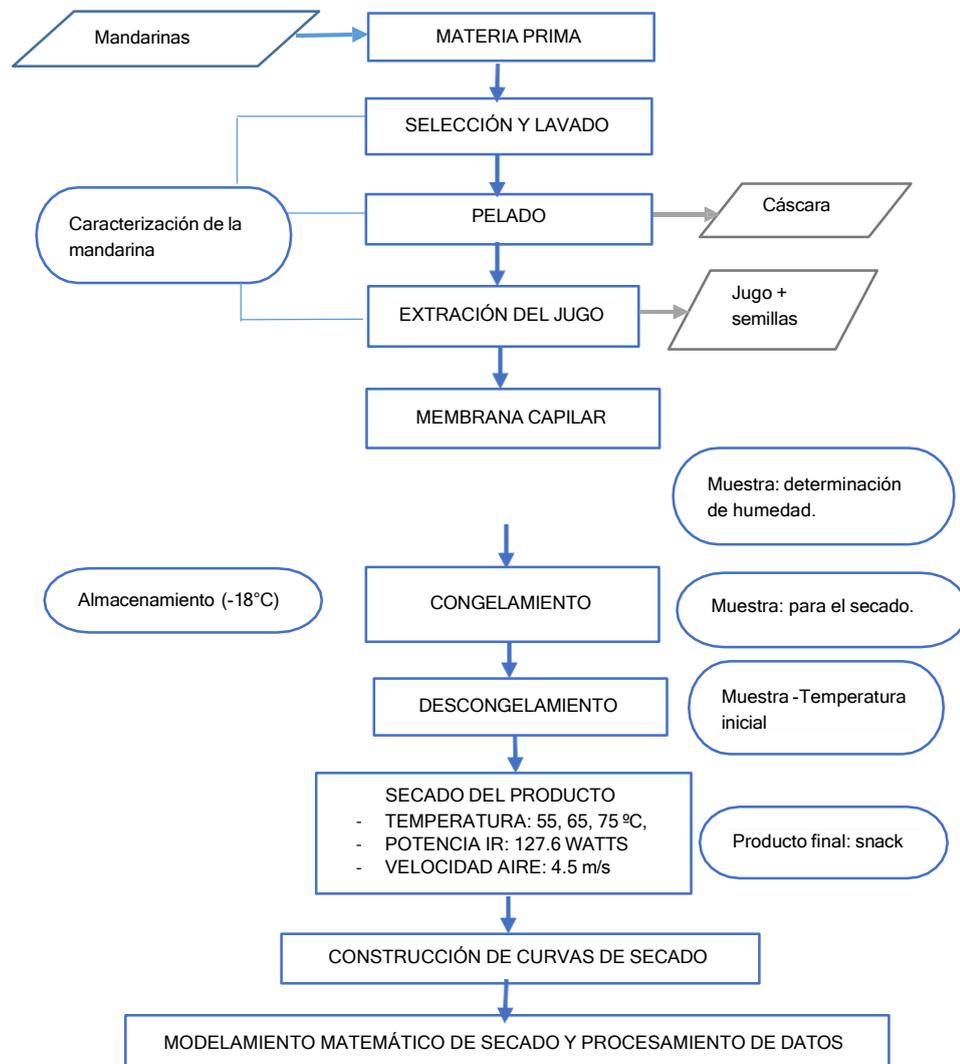
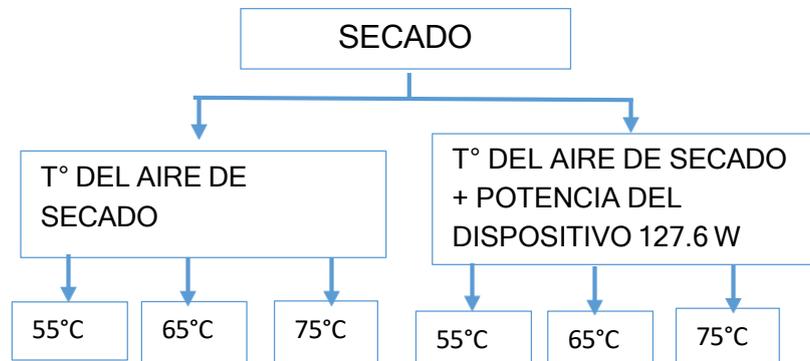


Figura 8

Diseño experimental del secado de la membrana capilar de la mandarina.



En la **Tabla 5** se muestra el diseño específico: diseño factorial 3x2.

Tabla 5

Diseño específico: diseño factorial 3x2

| | Niveles factor B | |
|------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Niveles factor A | Sin IR | Con IR (127.6 W) |
| 55 °C | A ₁ B ₁ | A ₁ B ₂ |
| 65 °C | A ₂ B ₁ | A ₂ B ₂ |
| 75 °C | A ₃ B ₁ | A ₃ B ₂ |

| LEYENDA | |
|----------------|----------------------------------|
| A ₁ | Temperatura 55°C |
| A ₂ | Temperatura 65°C |
| A ₃ | Temperatura 75°C |
| B ₁ | Sin aplicación de infrarrojo |
| B ₂ | Potencia del dispositivo 127.6 W |

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

Se utilizó 60 mandarinas (8.333 Kg) de las cuales la membrana capilar represento 2.53 kg, del Grupo Clementinas (*Citrus reticulata*): Clementinas, Clemenules, del distrito de Ventanilla, distrito que conforma la provincia constitucional del Callao, obtenidas del Mercado: Asociación de Comerciantes Minoristas de Angamos- “ACMA”, con el objetivo de obtener datos más unificados en las pruebas experimentales.

4.3.2 Muestra

Teniendo en cuenta que la población es finita se aplicó la siguiente formula:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2(N-1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \dots (9)$$

Donde:

n: Número de unidades de cada muestra

N: Tamaño de la población finita

Z_{α}^2 : Nivel de confianza (1,96²)

p: Probabilidad que ocurra el evento (0,05)

q: Probabilidad que no ocurra el evento (1-p)

e: Error de estimación máximo aceptado (3%)

Se determinó:

$$n = \frac{60 * (1,96^2) * (0,05) * (1 - 0,05)}{e^2(60 - 1) + (1,96^2)(0,05) * (1 - 0,05)}$$

$$n = 46.47$$

Se concluyó que como el tamaño de la muestra fue pequeño, se trabajó con el total de la población.

4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado

La parte experimental de la presente investigación se realizó en la

Universidad Nacional del Callao
Laboratorio de Ingeniería de Procesos y Operaciones Unitarias-LIPOU, el periodo de tiempo empleado para realizar la parte experimental y la presente tesis fue de 20 meses.

4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de información.

4.5.1 Determinación de la humedad

La humedad de la membrana capilar de la mandarina (*Citrus reticulata*) se determinó a través del método AOAC 920.151, c37, 20th. Ed. 2016. Solids (Total) in Fruits and Fruit Products (**véase Anexo 2**). Realizado por el laboratorio encargado: Certificaciones del Perú S.A - CERPER S.A.

4.5.2 Caracterización de la mandarina (*Citrus reticulata*) y la membrana capilar (muestra).

Para la caracterización de la materia prima se trabajó con 60 mandarinas (obtenidas del mercado: Asociación de Comerciantes Minoristas de Angamos - "ACMA" de Ventanilla), se lavaron y seleccionaron, luego se tomó medidas de altura y diámetro con la ayuda del pie de rey, se pesó el fruto entero, después se realizó el peso de las cascaras, pulpa, jugo y membrana capilar de cada una, simultáneamente se registraron los datos en una hoja de cálculo y se interpretaron (**véase Anexo 3**).

Finalizada la caracterización de la mandarina, se tomó la membrana capilar y se colocó en bolsas de polietileno, fueron colocados en congelación, posteriormente se usaron en el secado, 24 horas antes del inicio del secado, se sacaba una muestra para que se descongelara, se medía la T° inicial y se acondicionaba para comenzar con el proceso, como se muestra la

Figura 6, de esta forma se procedió para los 6 tratamientos.

4.5.3 Secado por aire caliente e infrarrojo

Acondicionamiento de la muestra

La muestra se colocó envuelta en una malla dentro de una rejilla (ambas previamente pesadas y medidas), la densidad de carga se consideró aproximadamente de 4 Kg/m² para cada experiencia, los datos se registraron en una hoja de cálculo.

Acondicionamiento del secador

Se utilizó el equipo de secado de cabina con flujo ascendente adaptado con infrarrojo del Laboratorio de Ingeniería de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos (LIPOU- FIPA) como se muestra en la **Figura 9**. En el panel de control se seleccionó los parámetros de potencia del dispositivo infrarrojo y temperatura del aire de secado requerida para cada experiencia, se esperó a que los parámetros reales alcancen los parámetros requeridos (temperatura y potencia).

Figura 9

Secador de cabina con flujo ascendente adaptado con infrarrojo



Secado de la muestra

Ya acondicionada la muestra en la rejilla y el secador con los parámetros requeridos, se procedió a pesar la rejilla con la muestra en una balanza, luego se abrió la ventana del equipo de secado, se colocó la rejilla dentro de la cabina, se cerró la ventana y se tomó el tiempo con un cronometro a partir de los 0 minutos; el resto de los pesos se tomó de la misma forma, pesándose rápidamente en intervalos de tiempo de 0, 10, 15, 20, 30 y 60 minutos, colocándose los datos en el formato N°1 (**véase Anexo 5**). Este procedimiento se realizó hasta obtener una humedad aproximada de 11 a 15 % (base humedad).

4.6 Análisis y procedimientos de datos

4.6.1 Determinación de la humedad

Por medio del laboratorio Certificaciones del Perú S.A-CERPER se obtuvo el valor de 83.22 % de humedad de la membrana capilar (**véase el Anexo 2**); este resultado fue considerado como humedad inicial para todas las corridas experimentales.

4.6.2 Caracterización de la mandarina (*Citrus reticulata*) y la membrana capilar (muestra).

Los datos de las 60 mandarinas se colocaron en una hoja de cálculo y se analizaron algunas funciones estadísticas que el programa Microsoft Excel ofrece (**véase el Anexo 3**).

Para la membrana capilar de la mandarina se trabajó con una muestra de una densidad de carga de 4 kg/m² aproximadamente para cada tratamiento, los datos obtenidos del peso durante el secado en cada intervalo de tiempo se colocaron en una hoja de cálculo.

4.6.3 Modelamiento matemático de la cinética de secado

Con los datos experimentales obtenidos por cada tratamiento se trabajó con 5 modelos matemáticos, las ecuaciones se muestran en la **Tabla 6** Se modelaron los datos de las ecuaciones matemáticas aplicadas usando el módulo solver de Microsoft Excel. Se utilizó el coeficiente de determinación (R^2), Chi-cuadrado reducido (X^2) y la raíz del error cuadrático medio (RSME) (ecuaciones 10, 11, 12, respectivamente) para verificar el ajuste de los modelos.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pro,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (\overline{MR}_{pro,i} - MR_{exp,i})^2} \dots (10)$$

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pro,i})^2}{N - M} \dots (11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pro,i} - MR_{exp,i})^2}{N}} \dots (12)$$

Donde:

N: número total de datos experimentales tomados por cada experiencia de secado.

M: número de constantes.

i: enésimo dato experimental tomado en una experiencia de secado.

$MR_{pro,i}$: Ratio de humedad proyectado para un iésimo dato experimental.

$MR_{exp,i}$: Ratio de humedad para un enésimo dato experimental.

\overline{MR}_{pro} : Humedad proyectada media.

Tabla 6

Modelos matemáticos de cinética de secado a usar

| MODELO | ECUACIÓN |
|------------------------|---------------------|
| Newton | $MR = e^{-kt}$ |
| Henderson-Pabis | $MR = ne^{-kt}$ |
| Page | $MR = e^{-kt^n}$ |
| Page modificada | $MR = e^{(-kt)^n}$ |
| Logarítmico | $MR = ne^{-kt} + a$ |

Los resultados experimentales modelados fueron representados por medio de curvas y fueron comparados entre sí con el objetivo de validar las correlaciones generadas.

V. RESULTADOS

5.1 Resultados descriptivos

Como se observa en la **Tabla 7**, la correlación de las constantes con la temperatura para el modelo de Page y Page modificado para los tratamientos T1, T2 y T3 el coeficiente k disminuye conforme aumenta la temperatura, para los tratamientos T4, T5 y T6 para los modelos Newton, Logarítmico y Henderson & Pabis el coeficiente k aumenta conforme aumenta la temperatura, lo mismo ocurre para la constante n en los modelos Page, Logarítmico y Page Modificada para los tratamientos T4, T5 y T6.

En la **Tabla 8**, se muestra los resultados de humedad, tiempo y rendimiento. Analizando los resultados y las curvas de secado (**véase Anexo 6**) se observa que la cinética de secado se ve fuertemente influenciada por la temperatura y la potencia del dispositivo de infrarrojo, mientras más elevadas son las temperaturas de aire de secado y asistidas con infrarrojo durante el tratamiento, el tiempo de secado se reduce significativamente. Como se muestra con el tratamiento T3, el cual requirió menos tiempo de secado, lo que sería una ventaja económica, pero se debe analizar qué características se pierden o no con ese tratamiento. Por otro lado, el rendimiento no depende de la temperatura ni la potencia aplicada al secado, ya que se obtuvo un promedio de 19% en rendimiento aproximadamente para los seis tratamientos.

También se puede observar en las gráficas de Masa Vs Tiempo (**véase Anexo 6**), que la pérdida de agua es más rápida en las primeras horas de secado para los 6 tratamientos.

En cuanto a la difusión, no se aplica ningún modelo debido a que la muestra no presenta una forma definida a lo largo del tratamiento, y el secado de la muestra produce un encogimiento de manera no uniforme, debido a esto se desprecia el fenómeno de difusión.

Tabla 7

Datos de las constantes según los modelos utilizados.

| MODELOS | TRATAMIENTO | | CONSTANTES | | | |
|------------------------------|-------------|-------|------------|------------|------------|------------|
| | T | T° | IR | k | n | a |
| Page | 4 | 55 °C | | 0.00442538 | 0.97257932 | |
| | 5 | 65 °C | | 0.00785749 | 0.98356915 | |
| | 6 | 75 °C | | 0.00409352 | 1.14205259 | |
| | 1 | 55 °C | 127.6 W | 0.00767524 | 1.08841063 | |
| | 2 | 65 °C | 127.6 W | 0.00724002 | 1.09096919 | |
| | 3 | 75 °C | 127.6 W | 0.00675093 | 1.15581937 | |
| Newton | 4 | 55 °C | | 0.00380893 | | |
| | 5 | 65 °C | | 0.00724469 | | |
| | 6 | 75 °C | | 0.00810323 | | |
| | 1 | 55 °C | 127.6 W | 0.01144639 | | |
| | 2 | 65 °C | 127.6 W | 0.01097405 | | |
| | 3 | 75 °C | 127.6 W | 0.01325479 | | |
| Logarítmico | 4 | 55 °C | | 0.00374295 | 0.98766793 | 0.00000000 |
| | 5 | 65 °C | | 0.00767480 | 0.98822822 | 0.01960576 |
| | 6 | 75 °C | | 0.00848766 | 1.03925397 | 0.00000000 |
| | 1 | 55 °C | 127.6 W | 0.01172314 | 1.02075108 | 0.00000000 |
| | 2 | 65 °C | 127.6 W | 0.01116426 | 1.01644043 | 0.00000000 |
| | 3 | 75 °C | 127.6 W | 0.01364820 | 1.02506246 | 0.00000000 |
| Henderson & Pabis | 4 | 55 °C | | 0.00374295 | | 0.98767809 |
| | 5 | 65 °C | | 0.00723387 | | 0.99881890 |
| | 6 | 75 °C | | 0.00848788 | | 1.03928366 |
| | 1 | 55 °C | 127.6 W | 0.01172313 | | 1.02075109 |
| | 2 | 65 °C | 127.6 W | 0.01119406 | | 1.01726072 |
| | 3 | 75 °C | 127.6 W | 0.01364813 | | 1.02504147 |
| Page Modificado | 4 | 55 °C | | 0.61716529 | 0.00617165 | |
| | 5 | 65 °C | | 0.26915970 | 0.02691597 | |
| | 6 | 75 °C | | 0.02846617 | 0.28466172 | |
| | 1 | 55 °C | 127.6 W | 0.03383251 | 0.33832510 | |
| | 2 | 65 °C | 127.6 W | 0.03312710 | 0.33127103 | |
| | 3 | 75 °C | 127.6 W | 0.01151295 | 1.15129461 | |

Tabla 8

Datos de humedad final, tiempo de secado y rendimiento.

| Tratamiento(T) | T | Humedad final (%) | Tiempo (min.) | Rendimiento (%) |
|----------------|----|-------------------|---------------|-----------------|
| 55°C + 127.6W | T1 | 11.89 | 295 | 19.04 |
| 65°C + 127.6W | T2 | 11.10 | 280 | 18.88 |
| 75°C + 127.6W | T3 | 10.03 | 180 | 18.65 |
| 55°C | T4 | 14.38 | 780 | 19.59 |
| 65°C | T5 | 11.34 | 630 | 18.92 |
| 75°C | T6 | 11.49 | 420 | 18.96 |

5.2 Resultados inferenciales

Los 5 modelos matemáticos fueron comparados sobre la base de sus resultados estadísticos, es decir, el coeficiente de determinación múltiple (R^2), Chi-cuadrado reducido (X^2) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE), y los resultados se muestran en el **Figura 10**, el cual muestra al modelo de Page con el mejor ajuste para las tres pruebas, mostrando el mayor valor de coeficiente de determinación múltiple (R^2) y los más bajos valores para el Chi-cuadrado reducido (X^2) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE). Sin embargo, evaluándose los estadísticos por cada tratamiento según la **Tabla 9**, se determinó que para el tratamiento T1, T2, T3 y T6 el modelo que mejor se ajusta es Page, mientras que para el tratamiento T4 el modelo que mejor se ajusta es Henderson & Pabis y para el tratamiento T5 el modelo que mejor se ajusta es Logarítmico.

Figura 10

Valores estadísticos promedios para los modelos utilizados

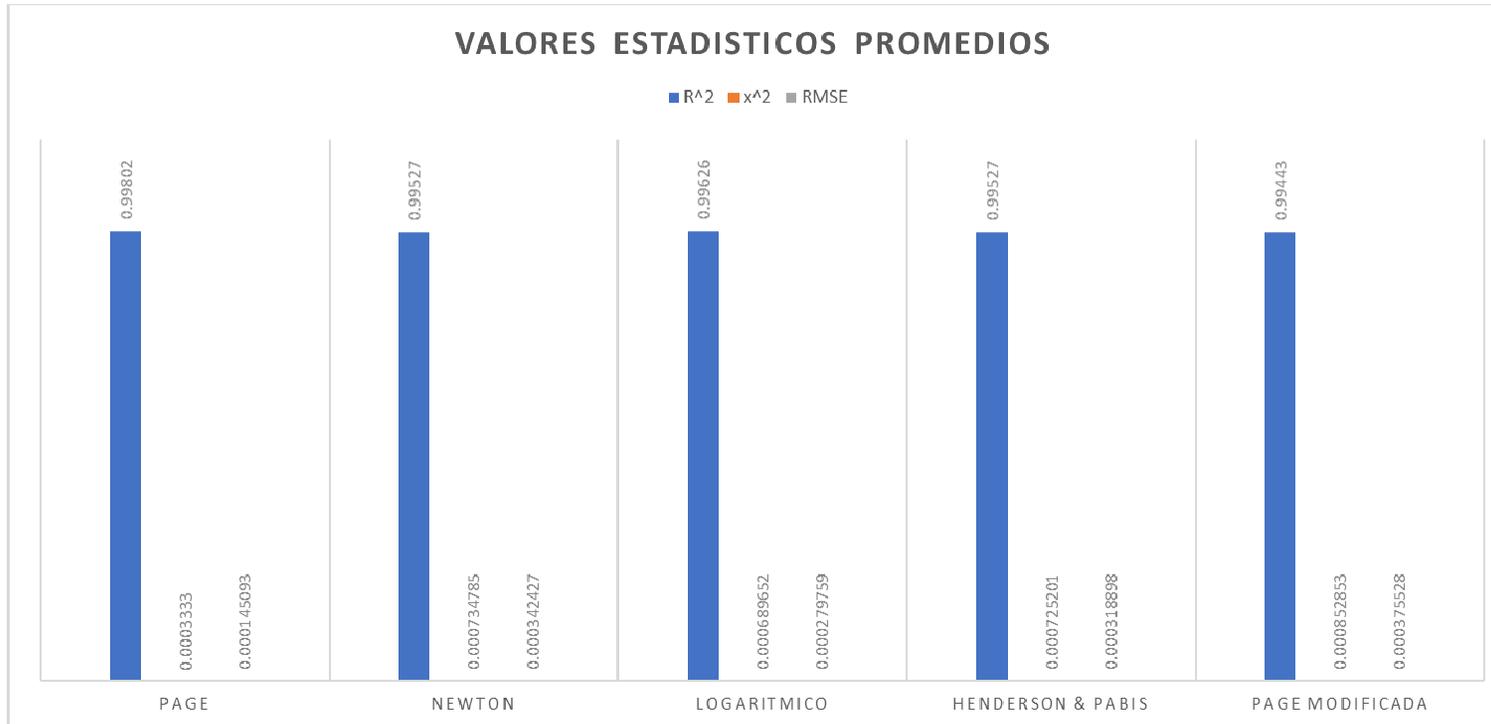


Tabla 9

Resultados estadísticos de los modelos utilizados.

| Tratamientos | 55°C | 65°C | 75°C | 55°C+127.6W | 65°C+127.6W | 75°C+127.6W | Prueba estadística |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| Modelos | R ² | Promedio |
| Page | 0.99897 | 0.99905 | 0.99971 | 0.99915 | 0.99855 | 0.99271 | 0.99802 |
| Newton | 0.99872 | 0.99901 | 0.99507 | 0.99714 | 0.99595 | 0.98573 | 0.99527 |
| Logaritmico | 0.99901 | 0.99964 | 0.99727 | 0.99780 | 0.99661 | 0.98720 | 0.99626 |
| Henderson & | 0.99901 | 0.99364 | 0.99727 | 0.99791 | 0.99658 | 0.98720 | 0.99527 |
| Page Modificada | 0.99872 | 0.99381 | 0.99507 | 0.99728 | 0.99595 | 0.98573 | 0.99443 |
| Modelos | X ² | Promedio |
| Page | 0.00008 | 0.00008 | 0.00004 | 0.00013 | 0.00022 | 0.00146 | 0.00033 |
| Newton | 0.00009 | 0.00008 | 0.00062 | 0.00040 | 0.00057 | 0.00264 | 0.00073 |
| Logaritmico | 0.00008 | 0.00003 | 0.00034 | 0.00035 | 0.00054 | 0.00280 | 0.00069 |
| Henderson & Pabis | 0.00007 | 0.00055 | 0.00034 | 0.00031 | 0.00051 | 0.00257 | 0.00073 |
| Page Modificada | 0.00010 | 0.00053 | 0.00062 | 0.00040 | 0.00060 | 0.00286 | 0.00085 |
| Modelos | RMSE | RMSE | RMSE | RMSE | RMSE | RMSE | Promedio |
| Page | 3.61783E-05 | 3.8074E-05 | 1.6354E-05 | 5.64208E-05 | 9.67732E-05 | 0.000626757 | 0.00015 |
| Newton | 4.49754E-05 | 3.9686E-05 | 0.00028243 | 0.000190523 | 0.000269609 | 0.001227346 | 0.00034 |
| Logaritmico | 3.48481E-05 | 1.4514E-05 | 0.00015616 | 0.000146322 | 0.000225546 | 0.00110117 | 0.00028 |
| Henderson & Pabis | 3.48479E-05 | 0.00025451 | 0.00015614 | 0.000139033 | 0.000227592 | 0.00110127 | 0.00032 |
| Page Modificada | 4.49754E-05 | 0.00024766 | 0.00028243 | 0.000181159 | 0.000269609 | 0.001227346 | 0.00038 |

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

A partir de nuestros resultados se determinó que mientras más alta es la temperatura de secado asistida con infrarrojo, es menor el tiempo requerido para deshidratar la membrana capilar de la mandarina, por otro lado, para la humedad final se obtuvo un valor similar en los 6 tratamientos aplicados, con diferentes tiempos de secado.

