

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Presentado por
JHENRY VÁSQUEZ OSCCO

**CINÉTICA, COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD Y CONTENIDO
DE ANTOCIANINAS EN LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA
DE FRAMBUESA HERITAGE (*Rubus idaeus*).**

Asesor:

Dr. JULIO CESAR SICHEZ MUÑOZ

Co-Asesor:

Mg. CELIA ROCÍO YAURIS SILVERA

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**ANDAHUAYLAS – APURÍMAC – PERÚ
2018**



APROBACION DEL ASESOR

Quién suscribe:

Dr. Ing. JULIO CESAR SICHEZ MUÑOZ, por la presente:

CERTIFICA,

Que, el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **JHENRY VÁSQUEZ OSCCO**; ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado: **“CINÉTICA, COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD Y CONTENIDO DE ANTOCIANINAS EN LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE FRAMBUESA HERITAGE (*Rubus idaeus*)”**. para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial en la Universidad Nacional José María Arguedas

Andahuaylas, 04 de enero del 2019

Dr. Julio Cesar Sichez Muñoz
Asesor

Br. Jhenry Vásquez Oscoco
Tesista



APROBACION DEL CO-ASESOR

Quién suscribe:

Mg. Ing. CELIA ROCIO YAURIS SILVERA, por la presente:

CERTIFICA,

Que, el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **JHENRY VÁSQUEZ OSCCO**; ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado: **“CINÉTICA, COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD Y CONTENIDO DE ANTOCIANINAS EN LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE FRAMBUESA HERITAGE (*Rubus idaeus*)”**. para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial en la Universidad Nacional José María Arguedas

Andahuaylas, 03 de enero del 2019

.....
Ing. Mg. Celia Rocio Yauris Silvera
Co-Asesor

.....
Br. Jhenry Vásquez Oscco
Tesista



FACULTAD DE INGENIERIA

**ACTA DE SUSTENTACION
DE TESIS**

En la Av. 28 de julio N° 1103 del Local Académico SL02 (Santa Rosa) en el Salón de Grados de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas ubicado en el distrito de Talavera de la Reyna de la Provincia de Andahuaylas, siendo las 11:00 horas del día 19 de diciembre del año 2018, se reunieron los docentes: MSc. Fidelia Tapia Tadeo, Ing. Fredy Taípe Pardo, MSc. David Choque Quispe, en condición de integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: "CINÉTICA, COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD Y CONTENIDO DE ANTOCIANINAS EN LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE FRAMBUESA HERITAGE (*RUBUS IDAEUS*)", cuyo autor es el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **JHENRY VÁSQUEZ OSCCO**, el asesor Dr. Julio Cesar Sichez Muñoz y Co-Asesora Mg. Celia Rocio Yauris Silvera con el propósito de proceder a la sustentación y defensa de dicha tesis.

Luego de la sustentación y defensa de la tesis, el Jurado Evaluador **ACORDÓ: APROBAR** por **UNANIMIDAD** al Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **JHENRY VÁSQUEZ OSCCO**, obteniendo la siguiente calificación y mención:

Nota escala vigesimal		Mención
Números	Letras	
16	Dieciseis	Muy BUENO

En señal de conformidad, se procedió a la firma de la presente acta en 03 ejemplares.


MSc. Fidelia Tapia Tadeo
Presidente del Jurado Evaluador


Ing. Fredy Taípe Pardo
Primer Miembro del Jurado Evaluador


MSc. David Choque Quispe
Segundo Miembro del Jurado Evaluador



APROBACIÓN DEL JURADO DICTAMINADOR

LA TESIS: CINÉTICA, COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD Y CONTENIDO DE ANTOCIANINAS EN LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE FRAMBUESA HERITAGE (*Rubus idaeus*); para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, ha sido evaluada por el Jurado Dictaminador conformado por:

PRESIDENTE: MSc. FIDELIA TAPIA TADEO

PRIMER MIEMBRO: Ing. FREDY TAIPÉ PARDO

SEGUNDO MIEMBRO: MSc. DAVID CHOQUE QUISPE

Habiendo sido aprobado por UNANIMIDAD, en la ciudad de Andahuaylas el día 19 del mes de diciembre de 2018

Andahuaylas, 21 de diciembre de 2018.

MSc. FIDELIA TAPIA TADEO
PRESIDENTE DEL JURADO DICTAMINADOR

Ing. FREDY TAIPÉ PARDO
PRIMER MIEMBRO DEL JURADO DICTAMINADOR

MSc. DAVID CHOQUE QUISPE
SEGUNDO MIEMBRO DEL JURADO DICTAMINADOR

DEDICATORIAS

A Dios

Quien me ilumina por buen camino, y por darme la bendición y las fuerzas para seguir logrando mis objetivos planteados.

A mis queridos padres

Rómulo y Cleofé, por ser el motivo fundamental en todo lo que soy y por su incondicional apoyo que me dieron cuando estuve en la universidad.

A mis hermanos

Hamilton, Edíson y Yuri Por toda la amistad, el cariño y la motivación constante que me dieron.

AGRADECIMIENTO

- ✓ En primer lugar, agradecer a mis padres por darme la vida y por brindarme todo el apoyo incondicional a lo largo de mi formación profesional, quienes siempre estuvieron en los momentos que necesite, no solo como padres, si no como mejores amigos.

- ✓ A mi alma mater la Universidad Nacional José María Arguedas – Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIA), por haberme acogido en sus aulas durante los cinco años de estudio, también por permitirme el acceso al laboratorio de Química para realizar la presente tesis.

- ✓ En particular mi reconocimiento a mi Asesor de tesis Ing. MSc. Julio Cesar Sichez Muñoz y a mi Co-Asesora Ing. Mg. Celia Rocio Yauris Silvera, quienes desde el primer momento me brindaron su apoyo a lo largo de esta etapa de tesis guiándome y exigiéndome durante todo el desarrollo de esta investigación.

- ✓ A los jurados de tesis al Ing. MSc. Fidelia Tapia Tadeo, Ing. Fredy Taipe Pardo y al Ing. MSc. David Choque Quispe; quienes dignamente colaboraron con sus conocimientos y correcciones para la mejora de mi proyecto e informe final de investigación.

ÍNDICE

	Página
APROBACIÓN DE ASESOR.....	ii
APROBACIÓN DE CO-ASESOR	iii
ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	iv
APROBACIÓN DEL JURADO DICTAMINADOR.....	v
DEDICATORIAS	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
UNIDADES Y SÍMBOLOS.....	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRAC	xv
CHUMASQA	xvi
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.2. Justificación de la investigación	5
1.3. Problema de investigación	6
1.4. Hipótesis de investigación	6
1.5. Variables de investigación	7
1.6. Objetivo de investigación	7
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	9
2.1. LA FRAMBUESA (<i>Rubus idaeus</i>).....	9
2.1.1. Clasificación taxonómica de frambuesa heritage (<i>Rubus idaeus</i>).....	10
2.1.2. Características de la frambuesa heritage (<i>Rubus idaeus</i>).....	10
2.1.3. Variedades de la frambuesa heritage (<i>Rubus idaeus</i>).....	10
2.1.4. Composición química y valor nutricional de la frambuesa heritage	11
2.1.5. Usos de frambuesa heritage	12
2.2. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	12
2.2.1. Etapas de deshidratación osmótica	14
2.2.2. Osmosis.....	15
2.2.3. Factores que afectan en el proceso de deshidratación osmótica	16
2.2.4. Solutos empleados en deshidratación osmótica	17

2.2.5. Cinética de deshidratación osmótica.....	18
2.2.6. Difusión.....	18
2.2.7. Difusión efectiva	19
2.2.8. Segunda Ley de Fick	20
2.3. ANTOCIANINAS.....	22
2.3.1. Naturaleza química	22
2.3.2. Propiedades físico-químicas	25
2.3.3. Factores que afectan su estabilidad de las antocianinas	26
2.3.4. Beneficios en la salud de las antocianinas	29
CAPÍTULO 3: MATERIALES Y METODOLOGÍA	30
3.1. MATERIALES	30
3.1.1. Lugar de ejecución	30
3.1.2. Material de estudio	30
3.1.3. Población y muestra	30
3.1.4. Equipos, materiales y reactivos e insumos de laboratorio	31
3.2. Metodología	32
3.2.1. Tratamiento de la muestra	32
3.2.2. Acondicionamiento de las muestras.....	33
3.2.3. Preparación de la solución osmótica.....	33
3.3. Deshidratación osmótica de frambuesa heritage	33
3.4. Método de análisis.....	36
3.4.1. Evaluación de la cinética de deshidratación osmótica.....	36
3.4.2. Determinación de la difusividad efectiva de la sacarosa	37
3.5. Contenido de antocianinas después de deshidratado osmótico de frambuesa heritage.....	38
3.5.1. Preparación de buffers.....	38
3.5.3. Contenido de antocianinas	40
3.6. Diseño experimental	41
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	43
4.1. Resultados preliminares	43
4.1.1. Características físicas de la frambuesa heritage (<i>Rubus idaeus</i>).....	43
4.1.2. Tiempo de deshidratado osmótico de frambuesa heritage.....	43
4.2. Cinética de deshidratación osmótica de la frambuesa heritage.....	45
4.2.1. Pérdida de peso.....	45

4.2.2. Pérdida de agua	48
4.2.3. Ganancia de sólidos solubles	51
4.3. Difusividad efectiva en la deshidratación osmótica de frambuesa heritage.....	54
4.4. Contenido de antocianinas totales después del deshidratado osmótico de frambuesa heritage	56
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	61
REFERENCIA BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	69