De los cinco modelos matemáticos aplicados a los tratamientos, se determinó que el modelo de Page es el que mejor ajuste presento en base a la comparación de los estadísticos promedios usados.

6.2 Contrastación de los resultados con estudios similares

Los tiempos aplicados para el secado de la membrana capilar de la mandarina en los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6 fueron 295, 280, 180, 780, 630 y 420 minutos respectivamente, los 3 primeros tratamientos (T1, T2, T3 -asistidos con infrarrojo) mostraron menor tiempo de secado, nuestros resultados concuerdan con lo obtenido por Espinoza (2011) y Puente et al. (2013), demostrando así que utilizando una fuente de energía infrarroja en combinación con una corriente de aire caliente disminuye en forma severa los tiempos de secado, en comparación al secado convencional por aire.

De acuerdo con los valores promedios estadísticos, el coeficiente de determinación múltiple (R^2), Chi-cuadrado reducido (X^2) y la raíz del error

cuadrático medio (RMSE), se obtuvo para el modelo Page 99,80%, 0.033% y 0.015% respectivamente, los cuales son los mejores valores con respecto a los otros modelos propuestos, lo que concuerda con Aspurz (2011), ya que el modelo de Page fue el que mejor se ajustó a los datos experimentales entre los 12 modelos utilizados en el secado de tomillo, por que presentó los mayores valores de coeficiente de determinación (99,67 a 99,99%), menores valores de errores medios relativos (1,29 a 9,92%) y menores errores medios estimados.

Los 6 modelos propuestos fueron comparados en base a los estadísticos, de los resultados obtenidos se puede observar que para los tratamientos T1 (55°C + 127.6 W), T2 (65°C + 127.6 W), T3 (75°C + 127.6 W) y T6 (75°C) los resultados de coeficiente de determinación (R^2), chi-cuadrado reducido (X^2) y el error cuadrado medio (RMSE) mostraron los mejores resultados de ajuste para el modelo de Page, esto concuerda con lo obtenido por Michalewicz et al. (2011) en el secado de rebanadas de cacahuate, aplicando temperaturas del aire de secado en 60, 70 y 80 °C y las velocidades del aire en 3, 4 y 5 m/s, utilizando 11 modelos matemáticos determinando que el modelo de mayor ajuste fue Page, mientras que para el T5 (65 °C) el modelo logarítmico fue el que obtuvo los mejores valores de ajuste, lo que concuerda con Puente et al.(2013) que determino que el modelo que mejor ajuste presenta en el secado asistido con infrarrojos de descartes de limón fue el modelo logarítmico, aplicando temperaturas de 30, 40 y 50°C asistidas con una potencia de 250W, de esto podemos deducir que el modelo que mejor se ajuste a los datos experimentales depende del producto sometido al proceso de secado, así como

de las condiciones en que este se encuentre (láminas, rodajas, prensado o pasta), del equipo de secado utilizado, además de las condiciones propias establecidas en el proceso (temperaturas, potencia de infrarrojo y velocidad del aire).

En general los resultados de los estadísticos aplicados, coeficiente de determinación (R^2), chi-cuadrado reducido (X^2) y el error cuadrado medio (RMSE), presentaron un buen ajuste para los 6 modelos matemáticos utilizados, obteniendo una diferencia mínima entre cada modelo, debido a los tratamientos aplicados.

6.3 Responsabilidad ética

Yo, Antonella Michelle Astrid Julca Yacila, la autora de la presente investigación acredito que los resultados expuestos son producto de procedimientos reales, siguiendo la directiva N° 013-2018-R Protocolos de Proyecto e informe final de investigación de pregrado, posgrado, docentes, equipos, centros e instituto de investigación.

CONCLUSIONES

- Los parámetros adecuados de temperatura y potencia del dispositivo de infrarrojo para el secado de la membrana capilar de la mandarina fueron la temperatura de 75°C asistida con una potencia de 127.6 W con los cuales se alcanzó una humedad final de 10.03 %.
- Se observó una marcada influencia de la temperatura y potencia del dispositivo de infrarrojo sobre la cinética de secado de este producto, demostrándose que, a elevadas temperaturas de aire asistidas con infrarrojo, disminuye considerablemente el tiempo de secado.
- En general los modelos propuestos mostraron una buena calidad de ajuste sobre las curvas de secado, pero el modelo de Page fue el que mejor se ajustó a los datos experimentales para describir la cinética de secado de la membrana capilar de la mandarina (*Citrus reticulata*), con el valor más cercano a 1 de $R^2= 0.99802$ y los valores más cercanos a 0 de $X^2= 0.00033$ y $RMSE =0.00015$.

RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis proximal para comparar las características de los snacks en cada tratamiento.
- Realizar el experimento de secado con aire caliente asistido con infrarrojo en un equipo de mayor capacidad.
- Evaluar la posibilidad de fabricar y comercializar el snack de membrana capilar de la mandarina.
- Comprar la materia prima a agricultores que no acceden a los principales mercados locales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aspurz Tabar, J. (2011). *Obtención de curvas de secado de tomillo (Thymus vulgaris)*. [Tesis para título. Universidad Pública de Navarra].
<https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/3848/577485.pdf?sequence=1>
- Calisto, L. A. (2009). *Desarrollo de producto snack a base de materias primas no convencionales poroto (Phaseolus vulgaris L.) y quinua (Chenopodium quinoa willd)*. [Tesis para título. Universidad de Chile].
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/105325>
- Ceupe Magazine. ¿Qué es la separación mecánica de los alimentos?
<https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-separacion-mecanica-de-los-alimentos.html>
- Collazo, P., Morejón, Y., Fernández, L. & Vázquez Y. (2018). Modelos matemáticos y experimentales para el análisis del secado solar de semillas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 27(1).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542018000100009
- Dávila Nava, J. R. (2004). *Estudio experimental del efecto de la porosidad de partículas sobre el proceso de secado en un lecho fluidizado a vacío empleando aire*. [Tesis para título. Universidad de las Américas Puebla].
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/davila_n_jr/

Deconceptos (2022). Concepto de pesar. <https://deconceptos.com/ciencias-naturales/pesar>

Dueñas, E. & Vidal, V. M. (2016). *Diseño e implementación de un secador infrarrojo*. [Tesis para título. Instituto Politécnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/22405?show=full>

Educalingo. Snack. Recuperado 10 de mayo del 2019 desde: <https://educalingo.com/es/dic-es/snack>

EL Productor (2019,11, enero). Frutas deshidratadas, un snack saludable. <https://elproductor.com/2019/01/frutas-deshidratadas-un-snack-saludable/>

Escobar, M. (2010). *Extracción de compuestos fenólicos de las cáscaras de cítricos producidos en México*. [Tesis para Maestría. Instituto Politécnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/9612>

Espinoza, J. L. (2011). *Aplicación de un proceso de secado asistido infrarrojo para la deshidratación del fruto de murtila (Ugni molinae Turcz.)*. [Tesis para título, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/105386>

Fito Maupoey, P., Andres Grau, A. M., Albors Sorolla, A. M. & Barat Baviera J. M. (2016). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Editorial Universidad Politécnica de València. Reimpresión.

Galicia, M., Zaldivar, I. & Hernández, J. (2009). Procesos de separación. Recuperado 10 de mayo del 2019 desde: <http://depa.fquim.unam.mx/procesos/secado/marcoteorico4.html>

Gan Acosta, A. & Sandoval Carrero, N. S. (2003). Diseño del sistema de control del proceso de secado de pastas alimenticias. *Revista Colombiana de*

https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_40/recursos/01_general/revista_2/09102011/v02_11.pdf

Geankoplis, C. J. (2006). *Procesos de transporte y principios de procesos de separación (incluye operaciones unitarias)*. Editorial Cecsca. Cuarta Edición.

Gonzales, E. Conceptos básicos de la congelación y descongelación de alimentos. *Seguridad alimentaria*. [https://egseguridadalimentaria.com/conceptos-](https://egseguridadalimentaria.com/conceptos-basicos-de-la-congelacion-y-descongelacion-de-alimentos/#comment-127)

[basicos-de-la-congelacion-y-descongelacion-de-alimentos/#comment-127](https://egseguridadalimentaria.com/conceptos-basicos-de-la-congelacion-y-descongelacion-de-alimentos/#comment-127)

Gutiérrez La Torre, E. O. (2014). *Elaboración de panes con fibra dietaria por adición de bagazo de manzana (Malus domestica) y mandarina (Citrus reticulata) en polvo*. [Tesis para título. Universidad Nacional Agraria La Molina].

<https://www.researchgate.net/>

Huerta, E. (2019,3, febrero). Alimentos ultra procesados aumentan la mortalidad, explica estudio. *Vital*. <https://vital.rpp.pe/salud/alimentos-ultra-procesados-y-muerte-consumo-aumentan-la-mortalidad-explica-estudio-calorias-noticia-1180635>

Hurtado Vidarte, R. K. & Ortiz Robles, L. S. (2018). *Componentes fitoquímicos y capacidad antioxidante de cáscaras de frutas de mayor consumo en el Perú*.

[Tesis para título. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].

https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/622870/Hurtado_vr.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Jeantet, R., Croguennec, T., Schuck, P. & Brulé G. (2013). *Ciencia de los alimentos*. Editorial Acribia S.A.

- Madrid Úsuga, J. G. (2013). *Diseño de máquina procesadora de cáscara de mandarina*. [Tesis para título. Universidad Pontificia Bolivariana].
<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/1129>
- Martines, E. L. & Lira, L. C. (2010, 27 al 29 de octubre). Simposio de metrología. Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos. Querétaro. <https://www.cenam.mx/sm2010/info/pviernes/sm2010-vp01b.pdf>
- McCabe, W. L., Smith, J. C. & Harriot P. (2007). *Operaciones unitarias de Ingeniería química*. Editorial McGraw-Hill/interamericana editores S.A. Séptima Edición.
- Michalewicz, J. S., Henriquez, J. R. & Charamba, J. C. (abril 2011). Secado de Cajuil (*Anacardium occidentale* L.): Estudio Experimental y Modelado de la Cinética de Secado. *Información Tecnológica*, 22(6): 63 - 74. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642011000600007>
- Ministerio de Agricultura y Riego (2014). La mandarina peruana. Boletín. <https://bibliotecavirtual.midagri.gob.pe/index.php/analisis-economicos/estudios/2014/20-la-mandarina-peruana/file>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Capacidad de secado y enfriamiento, velocidad de secado. <https://www.fao.org/3/X5028S/X5028S05.htm#4.%20Velocidad%20de%20secado>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Procesos.

<https://www.fao.org/3/x5062s/x5062S08.htm#Descripci%C3%B3n%20general%20de%20los%20procesos>

Paulino García, G. G, Abrahan Juárez, M., Sosa Morales, M. E., Martínez Jaime, O. A. & Olalde Portugal, V. (2016). Deshidratación de hojuelas de fresa asistida por infrarrojo. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 1(2), 290-294.
<http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/3/51.pdf>

Potencia eléctrica (2023, 21, octubre). En Wikipedia.
https://es.wikipedia.org/wiki/Potencia_el%C3%A9ctrica

Prieto Trejo, P. A. & Villaseñor Mendoza, S. (2009). Fibra. *Dieta y Salud*. Recuperado 10 de mayo del 2019 desde:
<https://dokumen.tips/documents/fibra-instituto-de-nutricin-y-salud-kelloggs-ao-2009-fibra-rgano-informativo.html?page=1>

Puente-Díaz, L., Echegaray-Pacheco, E., Castro- Montero, E., & Di Scala, K. (2013). Aplicación de modelos matemáticos al proceso de secado asistido por infrarrojos de descartes de limón (*Citrus limon* (L.) Burm. F. Cv. Genova). *DYNA*, 80(181), 91-97.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49628728010>

Real Academia Española. (2018). Bagazo. Recuperado 10 de mayo del 2019 desde: <https://dle.rae.es/?id=4mJusJO>

Ríos Cuenca, C. A. (2014). *Estudio de factibilidad económica para el procesamiento, comercialización de snacks de frutas deshidratadas en el*

- cantón Machala*. [Tesis para título, Universidad Técnica de Machala].
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/1041>
- Sáez, R. (2017). *Caracterización de polvos de piel de mandarina para su uso como ingrediente funcional en alimentos*. [Tesis Magistral, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/93422>
- Significados. (2019). Significado de snack. Recuperado 10 de mayo del 2019 desde:
<https://www.significados.com/snack/>
- Techpress. (2012). Snack. Recuperado 10 de setiembre del 2018 desde:
<https://techpress.es/vegetales-deshidratados-snacks-saludables/>
- Torregroza-Espinosa, A. M., Montes-Montes, E. J., Ávila-Gómez, A. E. & Remolina-López, J. F. (2014). Kinetic modelling of drying of three varieties of yucca industrial. *DYNA*, 81(186), 184-192.
<https://doi.org/10.15446/dyna.v81n186.39923>
- Unigarro Bolaños, D. A. (2017). *Secado de café arábigo (coffea arábica l.) de la variedad caturra mediante lecho fluidizado*. [Tesis para título. Universidad Técnica del Norte]. <https://1library.co/document/qo1mk95z-universidad-t%C3%A9cnica-del-norte.html>
- Vega-Gálvez, A, Lemus-Mondaca, R, Tello-Ireland, C, Miranda, M, & Yagnam, F. (2009). Kinetic Study of Convective Drying of Blueberry Variety O'neil (*Vaccinium corymbosum* L.). *Chilean journal of agricultural research*, 69(2), 171-178. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392009000200006>

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia

| Problema General | Objetivo General | Hipótesis General | Variables | Metodología |
|---|--|---|--|---|
| ¿Cómo sería la cinética de secado a nivel piloto, con aire convectivo ascendente e infrarrojo y su efecto en la humedad final y tiempo del secado del snack obtenido a partir de la membrana capilar de la mandarina (Citrus reticulata)? | Determinar la cinética de secado a nivel piloto, con aire convectivo ascendente e infrarrojo y su efecto en la humedad final y tiempo del secado del snack obtenido a partir de la membrana capilar de la mandarina (Citrus reticulata). | Con una temperatura del aire de secado a 55°C y empleando el modelo matemático de Page se describirá con mayor precisión la cinética de secado a nivel piloto, con aire convectivo ascendente e infrarrojo y permitirá determinar su efecto en la humedad final y tiempo del secado del snack obtenido a partir de la membrana capilar de la mandarina (Citrus reticulata). | <p>Variables Independientes</p> <p>X₁: temperatura del aire de secado.</p> | <p>Tipo de investigación</p> <p>Aplicada, explicativa, cuantitativa, primaria y experimental.</p> <p>Diseño</p> <p>Diseño específico: diseño factorial 3x2.</p> <p>Población</p> <p>Mandarina del grupo clementinas, de una misma procedencia.</p> <p>Muestra</p> <p>Se tomará de forma aleatoria con una densidad fija (masa y área fija).</p> |
| Problemas Específicos | Objetivos Específicos | Hipótesis Específicas | <p>Variables Dependientes</p> <p>Y₁: tiempo de secado.</p> <p>Y₂: humedad final</p> | |
| ¿Cómo influye la temperatura del aire de secado y la potencia del dispositivo de infrarrojo, en la humedad final del snack obtenido a partir de la membrana capilar de la mandarina (Citrus reticulata)? | Evaluar la influencia de la temperatura del aire de secado y la potencia del dispositivo infrarrojo, en la humedad final del snack obtenido a partir de la membrana capilar de la mandarina (Citrus reticulata). | Con una temperatura del aire de secado a 55°C y la potencia del dispositivo de infrarrojo se alcanzará una humedad final menor al 15%, en el snack obtenido a partir de la membrana capilar de la mandarina (Citrus reticulata). | <p>Indicadores</p> <p>X₁: temperatura (°C).</p> <p>Y₁: Horas (h).</p> <p>Y₂: Porcentaje (%p/p)</p> | |
| ¿Cómo influye la temperatura del aire de secado y la potencia del dispositivo de infrarrojo, en el tiempo de secado del snack obtenido a partir de la membrana capilar de la mandarina (Citrus reticulata)? | Evaluar la influencia de la temperatura del aire de secado y la potencia del dispositivo infrarrojo, en el tiempo de secado del snack obtenido a partir de la membrana capilar de la mandarina (Citrus reticulata). | Con una temperatura del aire de secado a 55°C y la potencia del dispositivo de infrarrojo se obtendrá el menor tiempo de secado, en el snack obtenido a partir de la membrana capilar de la mandarina (Citrus reticulata). | | |
| ¿Cuál es el modelo matemático que mejor describe la cinética de secado de la membrana capilar de la mandarina (Citrus reticulata) durante el proceso? | Identificar el modelo matemático que mejor describa la cinética de secado de la membrana capilar de la mandarina (Citrus reticulata) durante el proceso. | El modelo matemático, obtenido según la ecuación de Page se ajusta más a la cinética de secado de la membrana capilar de la mandarina (Citrus reticulata). | | |

ANEXO 2: Determinación de la humedad inicial.



INFORME DE ENSAYO N° 1-10945/18

Pág. 1/1

Solicitante : JULCA YACILA, ANTONELLA MICHELLE ASTRID
Domicilio legal : Mz K2 K1 18 Angamos - Ventanilla - Callao - Callao
Producto declarado : MEMBRANA CAPILAR DE MANDARINA
Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 130 g
Muestra proporcionada por el solicitante
Forma de Presentación : En taper plástico cerrado
Fecha de recepción : 2018 - 11 - 08
Fecha de inicio del ensayo : 2018 - 11 - 12
Fecha de término del ensayo : 2018 - 11 - 12
Ensayo realizado en : Laboratorio Físico Química - Alimentos
Identificado con : H/S 18012378 (EXAI-17534-2018)
Validez del documento : Este documento es válido solo para las muestras descritas

| Ensayo | Unidad | Resultado |
|---------|---------|-----------|
| Humedad | g/100 g | 83.22 |

MÉTODOS

Humedad: AOAC 920.151, c37, 20th, Ed.2016. Solids(Total)in Fruits and Fruit Products

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 14 de noviembre de 2018
AA

CERTIFICACIONES DEL PERÚ S.A.

ING. ROSA PALOMINO LOO
C.I.P. N° 40302
JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CHIMBOTE
Urb. José Carlos Mariátegui s/n
Centro Cívico, Nuevo Chimbote
T. (043) 311 048

PIUR
Urb. Angamos
T. (073) 322 908

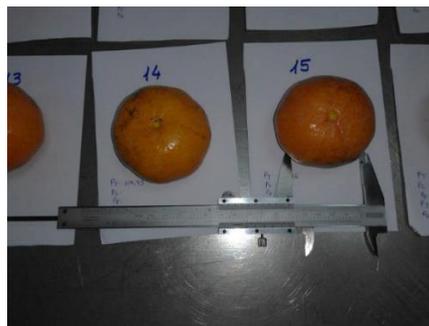
ANEXO 3: Caracterización de la mandarina

- Se dio recepción en una jaba de madera, posteriormente fueron trasladadas al Laboratorio de Ingeniería de Procesos y Operaciones Unitarias-LIPOU, se descartaron frutos golpeados y/o con alguna señal de deterioro microbiológico. Las mandarinas se lavaron por inmersión con una solución de 100 ppm de cloro libre residual durante 5 minutos a temperatura ambiente, echa a partir de lejía de 5 % de concentración de cloro.
- Se tomaron 60 muestras de mandarinas (*Citrus reticulata*). Se tuvieron en cuenta datos como: diámetro, altura, peso unitario total, peso de la cáscara, peso de la pulpa, peso del jugo, peso de la membrana capilar; y se anotaron los datos en una hoja de cálculo.

60 muestras obtenidas del mercado Asociación de Comerciantes Minoristas de Angamos-ACMA.



Medición de altura y diámetro de las 60 muestras.



Pesado unitario de cada muestra



Pelado y pesado de la cáscara de cada muestra.



Extracción y pesado de jugo de cada muestra.



Obtención y peso de la membrana capilar de cada muestra.



Culminada la caracterización de la mandarina, se procedió a guardar la membrana capilar en congelación, para el posterior secado y determinación de humedad.