ÍNDICE TABLAS

	Página
Tabla 01. Composición nutricional de la frambuesa heritage.....	11
Tabla 02. Instrumentos y equipos.....	31
Tabla 03. Materiales.....	31
Tabla 04. Material de estudio	32
Tabla 05. Reactivos e insumos.....	32
Tabla 06. Matriz de tratamiento	42
Tabla 07. Características de la frambuesa heritage.....	43
Tabla 08. Tiempo de deshidratado osmótico de frambuesa heritage.....	44
Tabla 09. Valores de la difusividad efectiva de concentración 50 °Brix para diferentes temperaturas en la deshidratación osmótica de frambuesa heritage.	54
Tabla 10. Valores de la difusividad efectiva de concentración 60 °Brix a diferentes temperaturas en la deshidratación osmótica de frambuesa heritage.....	55
Tabla 11. Contenido de antocianinas totales al final de cada etapa del proceso de deshidratación osmótica de frambuesa.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 01. Fruto de frambuesa heritage.	9
Figura 02. Diagrama de transferencia de masa.....	13
Figura 03. Primera etapa de la deshidratación osmótica.....	14
Figura 04. Última etapa de la deshidratación osmótica.	15
Figura 05. Permeabilidad de membranas.....	16
Figura 06. Difusión para un volumen de esfera.....	19
Figura 07. Estructura básica de las antocianinas.	23
Figura 08. Grupos radicales para los diferentes tipos de antocianinas.	25
Figura 09. Diagrama de flujo cualitativo de la deshidratación osmótica de frutos de frambuesa heritage.	34
Figura 10. Diagrama de flujo cualitativa para la determinación de antocianinas.	39
Figura 11. Variación porcentual de pérdida de peso en la deshidratación osmótica de frambuesa heritage.	45
Figura 12. Gráfica de interacción para la variación porcentual de pérdida de peso con respecto a concentración y temperatura.	47
Figura 13. Variación porcentual de pérdida de agua en la deshidratación osmótica de frambuesa heritage.	48
Figura 14. Gráfica de Interacción para la variación porcentual de perdida de agua con respecto a la concentración y temperatura.....	50
Figura 15. Ganancia de sólidos solubles en la deshidratación osmótica de frambuesa heritage.....	51
Figura 16. Grafica de Interacción para la ganancia de solidos solubles con respecto a la concentración de sacarosa y temperatura.	53
Figura 17. Concentración de antocianinas totales cuantificadas después de cada etapa del proceso de deshidratación osmótica.	57
Figura 18. Grafica de interacción para el contenido de antocianinas en la deshidratación osmótica de frambuesa heritage.....	59

UNIDADES Y SÍMBOLOS

DO	: Deshidratación osmótica
PP	: Pérdida de peso
PA	: Pérdida de agua
ANOVA	: Análisis de varianza.
GS	: Ganancia de sólidos
pH	: Potencial de hidrogeniones.
N	: Normalidad.
l	: Litros.
cm	: Centímetros.
m	: Metros.
mL	: Mililitros.
msnm	: Metros sobre el nivel del mar.
KCl	: Cloruro de potasio.
HCl	: Ácido clorhídrico.
g	: Gramos.
Δ Abs	: Variación de absorbancias.
Abs	: Absorbancia de la muestra.
MW	: Peso molecular de la Cianidina-3-glucosido (449.6 g/mol).
DF	: Factor de dilución.
V_f	: Volumen final en litros.
P_0	: Peso inicial
P_f	: Peso final
C_0	: concentración inicial
C_f	: concentración final
θ	: Tiempo (s).
r	: Es el radio promedio
Def	: Difusividad efectiva
°Brix	: Grados Brix
T°	: Temperatura
°H	: Humedad
h	: Hora
min	: Minuto

RESUMEN

La frambuesa heritage (*Rubus idaeus*) es un fruto, conocido también como fresa del bosque que está siendo poco revalorado por el hombre. El objetivo de este trabajo fue deshidratar osmóticamente la frambuesa heritage en una solución de sacarosa, luego el trabajo fue realizado en el laboratorio de química de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas. Así mismo se determinó la cinética de deshidratación osmótica por el método de Azuara, también se realizó el cálculo del coeficiente de Difusividad efectiva para esferas mediante el modelo de Crank y por último se determinó el contenido de antocianinas después del deshidratado osmótico. Los tratamientos se analizaron bajo un diseño factorial mixto de 2x3, con tres niveles de temperatura (40, 50 y 60°C) y dos niveles de concentración de sacarosa (50 y 60 °brix) todo esto por triplicado. Determinándose como pérdida de peso y pérdida de agua a temperatura de 60 °C y concentración 60 °Brix los valores más altos y la ganancia de sólidos solubles el nivel más alto fue a una concentración de 50 °brix y temperatura de 60 °C. Para la difusividad efectiva de sacarosa (azúcar) el máximo valor para n=1 fue de $4.05E-10 \text{ m}^2/s$, para n=5 fue de $3.81E-10 \text{ m}^2/s$ y para n=10 es $3.81E-10 \text{ m}^2/s$ que se muestra en el tratamiento de concentración 50 °Brix y a temperatura de 40 °C. El contenido de antocianinas se determinó cuando la frambuesa llegó a un equilibrio osmótico, donde el máximo valor registrado de contenidos de antocianinas es 67.42 mg cianidina - 3 glucosido/100 gr muestra a una concentración de 50 °Brix y una temperatura de 40 °C con respecto al contenido inicial de frambuesa. Los factores de concentración de sacarosa y temperatura con valores-P menor a 0.05, en el análisis de varianza muestran un efecto significativo sobre la cinética de deshidratado osmótico con un 95% de nivel de confianza, así mismo también el contenido de antocianinas muestra una diferencia significativa respecto al tratamiento inicial de la frambuesa.

Palabras claves: Deshidratación osmótica, contenido de antocianinas, coeficiente difusividad

ABSTRAC

The raspberry heritage (*Rubus idaeus*) is a fruit, also known as strawberry of the forest that is being little revalued by man. The objective of this work was to osmotically dehydrate the raspberry heritage in a sucrose solution, then the work was done in the chemistry laboratory of the Professional School of Agroindustrial Engineering of the National University José María Arguedas. Likewise, the kinetics of osmotic dehydration was determined by the Azuara method, the calculation of the effective diffusivity coefficient for spheres was also carried out using the Crank model and finally the content of anthocyanins was determined after the osmotic dehydration. The treatments were analyzed under a mixed factorial design of 2x3, with three temperature levels (40, 50 and 60 °C) and two levels of sucrose concentration (50 and 60 °brix) all in triplicate. Determining as loss of weight and loss of water at a temperature of 60 °C and a concentration of 60 °Brix the highest values and the gain of soluble solids the highest level was at a concentration of 50 °brix and temperature of 60 °C. For the effective diffusivity of sucrose (sugar) the maximum value for $n = 1$ was $4.05E-10 \text{ m}^2/\text{s}$, for $n = 5$ it was $3.81E-10 \text{ m}^2/\text{s}$ and for $n = 10$ it was $3.81E-10 \text{ m}^2/\text{s}$ shown in the 50 °Brix concentration treatment and at a temperature of 40 °C. The content of anthocyanins was determined when the raspberry reached an osmotic equilibrium, where the maximum registered value of anthocyanin contents is 67.42 mg cyanidin - 3 glucoside / 100 gr sample at a concentration of 50 °Brix and a temperature of 40 °C with regarding the initial raspberry content. The factors of concentration of sucrose and temperature with P-values less than 0.05, in the analysis of variance show a significant effect on the kinetics of dehydrated osmotic with a 95% level of confidence, likewise also the content of anthocyanins shows a difference significant with respect to the initial treatment of raspberry.

Key words: Osmotic dehydration, anthocyanin content, diffusivity coefficient.

CHUMASQA

Kunan punchawkunaqa kachkanmi huk hukmanyachiy allin chanincharisqa, hinaspanmi llapallan yachay maskaqqunapa sunqunta suwachkan, chay raykun kay llamkaypi hapirinchiq “frambuesa heritage (*Rubus idaeus*)” nisqata Compuerta ayllumanta, Pacucha llaqatapi, Andahuaylaspi, Apurimac tiksipi suyupi, kay llamkaymi qispichisqa karqa laboratorio de química nisqapi hatu hatun yachay wasi taripayninpi. Kay llamkaywanmi “concentración de soluto” nisqa, chaynallataq “temperatura en la cinética” nisqa, “coeficiente de difusividad” nisqa chaynallataq “antocianinas en la deshidratación osmótica” nisqakuna “frambuesa heritage (*Rubus idaeus*)” imayna kapusqanmanta qatiparinchiq. Chay “diseño factorial mixto” churasqa karqa $2 \times 3 = 6$ sumaq chuquchasqa, kimsa niraqa qunñiriykunapi (40 °C, 50 °C y 60 °C), iskay niraqpi chay “concentración de sacarosa” nisqapas (50 y 60 °Brix) kimsa chuquchasqapi. Chaynallataqmi “cinética” yacharinchiq ruwarispa: llasaynin pisiyachiy (PP), yakun pisiyachiy (PA) y chuchuyaynin yapakuy (GS) sapa 30 tullmi. Qatiparispanchiqmi yacharirqanchiq “coeficiente de Difusividad efectiva y contenido de antocianinas totales” nisqatapas. llasaynin pisiyachinapaq, yakun pisiyachiypi, chuchuyaynin yapakuypas karqa 60 °C nisqapi, chaynallataq “concentración 60 °Brix con valores de 17.17 % y 11.47 %” sapankamapa, chuchuyaynin yakupi chulluynimpas yapakun aswantaraq 17.97 % nisqapi, “concentración de 50 °brix” nisqapas quñiriyinpas 60 °C nisqakama aypan. “difusividad efectiva de sacarosa” (miski kaynin) lumpay kanampi $n=1$ karqa $4.04399E-10 \text{ m}^2/s$, kanampaq $n=5$ karqa $3.807974E-10 \text{ m}^2/s$ hinaspa kanampaq $n=10$ es $3.803512E-10 \text{ m}^2/s$ “tratamiento de concentración” nisqapas aypan 60 °Brix nhinaspa 60 °C quñiriyinpi. Antocianinas kapuynimpas qatipaspa tarisqa karqa “frambuesa” nisqa equilibrio osmótico” allinta huntapariptinmi, chaypin aswan allin kayninpi chay “contenidos de antocianinas” nisqapas chayan 67.42 mg cianidina-3glucosido/100 g, qawarichikuntaq “concentración” nisqata 50 °Brix chaynallataqmi quñiriyinpi ayparqa 40 °C qallariynimpi frambuesa nisqa kasqanmanta.

Chaninchasqa rimariykuna: Deshidratación Osmótica, Antocianinas Totales, Coeficiente Difusividad

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

La frambuesa de variedad heritage después de ser cosechada el ritmo respiratorio y temperatura incrementan, por este efecto que muy frecuentemente no se observa la comercialización de este fruto, asimismo se ha observado que las condiciones atmosféricas de nuestra zona vienen a constituirse como un aliado que contribuye en el proceso de deterioro del producto, que trae como consecuencia que la calidad comercial se vea mermada, conjuntamente con los atributos sensoriales y la vida en anaquel. Por lo que se propone la deshidratación osmótica para evitar en alguna medida que este producto pierda su calidad y tenga mejores oportunidades de uso. El proceso de deshidratación osmótica está basado en un fenómeno natural y no destructivo a través de la membrana celular de las frutas y vegetales. La deshidratación osmótica es muy útil como pretratamiento, debido a la modificación de la composición química de la fruta o vegetal que ocurre con la pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos. Una de las características de esta transformación de deshidratación osmótica es el mejoramiento y conservación de algunas propiedades sensoriales, nutricionales y funcionales, así como la estabilidad en el almacenamiento. (Morales, 1999).