- De los datos obtenidos como se muestra en la siguiente tabla:

| n° | PT (g) | PC (g) | PP (g) | PJ (g) | PG (g) | PESO TOTAL | | PESO PULPA | | altura (mm) | diámetro (mm) |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|------------|--------|-------------|---------------|
| | | | | | | PC% | PP% | PJ% | PG% | | |
| 1 | 141.05 | 29.09 | 111.96 | 73.41 | 38.55 | 20.62% | 79.38% | 65.57% | 34.43% | 59 | 71 |
| 2 | 129.40 | 25.69 | 103.71 | 67.86 | 35.85 | 19.85% | 80.15% | 65.43% | 34.57% | 49 | 69 |
| 3 | 143.00 | 30.89 | 112.11 | 82.94 | 29.17 | 21.60% | 78.40% | 73.98% | 26.02% | 55 | 68 |
| 4 | 114.91 | 15.13 | 99.78 | 76.72 | 23.06 | 13.17% | 86.83% | 76.89% | 23.11% | 50 | 66 |
| 5 | 109.74 | 22.09 | 87.65 | 58.62 | 29.03 | 20.13% | 79.87% | 66.88% | 33.12% | 46 | 63 |
| 6 | 110.77 | 23.40 | 87.37 | 55.27 | 32.10 | 21.12% | 78.88% | 63.26% | 36.74% | 51 | 62 |
| 7 | 141.14 | 30.54 | 110.60 | 74.00 | 36.60 | 21.64% | 78.36% | 66.91% | 33.09% | 52 | 71 |
| 8 | 115.11 | 18.09 | 97.02 | 61.14 | 35.88 | 15.72% | 84.28% | 63.02% | 36.98% | 50 | 63 |
| 9 | 139.88 | 23.14 | 116.74 | 88.84 | 27.90 | 16.54% | 83.46% | 76.10% | 23.90% | 50 | 70 |
| 10 | 150.72 | 31.23 | 119.49 | 84.02 | 35.47 | 20.72% | 79.28% | 70.32% | 29.68% | 56 | 69 |
| 11 | 125.93 | 26.23 | 99.70 | 61.07 | 38.63 | 20.83% | 79.17% | 61.25% | 38.75% | 52 | 68 |
| 12 | 131.38 | 21.07 | 110.31 | 78.34 | 31.97 | 16.04% | 83.96% | 71.02% | 28.98% | 51 | 67 |
| 13 | 126.08 | 17.27 | 108.81 | 84.39 | 24.42 | 13.70% | 86.30% | 77.56% | 22.44% | 48 | 66 |
| 14 | 119.45 | 19.81 | 99.64 | 69.14 | 30.50 | 16.58% | 83.42% | 69.39% | 30.61% | 46 | 68 |
| 15 | 126.66 | 24.00 | 102.66 | 73.02 | 29.64 | 18.95% | 81.05% | 71.13% | 28.87% | 52 | 63 |
| 16 | 123.92 | 30.15 | 93.77 | 58.43 | 35.34 | 24.33% | 75.67% | 62.31% | 37.69% | 53 | 68 |
| 17 | 133.31 | 25.25 | 108.06 | 76.01 | 32.05 | 18.94% | 81.06% | 70.34% | 29.66% | 53 | 66 |
| 18 | 118.90 | 25.45 | 93.45 | 62.28 | 31.17 | 21.40% | 78.60% | 66.65% | 33.35% | 51 | 64 |
| 19 | 144.64 | 24.83 | 119.81 | 96.96 | 22.85 | 17.17% | 82.83% | 80.93% | 19.07% | 57 | 68 |
| 20 | 129.47 | 26.21 | 103.26 | 76.93 | 26.33 | 20.24% | 79.76% | 74.50% | 25.50% | 52 | 67 |
| | | | | | | | | | | | |

| n° | PT (g) | PC (g) | PP (g) | PJ (g) | PG (g) | PC% | PP% | PJ% | PG% | altura (mm) | diámetro (mm) |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|---------------|
| 21 | 162.37 | 30.48 | 131.89 | 64.26 | 67.63 | 18.77% | 81.23% | 48.72% | 51.28% | 50 | 56 |
| 22 | 134.00 | 27.14 | 106.86 | 61.30 | 45.56 | 20.25% | 79.75% | 57.36% | 42.64% | 56 | 70 |
| 23 | 135.78 | 32.23 | 103.55 | 65.54 | 38.01 | 23.74% | 76.26% | 63.29% | 36.71% | 55 | 62 |
| 24 | 170.95 | 38.96 | 131.99 | 66.60 | 65.39 | 22.79% | 77.21% | 50.46% | 49.54% | 58 | 69 |
| 25 | 136.07 | 31.83 | 104.24 | 66.69 | 37.55 | 23.39% | 76.61% | 63.98% | 36.02% | 49 | 68 |
| 26 | 144.40 | 28.10 | 116.30 | 66.62 | 49.68 | 19.46% | 80.54% | 57.28% | 42.72% | 52 | 60 |
| 27 | 154.52 | 34.96 | 119.56 | 65.06 | 54.50 | 22.62% | 77.38% | 54.42% | 45.58% | 49 | 63 |
| 28 | 130.22 | 32.01 | 98.21 | 66.15 | 32.06 | 24.58% | 75.42% | 67.36% | 32.64% | 47 | 63 |
| 29 | 134.44 | 28.70 | 105.74 | 60.72 | 45.02 | 21.35% | 78.65% | 57.42% | 42.58% | 52 | 70 |
| 30 | 133.34 | 29.99 | 103.35 | 66.83 | 36.52 | 22.49% | 77.51% | 64.66% | 35.34% | 51 | 69 |
| 31 | 150.33 | 31.59 | 118.74 | 60.07 | 58.67 | 21.01% | 78.99% | 50.59% | 49.41% | 54 | 69 |
| 32 | 137.40 | 34.12 | 103.28 | 66.86 | 36.42 | 24.83% | 75.17% | 64.74% | 35.26% | 48 | 63 |
| 33 | 145.28 | 27.65 | 117.63 | 64.91 | 52.72 | 19.03% | 80.97% | 55.18% | 44.82% | 53 | 68 |
| 34 | 150.67 | 30.38 | 120.29 | 64.40 | 55.89 | 20.16% | 79.84% | 53.54% | 46.46% | 50 | 66 |
| 35 | 146.14 | 31.78 | 114.36 | 66.29 | 48.07 | 21.75% | 78.25% | 57.97% | 42.03% | 51 | 70 |
| 36 | 128.79 | 26.35 | 102.44 | 64.13 | 38.31 | 20.46% | 79.54% | 62.60% | 37.40% | 49 | 69 |
| 37 | 145.95 | 35.97 | 109.98 | 65.40 | 44.58 | 24.65% | 75.35% | 59.47% | 40.53% | 48 | 65 |
| 38 | 161.48 | 32.53 | 128.95 | 69.92 | 59.03 | 20.14% | 79.86% | 54.22% | 45.78% | 55 | 65 |
| 39 | 139.53 | 32.07 | 107.46 | 63.72 | 43.74 | 22.98% | 77.02% | 59.30% | 40.70% | 50 | 67 |
| 40 | 170.87 | 38.64 | 132.23 | 63.74 | 68.49 | 22.61% | 77.39% | 48.20% | 51.80% | 56 | 68 |
| 41 | 140.05 | 27.69 | 112.36 | 59.00 | 53.36 | 19.77% | 80.23% | 52.51% | 47.49% | 52 | 63 |
| 42 | 165.80 | 30.40 | 135.40 | 70.01 | 65.39 | 18.34% | 81.66% | 51.71% | 48.29% | 54 | 66 |
| 43 | 154.50 | 34.96 | 119.54 | 65.02 | 54.52 | 22.63% | 77.37% | 54.39% | 45.61% | 49 | 64 |
| | | | | | | | | | | | |

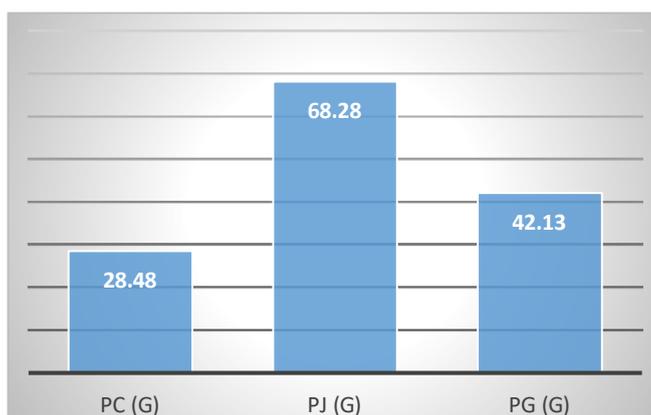
| n° | PT (g) | PC (g) | PP (g) | PJ (g) | PG (g) | PC% | PP% | PJ% | PG% | altura (mm) | diámetro (mm) |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|-------------|---------------|
| 44 | 115.11 | 18.09 | 97.02 | 61.14 | 35.88 | 15.72% | 84.28% | 63.02% | 36.98% | 47 | 65 |
| 45 | 133.25 | 25.25 | 108.00 | 75.60 | 32.40 | 18.95% | 81.05% | 70.00% | 30.00% | 49 | 65 |
| 46 | 126.66 | 24.00 | 102.66 | 73.02 | 29.64 | 18.95% | 81.05% | 71.13% | 28.87% | 48 | 66 |
| 47 | 134.90 | 27.14 | 107.76 | 64.20 | 43.56 | 20.12% | 79.88% | 59.58% | 40.42% | 50 | 64 |
| 48 | 129.47 | 26.21 | 103.26 | 76.93 | 26.33 | 20.24% | 79.76% | 74.50% | 25.50% | 49 | 63 |
| 49 | 146.10 | 31.78 | 114.32 | 66.20 | 48.12 | 21.75% | 78.25% | 57.91% | 42.09% | 52 | 65 |
| 50 | 119.50 | 25.45 | 94.05 | 63.28 | 30.77 | 21.30% | 78.70% | 67.28% | 32.72% | 51 | 63 |
| 51 | 141.00 | 29.09 | 111.91 | 74.00 | 37.91 | 20.63% | 79.37% | 66.12% | 33.88% | 54 | 66 |
| 52 | 129.30 | 25.69 | 103.61 | 66.50 | 37.11 | 19.87% | 80.13% | 64.18% | 35.82% | 53 | 64 |
| 53 | 136.44 | 28.70 | 107.74 | 60.70 | 47.04 | 21.03% | 78.97% | 56.34% | 43.66% | 53 | 62 |
| 54 | 162.45 | 30.48 | 131.97 | 64.28 | 67.69 | 18.76% | 81.24% | 48.71% | 51.29% | 55 | 69 |
| 55 | 150.67 | 30.38 | 120.29 | 64.40 | 55.89 | 20.16% | 79.84% | 53.54% | 46.46% | 50 | 68 |
| 56 | 130.20 | 32.01 | 98.19 | 66.35 | 31.84 | 24.59% | 75.41% | 67.57% | 32.43% | 54 | 64 |
| 57 | 135.40 | 34.29 | 101.11 | 66.86 | 34.25 | 25.32% | 74.68% | 66.13% | 33.87% | 54 | 64 |
| 58 | 161.47 | 32.53 | 128.94 | 69.50 | 59.44 | 20.15% | 79.85% | 53.90% | 46.10% | 52 | 69 |
| 59 | 170.80 | 38.96 | 131.84 | 67.10 | 64.74 | 22.81% | 77.19% | 50.90% | 49.10% | 58 | 71 |
| 60 | 162.37 | 30.48 | 131.89 | 64.26 | 67.63 | 18.77% | 81.23% | 48.72% | 51.28% | 56 | 68 |
| total | 8333.43 | 1708.62 | 6624.81 | 4096.95 | 2527.86 | 20.50% | 79.50% | 61.84% | 38.16% | 3106 | 3966 |

- Se determinaron los siguientes estadísticos:

| ESTADISTICO | PT (g) | PC (g) | PP (g) | PJ (g) | PG (g) | altura (mm) | diámetro (mm) |
|----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------|----------------------|
| <i>N° de datos</i> | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| <i>Media</i> | 138.89 | 28.48 | 110.41 | 68.28 | 42.13 | 51.77 | 66.10 |
| <i>Mediana</i> | 136.26 | 29.09 | 108.03 | 66.32 | 37.73 | 52.00 | 66.00 |
| <i>Varianza</i> | 237.54 | 26.79 | 143.63 | 62.31 | 170.96 | 9.40 | 9.28 |
| <i>Desviación estándar</i> | 15.41 | 5.18 | 11.98 | 7.89 | 13.08 | 3.07 | 3.05 |
| <i>Valor mínimo</i> | 109.74 | 15.13 | 87.37 | 55.27 | 22.85 | 46.00 | 56.00 |
| <i>Valor máximo</i> | 170.95 | 38.96 | 135.40 | 96.96 | 68.49 | 59.00 | 71.00 |
| <i>Rango</i> | 61.21 | 23.83 | 48.03 | 41.69 | 45.64 | 13.00 | 15.00 |

| LEYENDA | |
|----------------|----------------------------------|
| PT (g) | Peso total |
| PC (g) | Peso de la cáscara |
| PP (g) | Peso de la pulpa |
| PJ (g) | Peso del jugo |
| PG (g) | Peso del bagazo-membrana capilar |

- Según la siguiente grafica de la comparación de las medias se puede observar que el mayor porcentaje en la mandarina lo representa el jugo, seguida de la membrana capilar o bagazo y por último la cascara.



ANEXO 4: Desarrollo de la parte experimental

Materia prima

Para el desarrollo de este estudio se utilizó Mandarina (*Citrus reticulata*), variedad Clementinas, adquirida en el mercado “Asociación de Comerciantes Minoristas de Angamos-ACMA” del distrito de Ventanilla.

Materiales y equipos

- Vasos de precipitados
- Envases de plástico
- Bandejas de plástico
- Regla
- Malla -TUL
- Rejilla circular
- Pie de Rey
- Anemómetro de tubo de Pitot + manómetro diferencial (marca EXTECH)
- Termómetro
- Mesas de acero inoxidable
- Balanza (marca ADAM)
- Extractor de jugos, Potente motor de 600 watts (marca IMACO)
- Secador de cabina con flujo de aire ascendente adaptado con foco infrarrojo (Elaborado por el Laboratorio de Ingeniería de Procesos y Operaciones Unitarias-LIPOU)
- Cronómetros
- Computadora

Métodos

Pruebas Físicas:

Caracterización de la materia prima (**véase Anexo 3**):

- Diámetro, altura
- Peso por unidad:
 - De cada mandarina
 - De la cáscara
 - De la pulpa
 - Del jugo
 - De la membrana capilar.

Pruebas Fisicoquímicas

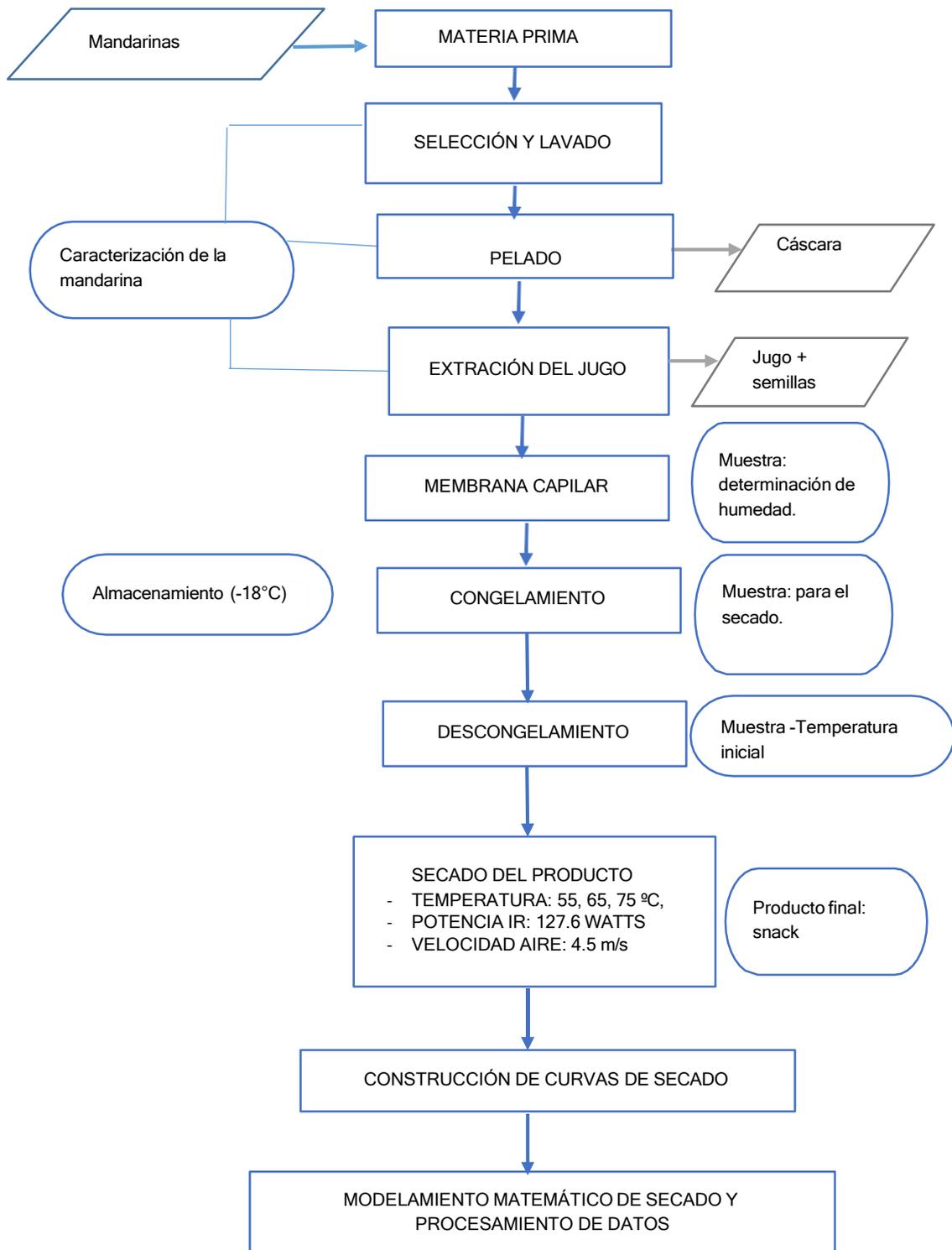
Esta fue realizada por el Laboratorio Certificaciones del Perú S.A-CERPER, la prueba fue:

- Determinación de humedad, método AOAC 920.151, c37, 20th.Ed. 2016.
Solids (Total) in Fruits and Fruit Products (**véase Anexo 2**).

Metodología experimental

- El secado de la membrana capilar de la mandarina (*Citrus reticulata*) se llevó a cabo hasta obtener una humedad del 11-15% en base húmeda aproximadamente, se utilizó un secador de cabina con flujo de aire ascendente adaptado con foco infrarrojo a escala de laboratorio, y según el diseño experimental se trabajó con 6 tratamientos, se resumen los pasos que se siguieron para lograr este objetivo en el siguiente diagrama:

Diagrama de flujo para el secado de la membrana capilar de la mandarina.



Procedimiento

Pelado: Las mandarinas se pelaron manualmente.

Pelado de la mandarina



Extracción de jugo: Se extrajo el jugo del fruto con un extractor de jugos (pilot), obteniendo la membrana capilar de la mandarina. Culinada la caracterización de la mandarina se procedió a guardar las muestras de membrana capilar en bolsas de polietileno en congelación (-18°C) para su posterior uso, una muestra fue llevada al Laboratorio Certificaciones del Perú

S.A - CERPER en donde se le determino la humedad inicial (**véase Anexo 2**), con la cual se trabajó para todas las corridas experimentales.

Membrana capilar de mandarina



Secado: El proceso de secado de la membrana capilar de la mandarina se realizó en un secador de cabina con flujo ascendente adaptado con infrarrojo. Horas antes al inicio del secado, la muestra de membrana capilar fue descongelada, se midió la temperatura inicial y se procedió a acondicionar la muestra en una malla, posteriormente fue colocada en una rejilla circular (malla y rejilla previamente pesadas), con una densidad de carga aproximada de 4Kg/m^2 , la velocidad de aire se mantuvo constante de 4.5 m/s , durante las experiencias se trabajó la combinación de tres temperaturas ($55, 65, 75^\circ\text{C}$), sin asistencia de infrarrojo y con asistencia de infrarrojo a una potencia (127.6 W), la muestra acondicionada fue colocada en la cabina ya con los parámetros de potencia y temperatura de aire requeridas, una vez iniciado el tratamiento se registró en una hoja de cálculo la pérdida de peso en diferentes tiempos ($10, 15, 20, 30$ y 60 min), la muestra era retirada del secador y pesada rápidamente utilizando una balanza, luego se volvía a colocar en el secador, esto se realizó hasta que se llegara a la humedad requerida.

Pesado de malla y canastilla



Acondicionamiento de la muestra



Secador de cabina con flujo ascendente adaptado con infrarrojo



Cabina de secado



Construcción de curvas de secado: Terminado los 6 tratamientos aplicados a la membrana capilar de la mandarina, se trabajó con 5 modelos matemáticos propuestos: Newton, Page, Page modificado, Henderson & Pabis y logarítmico; se utilizó el módulo solver de Microsoft Excel para el ajuste de los datos, se procedió a realizar las curvas de secado para cada tratamiento, las que relacionan: masa vs tiempo, humedad vs tiempo, MR vs tiempo. Para verificar la certeza del ajuste de los datos se utilizó el coeficiente de determinación (R^2), Chi-cuadrado reducido (X^2) y la raíz del error cuadrático medio (RSME), **(véase Anexo 6)**.

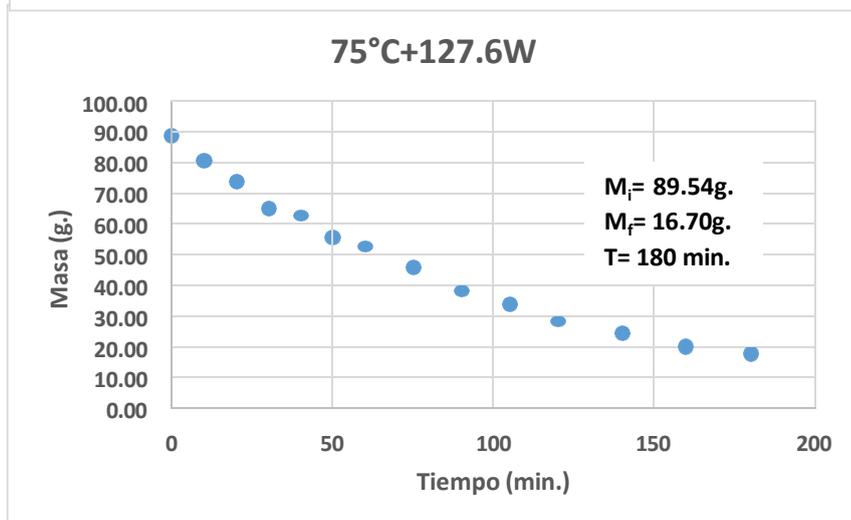
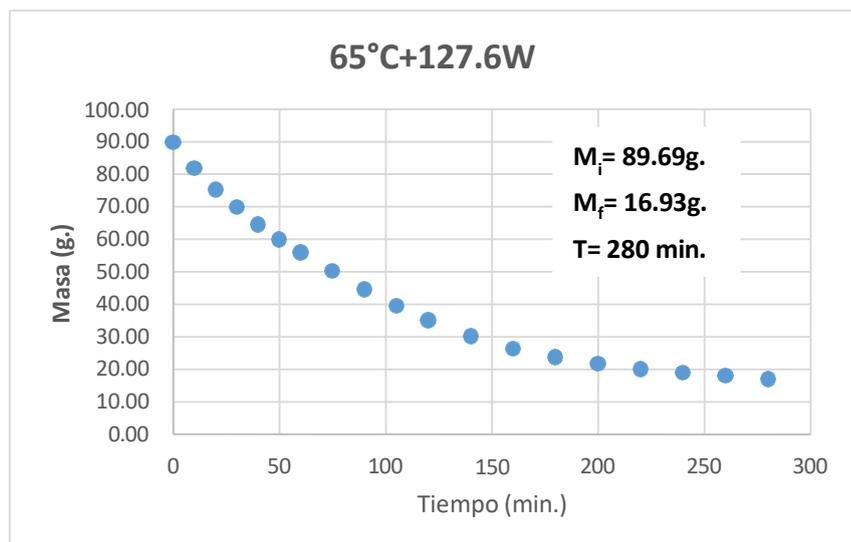
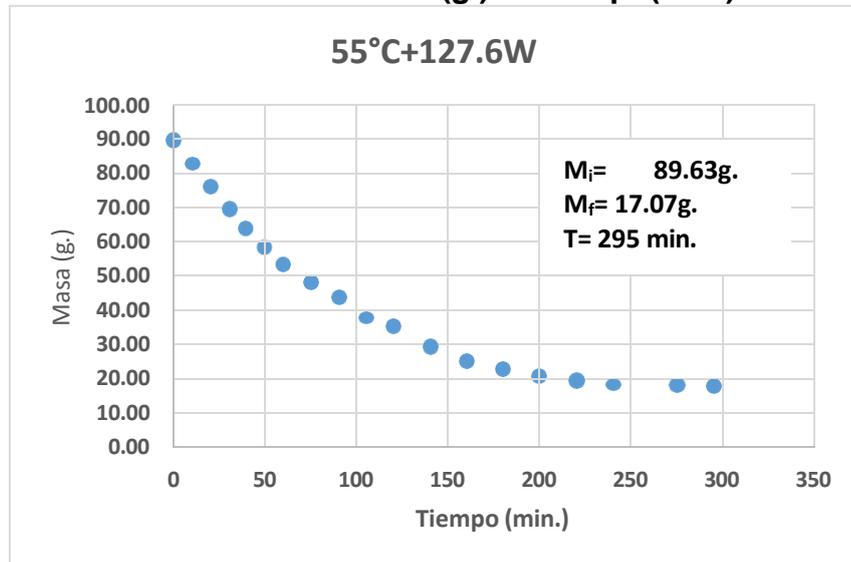
Producto final: Se obtuvo un snack de forma circular a una humedad determinada, con un color y olor característico a mandarina, se comparó entre los 6 tratamientos cuál de ellos presentaba un mejor color, con los puntajes brindados por 50 jueces. **(véase Anexo 7)**.