En la deshidratación osmótica ocurre la difusión de solutos de la solución al alimento, originándose así una transferencia de masa desde la región de mayor concentración hacia la de menor concentración, con lo cual se origina dos flujos principales una salida de agua desde el alimento hacia la solución y otra la entrada de solutos desde la solución hacia el alimento, ambos flujos se ven afectados por factores tales como la temperatura de trabajo, la concentración de la solución, el tipo de soluto usado y las características propias del alimento. Las antocianinas son compuestos hidrosolubles y altamente inestables cuando hay la presencia de temperatura, la deshidratación osmótica se realiza con la presencia de la temperatura y la solución osmótica, donde estos factores pueden afectar en la estabilidad de las antocianinas, por lo cual el objetivo de este trabajo fue de conocer la influencia de la concentración de sacarosa y temperatura en la cinética, coeficiente de difusividad y contenido de antocianinas después del deshidratado osmótico de frambuesa heritage (*Rubus idaeus*) (Sierra y selva Exportadora, 2015).

1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Internacional

Giraldo, G., Duque, A. (2005) desarrollaron la deshidratación osmótica como pretratamiento en la conservación de mora (*Rubus glaucus*) y aguaymanto (*Physalis peruviana L.*), sometiendo a deshidratación osmótica en disoluciones de sacarosa a 25, 35, 45, 55 y 65 °Brix a temperatura ambiente. La cinética se determina en tiempos cortos (60 min), mientras que el equilibrio se realiza en tiempos largos (420 minutos). En ambos casos se analiza la ganancia de azúcar, pérdida de agua, variación de masa y volumen de las muestras. La cinética de la mora muestra la mejor respuesta en el tratamiento con disolución de sacarosa a 65 °Brix, y el equilibrio se alcanza entre 7 horas, mientras que la cinética de deshidratación en aguaymanto presenta una buena respuesta en disoluciones a 65 y 55 °Brix y presión atmosférica, y el equilibrio es alcanzado a las 6.5 horas.

Mejia D. (2016) desarrollo el proceso de extracción de antocianinas, donde se realizó con los frutos de frambuesa de la variedad Heritage, utilizando el método de ph diferencial se obtuvo la mayor concentración de antocianinas totales es a temperatura de 30 °C empleando un tiempo de extracción de 30 minutos (93,9 mg/g de fruta fresca), mientras que a 60 °C fue de 0,839 mg/g de fruta fresca y a 50 °C la concentración fue de 51.6 mg/g de fruta fresca empleando el mismo tiempo de extracción.

Campos, A., y Flores, D. (2012) estudiaron la deshidratación osmótica de placas de chayote (*Sechium edule*) utilizando soluciones hipertónicas de sacarosa a concentraciones de 40, 50 y 60 % y cloruro de sodio en 5, 10 y 15 % a diferentes temperaturas: 40 °C, 50 °C y 60 °C. Las placas fueron sumergidas en las soluciones en una relación de 1:20 durante 2 horas. Se observó que la concentración del soluto osmótico y la temperatura son directamente proporcionales a la pérdida de agua y a la ganancia de sólidos en placas de chayote. El cloruro de sodio genera una menor ganancia de sólidos y una menor pérdida de agua en comparación con la sacarosa en placas de chayote. El proceso de ósmosis en el chayote favorece la inclusión de este en el desarrollo de nuevos productos alimentarios.

Nacional

Silva J. (2018) desarrollo la determinación de temperatura y concentración de soluto en la deshidratación osmótica de arándano, donde las variables del proceso estudiadas fueron los °Brix de la solución osmótica y la temperatura, las cuales tomaron los siguientes rangos 55, 60 y 65 °Brix y 40, 50 y 60 °C respectivamente, y las variables de respuestas fueron: la pérdida de humedad, ganancia de sólidos solubles en el fruto y adicionalmente se realizó el estudio de difusividad. Los valores óptimos en el proceso de deshidratación osmótica fueron: temperatura 56 °C y concentración de solución osmótica 65 °Brix, bajo estas condiciones se logró extraer 1.9842 Kg agua/Kg s.s de agua, para la difusividad efectiva (D_{ef}) y la difusividad del agua en el sólido (D_s) en el proceso de osmodeshidratación, correspondientes al tiempo máximo ensayado 5h.

Cerdán, K., López, C. (2006) investigaron el efecto de concentración del soluto en la deshidratación osmótica de aguaymanto y de esta manera se pudo obtener los solutos específicos para dicha experimentación que fue la sal y el azúcar, donde obtuvieron los resultados esperados en pérdida de humedad donde el porcentaje de humedad máxima perdida llego de 82.20 hasta 57.50% ello fue producido por la solución sacarosa a una concentración al 30% de azúcar, así como también el porcentaje de ganancia de sólidos obtenidos llego de 17.70 hasta 40.03%; lo cual se refleja en las curvas de difusividad con sus respectivas ecuaciones Difusividad al (30%) = $4 \times 10^{-9} m^2/s$ para pérdida de humedad así mismo difusividad al (30%) = $2.5 \times 10^{-9} m^2/s$ para la ganancia de sólidos con el ajuste del modelo matemático, utilizando la ley de fick.

Mendoza, R., Sanchez, A., (2008) desarrollaron el cálculo de los parámetros de transferencia de masa durante la cinética de deshidratación osmótica de la manzana mediante un algoritmo, se aplicó a muestras de manzana de geometría cilíndrica y esfera, bajo condiciones ambientales de presión y temperatura en una solución osmótica de sacarosa a 67.5 °Brix, Con esto se logró evaluar parámetros como pérdida neta de peso, perdida de agua, ganancia de solutos y difusividad efectiva. Obteniendo que la geometría dependa de las necesidades de perdida de agua y ganancia de solutos, se empleará la geometría cilíndrica (menor área superficial); pero si se desea favorecer la ganancia de sólidos y moderará la perdida de agua, se empleará la geometría esférica (mayor área superficial).

Ponce J. (2017) investigo el efecto del deshidratado osmótico en la estabilidad de antocianinas del saúco (*Sambucus peruviana*) a diferentes temperaturas y concentraciones de sólidos solubles de 40 °Brix, 50 °Brix y 60 °Brix y a temperaturas de 20 °C, 45 °C y 60 °C, obteniendo que el contenido de antocianinas donde se degrada a mayor temperatura y a menor concentración de jarabe de sacarosa siendo a (60 °C; 40 °Brix) y el tratamiento donde se degrada menos las antocianinas es en (20 °C; 60 °Brix).

Leyva S. (2009) desarrollo la determinación de coeficientes de difusividad másica en la deshidratación osmótica del pepino dulce (*Solanum muricatum aiton*), teniendo como objetivo evaluar el efecto de la solución osmótica y la temperatura sobre el coeficiente de transferencia de masa en el deshidratado osmótico del pepino dulce, determino que los coeficientes difusionales de sólidos solubles en el proceso de deshidratado osmótico de placas de pepino dulce sometidos a soluciones de sacarosa a concentraciones de 40, 50 y 60 °Brix mantenidos a temperaturas controlados de 30, 40 y 50 °C, la difusividad está en un rango de $0,94 \times 10^{-6}$ a $2,52 \times 10^{-6} m^2/s$.

Arreola, S., Rosas, I., Martha, M., (2007) desarrollaron coeficientes de difusión efectiva y los coeficientes de transferencia de masa para la pérdida humedad y para la ganancia de sólidos en el proceso de deshidratación osmótica de higos (*Ficus carica*), a tres concentraciones de sacarosa en solución (55, 65 y 75 %) y dos temperaturas (35 y 45 °C), Se consideró una geometría esférica y estado inestable, así como una cinética de primer orden. Los coeficientes de difusión y de transferencia de materia para agua incrementaron con la temperatura y los valores mayores se obtuvieron para una concentración de 65 % de azúcar y 35 °C. La concentración de la solución osmótica y la temperatura influyen considerablemente durante el proceso debido a que un aumento de esta última intensifica la eliminación de agua y la penetración de sacarosa.

Julca, L., Vasquez, F. (2018) estudiaron la deshidratación osmótica de mamey (*Mammea americana l.*) y su efecto en las características fisicoquímicas, el proceso de deshidratación osmótica se realizó con un grado de madurez 5,08 y se utilizaron 5 concentraciones osmóticas (sacarosa): 45, 50, 55, 60 y 65 °Brix, en relación jarabe fruta de 2:1 a temperatura ambiente, donde obteniendo los resultados de deshidratación osmótica se presenta mayor deshidratación a

concentraciones mayores; la mayor ganancia de sólidos fue 8,63 % y se obtuvo en el tratamiento de 45 °Brix; la mayor pérdida de peso y la mayor pérdida de agua lo obtuvo el tratamiento 65 °Brix con 37,76 y 43,69 % respectivamente.

Regional

Valero E. (2017) estudio el deshidratado osmótico de la papayita nativa (*Vasconcellea pubescens*) en tres agentes osmodeshidratantes (Sacarosa - azúcar comercial, Miel de abeja y Maltodextrina), para determinar la ganancia de sólidos (GS), pérdida de peso (PP) por el método de Azuara y además se realizó el cálculo del coeficiente de Difusividad efectiva mediante el modelo de Crank, determinándose que el agente de mayor capacidad osmodeshidratante fue miel de abejas (69.26% H, 7.27% PP acumulado, 16.95% GS), a diferencia de Maltodextrina que presentó mayor contenido de humedad (80.13% H) y menor ganancia de sólidos (9.38% GS). Por otro lado, se determinó la difusividad efectiva en la deshidratación osmótica de la papayita obteniendo valores de $1.2062 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ sacarosa, $1.2062 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ miel de abeja, $7.5052 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$ maltodextrina.

1.2. Justificación de la investigación

La frambuesa heritage (*Rubus idaeus*) es una de las tantas especies vegetales que no son debidamente aprovechadas, debido a que los frutos son bastantes lábiles al manipuleo post cosecha y son altamente perecibles, es dificultoso su transporte y comercialización, generándose una pérdida económica y con ello se estaría desaprovechando por desconocimiento de sus propiedades curativas como el contenido de las antocianinas que son poderosos antioxidantes que contiene el fruto (Dourojeanni, 1996). En la incidencia económica, social y ambiental que daría en nuestra región de Apurímac (se desarrollaría mediante la preservación, adaptación y domesticación de las plantas silvestres con frutos antociánicos).

La investigación se basa en un proceso novedoso que muchos de los investigadores recién están tomando mucho interés, que consiste en someter la fruta a un proceso de deshidratación osmótico y posteriormente un secado de aire caliente en la estufa. Por otra parte, se sabe que la frambuesa actualmente está experimentando un gran interés en el mercado externo, por ende, es importante buscar alternativas de procesamiento para la exportación de esta fruta, que permita

incorporar un mayor valor agregado al producto. Cabe mencionar que mediante la industrialización de frambuesa se logra incentivar el cultivo de esta fruta a través de pequeños agricultores (Silva, 2018)

Es importante saber que la deshidratación osmótica de frambuesa en el Perú es un proceso poco trabajado y mínimamente conocido. La frambuesa es una fruta que puede someterse a diferentes procesos de secado, presentando distintos resultados en cuanto a calidad y cualidades del producto, es por ello se pueden determinar las condiciones óptimas de temperatura y concentración de soluto en el procesamiento de frambuesa. Este mecanismo de deshidratación osmótica es para industrializar alargando la vida útil del producto y así mismo conservando las antocianinas totales que tiene la frambuesa.

1.3. Problema de investigación

Problema general

- ✓ ¿Cómo influye la concentración de sacarosa y temperatura en la cinética, coeficiente de difusividad y contenido de antocianinas en la deshidratación osmótica de frambuesa heritage (*Rubus idaeus*)?

Problema específico

- ✓ ¿Cómo influye la concentración de sacarosa y temperatura en la cinética de deshidratación osmótica de frambuesa heritage (*Rubus idaeus*)?
- ✓ ¿De qué manera la concentración de sacarosa y temperatura influyen en el coeficiente de difusividad efectiva en la deshidratación osmótica de frambuesa heritage (*Rubus idaeus*)?
- ✓ ¿Cómo influye de concentración de sacarosa y temperatura en el contenido de antocianinas después del deshidratado osmótico de frambuesa heritage (*Rubus idaeus*)?

1.4. Hipótesis de investigación

Hipótesis general

- ✓ La temperatura y concentración de sacarosa influyen en la cinética, coeficiente difusividad y contenido de antocianinas en el deshidratado osmótico de frambuesa heritage (*Rubus idaeus*).

Hipótesis específicas

- ✓ La temperatura y concentración de sacarosa influyen en la cinética de deshidratado osmótico de frambuesa heritage (*Rubus idaeus*).
- ✓ La temperatura y concentración de sacarosa influyen en el coeficiente de difusividad efectiva del deshidratado osmótico de frambuesa heritage (*Rubus idaeus*).
- ✓ La concentración de sacarosa y temperatura influyen en el contenido de antocianinas del deshidratado osmótico de frambuesa heritage (*Rubus idaeus*).

1.5. Variables de investigación

Variables independientes

Los parámetros para las variables independientes se consideraron según los estudios que realizó (López y Galeano 1998).

- ✓ Temperatura: 40, 50 y 60 °C
- ✓ Concentración de sacarosa: 50 y 60 °Brix.

Variables dependientes

- ✓ Cinética de deshidratación osmótica
- ✓ Coeficientes de difusividad efectiva en la deshidratación osmótica.
- ✓ Contenido de antocianinas después del deshidratado osmótico de frambuesa heritage.

1.6. Objetivo de investigación

Objetivo general

- ✓ Determinar la influencia de la concentración de sacarosa y temperatura en la cinética, coeficiente de difusividad y contenido de antocianinas en la deshidratación osmótica de frambuesa heritage (*Rubus idaeus*).

Objetivos específicos

- ✓ Determinar la influencia de la concentración de sacarosa y temperatura en la cinética del deshidratado osmótica de frambuesa heritage (*Rubus idaeus*).

- ✓ Determinar la influencia que tiene la concentración de sacarosa y temperatura en el coeficiente de difusividad efectiva del deshidratado osmótica de frambuesa heritage (*Rubus idaeus*).
- ✓ Determinar la influencia que tiene la concentración de sacarosa y temperatura en el contenido de antocianinas después del deshidratado osmótico de frambuesa heritage (*Rubus idaeus*).

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. LA FRAMBUESA (*Rubus idaeus*)

La frambuesa (*Rubus idaeus* L.), conocida también como fresa del bosque, planta que crece silvestremente en algunos de los países de clima templado. Entre todas estas especies del género *Rubus* se han realizado hibridaciones, encontrándose en el mercado mundial más de 100 variedades comerciales aptas para cultivos destinados a la exportación en fresco y procesado. Los frutos de la frambuesa son muy pequeñas de acuerdo con las condiciones de buenas prácticas agrícolas que se maneja, donde se puede encontrar tres tipos de frambuesas más conocidas: las rojas, negras y moradas, aunque también las amarillas. El tamaño de las frambuesas difiere según las variedades cuyo peso varía ente 2,5 y 5 gramos (Manzano, 2013).

El frambueso es un arbusto leñoso caducifolio que está formado por una corona perenne que cada año, a principios de la primavera, emite varias ramas o brotes directamente desde las yemas de la corona, o bien desde las divisiones que se forman a lo largo de todo el sistema radical (García, 2014).



Figura 01. Fruto de frambuesa heritage.

2.1.1. Clasificación taxonómica de frambuesa heritage (*Rubus idaeus*)

La frambuesa heritage (*Rubus idaeus*) presenta la siguiente clasificación taxonómica.

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Familia: Rosaceae, Rosoideae

Género: Rubus

Especie: R. Idaeus

Fuente: (Mantilla, 2018).

2.1.2. Características de la frambuesa heritage (*Rubus idaeus*)

La frambuesa es un fruto formado por diferentes granos rugosos y redondeados que forman una pequeña piña con aspecto circular o cónico. Cada uno de los granos dispone de un pequeño pelo dorado que sobresale del fruto y también su piel contiene un fino vello, apenas perceptible a simple vista y en su interior dispone de pequeñas semillas que pasan casi desapercibidas durante su degustación en fresco. El tamaño de su base comprende entre 15 y 20 mm de diámetro. Las tonalidades que destacan en la frambuesa roja son las amarillas y verdosas cuando son ejemplares jóvenes, y rojizas en los frutos maduros, aunque otras variedades muestran colores diferentes, al introducirlo en la boca para su degustación desprende sensaciones jugosas, carnosas, con sabores agrídulces únicos, así como aromas y perfume a frutos rojos del bosque (Sierra y Selva exportadora, 2015).

2.1.3. Variedades de la frambuesa heritage (*Rubus idaeus*)

Entre las principales variedades remontantes cultivadas en Perú tenemos la Heritage, Glen Clava, September, Lloy George y Zeva, además de la Willamette, que se cultiva de preferencia en la zona sur del Perú (Mantilla, 2008).

✓ Heritage

Es una variedad remontante donde la producción es temprana y de carácter regular. La planta es muy vigorosa y posee espinas muy marcadas en todo el tallo. Los frutos son cónicos y circulares, firmes en estado maduro, rojo brillante,

con sabor regular, presentan un tamaño relativamente pequeño; se caracterizan por su fácil liberación y la capacidad de permanecer en buenas condiciones incluso cuando están sobre maduros (Manzano, 2013).

2.1.4. Composición química y valor nutricional de la frambuesa heritage

La composición química y nutricional de la frambuesa heritage es influenciado con diversos factores, aparte de la variabilidad genética como son las prácticas culturales, el clima y el tipo de suelo. En la siguiente tabla 01 se muestra la composición nutricional de frambuesa heritage

Tabla 01. Composición nutricional de la frambuesa heritage

Compuesto (Frambuesa) 100 g	Cantidad
Calorías	31 kcal
Agua	87 g
Carbohidratos	10 g
Grasas	0.55 g
Proteínas	1 g
Fibra	6 g
Calcio	25 mg
Fósforo	30 mg
Hierro	1 g
Magnesio	25 mg
Sodio	2 mg
Potasio	170 mg
Vitamina A (Carotenos)	0.06 mg
Ácido Ascórbico	15 mg
Vitamina B6	0.04 mg
Vitamina E	1 mg

Fuente: García (2014).

Esta composición de la frambuesa ayuda a mantener en óptimas condiciones el funcionamiento cerebral, ayuda en la formación y crecimiento de huesos y protege la piel, todo esto gracias por ser el portador de la vitamina “A” y diferentes nutrientes que posee. Las frambuesas suelen resultar maravillosas para problemas de estreñimiento y todo tipo de trastornos relacionados con el tránsito intestinal (Sierra y Selva exportadora 2015).

2.1.5. Usos de frambuesa heritage

Las frambuesas se utilizan en la elaboración de salsas, vinagres, mermeladas, yogures, helados, licores aromatizados, repostería, zumos, etc. Tanto para la gran industria como para tipo artesanal, obteniéndose productos de altísima calidad. La importancia en el sector industrial es tal que el 90% de la producción mundial de frambuesa se destina para este uso, y principalmente para la elaboración de zumos concentrados. También se emplean en fitoterapia, farmacología, medicina, cosmética, o como fuente de colorantes naturales (Mantilla, 2008).

2.2. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

La deshidratación osmótica (DO) consiste en sumergir un producto alimenticio en una solución con alta presión osmótica, lo cual crea un gradiente de diferencia de concentraciones y entre el agua contenida en el alimento y el agua en la solución, originando el flujo de agua desde el interior del producto, para igualar los potenciales químicos del agua en ambos lados de las membranas de células vegetales (Cárdenas, 1996).

En el proceso ocurre una salida importante de agua desde el producto hacia la solución, una entrada de soluto es de la solución hacia el alimento y una mínima pérdida de solutos propios del alimento. Estos flujos ocurren a través de la membrana celular que posee permeabilidad diferencial regulando en cierto grado la entrada y salida de solutos, en el cual el agua se elimina sin cambio de fases (Morales, 1999).

El principal objetivo de la deshidratación osmótica de alimentos es extender la vida útil de los mismos mediante una disminución del contenido de humedad, reduciendo así la actividad de agua e inhibiendo con esto el crecimiento microbiano y la actividad enzimática, factores que provocan el deterioro de los alimentos (Ceballos, 2005). La deshidratación osmótica es el proceso de remoción del agua en el cual los materiales celulares (frutas o vegetales) son inmersos en una solución concentrada de solutos solubles.