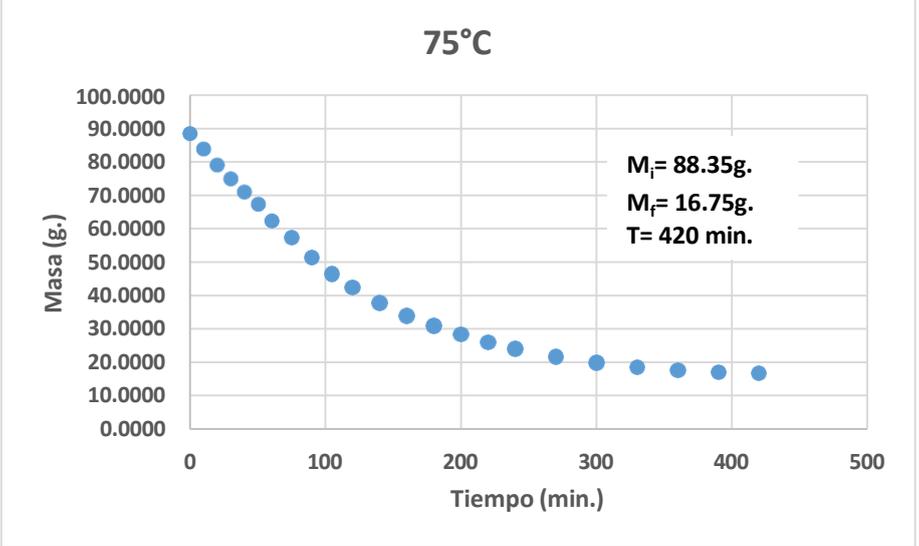
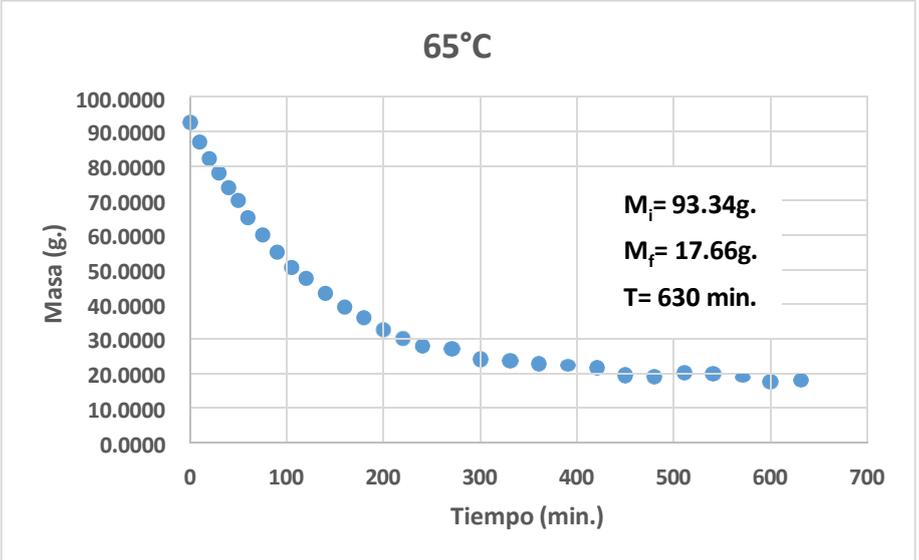
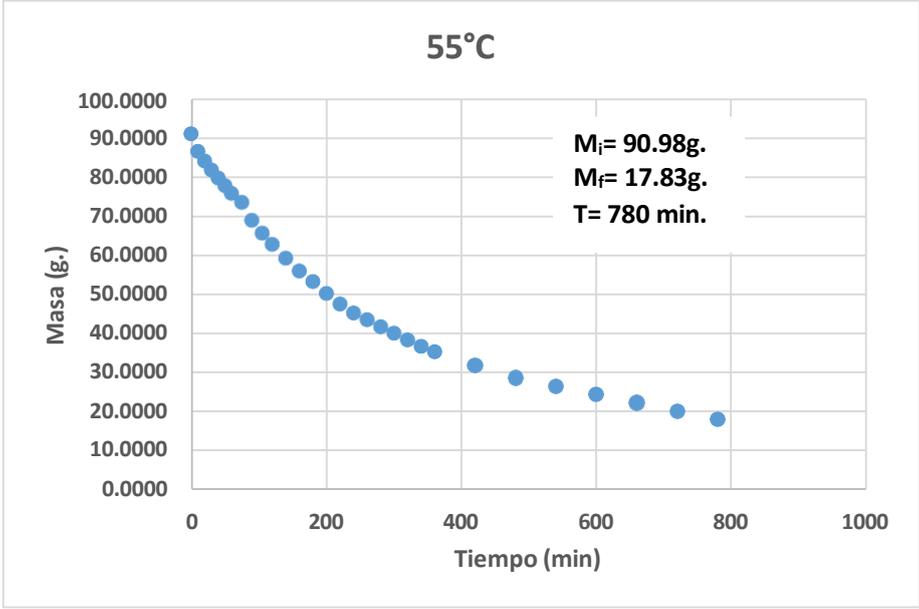
ANEXO 5: Formato N°1

| UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS - FIPA LABORATORIO DE INGENIERIA DE PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIAS DE LA FAC. DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS: LIPOU PROYECTO DE INVESTIGACION: Secado de bagazo de pulpa de mandarina (Citrus reticulata) con aire caliente asistido con infrarojo | | | | | | | | | |
|---|----------------|------------------|------------|-----------------------|---|-----------------------|-------------------|------------------------------|---------------------|
| PRODUCTO: BAGAZO DE CASCARA DE NARANJA | | | | | Hoja Experimental N° | | | | |
| FORMA DEL PRODUCTO: | | | | | DIA Y FECHA: | | | | |
| DIMENSIONES DEL PRODUCTO (mm) | | | | | HORA DE INICIO: | | | | |
| TRATAMIENTO PREVIO | | | | | RESPONSABLES DE TOMA DE DATOS : | | | | |
| DATOS DE LA BANDEJA PORTA-MUESTRAS | | | | | | | | | |
| PESO vacio (g) | | | | | | | | | |
| DIMENSIONES (diametro:cm) | | | | | | | | | |
| DENSIDAD DE CARGA DE LA BANDEJA (kg/m2) | | | | | | | | | |
| N° de muestras | | | | | | | | | |
| CONDICIONES AMBIENTALES | | | | | PARAMETROS DEL PROCESO DE SECADO | | | | |
| TEMPERATURA SECA. | | | | | TEMPERATURA DEL AIRE DE SECADO (°c) | | | | |
| TEMPERATURA HUMEDA | | | | | VELOCIDAD DEL AIRE DE SECADO (m/s) (20 Hz) | | | | |
| HUMEDAD RELATIVA (%) | | | | | POTENCIA DE FOCOS INCANDESCENTES (W): | | | | |
| HUMEDAD ABSOLUTA (kg _{H2O} /kg _a) | | | | | Voltios | | Amperios | | |
| K = n = | | | | | | | | | |
| t (min) | Masa Total (g) | Masa muestra (g) | umedad (%) | X _{exp} (BS) | (Δm/m ₀)% | Rate (kgH2O/kgrr.min) | X(BS) valor medio | X _{mod} (Page) (BS) | (dif ²) |
| 0 | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | |
| 40 | | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | | |
| 60 | | | | | | | | | |
| 75 | | | | | | | | | |
| 90 | | | | | | | | | |
| 105 | | | | | | | | | |
| 120 | | | | | | | | | |
| 140 | | | | | | | | | |
| 160 | | | | | | | | | |
| 180 | | | | | | | | | |
| Promedio = | | | | | | | | | |

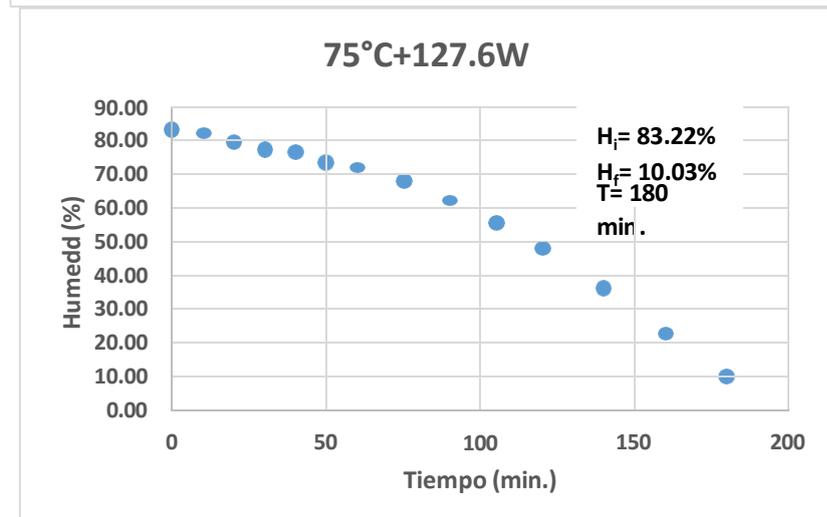
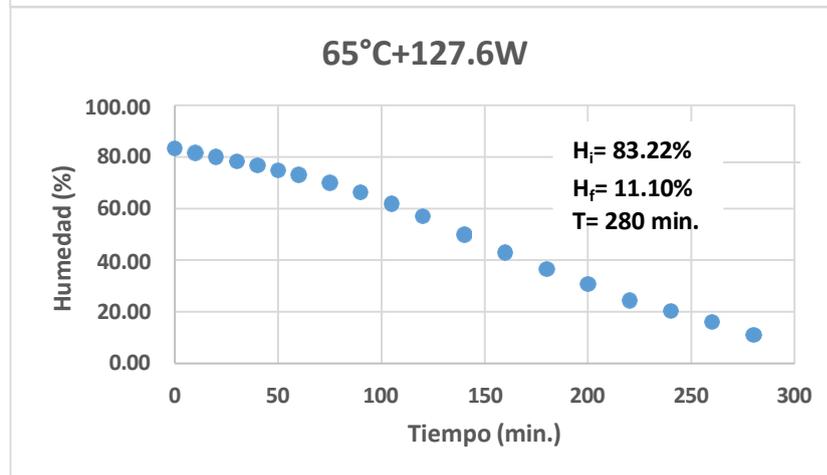
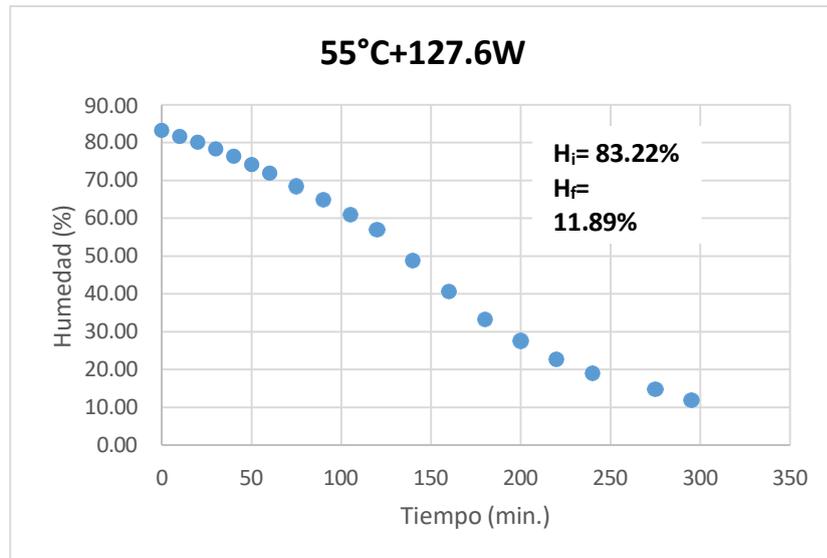
ANEXO 6: Curvas de secado de cada tratamiento

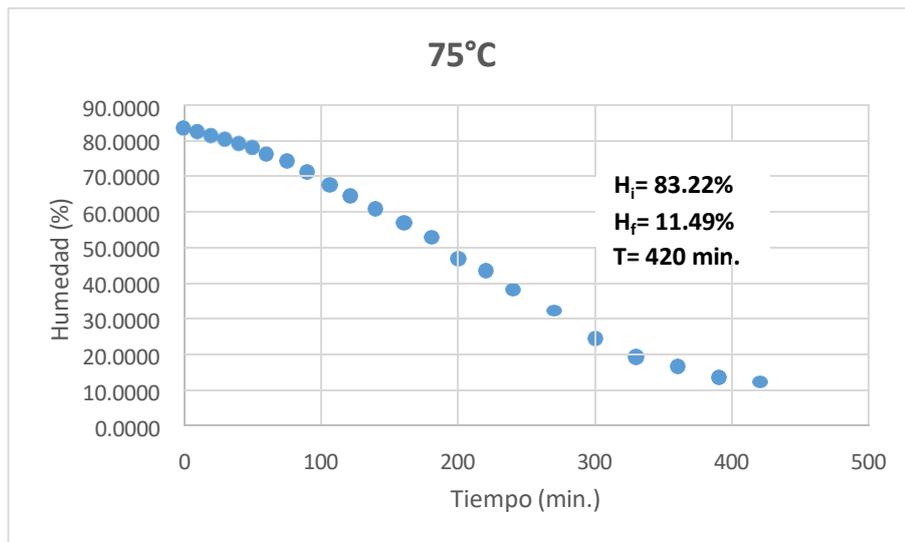
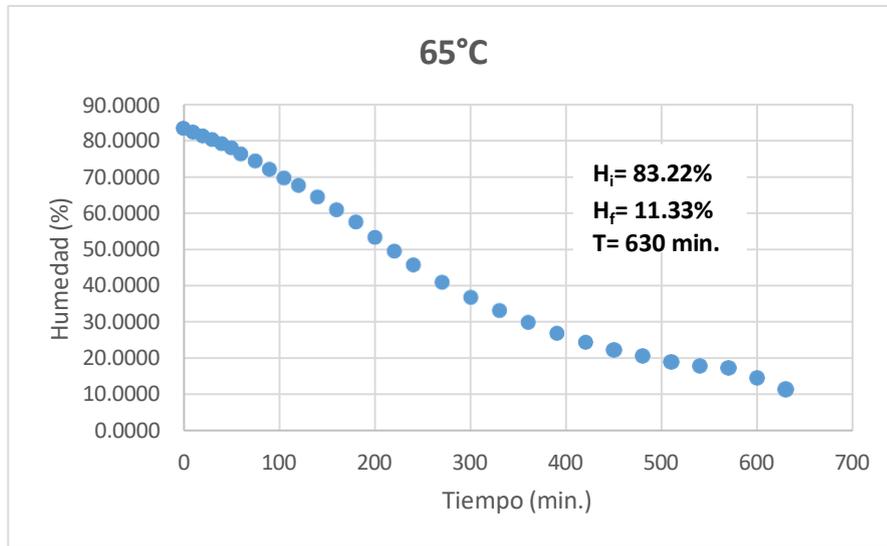
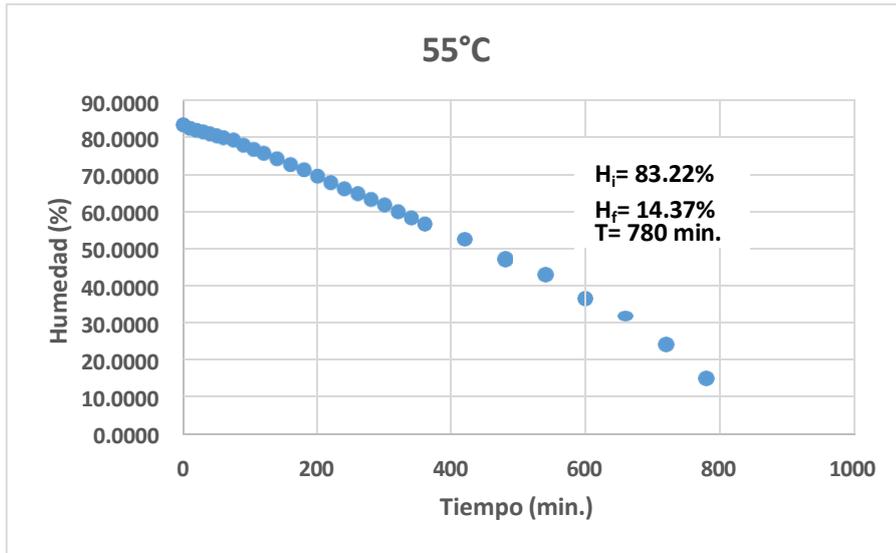
Masa de la muestra (g.) vs tiempo(min.)



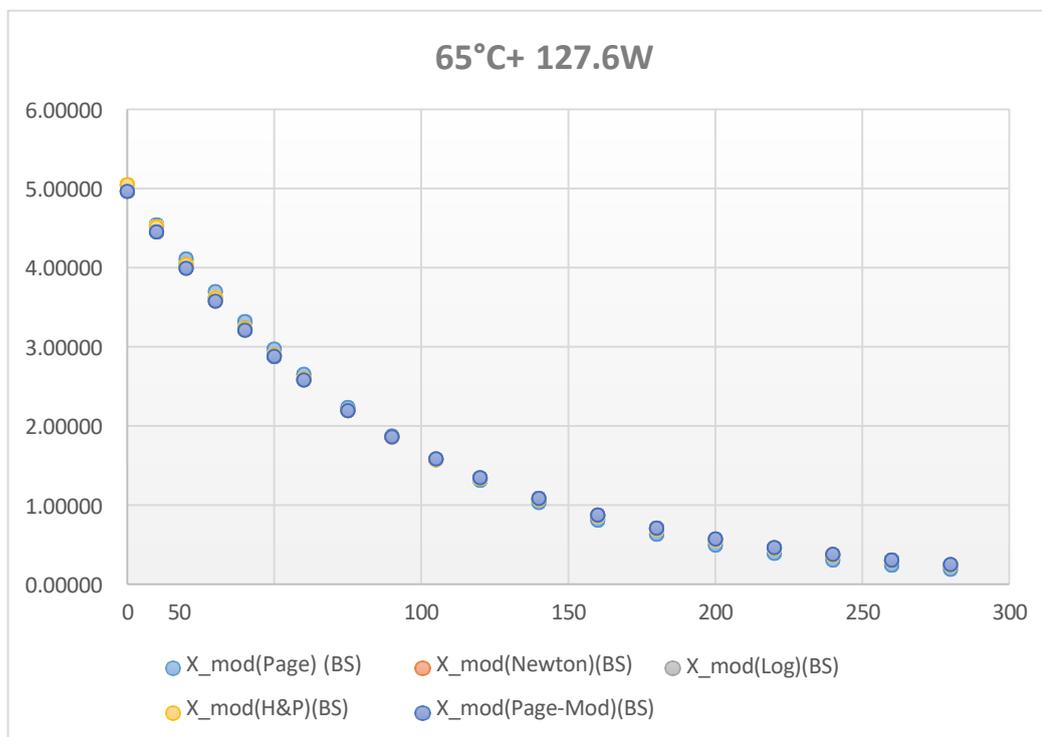
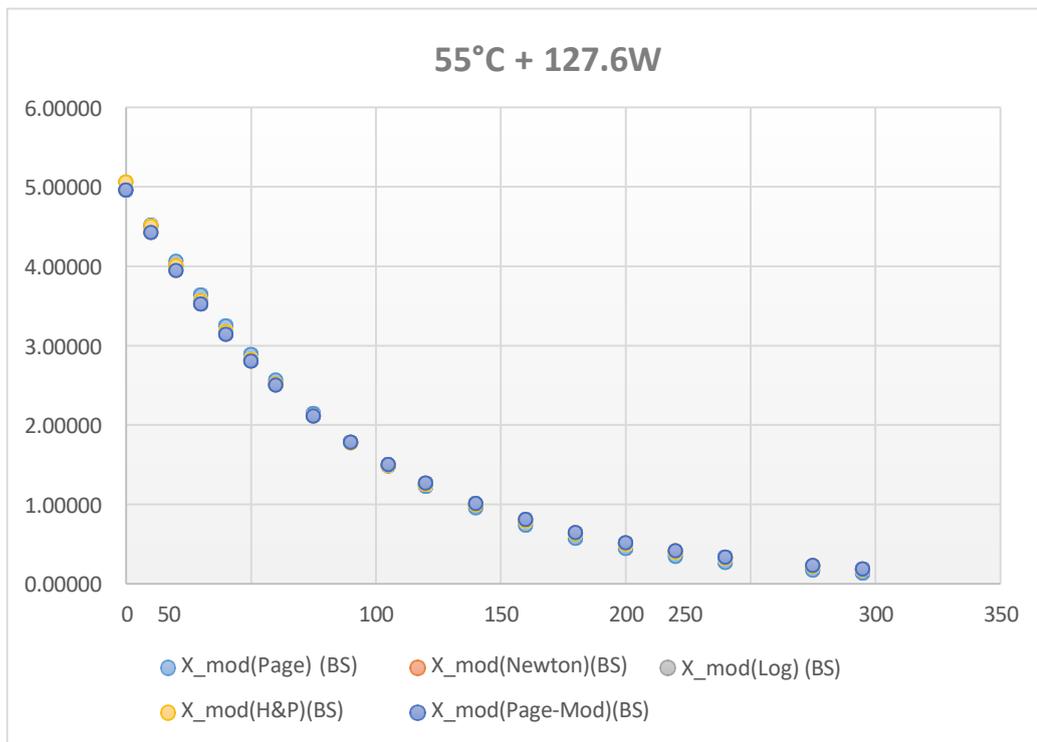