La concentración resulta de un flujo osmótico de agua causado por el gradiente de actividad entre el agua y el soluto a través de la membrana semipermeable de la célula, entonces la concentración osmótica se da de forma simultánea al

proceso de difusión de agua y soluto. La deshidratación osmótica es el pretratamiento reportado más común usado antes del secado por aire caliente (Martínez, 2012). Este proceso consiste esencialmente en poner en contacto el producto alimenticio con una solución de azúcar o sal y permitir la difusión del agua del producto. El fenómeno de transferencia de masa que ocurre en las células de los alimentos durante la deshidratación osmótica.

La cantidad intercambiada de soluto y tiempo de inmersión depende de la concentración y temperatura de la solución osmótica. Es así como durante la DO se originan dos flujos principales y un tercero poco apreciable (Kaymak, 2000).

- Una importante salida de agua desde el producto hacia la solución
- Una entrada de soluto(s) desde la solución hacia el alimento

La deshidratación osmótica es un proceso de contra difusión simultáneo de agua y solutos donde ocurren tres tipos de transferencia de masa en contracorriente: flujo de agua del producto a la disolución, transferencia de soluto de la disolución al producto y salida de solutos del producto hacia la disolución (azúcares, ácidos orgánicos, minerales y vitaminas que forman parte del sabor, color y olor), este último flujo se desprecia ya que la salida se realiza de manera no significativa (Sablani y Rahman, 2003).

La pérdida de agua puede ser aproximadamente del 50-60% de su contenido inicial, existiendo entonces la posibilidad de producir significativas modificaciones en el volumen, forma y estructura del alimento. Así como también variaciones apreciables en los valores de los coeficientes de difusión y de transferencia de masa, etc., durante el transcurso del proceso. (Rastogi *et al.*, 2002).

Diagrama de los fenómenos de transferencia de masa que ocurren en las células de los alimentos durante la Deshidratación Osmótica.

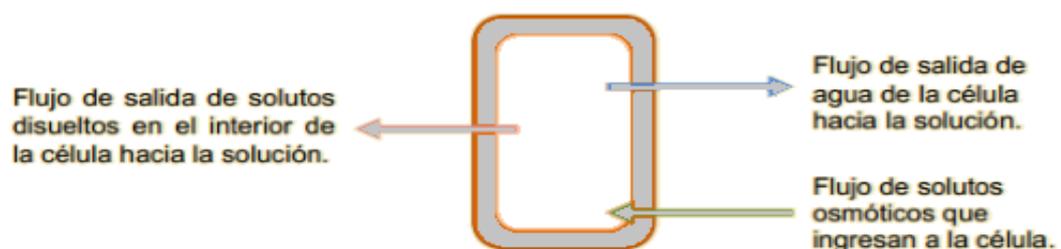


Figura 02. Diagrama de transferencia de masa.

Fuente: (Rastogi *et al.*, 2003).

Ventajas de la deshidratación osmótica sobre los alimentos son:

- ✓ Debido a que la ósmosis puede realizarse a bajas temperaturas, la alteración del color y sabor son mínimos (Cosentino *et. al.*, 1994).
- ✓ El sabor fresco de productos como las frutas se mantiene mejor si éstas se someten a deshidratación osmótica (Maltini y Torregiani, 1981).
- ✓ La estructura de los alimentos se conserva más adecuadamente debido a que la eliminación del agua se realiza sin cambio de estado (Mugurama *et. al.*, 1987).
- ✓ El proceso de deshidratación osmótica protege de la pérdida de ciertos nutrientes hidrosolubles como la vitamina C (Heng *et. al.*, 1990).

2.2.1. Etapas de deshidratación osmótica

a. Primera etapa de la deshidratación osmótica

En la primera etapa de la deshidratación se observa el alimento en estado fresco e intacto estructuralmente en donde el agua comienza a ser eliminada por capilaridad en el transcurso del proceso osmótico véase la figura 03 (Colina, 2010).

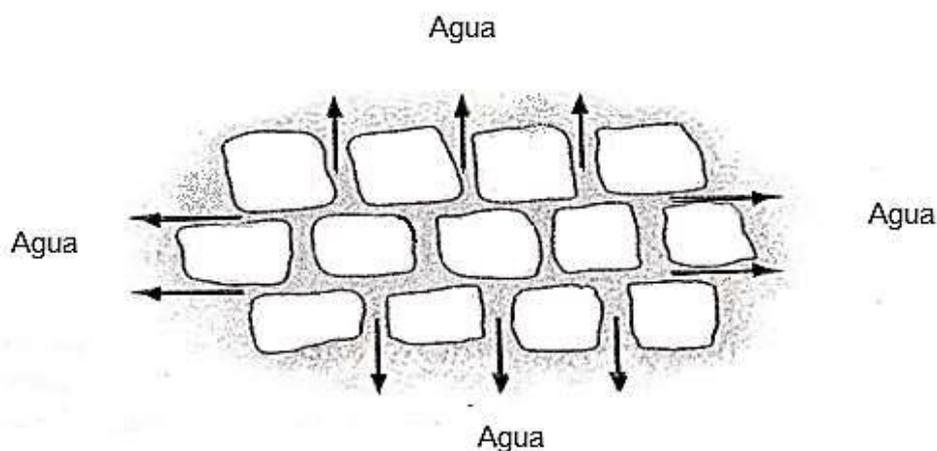


Figura 03. Primera etapa de la deshidratación osmótica.

Fuente: (Colina, 2010).

b. Última etapa de la deshidratación osmótica

El agua interna del alimento se va eliminando, en donde sus células se observan ligeramente compactadas y distribuidas hacia el exterior en un proceso de

capilaridad. Mientras que si la velocidad de eliminación de agua incrementa de forma abrupta se presenta un proceso de difusión de agua activa y acelerada en donde finalmente las células se observan deformadas y colapsadas por la influencia de la tensión superficial véase la figura 04 (Colina, 2010).

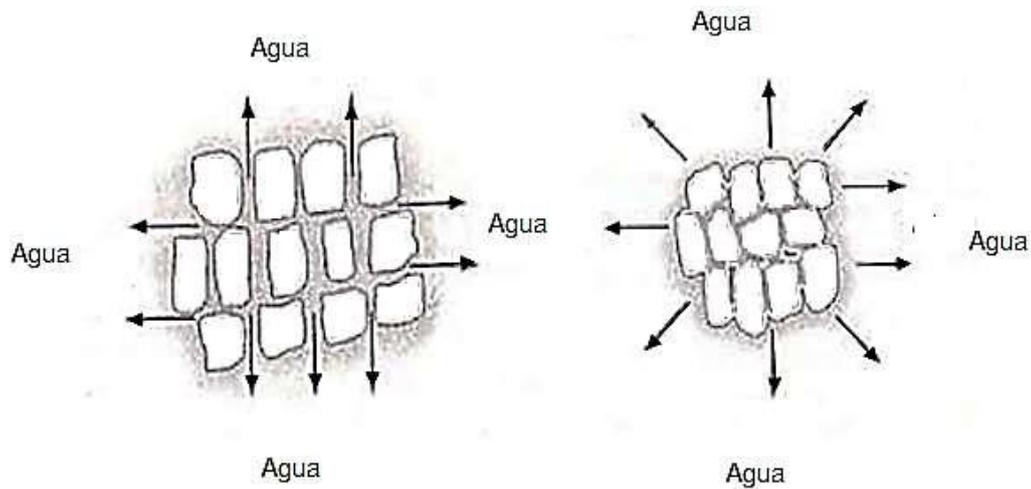


Figura 04. Última etapa de la deshidratación osmótica.

Fuente: (Colina, 2010).

2.2.2. Osmosis

Es un fenómeno natural (difusión pasiva) que ocurre cuando dos soluciones acuosas de diversas concentraciones se ponen en contacto a través de una membrana semipermeable, la cual es una película muy fina que permite el paso preferentemente de las moléculas de agua y la retención de las sales disueltas, coloides, bacterias, etc., hasta lograr que ambas soluciones lleguen a equilibrar sus concentraciones. Pasando el solvente de la región más concentrada a la región menos concentrada (Geankopolis, 2008).

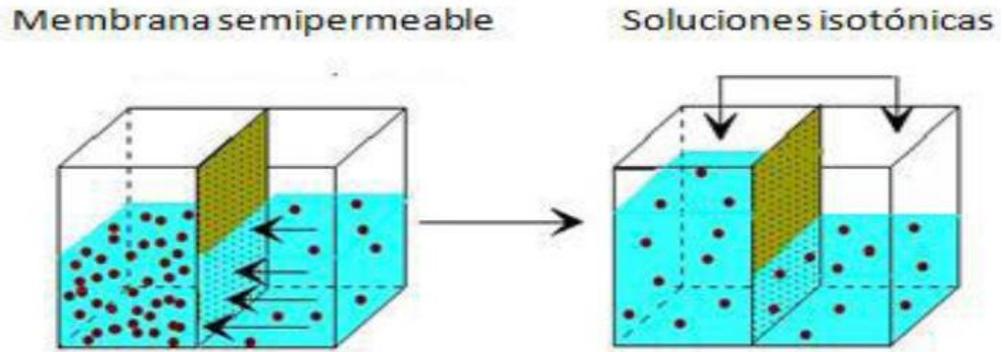


Figura 05. Permeabilidad de membranas.

Fuente: (Hernández, 2007).