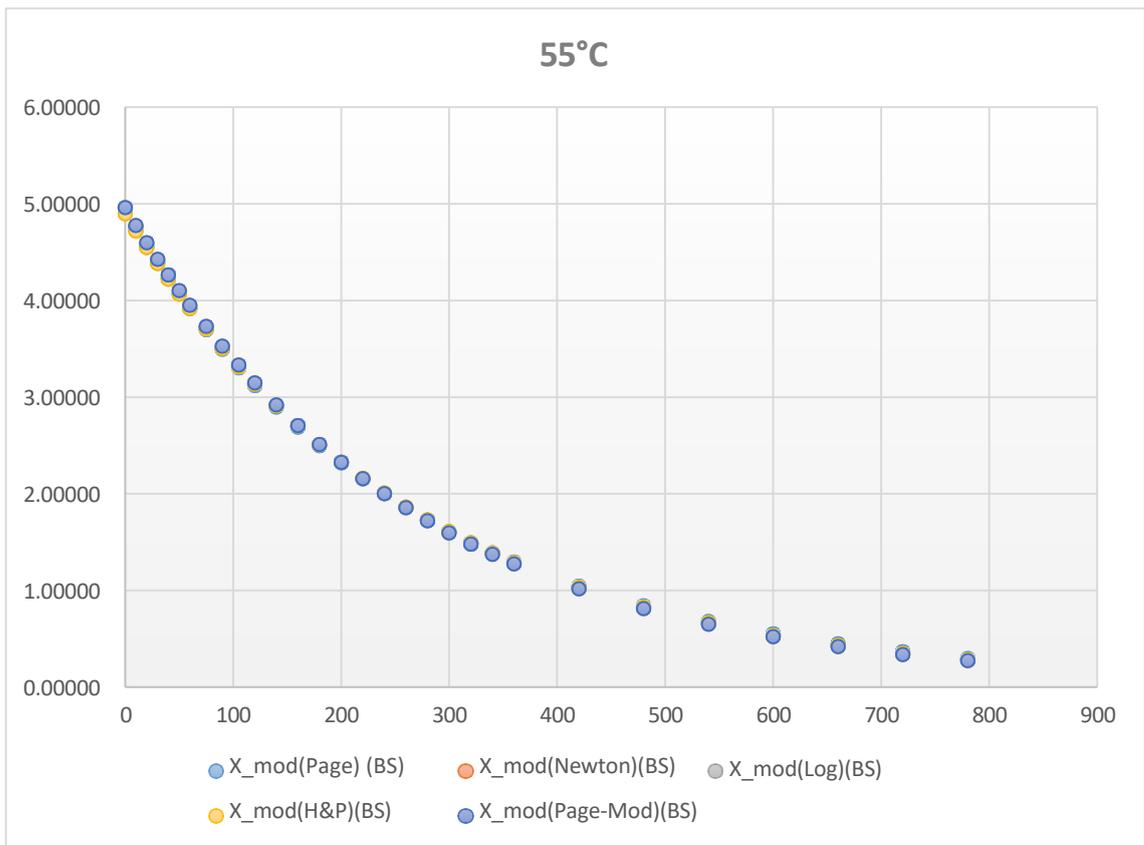
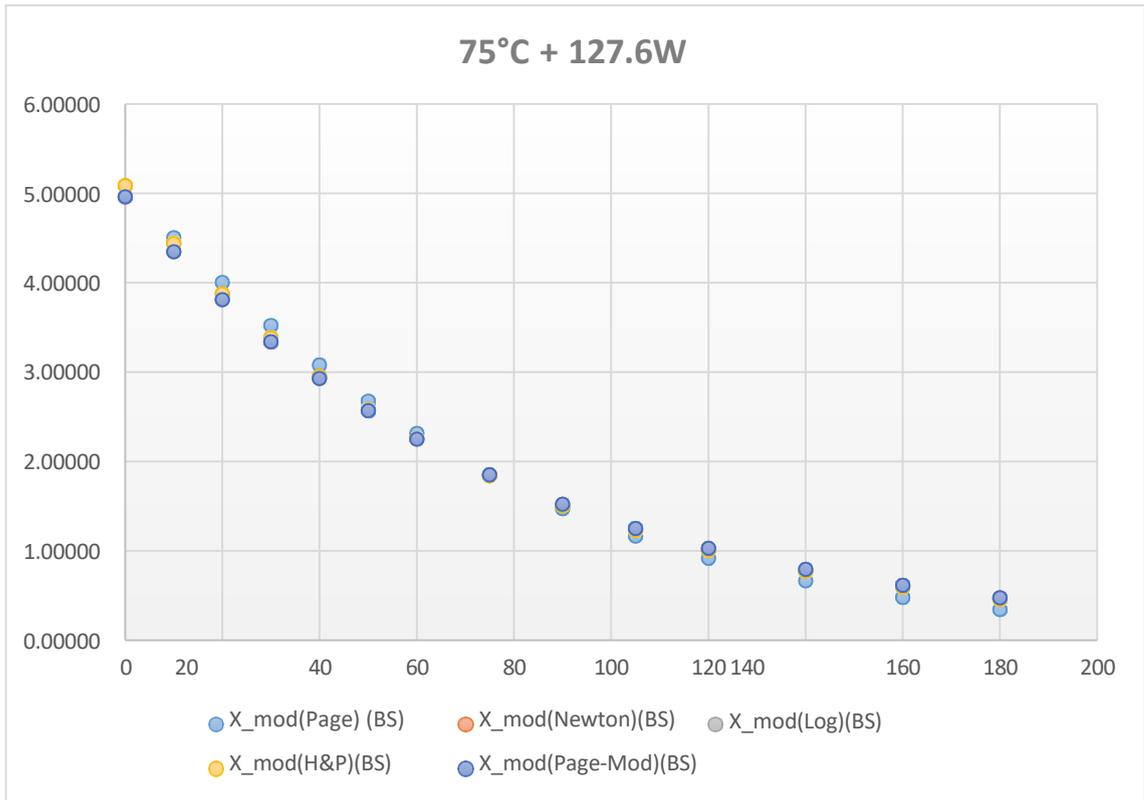
Humedad de la muestra (%) vs tiempo (min.)

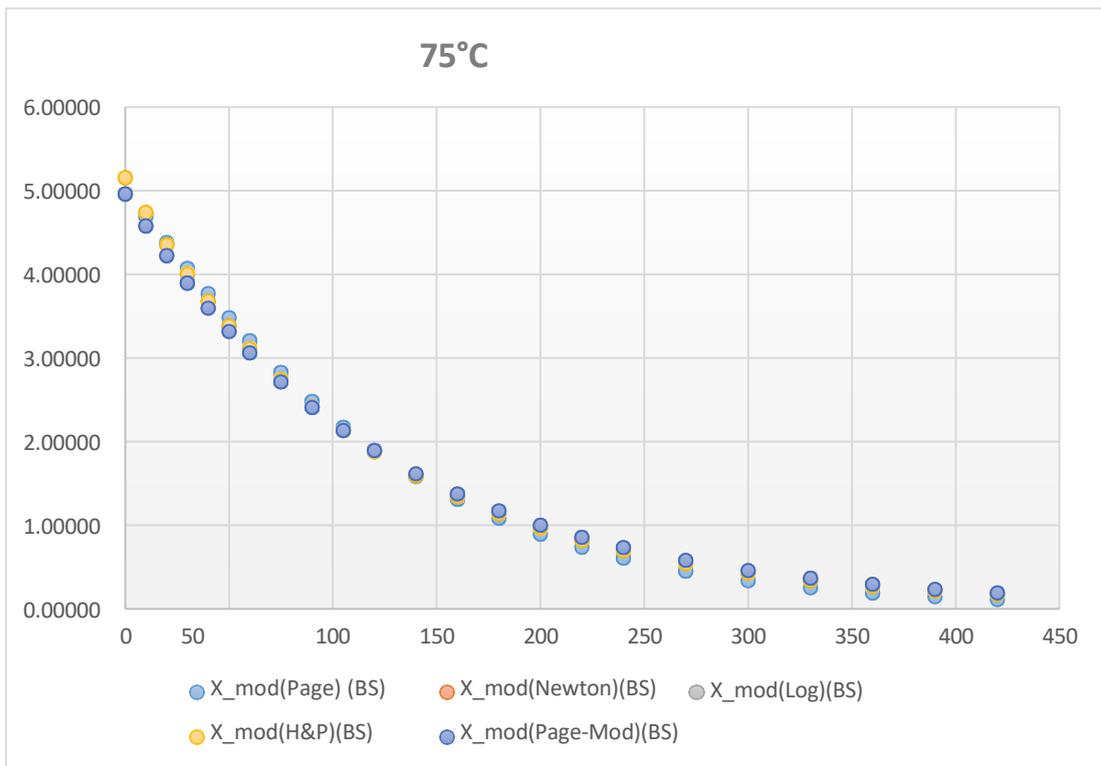
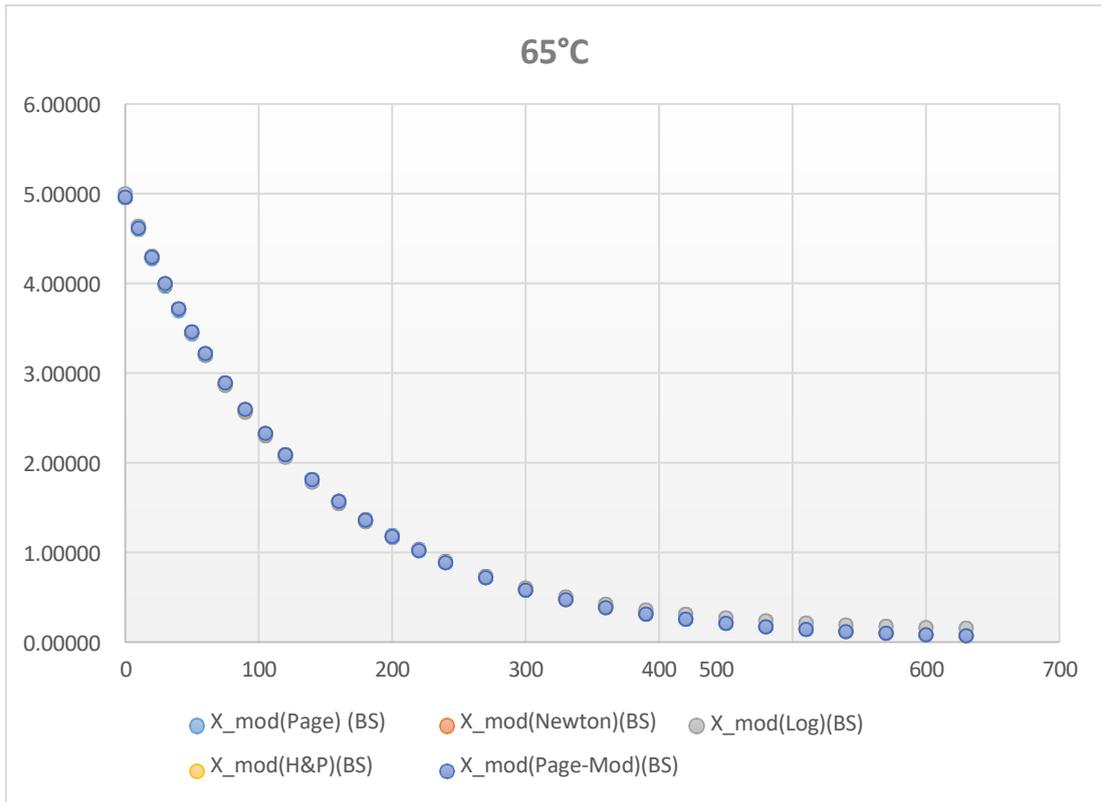




MR (%) vs tiempo (min.)







ANEXO 7: Snacks de membrana capilar de mandarina.



Figura 1: En el lado izquierdo se muestra el snack con tratamiento de 55°C , en el lado derecho se muestra el snack con tratamiento de 55°C + 127.6°C.



Figura 2: En el lado izquierdo se muestra el snack con tratamiento de 65°C , en el lado derecho se muestra el snack con tratamiento de 65°C + 127.6°C.



Figura 3: En el lado izquierdo se muestra el snack con tratamiento de 75°C, en el lado derecho se muestra el snack con tratamiento de 75°C + 127.6°C.

Para la evaluación del color de las muestras de snack se trabajó con 50 jueces, otorgándose puntajes del 1 al 10, como se detalla en la siguiente tabla:

| Puntajes | Nivel de aceptación |
|----------|-----------------------------|
| 1 | Me desagrada extremadamente |
| 2 | Me desagrada bastante |
| 3 | Me desagrada mucho |
| 4 | Me desagrada |
| 5 | Me desagrada poco |
| 6 | Me agrada poco |
| 7 | Me agrada |
| 8 | Me agrada mucho |
| 9 | Me agrada bastante |
| 10 | Me agrada extremadamente |

Los resultados de los puntajes otorgados al color del snack se detallan en la siguiente tabla:

| SNACK DE MEMBRANA CAPILAR DE MANDARINA-EVALUACIÓN DE COLOR | | | | | | |
|--|----|----|----|----|----|----|
| JUECES | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| 1 | 6 | 7 | 10 | 7 | 6 | 5 |
| 2 | 7 | 6 | 8 | 6 | 6 | 5 |
| 3 | 6 | 6 | 10 | 7 | 7 | 6 |
| 4 | 6 | 7 | 10 | 7 | 6 | 5 |
| 5 | 7 | 6 | 8 | 6 | 6 | 5 |
| 6 | 6 | 6 | 10 | 7 | 7 | 6 |
| 7 | 8 | 8 | 8 | 6 | 5 | 5 |
| 8 | 7 | 7 | 9 | 6 | 5 | 6 |
| 9 | 6 | 8 | 7 | 7 | 6 | 6 |
| 10 | 7 | 7 | 8 | 8 | 7 | 6 |
| 11 | 7 | 7 | 10 | 7 | 7 | 6 |
| 12 | 7 | 7 | 10 | 7 | 6 | 6 |
| 13 | 7 | 8 | 9 | 6 | 6 | 6 |
| 14 | 8 | 8 | 9 | 6 | 6 | 6 |
| 15 | 6 | 6 | 7 | 8 | 6 | 6 |
| 16 | 7 | 7 | 7 | 7 | 6 | 5 |
| 17 | 7 | 8 | 8 | 7 | 6 | 6 |
| 18 | 8 | 6 | 8 | 7 | 7 | 6 |
| 19 | 7 | 7 | 10 | 8 | 6 | 6 |
| 20 | 6 | 8 | 10 | 6 | 6 | 6 |
| 21 | 6 | 6 | 9 | 6 | 7 | 6 |
| 22 | 7 | 7 | 9 | 7 | 5 | 6 |
| 23 | 7 | 8 | 10 | 7 | 5 | 6 |
| 24 | 7 | 8 | 9 | 7 | 6 | 6 |
| 25 | 7 | 6 | 9 | 7 | 7 | 6 |
| 26 | 8 | 7 | 10 | 8 | 7 | 6 |
| 27 | 6 | 8 | 10 | 7 | 6 | 6 |
| 28 | 7 | 6 | 8 | 7 | 6 | 6 |
| 29 | 7 | 8 | 10 | 6 | 6 | 6 |
| 30 | 7 | 7 | 8 | 6 | 6 | 6 |
| 31 | 7 | 8 | 9 | 8 | 6 | 5 |
| 32 | 8 | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 |
| 33 | 6 | 7 | 10 | 7 | 7 | 5 |
| 34 | 7 | 7 | 9 | 7 | 6 | 5 |
| 35 | 7 | 8 | 9 | 8 | 6 | 6 |
| 36 | 8 | 8 | 10 | 6 | 7 | 5 |
| 37 | 7 | 6 | 9 | 6 | 5 | 5 |
| 38 | 6 | 8 | 9 | 7 | 5 | 6 |
| 39 | 6 | 7 | 10 | 6 | 6 | 5 |
| 40 | 7 | 8 | 10 | 6 | 7 | 6 |
| 41 | 7 | 7 | 10 | 8 | 7 | 6 |
| 42 | 6 | 7 | 9 | 7 | 6 | 5 |
| 43 | 7 | 8 | 9 | 7 | 6 | 5 |
| 44 | 6 | 8 | 10 | 7 | 6 | 6 |
| 45 | 8 | 6 | 9 | 8 | 6 | 5 |
| 46 | 7 | 8 | 9 | 6 | 6 | 5 |
| 47 | 6 | 7 | 10 | 6 | 6 | 6 |
| 48 | 7 | 8 | 10 | 7 | 7 | 5 |
| 49 | 7 | 7 | 9 | 6 | 7 | 6 |
| 50 | 8 | 7 | 9 | 6 | 6 | 6 |

ANEXO 8: Base de datos

| | | | |
|---|----------------------------|---|--------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO | | | |
| FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS - FIPA | | | |
| LABORATORIO DE INGENIERIA DE PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIAS DE LA FAC. DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS: LIPOU | | | |
| PROYECTO DE INVESTIGACION: ELABORACIÓN TECNOLÓGICA DE UN SNACK A PARTIR DE LA MEMBRANA CAPILAR DE LA MANDARINA (Citrus reticulata) SECADA CON AIRE CALIENTE E INFRARROJO” | | | |
| PRODUCTO: BAGAZO DE MANDARINA | | | |
| FORMA DEL PRODUCTO: | Amorfa bagazo de mandarina | DIA Y FECHA: | Viernes 08/02/2019 |
| DIMENSIONES DEL PRODUCTO (mm) | ---- | HORA DE INICIO: | 09:48h |
| TRATAMIENTO PREVIO | sin tratamiento | RESPONSABLES DE TOMA DE DATOS : | |
| DATOS DE LA BANDEJA PORTA-MUESTRAS | | JULCA YACILA ANTONELLA MICHELLE ASTRID | |
| PESO vacio (g) | 53.62 | PARAMETROS DEL PROCESO DE SECADO | |
| DIMENSIONES (diametro:cm) | 13.5 | TEMPERATURA DEL AIRE DE SECADO (°c) | 55 |
| DENSIDAD DE CARGA DE LA BANDEJA (kg/m2) | 3.98 | VELOCIDAD DEL AIRE DE SECADO (m/s) (20 Hz) | 4.5 |
| N° de muestras | a granel | ALTURA DEL FOCO A LA BANDEJA PORTA-MUESTRA (cm) | 18 |
| CONDICIONES AMBIENTALES | | POTENCIA DE FOCOS INCANDESCENTES (W): | 127.6 |
| TEMPERATURA SECA. | 25.60 | Voltios | 113.5 |
| TEMPERATURA HUMEDA | | Amperios | 0.65 |
| HUMEDAD RELATIVA (%) | 80 | | |

| | | | | | | | | k= 0.00767524 n = 1.08841063 | | |
|---------|----------------|------------------|---------------|------------|---------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------|---------------|
| t (min) | Masa Total (g) | Masa muestra (g) | Humedad (%)bh | X_exp (BS) | ($\Delta m/m_0$)% | X(BS) valor medio | Rate (kgH2O/kgss.min) | X_mod(Page) (BS) | (dif ²) | Residuo(Page) |
| 0 | 143.25 | 89.63 | 83.22 | 4.96 | 0.00 | | 0 | 4.95948 | 0.00000 | 0.00000 |
| 10 | 135.54 | 81.92 | 81.64 | 4.45 | 8.60 | 4.7032 | 0.0513 | 4.51595 | 0.00478 | -0.06912 |
| 20 | 129.15 | 75.53 | 80.09 | 4.02 | 15.73 | 4.2344 | 0.0425 | 4.06388 | 0.00176 | -0.04191 |
| 30 | 123.07 | 69.45 | 78.34 | 3.62 | 22.51 | 3.8198 | 0.0404 | 3.63910 | 0.00046 | -0.02139 |
| 40 | 117.34 | 63.72 | 76.40 | 3.24 | 28.91 | 3.4272 | 0.0381 | 3.24801 | 0.00013 | -0.01128 |
| 50 | 112.01 | 58.39 | 74.24 | 2.88 | 34.85 | 3.0595 | 0.0354 | 2.89175 | 0.00009 | -0.00942 |
| 60 | 107.20 | 53.58 | 71.93 | 2.56 | 40.22 | 2.7224 | 0.0320 | 2.56946 | 0.00005 | -0.00694 |
| 75 | 101.29 | 47.67 | 68.45 | 2.17 | 46.81 | 2.3660 | 0.0262 | 2.14562 | 0.00057 | 0.02395 |
| 90 | 96.35 | 42.73 | 64.80 | 1.84 | 52.33 | 2.0053 | 0.0219 | 1.78647 | 0.00299 | 0.05464 |
| 105 | 92.09 | 38.47 | 60.90 | 1.56 | 57.08 | 1.6995 | 0.0189 | 1.48395 | 0.00546 | 0.07391 |
| 120 | 88.63 | 35.01 | 57.04 | 1.33 | 60.94 | 1.4428 | 0.0153 | 1.23034 | 0.00950 | 0.09746 |
| 140 | 82.99 | 29.37 | 48.79 | 0.95 | 67.23 | 1.1403 | 0.0188 | 0.95613 | 0.00001 | -0.00333 |
| 160 | 78.99 | 25.37 | 40.72 | 0.69 | 71.69 | 0.8198 | 0.0133 | 0.74167 | 0.00301 | -0.05483 |
| 180 | 76.14 | 22.52 | 33.22 | 0.50 | 74.87 | 0.5921 | 0.0095 | 0.57473 | 0.00599 | -0.07739 |
| 200 | 74.40 | 20.78 | 27.62 | 0.38 | 76.82 | 0.4395 | 0.0058 | 0.44530 | 0.00405 | -0.06365 |
| 220 | 73.08 | 19.46 | 22.71 | 0.29 | 78.29 | 0.3378 | 0.0044 | 0.34530 | 0.00264 | -0.05141 |
| 240 | 72.20 | 18.58 | 19.05 | 0.24 | 79.27 | 0.2646 | 0.0029 | 0.26828 | 0.00108 | -0.03290 |
| 275 | 71.29 | 17.67 | 14.88 | 0.17 | 80.29 | 0.2051 | 0.0017 | 0.17400 | 0.00000 | 0.00087 |
| 295 | 70.69 | 17.07 | 11.89 | 0.13 | 80.96 | 0.1549 | 0.0020 | 0.13693 | 0.00000 | -0.00195 |
| 315 | 70.34 | 16.72 | 10.05 | 0.11 | 81.35 | 0.1233 | 0.0012 | 0.10863 | 0.00001 | 0.00307 |
| 335 | 70.23 | 16.61 | 9.45 | 0.10 | 81.47 | 0.1081 | 0.0004 | 0.08708 | 0.00030 | 0.01731 |
| | | | | | | | | Promedio = | 0.00213 | |
| | | | | | | | | S ² (Residuo) | | 0.00214 |
| | | | | | | | | S ² (Experimental) | | 2.53217 |
| | | | | | | | | R ² | | 0.99915 |
| | | | | | | | | X ² | | 0.00013 |
| | | | | | | | | RMSE | | 5.64208E-05 |

| k= 0.01144639 | | | k= 0.01172314 | | |
|-------------------|---------|-----------------|-----------------|---------|--------------|
| | | | n= 1.02075108 | | |
| | | | a= 0.00000000 | | |
| X_mod(Newton)(BS) | (dif^2) | Residuo(Newton) | X_mod(Log) (BS) | (dif^2) | Residuo(log) |
| 4.95948 | 0.00000 | 0.00000 | 5.06198 | 0.01051 | -0.10250 |
| 4.42524 | 0.00047 | 0.02160 | 4.50423 | 0.00329 | -0.05739 |
| 3.94879 | 0.00536 | 0.07318 | 4.00818 | 0.00019 | 0.01379 |
| 3.52387 | 0.00881 | 0.09384 | 3.56701 | 0.00257 | 0.05071 |
| 3.14490 | 0.00843 | 0.09182 | 3.17463 | 0.00386 | 0.06209 |
| 2.80693 | 0.00569 | 0.07541 | 2.82567 | 0.00321 | 0.05667 |
| 2.50551 | 0.00325 | 0.05702 | 2.51530 | 0.00223 | 0.04722 |
| 2.11338 | 0.00316 | 0.05619 | 2.11292 | 0.00321 | 0.05664 |
| 1.78312 | 0.00336 | 0.05799 | 1.77543 | 0.00431 | 0.06567 |
| 1.50496 | 0.00280 | 0.05290 | 1.49236 | 0.00429 | 0.06550 |
| 1.27069 | 0.00326 | 0.05712 | 1.25494 | 0.00531 | 0.07287 |
| 1.01478 | 0.00384 | -0.06197 | 0.99683 | 0.00194 | -0.04403 |
| 0.81123 | 0.01547 | -0.12439 | 0.79267 | 0.01120 | -0.10582 |
| 0.64934 | 0.02310 | -0.15199 | 0.63118 | 0.01791 | -0.13383 |
| 0.52056 | 0.01930 | -0.13891 | 0.50344 | 0.01483 | -0.12178 |
| 0.41814 | 0.01544 | -0.12425 | 0.40240 | 0.01177 | -0.10851 |
| 0.33668 | 0.01026 | -0.10130 | 0.32248 | 0.00759 | -0.08710 |
| 0.23214 | 0.00328 | -0.05727 | 0.22068 | 0.00210 | -0.04580 |
| 0.18874 | 0.00289 | -0.05376 | 0.17873 | 0.00191 | -0.04375 |
| 0.15421 | 0.00181 | -0.04250 | 0.14556 | 0.00115 | -0.03385 |
| 0.12675 | 0.00050 | -0.02235 | 0.11932 | 0.00022 | -0.01492 |
| | 0.00700 | | | 0.00567 | |
| | | 0.00724 | | | 0.00556 |
| | | 2.53217 | | | 2.53217 |
| | | 0.99714 | | | 0.99780 |
| | | 0.00040 | | | 0.00035 |
| | | 0.000190523 | | | 0.000146322 |