2.2.3. Factores que afectan en el proceso de deshidratación osmótica

La transferencia de masa durante la deshidratación osmótica ocurre a través de las membranas y paredes celulares. El estado de las membranas celulares puede variar de parcialmente a totalmente permeable. Durante la remoción osmótica de agua de los alimentos, el frente de deshidratación se mueve desde la superficie que está en contacto con la solución hacia el centro (Rastogi, 2000). Los factores más importantes que se da en la deshidratación osmótica son:

a. Tipo de agente osmótico

Los más usados comúnmente son la sacarosa para frutas y el cloruro de sodio para vegetales, Otros agentes osmóticos pueden ser: glucosa, fructosa, dextrosa, lactosa, maltosa, polisacáridos, maltodextrina, jarabes de almidón de maíz y sus mezclas. La elección dependerá de varios factores tales como costo del soluto, compatibilidades organolépticas con el producto terminado y preservación adicional otorgada por el soluto al producto final (Pereira, 1996).

b. Concentración de la solución osmótica

La pérdida de agua y la velocidad de secado aumentan con el incremento de la concentración de la solución osmótica, ya que la actividad de agua de la solución decrece con un aumento en la concentración de solutos. Con el incremento en la concentración de la solución se forma una capa de soluto sobre la superficie del producto que actúa como barrera reduciendo la pérdida de nutrientes, también a altas concentraciones, pueden dificultar la pérdida de agua (Saurel, 1994).

c. Temperatura de la solución osmótica

Este es el parámetro más importante que afecta la cinética de pérdida de agua y la ganancia de solutos. La ganancia de solutos es menos afectada que la pérdida de agua por la temperatura ya que a altas temperaturas el soluto no puede difundir tan fácilmente como el agua a través de la membrana celular de los tejidos del producto (Pereira, 1996).

d. pH de la solución

La acidez de la solución aumenta la pérdida de agua debido a que se producen cambios en las propiedades tisulares y consecuentemente cambios en la textura de las frutas y vegetales que facilitan la eliminación de agua (Moy, 1978).

e. Agitación de la solución osmótica

La deshidratación osmótica puede mejorarse mediante la agitación. La misma disminuye la resistencia a la transferencia de masa en la superficie del producto, además de uniformizar la temperatura y la concentración de solutos en la solución (Moy, 1978).

f. Geometría y tamaño del producto

La geometría del producto es muy importante ya que varía la superficie por unidad de volumen expuesta a la difusión, el tamaño influye en la velocidad de deshidratación y en la absorción de solutos puesto que la superficie por unidad de volumen se modifica para los diferentes tamaños. En el caso de cubos o esferas al aumentar el lado o el radio, respectivamente, la superficie por unidad de volumen disminuye y entonces, la pérdida de agua resulta inferior para tamaños superiores (Lerici, 1985).

2.2.4. Solutos empleados en deshidratación osmótica

- **Sacarosa**

Es el edulcorante natural por excelencia, este disacárido representa el 60-80% de los edulcorantes y el 30% de los carbohidratos de la dieta humana. Es muy utilizada industrialmente por sus propiedades físicas de caramelización, higroscopicidad relativamente baja y su estabilidad en muchos procesos alimenticios. Cuya base son los carbohidratos por lo tanto es un azúcar, un polvo fino blanco de olor y sabor característicos. Los jarabes de sacarosa en polvo son

obtenidos por el proceso de secado por aspersión del jarabe de sacarosa, obteniéndose un polvo blanco y soluble el cual puede ser manejado más convenientemente que un jarabe viscoso. Se utilizan en la industria alimenticia por sus propiedades de proveedor de cuerpo, control de sabor dulce, etc. Son utilizados en helados y helados en polvo, mermeladas y jaleas, pasteles, rellenos de galletas, etc (Geankoplis, 1998).

2.2.5. Cinética de deshidratación osmótica

La cinética de deshidratación osmótica muestra la variación de la humedad del material con el tiempo. Las curvas de cinética de deshidratación osmótica dan idea del tiempo necesario para llegar al equilibrio osmótico, del consumo de energía, del mecanismo de transferencia de agua, de las condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa, y de la influencia que tienen en la velocidad de secado las variables de proceso tales como: la temperatura, humedad del producto, concentración de la solución, etc. Esto permite realizar un diseño o una selección más eficiente de secaderos, así como de las variables de proceso (García y Shimalko, 2007).

La cinética de deshidratación osmótica es de gran utilidad, ya que permite el estudio del proceso de secado bajo condiciones controladas. Además, es esencial para un correcto diseño del proceso de secado, lo que permite obtener un producto de calidad.

2.2.6. Difusión

La difusión es el movimiento de partículas de un área en donde están en alta concentración a un área donde están en menor concentración hasta que estén repartidas uniformemente (Crank, 1956).

La difusión de agua a través de las membranas celulares es el mecanismo de transporte predominante en el proceso de deshidratación osmótica, sin embargo, deben tenerse en cuenta también otros mecanismos difusionales y capilares que ocurren de forma solapada en los espacios intercelulares o poros del tejido. Los fenómenos capilares se incentivan cuando la presión del sistema es baja (Fito, 1994).

Normalmente los procesos de difusión están sujetos a la ley de Fick. La membrana permeable puede permitir el paso de partículas y disolvente siempre a favor del

gradiente de concentración. La difusión, proceso que no requiere aporte energético es frecuente como la forma de intercambio celular (James, *et. al.*, 1988).

Examinando el caso de la esfera de radio R que inicialmente se encuentra a una concentración uniforme C_0 , A $t = 0$, la esfera se coloca súbitamente en un fluido de concentración uniforme C_∞ (equivalente a C), como se muestra en la figura 06.

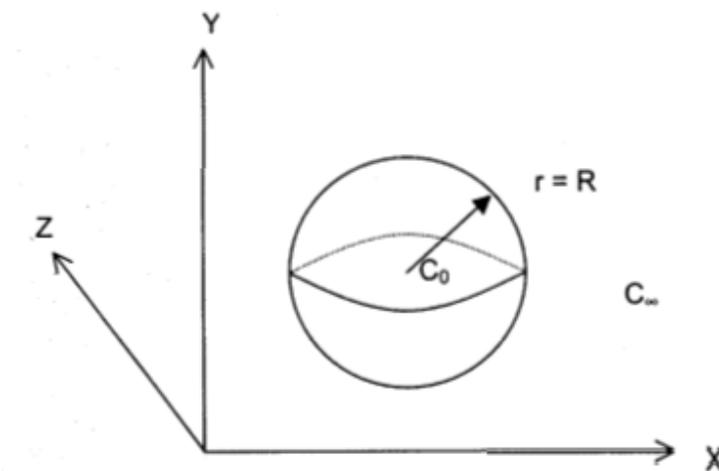


Figura 06. Difusión para un volumen de esfera.

Este tipo de difusión en sólidos no depende de la estructura real del sólido. La difusión se verifica cuando el fluido o soluto que se difunde. Se disuelve en el sólido para formar una solución más o menos homogénea (Geankoplis, J 1998).

2.2.7. Difusión efectiva

La Difusividad efectiva explica al mismo tiempo la variación de las propiedades físicas del tejido y la influencia de las características de la disolución y las variables de proceso, por lo tanto, observando simplemente la magnitud de difusividad efectiva no se entiende explícitamente el impacto de los diferentes parámetros sobre el proceso de deshidratación osmótica (Geankoplis, J 1998). La difusión molecular (o transporte molecular) puede definirse como la transferencia (o desplazamiento) de moléculas individuales a través de un fluido por medio de los desplazamientos individuales y desordenados de las moléculas. Podemos imaginar a las moléculas desplazándose en línea recta y cambiando su dirección al rebotar otras moléculas cuando chocan. Puesto que las moléculas se desplazan

en trayectorias al azar, la difusión molecular a veces se llama también proceso con trayectoria aleatoria (Geankoplis, 1998).

2.2.8. Segunda Ley de Fick

La ecuación de Fick expresa la velocidad instantánea de transferencia, que es igual al producto del coeficiente de difusión de masa, siendo esta una propiedad física del medio en el que tiene lugar la difusión de masa, por el área de la sección a través de la cual se realiza la transferencia, tomada perpendicularmente a la dirección de esta y por el gradiente de concentración, representativo de su variación a lo largo del recorrido (Hermida, 2000), cuya ecuación es:

$$\vec{j} = D\nabla c \dots \dots \dots Ec. (01)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} - D\nabla^2 c = \frac{\partial c}{\partial t} - D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) = 0 \dots \dots \dots Ec. (02)$$

De la siguiente ecuación 02 se puede obtener la segunda Ley de Fick más simplificada expresada para coordenadas esféricas.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_{AB} \left(\frac{\partial^2 c}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial c}{\partial r} \right) \dots \dots \dots Ec. (03)$$

Para las siguientes suposiciones y condiciones los límites para una esfera:

$$\begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial r} &= 0 \text{ en } r = 0 \text{ para } t > 0 \\ -\frac{\partial c}{\partial r} &= \frac{Bi}{R} (C - C_e) \text{ en } r = R \text{ para } t > 0 \\ C &= C_o \text{ en } t = 0 \text{ para } r \leq R \end{aligned}$$

Las limitaciones del modelo de difusión de Fick para propósitos prácticos son:

- ✓ Se asume que el agente osmótico es un medio semi-infinito, por lo tanto, se requiere una relación disolución/alimento muy grande.
- ✓ Aunque tiene en cuenta la forma y las dimensiones, solo hay soluciones analíticas para laminas placa, cilindros, cubos y esferas, entonces se requiere las técnicas numéricas para materiales irregulares.
- ✓ El punto de equilibrio tiene que determinarse experimentalmente.

- ✓ Se asume que solo presenta el mecanismo de difusión para la extracción de agua.
- ✓ No hay efecto de los sólidos ganados ni de los solutos perdidos sobre la pérdida de agua.
- ✓ Se desprecia el encogimiento debido a la transferencia de masa.
- ✓ Se desprecia la resistencia externa a la transferencia de masa, pero esto no se puede lograr a baja temperatura ni a la alta concentración de soluto.

- **Para el caso de una geometría esfera**

Considerando que la distribución inicial de concentración es uniforme ($C = C_0$ en $t = 0$) y que la superficie está en equilibrio con el medio ($C = C_e$ en $x = \pm L/2$). La ecuación 4 se integra.

$$\frac{W_t}{W_\infty} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left[-\frac{n^2 \pi^2 D_{ef} \theta}{r^2}\right] \dots \text{Ec. (04)}$$

$$\frac{w_t}{w_\infty} = \frac{C - C_0}{C_t - C_0} \dots \text{Ec. (05)}$$

Una simplificación usual es utilizar una solución asintótica de la ecuación (4), que consiste en reducir la serie infinita al término 1 debido a que los términos superiores se hacen muy pequeños para tiempos largos (Hermida, 2000). Como la siguiente expresión:

$$\frac{C - C_e}{C_t - C_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left[-\frac{n^2 \pi^2 D_{ef} \theta}{r^2}\right] \dots \text{Ec. (06)}$$

Dónde:

- C: Contenido de soluto (°Brix)
- C_e : Contenido de concentración de equilibrio (°Brix)
- C_0 : Contenido de concentración inicial (°Brix)
- D_{ef} : Difusividad efectiva $m^2 s^{-1}$
- θ : Tiempo (s).
- r : es el radio promedio
- n : número de términos de la sumatoria.

2.3. ANTOCIANINAS

El término antocianina deriva del griego Antho "flor" y cyanin "azul", fue utilizado por Marquat en 1835 para designar a los pigmentos azules de las flores, más tarde se descubrió que no sólo el color azul, sino que también el color púrpura violeta, magenta, y que todos los tonos de rojo rosado, escarlata, que aparecen en muchas flores, frutos y algunas hojas y raíces de plantas lo que se deberían a pigmentos químicamente similares a las antocianinas (Lock, 1997).

Estos compuestos son colorantes naturales que han suscitado interés debido a su carácter no tóxico y porque al ser hidrosolubles, se pueden utilizar como colorantes en productos alimenticios. Además, debido a sus propiedades antioxidantes, se pueden encontrar numerosas publicaciones que les atribuyen propiedades beneficiosas para la salud, como la prevención de enfermedades cardiovasculares, neuronales, cáncer y diabetes, entre otras (Castañeda *et al.*, 2009).

Las antocianinas son colorantes pertenecientes a la familia de los flavonoides, estos están ampliamente distribuidos entre los flores, frutas y vegetales, son responsables por el color brillante tal como el azul, rojo, morado, etc (Quispe, 2003).

Las antocianinas juegan un papel importante en la producción de vinos, siendo fuente comercial más antigua de antocianina la "enocianina", extracto colorado frecuentemente extraído de las uvas y comercializado en Italia desde 1879; originalmente fue utilizado para intensificar el color de los vinos, pero en los últimos años ha encontrado aplicaciones como colorante de alimentos. Así mismo se está haciendo importante la extracción de antocianinas de otras fuentes naturales como el maíz morado, la col, el camote morado y los rabanitos. Aunque la literatura reporta más de 250 antocianinas, se hace necesaria una mayor investigación para darles un mejor uso y sean más competitivas como alternativas viables a los colorantes sintético hoy en uso (Garzon, 2008).

2.3.1. Naturaleza química

Las antocianinas están consideradas dentro del grupo de los flavonoides ya que poseen el esqueleto característico C6 - C3 - C6 y el mismo origen biosintético,

pero difieren en que absorben fuertemente en la región visible del espectro. Hay antocianidinas (agliconas de las antocianinas) comunes, siendo la cianidina la más común y responsable del color magenta, los colores rojo -naranja se deben a la pelargonidina (con un grupo hidroxilo menos que la cianidina); mientras que los colores violeta y azul, la delphinidina (con un grupo hidroxilo más). También son muy comunes tres metiléteres: peonidina, derivadas de la cianidina, petunidina y malvidina, basadas en la delphinidina. Cada una de las 6 antocianidinas ocurre con unidades de azúcar, la variación está en el tipo del azúcar, del número y de la posición en los que están unidos (Lfevre, 2006).

Las antocianinas son glucósidos de antocianidinas, pertenecientes a la familia de los flavonoides, compuestos por dos anillos aromáticos A y B unidos por una cadena de 3 carbonos, variaciones estructurales del anillo B resultan en seis antocianidinas conocidas (Garzon, 2008).

La glicosidación de estos pigmentos en posiciones 3,5 o 7 o una combinación de estos, resulta en la formación de antocianinas. El azúcar en la molécula confiere solubilidad y estabilidad a las antocianinas (Delgado 1989).

La naturaleza anfotérica es una propiedad característica de estos componentes, debido a esto, las antocianinas se comportan sea como ácido o base dada la naturaleza del medio. Los azúcares unidos al aglicón mediante enlace glucosídico son pentosas, hexosas, biosas y triosas. Las antocianidinas naturalmente existentes se presentan en la siguiente figura: (Delgado 1989).

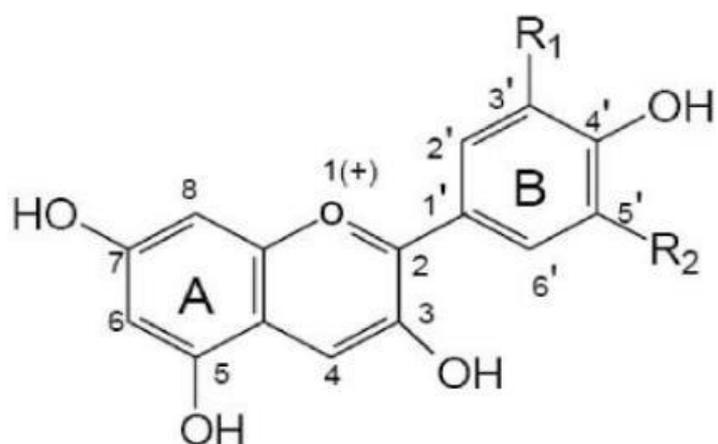


Figura 07. Estructura básica de las antocianinas.

Fuente: (Garzon, 2008).

El color de las antocianinas depende del número y orientación de los grupos hidroxilo y metoxilo de la molécula. Incrementos en la hidroxilación producen desplazamientos hacia tonalidades azules mientras que incrementos en las metoxilaciones producen coloraciones rojas. En la naturaleza, las antocianinas siempre presentan sustituciones glicosídicas en las posiciones 3 y/o 5 con mono, di o trisacáridos que incrementan su solubilidad. Dentro de los sacáridos glicosilantes se encuentran la glucosa, galactosa, xilosa, ramnosa, arabinosa (Stintzing *et al*, 2002).

Las agliconas libres raramente existen en los alimentos, excepto posiblemente como componentes traza de las reacciones de degradación. De todas las antocianinas que actualmente se conocen (aproximadamente 20), las más importantes son la pelargonidina, la delfinidina, la cianidina, la petunidina, la peonidina y la malvidina, nombres que derivan de la fuente vegetal de donde se aislaron por primera vez; la combinación de éstas con los diferentes azúcares genera aproximadamente 150 antocianinas. Los hidratos de carbono que comúnmente se encuentran son la glucosa y la ramnosa, seguidos de la galactosa, la xilosa y la arabinosa, ocasionalmente, la gentibiosa, la rutinosa y la soforosa. Como se muestra en la siguiente (figura 08), el grupo fenilo en la posición 2 puede llevar diferentes sustituyentes (Lfevre, 2006).

	Antocianidina	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇
	Aurantidinina	-H	-OH	-H	-OH	-OH	-OH	-OH
	Capensinidina	-OCH ₃	-OH	-OCH ₃	-OH	-OCH ₃	-H	-OH
	Cianidina	-OH	-OH	-H	-OH	-OH	-H	-OH
	Delfinidina	-OH	-OH	-OH	-OH	-OH	-H	-OH
	Europinidina	-OCH ₃	-OH	-OH	-OH	-OCH ₃	-H	-OH
	Luteolinidina	-OH	-OH	-H	-H	-OH	-H	-OH
	Pelargonidina	-H	-OH	-H	-OH	-OH	-H	-OH
	Malvidina	-OCH ₃	-OH	-OCH ₃	-OH	-OH	-H	-OH
	Peonidina	-OCH ₃	-OH	-H	-OH	-OH	-H	-OH
	Petunidina	-OH	-OH	-OCH ₃	-OH	-OH	-H	-OH
	Rosinidina	-OCH ₃	-OH	-H	-OH	-OH	-H	-OCH ₃

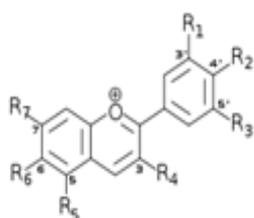


Figura 08. Grupos radicales para los diferentes tipos de antocianinas.

Fuente: (Lfevre, 2006).

2.3.2. Propiedades físico-químicas

El color de las antocianinas y antocianidinas resulta de la excitación de la molécula por la luz visible. La facilidad con la que la molécula es excitada depende de la movilidad relativa de los electrones de la estructura. Los dobles enlaces, que son

abundantes en antocianinas y en antocianidinas, son excitados más fácilmente y su presencia es esencial para el color (Fennema, 2000).

El aumento de sustituyentes en la molécula da como resultado un color más profundo. La profundidad del color da como resultado de un cambio batocrómico (mayor longitud de onda), lo que significa que la banda de absorción de la luz en el espectro visible se desplaza de la violeta hacia el rojo. El cambio opuesto se conoce como desplazamiento hipsocrómico. Los efectos batocrómicos son causados por grupos auxóchromos. Los grupos auxóchromos son donadores de electrones y en el caso de las antocianidinas son los grupos hidroxilo y metoxilo.

La gran variedad de colores, matices y tintes que ocurren en la naturaleza, son el resultado de cierto número de factores, entre los principales son: (Fernández. 1995).

- A pH bajo esos pigmentos son rojos, el matiz puede ser diferente, pero ellos son todos rojizos. Así la pelargodina es rojo naranja en solución ácida, mientras que la delphinidina es rojo azulino.
- A pH alto las antocianinas pasan a través de un color violeta hasta alcanzar un color azul; a valores muy altos de pH, hay un viraje a verde y luego a amarillo (esto no es encontrado en plantas).
- La concentración de pigmentos altera los matices. Cuando una solución ácida de delphinidina sintética es vertida sobre papel filtro, una solución diluida da un color azul, mientras que una solución intermedia da un color púrpura.
- Frecuentemente las antocianinas ocurren como mezclas. Los matices de éstas dependen de la composición de la mezcla.
- Algunas veces las plantas celulares no contienen únicamente antocianinas como pigmento, sino también algunas de las antoxantinas que pueden ser amarillas y con frecuencia carotenoides amarillos.
- Los taninos están frecuentemente asociados con antocianinas y alteran el color.

2.3.3. Factores que afectan su estabilidad de las antocianinas

Existen diversos factores que influyen en la estabilidad de las antocianinas. La estructura de éstas puede verse afectada en cualquier etapa de un proceso tecnológico, como por ejemplo un proceso de extracción de antocianinas de un

material vegetal, como así también durante un tratamiento térmico o durante el almacenamiento de un producto que las contiene. A continuación, se exponen los factores más relevantes que afectan a la estabilidad de las antocianinas (Moldovan, 2012).

a. pH

Las antocianinas pueden encontrarse en diferentes formas químicas dependiendo del pH, es decir que este factor influye en su estructura y por lo tanto en su estabilidad. A pH 1 predomina el catión flavilio que es de color rojo y es la forma más estable de las antocianinas, a valores de pH entre 2 y 4 ocurre la pérdida de un protón y adición de agua, encontrándose las antocianinas preferentemente bajo la forma quinuedales de color azul. A pH entre 5 y 6 se observan las especies pseudobase carbinol, que es incolora, y chalcona, de color amarillo, ambas bastante inestables. A pH superiores a 7 se produce la degradación rápida de las antocianinas por oxidación con el aire (Moldovan, 2012).