| k= 0.01172313 a= 1.02075109 | | | k= 0.03383251 n = 0.33832510 | | |
|--------------------------------|---------|--------------|---------------------------------|---------|-------------------|
| X_mod(H&P)(BS) | (dif^2) | Residuo(H&P) | X_mod(Page-Mod)(BS) | (dif^2) | Residuo(Page-Mod) |
| 5.06198 | 0.01051 | -0.10250 | 4.95948 | 0.00000 | 0.00000 |
| 4.50423 | 0.00329 | -0.05739 | 4.42524 | 0.00047 | 0.02160 |
| 4.00818 | 0.00019 | 0.01379 | 3.94879 | 0.00536 | 0.07318 |
| 3.56701 | 0.00257 | 0.05071 | 3.52387 | 0.00881 | 0.09384 |
| 3.17463 | 0.00386 | 0.06209 | 3.14490 | 0.00843 | 0.09182 |
| 2.82567 | 0.00321 | 0.05667 | 2.80693 | 0.00569 | 0.07541 |
| 2.51530 | 0.00223 | 0.04722 | 2.50551 | 0.00325 | 0.05702 |
| 2.11293 | 0.00321 | 0.05664 | 2.11338 | 0.00316 | 0.05619 |
| 1.77543 | 0.00431 | 0.06567 | 1.78312 | 0.00336 | 0.05799 |
| 1.49236 | 0.00429 | 0.06550 | 1.50496 | 0.00280 | 0.05290 |
| 1.25494 | 0.00531 | 0.07287 | 1.27069 | 0.00326 | 0.05712 |
| 0.99683 | 0.00194 | -0.04403 | 1.01478 | 0.00384 | -0.06197 |
| 0.79267 | 0.01120 | -0.10582 | 0.81123 | 0.01547 | -0.12439 |
| 0.63118 | 0.01791 | -0.13383 | 0.64934 | 0.02310 | -0.15199 |
| 0.50344 | 0.01483 | -0.12178 | 0.52056 | 0.01930 | -0.13891 |
| 0.40240 | 0.01177 | -0.10851 | 0.41814 | 0.01544 | -0.12425 |
| 0.32248 | 0.00759 | -0.08710 | 0.33668 | 0.01026 | -0.10130 |
| 0.22068 | 0.00210 | -0.04580 | 0.23214 | 0.00328 | -0.05727 |
| 0.17873 | 0.00191 | -0.04375 | 0.18874 | 0.00289 | -0.05376 |
| 0.14556 | 0.00115 | -0.03385 | 0.15421 | 0.00181 | -0.04250 |
| 0.11932 | 0.00022 | -0.01492 | 0.12675 | 0.00050 | -0.02235 |
| | 0.00567 | | | 0.00700 | |
| | | 0.00528 | | | 0.00688 |
| | | 2.53217 | | | 2.53217 |
| | | 0.99791 | | | 0.99728 |
| | | 0.00031 | | | 0.00040 |
| | | 0.000139033 | | | 0.000181159 |

| | | | |
|---|----------------------------|----------|-------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO | | | |
| FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS - FIPA | | | |
| LABORATORIO DE INGENIERIA DE PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIAS DE LA FAC. DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS: LIPOU | | | |
| PROYECTO DE INVESTIGACION: ELABORACIÓN TECNOLÓGICA DE UN SNACK A PARTIR DE LA MEMBRANA CAPILAR DE LA MANDARINA (Citrus reticulata) SECADA CON AIRE CALIENTE E INFRARROJO” | | | |
| PRODUCTO: BAGAZO DE MANDARINA | | | |
| FORMA DEL PRODUCTO: | Amorfa bagazo de mandarina | | |
| DIMENSIONES DEL PRODUCTO (mm) | ---- | | |
| TRATAMIENTO PREVIO | sin tratamiento | | |
| DATOS DE LA BANDEJA PORTA-MUESTRAS | | | |
| PESO vacío (g) | 54.97 | | |
| DIMENSIONES (diámetro:cm) | 13.5 | | |
| DENSIDAD DE CARGA DE LA BANDEJA (kg/m2) | 3.99 | | |
| N° de muestras | a granel | | |
| CONDICIONES AMBIENTALES | | | |
| TEMPERATURA SECA. | 21.20 | | |
| TEMPERATURA HUMEDA | | | |
| HUMEDAD RELATIVA (%) | 70 | | |
| DIA Y FECHA: Sabado 27/11/2018 | | | |
| HORA DE INICIO: 08:35h | | | |
| RESPONSABLES DE TOMA DE DATOS : | | | |
| JULCA YACILA ANTONELLA NICHELLE ASTRID | | | |
| PARAMETROS DEL PROCESO DE SECADO | | | |
| TEMPERATURA DEL AIRE DE SECADO (°c) | | | 65 |
| VELOCIDAD DEL AIRE DE SECADO (m/s) (20 Hz) | | | 4.5 |
| ALTURA DEL FOCO A LA BANDEJA PORTA-MUESTRA (cm) | | | 18 |
| POTENCIA DE FOCOS INCANDESCENTES (W): | | | 127.6 |
| Voltios | 113.5 | Amperios | 0.65 |

| | | | | | | | | K = 0.00724002 n = 1.09096919 | | |
|---------|----------------|------------------|---------------|------------|---------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------|---------------|
| t (min) | Masa Total (g) | Masa muestra (g) | Humedad (%)bh | X_exp (BS) | ($\Delta m/m_0$)% | X(BS) valor medio | Rate (kgH2O/kgss.min) | X_mod(Page) (BS) | (dif ²) | Residuo(Page) |
| 0 | 144.66 | 89.69 | 83.22 | 4.96 | 0.00 | | 0 | 4.95948 | 0.00000 | 0.00000 |
| 10 | 136.68 | 81.71 | 81.58 | 4.43 | 8.90 | 4.6944 | 0.0530 | 4.53763 | 0.01175 | 0.10839 |
| 20 | 130.23 | 75.26 | 80.00 | 4.00 | 16.09 | 4.2150 | 0.0429 | 4.10408 | 0.01069 | 0.10341 |
| 30 | 124.66 | 69.69 | 78.40 | 3.63 | 22.30 | 3.8156 | 0.0370 | 3.69407 | 0.00403 | 0.06350 |
| 40 | 119.42 | 64.45 | 76.65 | 3.28 | 28.14 | 3.4565 | 0.0348 | 3.31426 | 0.00102 | 0.03186 |
| 50 | 114.84 | 59.87 | 74.86 | 2.98 | 33.25 | 3.1302 | 0.0304 | 2.96624 | 0.00014 | -0.01184 |
| 60 | 110.83 | 55.86 | 73.06 | 2.71 | 37.72 | 2.8449 | 0.0266 | 2.64955 | 0.00385 | -0.06208 |
| 75 | 105.12 | 50.15 | 69.99 | 2.33 | 44.09 | 2.5219 | 0.0253 | 2.23011 | 0.01043 | -0.10212 |
| 90 | 99.52 | 44.55 | 66.22 | 1.96 | 50.33 | 2.1462 | 0.0248 | 1.87161 | 0.00784 | -0.08852 |
| 105 | 94.44 | 39.47 | 61.87 | 1.62 | 55.99 | 1.7914 | 0.0225 | 1.56706 | 0.00308 | -0.05553 |
| 120 | 89.96 | 34.99 | 56.99 | 1.32 | 60.99 | 1.4738 | 0.0198 | 1.30956 | 0.00024 | -0.01536 |
| 140 | 85.07 | 30.10 | 50.00 | 1.00 | 66.44 | 1.1625 | 0.0162 | 1.02838 | 0.00081 | 0.02838 |
| 160 | 81.33 | 26.36 | 42.91 | 0.75 | 70.61 | 0.8757 | 0.0124 | 0.80597 | 0.00297 | 0.05448 |
| 180 | 78.64 | 23.67 | 36.42 | 0.57 | 73.61 | 0.6621 | 0.0089 | 0.63087 | 0.00338 | 0.05811 |
| 200 | 76.69 | 21.72 | 30.71 | 0.44 | 75.78 | 0.5080 | 0.0065 | 0.49356 | 0.00254 | 0.05037 |
| 220 | 74.91 | 19.94 | 24.52 | 0.32 | 77.77 | 0.3841 | 0.0059 | 0.38626 | 0.00376 | 0.06135 |
| 240 | 73.86 | 18.89 | 20.33 | 0.26 | 78.94 | 0.2900 | 0.0035 | 0.30267 | 0.00226 | 0.04752 |
| 260 | 72.89 | 17.92 | 16.02 | 0.19 | 80.02 | 0.2229 | 0.0032 | 0.23773 | 0.00221 | 0.04703 |
| 280 | 71.90 | 16.93 | 11.10 | 0.12 | 81.12 | 0.1578 | 0.0033 | 0.18740 | 0.00390 | 0.06248 |
| 300 | 71.16 | 16.19 | 7.04 | 0.08 | 81.95 | 0.1003 | 0.0025 | 0.14848 | 0.00529 | 0.07273 |
| | | | | | | | | Promedio = | 0.0040 | |
| | | | | | | | | S ² (Residuo) | | 0.00368 |
| | | | | | | | | S ² (Experimental) | | 2.52853 |
| | | | | | | | | R ² | | 0.99855 |
| | | | | | | | | X ² | | 0.00022 |
| | | | | | | | | RMSE | | 9.67732E-05 |

| k= 0.01097405 | | | K= 0.01116426 | | |
|-------------------|---------|-----------------|----------------|---------|--------------|
| | | | n= 1.01644043 | | |
| | | | a= 0.00000000 | | |
| X_mod(Newton)(BS) | (dif^2) | Residuo(Newton) | X_mod(Log)(BS) | (dif^2) | Residuo(log) |
| 4.95948 | 0.00000 | 0.00000 | 5.04068 | 0.00659 | 0.08121 |
| 4.44610 | 0.00028 | 0.01686 | 4.51032 | 0.00657 | 0.08107 |
| 3.98608 | 0.00021 | -0.01459 | 4.03598 | 0.00125 | 0.03531 |
| 3.57387 | 0.00321 | -0.05670 | 3.61174 | 0.00035 | -0.01883 |
| 3.20451 | 0.00607 | -0.07789 | 3.23233 | 0.00251 | -0.05007 |
| 2.87353 | 0.01093 | -0.10455 | 2.89299 | 0.00724 | -0.08509 |
| 2.57695 | 0.01814 | -0.13468 | 2.58950 | 0.01492 | -0.12214 |
| 2.18887 | 0.02055 | -0.14336 | 2.19330 | 0.01930 | -0.13893 |
| 1.85969 | 0.01009 | -0.10045 | 1.85819 | 0.01039 | -0.10195 |
| 1.58047 | 0.00177 | -0.04213 | 1.57476 | 0.00229 | -0.04784 |
| 1.34362 | 0.00035 | 0.01870 | 1.33502 | 0.00010 | 0.01010 |
| 1.08278 | 0.00685 | 0.08278 | 1.07187 | 0.00516 | 0.07187 |
| 0.87335 | 0.01485 | 0.12185 | 0.86138 | 0.01207 | 0.10988 |
| 0.70518 | 0.01754 | 0.13242 | 0.69301 | 0.01446 | 0.12025 |
| 0.57016 | 0.01612 | 0.12697 | 0.55833 | 0.01326 | 0.11514 |
| 0.46174 | 0.01872 | 0.13682 | 0.45060 | 0.01580 | 0.12568 |
| 0.37469 | 0.01429 | 0.11954 | 0.36443 | 0.01194 | 0.10928 |
| 0.30479 | 0.01302 | 0.11409 | 0.29551 | 0.01098 | 0.10481 |
| 0.24867 | 0.01531 | 0.12375 | 0.24037 | 0.01333 | 0.11546 |
| 0.20361 | 0.01635 | 0.12786 | 0.19627 | 0.01453 | 0.12053 |
| | 0.01023 | | | 0.00862 | |
| | | 0.01025 | | | 0.00857 |
| | | 2.52853 | | | 2.52853 |
| | | 0.99595 | | | 0.99661 |
| | | 0.00057 | | | 0.00054 |
| | | 0.000269609 | | | 0.000225546 |

| k= 0.01119406 a= 1.01726072 | | | k= 0.03312710 n = 0.33127103 | | |
|--------------------------------|---------|--------------|---------------------------------|---------|-------------------|
| X_mod(H&P)(BS) | (dif^2) | Residuo(H&P) | X_mod(Page-Mod)(BS) | (dif^2) | Residuo(Page-Mod) |
| 5.04473 | 0.00727 | -0.08526 | 4.95948 | 0.00000 | 0.00000 |
| 4.51260 | 0.00695 | -0.08336 | 4.44610 | 0.00028 | -0.01686 |
| 4.03682 | 0.00131 | -0.03615 | 3.98608 | 0.00021 | 0.01459 |
| 3.61143 | 0.00037 | 0.01914 | 3.57387 | 0.00321 | 0.05670 |
| 3.23109 | 0.00263 | 0.05131 | 3.20451 | 0.00607 | 0.07789 |
| 2.89103 | 0.00758 | 0.08705 | 2.87353 | 0.01093 | 0.10455 |
| 2.58698 | 0.01554 | 0.12465 | 2.57695 | 0.01814 | 0.13468 |
| 2.19020 | 0.02017 | 0.14203 | 2.18887 | 0.02055 | 0.14336 |
| 1.85475 | 0.01111 | 0.10539 | 1.85969 | 0.01009 | 0.10045 |
| 1.57115 | 0.00265 | 0.05144 | 1.58047 | 0.00177 | 0.04213 |
| 1.33139 | 0.00004 | -0.00647 | 1.34362 | 0.00035 | -0.01870 |
| 1.06834 | 0.00467 | -0.06833 | 1.08278 | 0.00685 | -0.08278 |
| 0.85805 | 0.01135 | -0.10655 | 0.87335 | 0.01485 | -0.12185 |
| 0.68995 | 0.01373 | -0.11719 | 0.70518 | 0.01754 | -0.13242 |
| 0.55556 | 0.01263 | -0.11237 | 0.57016 | 0.01612 | -0.12697 |
| 0.44813 | 0.01518 | -0.12321 | 0.46174 | 0.01872 | -0.13682 |
| 0.36225 | 0.01147 | -0.10710 | 0.37469 | 0.01429 | -0.11954 |
| 0.29360 | 0.01059 | -0.10290 | 0.30479 | 0.01302 | -0.11409 |
| 0.23872 | 0.01295 | -0.11380 | 0.24867 | 0.01531 | -0.12375 |
| 0.19485 | 0.01418 | -0.11910 | 0.20361 | 0.01635 | -0.12786 |
| | 0.00912 | | | 0.01023 | |
| | | 0.00865 | | | 0.01025 |
| | | 2.52853 | | | 2.52853 |
| | | 0.99658 | | | 0.99595 |
| | | 0.00051 | | | 0.00060 |
| | | 0.000227592 | | | 0.000269609 |

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS - FIPA

LABORATORIO DE INGENIERIA DE PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIAS DE LA FAC. DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS: LIPOU

PROYECTO DE INVESTIGACION: ELABORACIÓN TECNOLÓGICA DE UN SNACK A PARTIR DE LA MEMBRANA CAPILAR DE LA MANDARINA (Citrus reticulata) SECADA CON AIRE CALIENTE E INFRARROJO”

PRODUCTO: BAGAZO DE MANDARINA

| | |
|-------------------------------|----------------------------|
| FORMA DEL PRODUCTO: | Amorfa bagazo de mandarina |
| DIMENSIONES DEL PRODUCTO (mm) | ---- |
| TRATAMIENTO PREVIO | sin tratamiento |

DATOS DE LA BANDEJA PORTA-MUESTRAS

| | |
|---|----------|
| PESO vacio (g) | 54.32 |
| DIMENSIONES (diametro:cm) | 13.5 |
| DENSIDAD DE CARGA DE LA BANDEJA (kg/m2) | 3.98 |
| N° de muestras | a granel |

CONDICIONES AMBIENTALES

| | |
|----------------------|-------|
| TEMPERATURA SECA. | 20.80 |
| TEMPERATURA HUMEDA | |
| HUMEDAD RELATIVA (%) | 78 |

| | |
|-----------------|-------------------|
| DIA Y FECHA: | Sabado 03/11/2018 |
| HORA DE INICIO: | 09:15h |

RESPONSABLES DE TOMA DE DATOS :

JULCA YACILA ANTONELLA MICHELLE ASTRID

PARAMETROS DEL PROCESO DE SECADO

| | | | |
|---|-------|-----------------|-------|
| TEMPERATURA DEL AIRE DE SECADO (°c) | | | 75 |
| VELOCIDAD DEL AIRE DE SECADO (m/s) (20 Hz) | | | 4.5 |
| ALTURA DEL FOCO A LA BANDEJA PORTA-MUESTRA (cm) | | | 18 |
| POTENCIA DE FOCOS INCANDESCENTES (W): | | | 127.6 |
| Voltios | 113.5 | Amperios | 0.65 |

| | | | | | | | | k= 0.00675093 n= 1.15581937 | | |
|---------|----------------|------------------|---------------|------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------|---------------|
| t (min) | Masa Total (g) | Masa muestra (g) | Humedad (%)bh | X_exp (BS) | (Δm/m ₀)% | X(BS) valor medio | Rate (kgH2O/kgss.min) | X_mod(Page) (BS) | (dif ²) | Residuo(Page) |
| 0 | 143.86 | 89.54 | 83.22 | 4.96 | 0.00 | | 0 | 4.95948 | 0.00000 | 0.00000 |
| 10 | 134.97 | 80.65 | 81.37 | 4.37 | 9.93 | 4.6636 | 0.0592 | 4.50444 | 0.01867 | -0.13665 |
| 20 | 127.52 | 73.20 | 79.47 | 3.87 | 18.25 | 4.1199 | 0.0496 | 4.00255 | 0.01706 | -0.13061 |
| 30 | 119.31 | 64.99 | 76.88 | 3.33 | 27.42 | 3.5987 | 0.0546 | 3.52149 | 0.03841 | -0.19597 |
| 40 | 115.75 | 61.43 | 75.54 | 3.09 | 31.39 | 3.2070 | 0.0237 | 3.07709 | 0.00013 | 0.01148 |
| 50 | 110.79 | 56.47 | 73.39 | 2.76 | 36.93 | 2.9235 | 0.0330 | 2.67460 | 0.00703 | 0.08385 |
| 60 | 106.17 | 51.85 | 71.02 | 2.45 | 42.09 | 2.6047 | 0.0307 | 2.31476 | 0.01855 | 0.13619 |
| 75 | 99.56 | 45.24 | 66.79 | 2.01 | 49.48 | 2.2310 | 0.0293 | 1.85137 | 0.02549 | 0.15964 |
| 90 | 92.95 | 38.63 | 61.11 | 1.57 | 56.86 | 1.7910 | 0.0293 | 1.47109 | 0.01000 | 0.09999 |
| 105 | 87.69 | 33.37 | 54.98 | 1.22 | 62.73 | 1.3960 | 0.0233 | 1.16273 | 0.00339 | 0.05826 |
| 120 | 83.11 | 28.79 | 47.81 | 0.92 | 67.85 | 1.0686 | 0.0203 | 0.91505 | 0.00000 | 0.00111 |
| 140 | 77.64 | 23.32 | 35.57 | 0.55 | 73.96 | 0.7341 | 0.0182 | 0.66146 | 0.01196 | -0.10936 |
| 160 | 73.55 | 19.23 | 21.87 | 0.28 | 78.52 | 0.4160 | 0.0136 | 0.47627 | 0.03857 | -0.19639 |
| 180 | 71.02 | 16.70 | 10.03 | 0.11 | 81.35 | 0.1957 | 0.0084 | 0.34237 | 0.05331 | -0.23088 |
| 200 | 69.93 | 15.61 | 3.75 | 0.04 | 82.57 | 0.0752 | 0.0036 | 0.24639 | 0.04303 | -0.20744 |
| | | | | | | | | Promedio = | 0.01733 | |
| | | | | | | | | S ² (Residuo) | | 0.01755 |
| | | | | | | | | S ² (Experimental) | | 2.40840 |
| | | | | | | | | R ² | | 0.99271 |
| | | | | | | | | X ² | | 0.00146 |
| | | | | | | | | RMSE | | 0.000626757 |

| k= 0.01325479 | | | k= 0.01364820 | | |
|-------------------|---------|-----------------|----------------|---------|--------------|
| | | | n= 1.02506246 | | |
| | | | a= 0.00000000 | | |
| X_mod(Newton)(BS) | (dif^2) | Residuo(Newton) | X_mod(Log)(BS) | (dif^2) | Residuo(log) |
| 4.95948 | 0.00000 | 0.00000 | 5.08327 | 0.01533 | -0.12380 |
| 4.34629 | 0.00046 | 0.02149 | 4.43731 | 0.00483 | -0.06952 |
| 3.80923 | 0.00393 | 0.06271 | 3.87376 | 0.00000 | -0.00182 |
| 3.33884 | 0.00018 | -0.01333 | 3.38210 | 0.00320 | -0.05659 |
| 2.92684 | 0.02616 | 0.16173 | 2.95317 | 0.01833 | 0.13540 |
| 2.56599 | 0.03704 | 0.19246 | 2.57896 | 0.03221 | 0.17949 |
| 2.24993 | 0.04041 | 0.20103 | 2.25250 | 0.03939 | 0.19846 |
| 1.84787 | 0.02662 | 0.16315 | 1.83920 | 0.02952 | 0.17182 |
| 1.51830 | 0.00279 | 0.05279 | 1.50242 | 0.00471 | 0.06866 |
| 1.24815 | 0.00074 | -0.02715 | 1.22798 | 0.00005 | -0.00699 |
| 1.02671 | 0.01222 | -0.11054 | 1.00435 | 0.00778 | -0.08819 |
| 0.79228 | 0.05769 | -0.24018 | 0.76921 | 0.04714 | -0.21711 |
| 0.61244 | 0.11059 | -0.33256 | 0.59024 | 0.09632 | -0.31036 |
| 0.47448 | 0.13176 | -0.36298 | 0.45402 | 0.11732 | -0.34253 |
| 0.36865 | 0.10870 | -0.32970 | 0.35034 | 0.09697 | -0.31139 |
| | 0.03218 | | | 0.02972 | |
| | | 0.03437 | | | 0.03083 |
| | | 2.40840 | | | 2.40840 |
| | | 0.98573 | | | 0.98720 |
| | | 0.00264 | | | 0.00280 |
| | | 0.001227346 | | | 0.00110117 |

| k= 0.01364813 a= 1.02504147 | | | k= 0.01151295 n = 1.15129461 | | |
|--------------------------------|---------|--------------|---------------------------------|---------|-------------------|
| X_mod(H&P)(BS) | (dif^2) | Residuo(H&P) | X_mod(Page-Mod)(BS) | (dif^2) | Residuo(Page-Mod) |
| 5.08317 | 0.01530 | -0.12369 | 4.95948 | 0.00000 | 0.00000 |
| 4.43722 | 0.00482 | -0.06943 | 4.34629 | 0.00046 | 0.02149 |
| 3.87368 | 0.00000 | -0.00174 | 3.80923 | 0.00393 | 0.06271 |
| 3.38204 | 0.00320 | -0.05653 | 3.33884 | 0.00018 | -0.01333 |
| 2.95312 | 0.01835 | 0.13545 | 2.92684 | 0.02616 | 0.16173 |
| 2.57892 | 0.03223 | 0.17953 | 2.56599 | 0.03704 | 0.19246 |
| 2.25246 | 0.03940 | 0.19850 | 2.24993 | 0.04041 | 0.20103 |
| 1.83917 | 0.02953 | 0.17185 | 1.84787 | 0.02662 | 0.16315 |
| 1.50240 | 0.00472 | 0.06868 | 1.51830 | 0.00279 | 0.05279 |
| 1.22797 | 0.00005 | -0.00697 | 1.24815 | 0.00074 | -0.02715 |
| 1.00434 | 0.00778 | -0.08818 | 1.02671 | 0.01222 | -0.11054 |
| 0.76920 | 0.04713 | -0.21710 | 0.79228 | 0.05769 | -0.24018 |
| 0.59023 | 0.09632 | -0.31035 | 0.61244 | 0.11059 | -0.33256 |
| 0.45402 | 0.11732 | -0.34252 | 0.47448 | 0.13176 | -0.36298 |
| 0.35034 | 0.09696 | -0.31139 | 0.36865 | 0.10870 | -0.32970 |
| | 0.02972 | | | 0.03218 | |
| | | 0.03084 | | | 0.03437 |
| | | 2.40840 | | | 2.40840 |
| | | 0.98720 | | | 0.98573 |
| | | 0.00257 | | | 0.00286 |
| | | 0.00110127 | | | 0.001227346 |

| | | | | | | |
|---|----------------------------|--|---|--|-----------------|---|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO | | | | | | |
| FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS - FIPA | | | | | | |
| LABORATORIO DE INGENIERIA DE PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIAS DE LA FAC. DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS: LIPOU | | | | | | |
| PROYECTO DE INVESTIGACION: ELABORACIÓN TECNOLÓGICA DE UN SNACK A PARTIR DE LA MEMBRANA CAPILAR DE LA MANDARINA (Citrus reticulata) SECADA CON AIRE CALIENTE E INFRARROJO” | | | | | | |
| PRODUCTO: BAGAZO DE MANDARINA | | | | | | |
| FORMA DEL PRODUCTO: | Amorfa bagazo de mandarina | | DIA Y FECHA: | Lunes 11/02/2019 | | |
| DIMENSIONES DEL PRODUCTO (mm) | ---- | | HORA DE INICIO: | 08:58h | | |
| TRATAMIENTO PREVIO | sin tratamiento | | RESPONSABLES DE TOMA DE DATOS : | | | |
| DATOS DE LA BANDEJA PORTA-MUESTRAS | | | | JULCA YACILA ANTONELLA NICHELLE ASTRID | | |
| PESO vacio (g) | 54.91 | | PARAMETROS DEL PROCESO DE SECADO | | | |
| DIMENSIONES (diametro:cm) | 13.5 | | TEMPERATURA DEL AIRE DE SECADO (°c) | 55 | | |
| DENSIDAD DE CARGA DE LA BANDEJA (kg/m2) | 4.04 | | VELOCIDAD DEL AIRE DE SECADO (m/s) (20 Hz) | 4.5 | | |
| N° de muestras | a granel | | ALTURA DEL FOCO A LA BANDEJA PORTA-MUESTRA (cm) | 18 | | |
| CONDICIONES AMBIENTALES | | | POTENCIA DE FOCOS INCANDESCENTES (W): | 0.0 | | |
| TEMPERATURA SECA. | 26.20 | | Voltios | 0 | Amperios | 0 |
| TEMPERATURA HUMEDA | | | | | | |
| HUMEDAD RELATIVA (%) | 80 | | | | | |

| | | | | | | | | k= 0.00442538 n = 0.97257932 | | |
|---------|----------------|------------------|---------------|------------|---------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------|---------------|
| t (min) | Masa Total (g) | Masa muestra (g) | Humedad (%)bh | X_exp (BS) | ($\Delta m/m_0$)% | X(BS) valor medio | Rate (kgH2O/kgss.min) | X_mod(Page) (BS) | (dif ²) | Residuo(Page) |
| 0 | 145.89 | 90.98 | 83.22 | 4.96 | 0.00 | | 0.0000 | 4.95948 | 0.00000 | 0.00000 |
| 10 | 141.39 | 86.48 | 82.35 | 4.66 | 4.95 | 4.8121 | 0.0295 | 4.75846 | 0.00879 | -0.09375 |
| 20 | 138.95 | 84.04 | 81.83 | 4.50 | 7.63 | 4.5848 | 0.0160 | 4.57275 | 0.00461 | -0.06787 |
| 30 | 136.68 | 81.77 | 81.33 | 4.36 | 10.12 | 4.4305 | 0.0149 | 4.39681 | 0.00165 | -0.04062 |
| 40 | 134.60 | 79.69 | 80.84 | 4.22 | 12.41 | 4.2881 | 0.0136 | 4.22920 | 0.00009 | -0.00926 |
| 50 | 132.64 | 77.73 | 80.36 | 4.09 | 14.56 | 4.1558 | 0.0128 | 4.06911 | 0.00050 | 0.02245 |
| 60 | 130.65 | 75.74 | 79.84 | 3.96 | 16.75 | 4.0264 | 0.0130 | 3.91594 | 0.00205 | 0.04527 |
| 75 | 128.40 | 73.49 | 79.23 | 3.81 | 19.22 | 3.8875 | 0.0098 | 3.69816 | 0.01338 | 0.11567 |
| 90 | 123.81 | 68.90 | 77.84 | 3.51 | 24.27 | 3.6635 | 0.0200 | 3.49366 | 0.00038 | 0.01951 |
| 105 | 120.49 | 65.58 | 76.72 | 3.30 | 27.92 | 3.4044 | 0.0145 | 3.30138 | 0.00003 | -0.00569 |
| 120 | 117.63 | 62.72 | 75.66 | 3.11 | 31.06 | 3.2020 | 0.0125 | 3.12045 | 0.00015 | -0.01209 |
| 140 | 114.10 | 59.19 | 74.21 | 2.88 | 34.94 | 2.9927 | 0.0116 | 2.89548 | 0.00034 | -0.01835 |
| 160 | 110.86 | 55.95 | 72.71 | 2.66 | 38.50 | 2.7710 | 0.0106 | 2.68762 | 0.00052 | -0.02272 |
| 180 | 108.15 | 53.24 | 71.33 | 2.49 | 41.48 | 2.5761 | 0.0089 | 2.49543 | 0.00006 | -0.00804 |
| 200 | 105.09 | 50.18 | 69.58 | 2.29 | 44.85 | 2.3872 | 0.0100 | 2.31760 | 0.00094 | -0.03066 |
| 220 | 102.44 | 47.53 | 67.88 | 2.11 | 47.76 | 2.2002 | 0.0087 | 2.15299 | 0.00157 | -0.03963 |
| 240 | 100.15 | 45.24 | 66.25 | 1.96 | 50.27 | 2.0384 | 0.0075 | 2.00054 | 0.00138 | -0.03718 |
| 260 | 98.40 | 43.49 | 64.90 | 1.85 | 52.20 | 1.9060 | 0.0057 | 1.85929 | 0.00011 | -0.01056 |
| 280 | 96.60 | 41.69 | 63.38 | 1.73 | 54.18 | 1.7898 | 0.0059 | 1.72839 | 0.00001 | 0.00244 |
| 300 | 94.99 | 40.08 | 61.91 | 1.63 | 55.95 | 1.6781 | 0.0053 | 1.60703 | 0.00034 | 0.01834 |
| 320 | 93.22 | 38.31 | 60.15 | 1.51 | 57.89 | 1.5674 | 0.0058 | 1.49449 | 0.00022 | 0.01493 |
| 340 | 91.64 | 36.73 | 58.44 | 1.41 | 59.63 | 1.4577 | 0.0052 | 1.39010 | 0.00025 | 0.01583 |
| 360 | 90.25 | 35.34 | 56.80 | 1.31 | 61.16 | 1.3604 | 0.0046 | 1.29326 | 0.00047 | 0.02162 |
| 420 | 86.67 | 31.76 | 51.93 | 1.08 | 65.09 | 1.1976 | 0.0039 | 1.04255 | 0.00143 | 0.03782 |
| 480 | 83.46 | 28.55 | 46.53 | 0.87 | 68.62 | 0.9752 | 0.0035 | 0.84192 | 0.00079 | 0.02819 |
| 540 | 81.26 | 26.35 | 42.06 | 0.73 | 71.04 | 0.7981 | 0.0024 | 0.68115 | 0.00201 | 0.04486 |
| 600 | 79.18 | 24.27 | 37.10 | 0.59 | 73.32 | 0.6579 | 0.0023 | 0.55218 | 0.00141 | 0.03758 |
| 660 | 77.02 | 22.11 | 30.95 | 0.45 | 75.70 | 0.5190 | 0.0024 | 0.44862 | 0.00000 | -0.00035 |
| 720 | 74.88 | 19.97 | 23.55 | 0.31 | 78.05 | 0.3782 | 0.0023 | 0.36540 | 0.00328 | -0.05730 |
| 780 | 72.74 | 17.83 | 14.38 | 0.17 | 80.40 | 0.2380 | 0.0023 | 0.29847 | 0.01704 | -0.13055 |
| | | | | | | | | Promedio = | 0.00213 | |
| | | | | | | | | S ² (Residuo) | | 0.00217 |
| | | | | | | | | S ² (Experimental) | | 2.11420 |
| | | | | | | | | R ² | | 0.99897 |
| | | | | | | | | X ² | | 0.00008 |
| | | | | | | | | RMSE | | 3.61783E-05 |

| k= 0.00380893 | | | k= 0.00374295 | | |
|-------------------|---------|-----------------|----------------|---------|--------------|
| | | | n= 0.98766793 | | |
| | | | a= 0.00000000 | | |
| X_mod(Newton)(BS) | (dif^2) | Residuo(Newton) | X_mod(Log)(BS) | (dif^2) | Residuo(log) |
| 4.95948 | 0.00000 | 0.00000 | 4.89856 | 0.00371 | 0.06091 |
| 4.77487 | 0.01214 | -0.11016 | 4.71933 | 0.00298 | -0.05462 |
| 4.59717 | 0.00852 | -0.09228 | 4.54669 | 0.00175 | -0.04181 |
| 4.42611 | 0.00489 | -0.06991 | 4.38039 | 0.00059 | -0.02420 |
| 4.26144 | 0.00172 | -0.04149 | 4.22020 | 0.00000 | -0.00026 |
| 4.10292 | 0.00013 | -0.01136 | 4.06589 | 0.00066 | 0.02566 |
| 3.95033 | 0.00012 | 0.01088 | 3.91726 | 0.00193 | 0.04395 |
| 3.73207 | 0.00668 | 0.08176 | 3.70448 | 0.01196 | 0.10935 |
| 3.52593 | 0.00016 | -0.01276 | 3.50332 | 0.00010 | 0.00985 |
| 3.33124 | 0.00126 | -0.03554 | 3.31314 | 0.00030 | -0.01744 |
| 3.14735 | 0.00152 | -0.03900 | 3.13334 | 0.00062 | -0.02498 |
| 2.91797 | 0.00167 | -0.04083 | 2.90879 | 0.00100 | -0.03166 |
| 2.70540 | 0.00164 | -0.04050 | 2.70043 | 0.00126 | -0.03553 |
| 2.50843 | 0.00044 | -0.02104 | 2.50710 | 0.00039 | -0.01972 |
| 2.32590 | 0.00152 | -0.03896 | 2.32772 | 0.00166 | -0.04077 |
| 2.15677 | 0.00188 | -0.04340 | 2.16127 | 0.00230 | -0.04791 |
| 2.00004 | 0.00135 | -0.03668 | 2.00683 | 0.00189 | -0.04347 |
| 1.85480 | 0.00004 | -0.00607 | 1.86353 | 0.00022 | -0.01480 |
| 1.72022 | 0.00011 | 0.01060 | 1.73056 | 0.00000 | 0.00026 |
| 1.59551 | 0.00089 | 0.02985 | 1.60719 | 0.00033 | 0.01818 |
| 1.47995 | 0.00087 | 0.02948 | 1.49271 | 0.00028 | 0.01671 |
| 1.37286 | 0.00109 | 0.03307 | 1.38649 | 0.00038 | 0.01944 |
| 1.27363 | 0.00170 | 0.04125 | 1.28793 | 0.00073 | 0.02695 |
| 1.01751 | 0.00395 | 0.06287 | 1.03289 | 0.00226 | 0.04749 |
| 0.81372 | 0.00318 | 0.05640 | 0.82915 | 0.00168 | 0.04096 |
| 0.65156 | 0.00554 | 0.07445 | 0.66639 | 0.00355 | 0.05961 |
| 0.52253 | 0.00452 | 0.06723 | 0.53637 | 0.00285 | 0.05339 |
| 0.41986 | 0.00081 | 0.02841 | 0.43251 | 0.00025 | 0.01577 |
| 0.33817 | 0.00090 | -0.03007 | 0.34953 | 0.00172 | -0.04144 |
| 0.27317 | 0.01108 | -0.10525 | 0.28325 | 0.01330 | -0.11533 |
| | 0.00268 | | | 0.00202 | |
| | | 0.00270 | | | 0.00209 |
| | | 2.11420 | | | 2.11420 |
| | | 0.99872 | | | 0.99901 |
| | | 0.00009 | | | 0.00008 |
| | | 4.49754E-05 | | | 3.48481E-05 |

| k= 0.00374295 a= 0.98767809 | | | k= 0.61716529 n = 0.00617165 | | |
|--------------------------------|---------|--------------|---------------------------------|---------|-------------------|
| X_mod(H&P)(BS) | (dif^2) | Residuo(H&P) | X_mod(Page-Mod)(B) | (dif^2) | Residuo(Page-Mod) |
| 4.89861 | 0.00370 | 0.06086 | 4.95948 | 0.00000 | 0.00000 |
| 4.71938 | 0.00299 | -0.05467 | 4.77487 | 0.01214 | -0.11016 |
| 4.54674 | 0.00175 | -0.04186 | 4.59717 | 0.00852 | -0.09228 |
| 4.38044 | 0.00059 | -0.02425 | 4.42611 | 0.00489 | -0.06991 |
| 4.22024 | 0.00000 | -0.00030 | 4.26144 | 0.00172 | -0.04149 |
| 4.06594 | 0.00066 | 0.02562 | 4.10292 | 0.00013 | -0.01136 |
| 3.91730 | 0.00193 | 0.04391 | 3.95033 | 0.00012 | 0.01088 |
| 3.70452 | 0.01195 | 0.10931 | 3.73207 | 0.00668 | 0.08176 |
| 3.50335 | 0.00010 | 0.00981 | 3.52593 | 0.00016 | -0.01276 |
| 3.31317 | 0.00031 | -0.01748 | 3.33124 | 0.00126 | -0.03554 |
| 3.13337 | 0.00063 | -0.02502 | 3.14735 | 0.00152 | -0.03900 |
| 2.90882 | 0.00100 | -0.03169 | 2.91797 | 0.00167 | -0.04083 |
| 2.70046 | 0.00126 | -0.03556 | 2.70540 | 0.00164 | -0.04050 |
| 2.50713 | 0.00039 | -0.01975 | 2.50843 | 0.00044 | -0.02104 |
| 2.32775 | 0.00166 | -0.04080 | 2.32590 | 0.00152 | -0.03896 |
| 2.16130 | 0.00230 | -0.04793 | 2.15677 | 0.00188 | -0.04340 |
| 2.00686 | 0.00189 | -0.04349 | 2.00004 | 0.00135 | -0.03668 |
| 1.86355 | 0.00022 | -0.01482 | 1.85480 | 0.00004 | -0.00607 |
| 1.73059 | 0.00000 | 0.00024 | 1.72022 | 0.00011 | 0.01060 |
| 1.60721 | 0.00033 | 0.01816 | 1.59551 | 0.00089 | 0.02985 |
| 1.49273 | 0.00028 | 0.01670 | 1.47995 | 0.00087 | 0.02948 |
| 1.38651 | 0.00038 | 0.01942 | 1.37286 | 0.00109 | 0.03307 |
| 1.28795 | 0.00073 | 0.02693 | 1.27363 | 0.00170 | 0.04125 |
| 1.03291 | 0.00225 | 0.04747 | 1.01751 | 0.00395 | 0.06287 |
| 0.82916 | 0.00168 | 0.04095 | 0.81372 | 0.00318 | 0.05640 |
| 0.66640 | 0.00355 | 0.05960 | 0.65156 | 0.00554 | 0.07445 |
| 0.53638 | 0.00285 | 0.05338 | 0.52253 | 0.00452 | 0.06723 |
| 0.43251 | 0.00025 | 0.01576 | 0.41986 | 0.00081 | 0.02841 |
| 0.34954 | 0.00172 | -0.04144 | 0.33817 | 0.00090 | -0.03007 |
| 0.28325 | 0.01330 | -0.11533 | 0.27317 | 0.01108 | -0.10525 |
| | 0.00202 | | | 0.00268 | |
| | | 0.00209 | | | 0.00270 |
| | | 2.11420 | | | 2.11420 |
| | | 0.99901 | | | 0.99872 |
| | | 0.00007 | | | 0.00010 |
| | | 3.48479E-05 | | | 4.49754E-05 |

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS - FIPA

LABORATORIO DE INGENIERIA DE PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIAS DE LA FAC. DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS: LIPOU

PROYECTO DE INVESTIGACION: ELABORACIÓN TECNOLÓGICA DE UN SNACK A PARTIR DE LA MEMBRANA CAPILAR DE LA MANDARINA (Citrus reticulata) SECADA CON AIRE CALIENTE E INFRARROJO”

PRODUCTO: BAGAZO DE MANDARINA

| | |
|-------------------------------|----------------------------|
| FORMA DEL PRODUCTO: | Amorfa bagazo de mandarina |
| DIMENSIONES DEL PRODUCTO (mm) | ---- |
| TRATAMIENTO PREVIO | sin tratamiento |

| | |
|-----------------|--------------------|
| DIA Y FECHA: | Viernes 01/03/2019 |
| HORA DE INICIO: | 08:31 |

RESPONSABLES DE TOMA DE DATOS :

| |
|--|
| JULCA YACILA ANTONELLA NICHELLE ASTRID |
| ZAMORA AGUIRRE CARLA ROSSMERY |

DATOS DE LA BANDEJA PORTA-MUESTRAS

| | |
|---|----------|
| PESO vacio (g) | 54.35 |
| DIMENSIONES (diámetro:cm) | 13.5 |
| DENSIDAD DE CARGA DE LA BANDEJA (kg/m2) | 4.15 |
| N° de muestras | a granel |

PARAMETROS DEL PROCESO DE SECADO

| | | | |
|---|-----|----------|---|
| TEMPERATURA DEL AIRE DE SECADO (°c) | 65 | | |
| VELOCIDAD DEL AIRE DE SECADO (m/s) (20 Hz) | 4.5 | | |
| ALTURA DEL FOCO A LA BANDEJA PORTA-MUESTRA (cm) | 18 | | |
| POTENCIA DE FOCOS INCANDESCENTES (W): | 0.0 | | |
| Voltios | 0 | Amperios | 0 |

CONDICIONES AMBIENTALES

| | |
|-------------------------|----|
| TEMPERATURA SECA (°C) | 25 |
| TEMPERATURA HUMEDA (°C) | |
| HUMEDAD RELATIVA (%) | 75 |

| | | | | | | | | K = 0.00785749 n = 0.98356915 | | |
|---------|----------------|------------------|---------------|------------|---------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------|---------------|
| t (min) | Masa Total (g) | Masa muestra (g) | Humedad (%)bh | X_exp (BS) | ($\Delta m/m_0$)% | X(BS) valor medio | Rate (kgH2O/kgss.min) | X_mod(Page) (BS) | (dif ²) | Residuo(Page) |
| 0 | 147.69 | 93.34 | 83.22 | 4.96 | 0.00 | | 0.0000 | 4.95948 | 0.00000 | 0.00000 |
| 10 | 141.95 | 87.60 | 82.12 | 4.59 | 6.15 | 4.7762 | 0.0366 | 4.59955 | 0.00004 | 0.00656 |
| 20 | 137.13 | 82.78 | 81.08 | 4.29 | 11.31 | 4.4391 | 0.0308 | 4.27314 | 0.00015 | -0.01211 |
| 30 | 132.99 | 78.64 | 80.08 | 4.02 | 15.75 | 4.1531 | 0.0264 | 3.97249 | 0.00235 | -0.04843 |
| 40 | 128.80 | 74.45 | 78.96 | 3.75 | 20.24 | 3.8872 | 0.0268 | 3.69460 | 0.00346 | -0.05881 |
| 50 | 125.08 | 70.73 | 77.86 | 3.52 | 24.22 | 3.6347 | 0.0238 | 3.43727 | 0.00618 | -0.07862 |
| 60 | 120.09 | 65.74 | 76.18 | 3.20 | 29.57 | 3.3566 | 0.0319 | 3.19873 | 0.00000 | 0.00143 |
| 75 | 115.10 | 60.75 | 74.22 | 2.88 | 34.92 | 3.0380 | 0.0212 | 2.87281 | 0.00003 | -0.00589 |
| 90 | 110.13 | 55.78 | 71.92 | 2.56 | 40.24 | 2.7200 | 0.0212 | 2.58122 | 0.00039 | 0.01984 |
| 105 | 105.74 | 51.39 | 69.52 | 2.28 | 44.94 | 2.4212 | 0.0187 | 2.32012 | 0.00152 | 0.03902 |
| 120 | 102.58 | 48.23 | 67.53 | 2.08 | 48.33 | 2.1802 | 0.0135 | 2.08615 | 0.00005 | 0.00682 |
| 140 | 98.25 | 43.90 | 64.32 | 1.80 | 52.97 | 1.9411 | 0.0138 | 1.81140 | 0.00007 | 0.00852 |
| 160 | 94.30 | 39.95 | 60.79 | 1.55 | 57.20 | 1.6768 | 0.0126 | 1.57371 | 0.00053 | 0.02302 |
| 180 | 91.18 | 36.83 | 57.47 | 1.35 | 60.54 | 1.4511 | 0.0100 | 1.36795 | 0.00027 | 0.01647 |
| 200 | 87.81 | 33.46 | 53.19 | 1.14 | 64.15 | 1.2439 | 0.0108 | 1.18974 | 0.00285 | 0.05342 |
| 220 | 85.31 | 30.96 | 49.41 | 0.98 | 66.83 | 1.0565 | 0.0080 | 1.03533 | 0.00344 | 0.05863 |
| 240 | 83.18 | 28.83 | 45.67 | 0.84 | 69.11 | 0.9087 | 0.0068 | 0.90149 | 0.00369 | 0.06078 |
| 270 | 80.86 | 26.51 | 40.92 | 0.69 | 71.60 | 0.7666 | 0.0049 | 0.73333 | 0.00166 | 0.04074 |
| 300 | 79.10 | 24.75 | 36.72 | 0.58 | 73.48 | 0.6364 | 0.0037 | 0.59747 | 0.00030 | 0.01725 |
| 330 | 77.76 | 23.41 | 33.10 | 0.49 | 74.92 | 0.5374 | 0.0029 | 0.48764 | 0.00005 | -0.00701 |
| 360 | 76.69 | 22.34 | 29.89 | 0.43 | 76.07 | 0.4605 | 0.0023 | 0.39883 | 0.00076 | -0.02751 |
| 390 | 75.76 | 21.41 | 26.85 | 0.37 | 77.06 | 0.3967 | 0.0020 | 0.32697 | 0.00160 | -0.04000 |
| 420 | 75.07 | 20.72 | 24.41 | 0.32 | 77.80 | 0.3449 | 0.0015 | 0.26880 | 0.00293 | -0.05410 |
| 450 | 74.51 | 20.16 | 22.31 | 0.29 | 78.40 | 0.3050 | 0.0012 | 0.22171 | 0.00428 | -0.06544 |
| 480 | 74.05 | 19.70 | 20.50 | 0.26 | 78.89 | 0.2725 | 0.0010 | 0.18357 | 0.00551 | -0.07421 |
| 510 | 73.69 | 19.34 | 19.02 | 0.23 | 79.28 | 0.2463 | 0.0008 | 0.15267 | 0.00675 | -0.08213 |
| 540 | 73.43 | 19.08 | 17.91 | 0.22 | 79.56 | 0.2265 | 0.0006 | 0.12763 | 0.00820 | -0.09057 |
| 570 | 73.27 | 18.92 | 17.22 | 0.21 | 79.73 | 0.2131 | 0.0003 | 0.10733 | 0.01013 | -0.10065 |
| 600 | 72.68 | 18.33 | 14.57 | 0.17 | 80.36 | 0.1893 | 0.0012 | 0.09087 | 0.00635 | -0.07972 |
| 630 | 72.02 | 17.67 | 11.34 | 0.13 | 81.07 | 0.1492 | 0.0014 | 0.07753 | 0.00253 | -0.05033 |
| | | | | | | | | Promedio = | 0.00254 | |
| | | | | | | | | S^2 (Residuo) | | 0.00228 |
| | | | | | | | | S^2 (Experimental) | | 2.40056 |
| | | | | | | | | R^2 | | 0.99905 |
| | | | | | | | | X^2 | | 0.00008 |
| | | | | | | | | RMSE | | 3.80739E-05 |

| k= 0.00724469 | | | k= 0.00767480 | | |
|-------------------|---------|-----------------|----------------|---------|--------------|
| | | | n= 0.98822822 | | |
| | | | a= 0.01960576 | | |
| X_mod(Newton)(BS) | (dif^2) | Residuo(Newton) | X_mod(Log)(BS) | (dif^2) | Residuo(log) |
| 4.95948 | 0.00000 | 0.00000 | 4.99817 | 0.00150 | 0.03870 |
| 4.61428 | 0.00045 | 0.02129 | 4.63755 | 0.00199 | 0.04456 |
| 4.29321 | 0.00006 | 0.00796 | 4.30358 | 0.00034 | 0.01833 |
| 3.99458 | 0.00069 | -0.02635 | 3.99428 | 0.00071 | -0.02665 |
| 3.71681 | 0.00134 | -0.03659 | 3.70782 | 0.00208 | -0.04558 |
| 3.45846 | 0.00330 | -0.05743 | 3.44253 | 0.00538 | -0.07336 |
| 3.21817 | 0.00044 | 0.02087 | 3.19684 | 0.00000 | -0.00046 |
| 2.88884 | 0.00010 | 0.01014 | 2.86192 | 0.00028 | -0.01679 |
| 2.59342 | 0.00103 | 0.03204 | 2.56341 | 0.00000 | 0.00203 |
| 2.32843 | 0.00224 | 0.04733 | 2.29736 | 0.00026 | 0.01627 |
| 2.09072 | 0.00013 | 0.01138 | 2.06025 | 0.00036 | -0.01909 |
| 1.81141 | 0.00007 | 0.00853 | 1.78371 | 0.00037 | -0.01917 |
| 1.56977 | 0.00036 | 0.01909 | 1.54652 | 0.00002 | -0.00416 |
| 1.36073 | 0.00009 | 0.00925 | 1.34308 | 0.00007 | -0.00840 |
| 1.17988 | 0.00190 | 0.04357 | 1.16860 | 0.00104 | 0.03228 |
| 1.02343 | 0.00218 | 0.04673 | 1.01894 | 0.00178 | 0.04223 |
| 0.88808 | 0.00224 | 0.04738 | 0.89057 | 0.00249 | 0.04986 |
| 0.71851 | 0.00067 | 0.02593 | 0.73145 | 0.00151 | 0.03886 |
| 0.58206 | 0.00000 | 0.00185 | 0.60505 | 0.00062 | 0.02483 |
| 0.47226 | 0.00050 | -0.02239 | 0.50464 | 0.00010 | 0.00998 |
| 0.38392 | 0.00180 | -0.04242 | 0.42489 | 0.00000 | -0.00145 |
| 0.31283 | 0.00293 | -0.05414 | 0.36153 | 0.00003 | -0.00543 |
| 0.25563 | 0.00453 | -0.06728 | 0.31121 | 0.00014 | -0.01170 |
| 0.20960 | 0.00602 | -0.07756 | 0.27124 | 0.00025 | -0.01592 |
| 0.17256 | 0.00726 | -0.08522 | 0.23948 | 0.00033 | -0.01830 |
| 0.14276 | 0.00847 | -0.09204 | 0.21426 | 0.00042 | -0.02054 |
| 0.11878 | 0.00988 | -0.09942 | 0.19423 | 0.00057 | -0.02397 |
| 0.09948 | 0.01177 | -0.10850 | 0.17831 | 0.00088 | -0.02967 |
| 0.08396 | 0.00751 | -0.08663 | 0.16567 | 0.00002 | -0.00492 |
| 0.07146 | 0.00318 | -0.05639 | 0.15563 | 0.00077 | 0.02777 |
| | 0.00271 | | | 0.00081 | |
| | | 0.00238 | | | 0.00087 |
| | | 2.40056 | | | 2.40056 |
| | | 0.99901 | | | 0.99964 |
| | | 0.00008 | | | 0.00003 |
| | | 3.96858E-05 | | | 1.45144E-05 |

| k= 0.00723387 a= 0.99881890 | | | k= 0.26915970 n = 0.02691597 | | |
|--------------------------------|---------|--------------|---------------------------------|---------|-------------------|
| X_mod(H&P)(BS) | (dif^2) | Residuo(H&P) | X_mod(Page-Mod)(BS) | (dif^2) | Residuo(Page-Mod) |
| 4.95364 | 0.00003 | 0.00583 | 4.95948 | 0.00000 | 0.00000 |
| 4.60935 | 0.00027 | -0.01636 | 4.61428 | 0.00045 | -0.02129 |
| 4.28909 | 0.00001 | -0.00384 | 4.29321 | 0.00006 | -0.00796 |
| 3.99117 | 0.00089 | 0.02975 | 3.99458 | 0.00069 | 0.02635 |
| 3.71405 | 0.00155 | 0.03936 | 3.71681 | 0.00134 | 0.03659 |
| 3.45626 | 0.00356 | 0.05963 | 3.45846 | 0.00330 | 0.05743 |
| 3.21646 | 0.00037 | -0.01917 | 3.21817 | 0.00044 | -0.02087 |
| 2.88778 | 0.00008 | -0.00907 | 2.88884 | 0.00010 | -0.01014 |
| 2.59289 | 0.00099 | -0.03151 | 2.59342 | 0.00103 | -0.03204 |
| 2.32832 | 0.00223 | -0.04723 | 2.32843 | 0.00224 | -0.04733 |
| 2.09096 | 0.00014 | -0.01162 | 2.09072 | 0.00013 | -0.01138 |
| 1.81201 | 0.00008 | -0.00912 | 1.81141 | 0.00007 | -0.00853 |
| 1.57063 | 0.00040 | -0.01994 | 1.56977 | 0.00036 | -0.01909 |
| 1.36176 | 0.00011 | -0.01028 | 1.36073 | 0.00009 | -0.00925 |
| 1.18103 | 0.00200 | -0.04471 | 1.17988 | 0.00190 | -0.04356 |
| 1.02464 | 0.00230 | -0.04794 | 1.02343 | 0.00218 | -0.04673 |
| 0.88931 | 0.00236 | -0.04861 | 0.88808 | 0.00224 | -0.04738 |
| 0.71973 | 0.00074 | -0.02714 | 0.71851 | 0.00067 | -0.02593 |
| 0.58322 | 0.00001 | -0.00301 | 0.58206 | 0.00000 | -0.00185 |
| 0.47335 | 0.00045 | 0.02131 | 0.47226 | 0.00050 | 0.02239 |
| 0.38491 | 0.00172 | 0.04143 | 0.38392 | 0.00180 | 0.04242 |
| 0.31372 | 0.00283 | 0.05324 | 0.31283 | 0.00293 | 0.05414 |
| 0.25642 | 0.00442 | 0.06649 | 0.25563 | 0.00453 | 0.06728 |
| 0.21030 | 0.00591 | 0.07686 | 0.20960 | 0.00602 | 0.07756 |
| 0.17317 | 0.00716 | 0.08461 | 0.17256 | 0.00726 | 0.08522 |
| 0.14329 | 0.00837 | 0.09151 | 0.14276 | 0.00847 | 0.09204 |
| 0.11924 | 0.00979 | 0.09896 | 0.11878 | 0.00988 | 0.09942 |
| 0.09988 | 0.01169 | 0.10810 | 0.09948 | 0.01177 | 0.10850 |
| 0.08430 | 0.00745 | 0.08629 | 0.08396 | 0.00751 | 0.08663 |
| 0.07175 | 0.00315 | 0.05610 | 0.07146 | 0.00318 | 0.05639 |
| | 0.00270 | | | 0.00271 | |
| | | 0.01527 | | | 0.01486 |
| | | 2.40056 | | | 2.40056 |
| | | 0.99364 | | | 0.99381 |
| | | 0.00055 | | | 0.00053 |
| | | 0.000254508 | | | 0.000247655 |

| | | | | | | | |
|---|----------------------------|--|---|---|-----|-----------------|---|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO | | | | | | | |
| FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS - FIPA | | | | | | | |
| LABORATORIO DE INGENIERIA DE PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIAS DE LA FAC. DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS: LIPOU | | | | | | | |
| PROYECTO DE INVESTIGACION: ELABORACIÓN TECNOLÓGICA DE UN SNACK A PARTIR DE LA MEMBRANA CAPILAR DE LA MANDARINA (Citrus reticulata) SECADA CON AIRE CALIENTE E INFRARROJO" | | | | | | | |
| PRODUCTO: BAGAZO DE MANDARINA | | | | | | | |
| FORMA DEL PRODUCTO: | Amorfa bagazo de mandarina | | DIA Y FECHA: | 5/03/2019 | | | |
| DIMENSIONES DEL PRODUCTO (mm) | ---- | | HORA DE INICIO: | 08:00h | | | |
| TRATAMIENTO PREVIO | sin tratamiento | | | | | | |
| DATOS DE LA BANDEJA PORTA-MUESTRAS | | | | | | | |
| PESO vacio (g) | 54.25 | | RESPONSABLES DE TOMA DE DATOS : | | | | |
| DIMENSIONES (diametro:cm) | 13.5 | | JULCA YACILA ANTONELLA NICHELLE ASTRID | | | | |
| DENSIDAD DE CARGA DE LA BANDEJA (kg/m2) | 3.93 | | | | | | |
| N° de muestras | a granel | | PARAMETROS DEL PROCESO DE SECADO | | | | |
| CONDICIONES AMBIENTALES | | | | TEMPERATURA DEL AIRE DE SECADO (°c) | 75 | | |
| TEMPERATURA SECA. | 25.80 | | | VELOCIDAD DEL AIRE DE SECADO (m/s) (20 Hz) | 4.5 | | |
| TEMPERATURA HUMEDA | | | | ALTURA DEL FOCO A LA BANDEJA PORTA-MUESTRA (cm) | 18 | | |
| HUMEDAD RELATIVA (%) | 71 | | | POTENCIA DE FOCOS INCANDESCENTES (W): | 0.0 | | |
| | | | | Voltios | 0 | Amperios | 0 |

| | | | | | | | | k= 0.00409352 n = 1.14205259 | | |
|---------|----------------|------------------|---------------|------------|-----------------------|-------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------|
| t (min) | Masa Total (g) | Masa muestra (g) | Humedad (%)bh | X_exp (BS) | (Δm/m ₀)% | X(BS) valor medio | Rate (kgH ₂ O/kgss.min) | X_mod(Page) (BS) | (dif ²) | Residuo(Page) |
| 0 | 142.60 | 88.35 | 83.22 | 4.96 | 0.00 | | 0.0000 | 4.95948 | 0.00000 | 0.00000 |
| 10 | 138.00 | 83.75 | 82.30 | 4.65 | 5.21 | 4.8043 | 0.0310 | 4.68685 | 0.00142 | -0.03766 |
| 20 | 133.23 | 78.98 | 81.23 | 4.33 | 10.61 | 4.4883 | 0.0322 | 4.37778 | 0.00253 | -0.05034 |
| 30 | 129.10 | 74.85 | 80.19 | 4.05 | 15.28 | 4.1882 | 0.0279 | 4.06779 | 0.00036 | -0.01893 |
| 40 | 125.18 | 70.93 | 79.10 | 3.78 | 19.72 | 3.9167 | 0.0264 | 3.76617 | 0.00033 | 0.01827 |
| 50 | 121.60 | 67.35 | 77.99 | 3.54 | 23.77 | 3.6637 | 0.0241 | 3.47724 | 0.00432 | 0.06572 |
| 60 | 116.62 | 62.37 | 76.23 | 3.21 | 29.41 | 3.3750 | 0.0336 | 3.20318 | 0.00001 | 0.00387 |
| 75 | 111.64 | 57.39 | 74.17 | 2.87 | 35.04 | 3.0391 | 0.0224 | 2.82204 | 0.00241 | 0.04909 |
| 90 | 105.67 | 51.42 | 71.17 | 2.47 | 41.80 | 2.6698 | 0.0268 | 2.47743 | 0.00008 | -0.00899 |
| 105 | 100.70 | 46.45 | 68.08 | 2.13 | 47.43 | 2.3008 | 0.0223 | 2.16840 | 0.00124 | -0.03521 |
| 120 | 96.68 | 42.43 | 65.06 | 1.86 | 51.98 | 1.9976 | 0.0181 | 1.89306 | 0.00096 | -0.03103 |
| 140 | 92.04 | 37.79 | 60.77 | 1.55 | 57.23 | 1.7055 | 0.0156 | 1.57412 | 0.00063 | -0.02507 |
| 160 | 88.23 | 33.98 | 56.37 | 1.29 | 61.54 | 1.4206 | 0.0128 | 1.30456 | 0.00016 | -0.01250 |
| 180 | 85.17 | 30.92 | 52.05 | 1.09 | 65.00 | 1.1889 | 0.0103 | 1.07812 | 0.00006 | 0.00753 |
| 200 | 82.56 | 28.31 | 47.63 | 0.91 | 67.96 | 0.9976 | 0.0088 | 0.88891 | 0.00043 | 0.02069 |
| 220 | 80.21 | 25.96 | 42.89 | 0.75 | 70.62 | 0.8303 | 0.0079 | 0.73152 | 0.00038 | 0.01956 |
| 240 | 78.24 | 23.99 | 38.20 | 0.62 | 72.85 | 0.6846 | 0.0066 | 0.60112 | 0.00029 | 0.01707 |
| 270 | 75.85 | 21.60 | 31.37 | 0.46 | 75.55 | 0.5376 | 0.0054 | 0.44702 | 0.00010 | 0.00996 |
| 300 | 74.10 | 19.85 | 25.31 | 0.34 | 77.53 | 0.3980 | 0.0039 | 0.33225 | 0.00004 | 0.00669 |
| 330 | 72.82 | 18.57 | 20.17 | 0.25 | 78.98 | 0.2958 | 0.0029 | 0.24730 | 0.00003 | 0.00530 |
| 360 | 71.98 | 17.73 | 16.38 | 0.20 | 79.93 | 0.2243 | 0.0019 | 0.18478 | 0.00012 | 0.01116 |
| 390 | 71.33 | 17.08 | 13.20 | 0.15 | 80.67 | 0.1740 | 0.0015 | 0.13900 | 0.00017 | 0.01310 |
| 420 | 71.00 | 16.75 | 11.49 | 0.13 | 81.04 | 0.1410 | 0.0007 | 0.10563 | 0.00059 | 0.02421 |
| | | | | | | | | Promedio = | 0.00096 | |
| | | | | | | | | S ² (Residuo) | | 0.00075 |
| | | | | | | | | S ² (Experimental) | | 2.63546 |
| | | | | | | | | R ² | | 0.99971 |
| | | | | | | | | X ² | | 0.00004 |
| | | | | | | | | RMSE | | 1.63535E-05 |

| k= 0.00810323 | | | k= 0.00848766 | | |
|-------------------|---------|-----------------|----------------|---------|--------------|
| | | | n= 1.03925397 | | |
| | | | a= 0.00000000 | | |
| X_mod(Newton)(BS) | (dif^2) | Residuo(Newton) | X_mod(Log)(BS) | (dif^2) | Residuo(log) |
| 4.95948 | 0.00000 | 0.00000 | 5.15337 | 0.03759 | -0.19389 |
| 4.57501 | 0.00550 | 0.07419 | 4.73565 | 0.00747 | -0.08645 |
| 4.22046 | 0.01144 | 0.10698 | 4.35191 | 0.00060 | -0.02447 |
| 3.89351 | 0.02413 | 0.15534 | 3.99941 | 0.00245 | 0.04945 |
| 3.59202 | 0.03703 | 0.19243 | 3.67558 | 0.01185 | 0.10886 |
| 3.31398 | 0.05243 | 0.22898 | 3.37811 | 0.02717 | 0.16485 |
| 3.05759 | 0.02234 | 0.14945 | 3.10485 | 0.01044 | 0.10220 |
| 2.70993 | 0.02598 | 0.16119 | 2.73608 | 0.01824 | 0.13505 |
| 2.40207 | 0.00440 | 0.06637 | 2.41139 | 0.00325 | 0.05705 |
| 2.12943 | 0.00001 | 0.00376 | 2.12551 | 0.00006 | 0.00768 |
| 1.88801 | 0.00067 | -0.02597 | 1.87381 | 0.00014 | -0.01178 |
| 1.60853 | 0.00354 | -0.05948 | 1.58438 | 0.00125 | -0.03533 |
| 1.37086 | 0.00621 | -0.07881 | 1.34014 | 0.00231 | -0.04809 |
| 1.16875 | 0.00691 | -0.08311 | 1.13403 | 0.00234 | -0.04838 |
| 0.99688 | 0.00762 | -0.08729 | 0.96010 | 0.00255 | -0.05050 |
| 0.85073 | 0.00993 | -0.09965 | 0.81333 | 0.00387 | -0.06224 |
| 0.72644 | 0.01172 | -0.10824 | 0.68947 | 0.00508 | -0.07127 |
| 0.57399 | 0.01369 | -0.11700 | 0.53897 | 0.00672 | -0.08199 |
| 0.45443 | 0.01334 | -0.11549 | 0.42231 | 0.00695 | -0.08337 |
| 0.36068 | 0.01168 | -0.10808 | 0.33187 | 0.00628 | -0.07927 |
| 0.28716 | 0.00832 | -0.09122 | 0.26176 | 0.00433 | -0.06582 |
| 0.22951 | 0.00599 | -0.07741 | 0.20742 | 0.00306 | -0.05532 |
| 0.18429 | 0.00297 | -0.05446 | 0.16529 | 0.00126 | -0.03545 |
| | 0.01243 | | | 0.00719 | |
| | | 0.01299 | | | 0.00718 |
| | | 2.63546 | | | 2.63546 |
| | | 0.99507 | | | 0.99727 |
| | | 0.00062 | | | 0.00034 |
| | | 0.000282426 | | | 0.000156156 |

| k= 0.00810323 | | | k= 0.00848766 | | |
|-------------------|---------|-----------------|----------------|---------|--------------|
| | | | n= 1.03925397 | | |
| | | | a= 0.00000000 | | |
| X_mod(Newton)(BS) | (dif^2) | Residuo(Newton) | X_mod(Log)(BS) | (dif^2) | Residuo(log) |
| 4.95948 | 0.00000 | 0.00000 | 5.15337 | 0.03759 | -0.19389 |
| 4.57501 | 0.00550 | 0.07419 | 4.73565 | 0.00747 | -0.08645 |
| 4.22046 | 0.01144 | 0.10698 | 4.35191 | 0.00060 | -0.02447 |
| 3.89351 | 0.02413 | 0.15534 | 3.99941 | 0.00245 | 0.04945 |
| 3.59202 | 0.03703 | 0.19243 | 3.67558 | 0.01185 | 0.10886 |
| 3.31398 | 0.05243 | 0.22898 | 3.37811 | 0.02717 | 0.16485 |
| 3.05759 | 0.02234 | 0.14945 | 3.10485 | 0.01044 | 0.10220 |
| 2.70993 | 0.02598 | 0.16119 | 2.73608 | 0.01824 | 0.13505 |
| 2.40207 | 0.00440 | 0.06637 | 2.41139 | 0.00325 | 0.05705 |
| 2.12943 | 0.00001 | 0.00376 | 2.12551 | 0.00006 | 0.00768 |
| 1.88801 | 0.00067 | -0.02597 | 1.87381 | 0.00014 | -0.01178 |
| 1.60853 | 0.00354 | -0.05948 | 1.58438 | 0.00125 | -0.03533 |
| 1.37086 | 0.00621 | -0.07881 | 1.34014 | 0.00231 | -0.04809 |
| 1.16875 | 0.00691 | -0.08311 | 1.13403 | 0.00234 | -0.04838 |
| 0.99688 | 0.00762 | -0.08729 | 0.96010 | 0.00255 | -0.05050 |
| 0.85073 | 0.00993 | -0.09965 | 0.81333 | 0.00387 | -0.06224 |
| 0.72644 | 0.01172 | -0.10824 | 0.68947 | 0.00508 | -0.07127 |
| 0.57399 | 0.01369 | -0.11700 | 0.53897 | 0.00672 | -0.08199 |
| 0.45443 | 0.01334 | -0.11549 | 0.42231 | 0.00695 | -0.08337 |
| 0.36068 | 0.01168 | -0.10808 | 0.33187 | 0.00628 | -0.07927 |
| 0.28716 | 0.00832 | -0.09122 | 0.26176 | 0.00433 | -0.06582 |
| 0.22951 | 0.00599 | -0.07741 | 0.20742 | 0.00306 | -0.05532 |
| 0.18429 | 0.00297 | -0.05446 | 0.16529 | 0.00126 | -0.03545 |
| | 0.01243 | | | 0.00719 | |
| | | 0.01299 | | | 0.00718 |
| | | 2.63546 | | | 2.63546 |
| | | 0.99507 | | | 0.99727 |
| | | 0.00062 | | | 0.00034 |
| | | 0.000282426 | | | 0.000156156 |