La acidez tiene un efecto protector sobre las estructuras de las antocianinas, donde cuanto más se eleva el pH, aparecen estructuras inestables que se degradan con rapidez. Es por esto las aplicaciones de las antocianinas en los sistemas alimenticios son preferentemente usadas en alimentos de acidez intermedia para que predomine el catión flavilio (Aguilera, 2011).

También (Laleh, 2006) comenta que la influencia del pH en extractos de antocianinas de 4 especies de berberies, observando que cuanto más bajo fue el pH menor fue el deterioro de las antocianinas (Aguilera, 2011).

b. Temperatura

La temperatura es uno de los factores más críticos que influyen en la degradación de antocianinas. Las conversiones estructurales de las antocianinas son reacciones endotérmicas. Resisten procesos térmicos a altas temperaturas durante cortos periodos de tiempo. En general las características estructurales que conducen a una mayor estabilidad al pH son las mismas que conducen a una mayor estabilidad térmica. Por lo tanto, las antocianinas altamente hidroxiladas son menos estables térmicamente que las metiladas, glicosidadas o acetiladas (Garzón, 2008).

Gorriti (2009), investigaron la extracción de antocianinas de maíz morado a temperaturas entre 25 y 90 °C, donde obtuvieron que el mayor rendimiento de extracción se produjo a temperaturas entre 75°C y 90 °C, dependiendo de las demás condiciones de extracción. También trabajaron en la optimización de las condiciones de extracción de antocianinas de batata morada donde el rango de temperatura ensayada fue entre 40 y 80 °C, logrando la mejor extracción a la última temperatura.

En la extracción de antocianinas de grosellas el efecto de temperatura de extracción fue en el rango de 6 y 74 °C, obtuvieron extractos de antocianinas de 4 especies de berberies y lo almacenaron durante 84 días a temperaturas entre 5 y 35 °C, observando que el deterioro de las antocianinas aumentó con el incremento de la temperatura (Laleh, 2006).

Por otra parte, el estudio realizado sobre la cinética de degradación de antocianinas durante el tratamiento térmico de jugo de arándanos fue a temperaturas de 40 y 80 °C, señaló que ésta fue de primer orden y que la degradación fue a temperaturas de valores más altos, también hubo una pérdida de antocianinas, tanto durante el tratamiento térmico como durante el almacenamiento. Esta pérdida siguió una cinética de primer orden. Además, la degradación de antocianinas aumentó con el incremento de la temperatura (Pereira, 2010).

c. Agua

El agua puede actuar como nucleófilo y atacar el catión flavilio en el C-2 formando la base carbinol incolora. Sin embargo, esta degradación puede variar, dependiendo de la concentración de azúcares o con el fenómeno denominado copigmentación (kopjar y pilizota, 2009).

Cuando los azúcares se encuentran a altas concentraciones, la actividad de agua es baja, por lo que las moléculas de agua tienen menores posibilidades de atacar el catión flavilio para formar la base carbinol. Sin embargo, cuando los azúcares están en bajas concentraciones la actividad de agua no se ve afectada, por lo que sus productos de degradación (hidroximetilfurfural y furfural) aceleran la degradación de las antocianinas (Kopjar y pilizota, 2009).

d. Oxígeno

Las antocianinas pueden oxidarse por reacción directa con oxígeno, o bien a través de una oxidación indirecta en la que éstas reaccionan con compuestos que han sido previamente oxidados, dando lugar a la formación de productos de color marrón o incoloro. También, pueden reaccionar con radicales de oxígeno actuando como antioxidantes. Estos mecanismos de oxidación se ven favorecidos cuando se eleva la temperatura (Rein, 2005).

Además, se ha observado que, en presencia de oxígeno, el ácido ascórbico destruye a las antocianinas, formando peróxido de hidrógeno. Esta reacción se acelera en presencia de cobre y es inhibida en presencia de flavonoles como la quercetina. El peróxido de hidrógeno actúa rompiendo el anillo de pirilio de la antocianina por un ataque nucleofílico en C-2 produciendo ésteres incoloros y derivados de la cumarina. Estos productos de degradación son totalmente destruidos y polimerizados para formar precipitados de color café (Fennema, 2000).

e. Luz

La luz es un factor que acelera la degradación de las antocianinas. Se ha observado que la sustitución del hidroxilo hace que la antocianina sea más susceptible a la foto degradación cuando ésta se presenta con flavonas polihidroxiladas, isoflavonas y auronas sulfonadas (Delgado, 2000).

2.3.4. Beneficios en la salud de las antocianinas

El interés en los pigmentos antocianinas se ha intensificado recientemente debido a sus propiedades, farmacológicas y terapéuticas. Durante el paso del tracto digestivo al torrente sanguíneo de los mamíferos, las antocianinas permanecen intactas y ejercen efectos terapéuticos conocidos que incluyen la reducción de la enfermedad coronaria, efectos anticancerígenos, antitumorales, antiinflamatoria y antidiabética; además del mejoramiento de la agudeza visual y del comportamiento cognitivo, los efectos terapéuticos de las antocianinas están relacionados con su actividad antioxidante (Badui 1993).

CAPÍTULO 3: MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1. MATERIALES

3.1.1. Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se desarrolló en la Universidad Nacional José María Arguedas, en el laboratorio de Química de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, ubicado en la Av. 28 julio N° 1103 de localidad de Santa Rosa, Distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, Región Apurímac.

3.1.2. Material de estudio

El material de estudio corresponde a los frutos de frambuesa heritage en estado de madurez, tamaño uniforme y en buen estado de apariencia física, cosechada en el centro poblado de Compuerta del distrito de Pacucha, provincia de Andahuaylas, región Apurímac.

3.1.3. Población y muestra

Población

La población para la presente investigación corresponde a todos los frutos de frambuesa heritage (*Rubus idaeus*), las cuales crecen en el centro poblado de Compuerta distrito de Pacucha, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac. El distrito de Pacucha tiene una extensión de 728 hectáreas, que se encuentra a 15 kilómetros de capital de la provincia de Andahuaylas a una altitud de 3,125 m.s.n.m.

Muestra

La muestra para el presente trabajo de investigación corresponde a los frutos de frambuesa heritage, que crecen en el centro poblado de compuerta de distrito de Pacucha. Para obtener la muestra se empleó un muestreo a conveniencia con el fin de obtener 1 kg de frambuesa heritage, la cantidad se consideró según la tesis realizado por (Aroni, 2013).

3.1.4. Equipos, materiales y reactivos e insumos de laboratorio

Tabla 02. Instrumentos y equipos

CANTIDAD	EQUIPOS E INSTRUMENTOS	MARCA
02	Agitador magnético	Lw-scientifiqu
01	Balanza digital de sensibilidad 0.0001 g	Abs 200-4
01	Baño María modelo w 3; 0°C 100°C	MIw
01	Cámara fotográfica	Sony
01	Centrifuga con temporizador digital, Velocidad 1420 RPM.	Funke Gerber
01	Espectrofotómetro UV-Visible	Génesis
01	Estufa	Kert lab
01	Potenciómetro	Hanna
01	Refractómetro	ATC
01	Termómetro digital de 0 °C hasta 100 °C	Boeco

Tabla 03. Materiales

CANTIDAD	MATERIALES
03	Espátula de acero inoxidable mango de madera
02	Gradillas
03	Lunas Petri
04	Matraz Erlenmeyer de 100 ml, 500 ml
04	Micropipetas de 100ul, 10 ml
02	Mortero con pilón
01	Papel whatman N°2
02	Pinzas metálicas
02	Pizetas.
04	Probetas de 50, 250 y 500 ml.
05	Rollos de papel aluminio
01	Rotulador
10	Tubos de ensayo tapa rosca
10	Vasos precipitados de 80 y 250 ml
01	Vernier

Tabla 04. Material de estudio

CANTIDAD	MATERIAL VEGETAL
1kg	Frambuesa heritage (<i>Rubus idaeus</i>).

Tabla 05. Reactivos e insumos

REACTIVOS / INSUMOS
Acetato de sodio (99.5%)
Ácido clorhídrico (36%)
Agua esterilizada o destilada
Cloruro de potasio (96.4%)
Etanol (97 %)
Hidróxido de sodio al 0.1 N
Sacarosa (azúcar rubia)
Solución buffer de pH 1 al 7.0

Tipo de investigación

Aplicada. Este trabajo de investigación se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren ya que los resultados obtenidos podrían ser aplicables o útiles para la industria alimentaria y diversos derivados de productos con valor agregado.

Experimental. Esta investigación consistió en realizar la experimentación para probar la hipótesis planteada, mediante la manipulación y medición de las variables en una situación controlada de sus principales condiciones o estados.

Orientada. Se caracteriza porque tiene una orientación a la solución de problemas específicos, sin llegar a resolverlos directa e inmediatamente, por ejemplo, que podrían prevenir enfermedades como cáncer.

3.2. Metodología

3.2.1. Tratamiento de la muestra

Los frutos de frambuesa fueron recolectados del centro poblado de compuerta de distrito de Pacucha. En bolsas de polietileno de alta densidad con peso de 500 gramos por bolsa fueron recolectadas una cantidad de 1 kg de frambuesas, esto para prevenir los posibles daños que puede sufrir la frambuesa durante su traslado. Al momento de recolectar la frambuesa se tendrá en cuenta las

características mínimas como: el estado de madurez, tamaño uniforme y en buen estado de apariencia física. Luego las frambuesas serán trasladadas en un recipiente de cierre hermética al laboratorio de química de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial para su posterior análisis.

3.2.2. Acondicionamiento de las muestras

Las hojas y tallos de la frambuesa fueron extraídos manualmente, luego las frambuesas fueron llevadas inmediatamente a un envase que contiene agua, aplicando un suave masaje por 2 min a fin de eliminar la suciedad superficial.

3.2.3. Preparación de la solución osmótica

Para la preparación de solución osmótica se utilizó la relación que empleo (Julca y Vasquez, 2018). La solución osmótica se preparó en un vaso precipitado de 250 ml cada uno rotulados, utilizando una balanza granataria, con sensibilidad de 0.001 g se pesó la sacarosa 100 g y luego se disolvió con 120 ml agua destilada para formar una concentración de 50 °Brix y para la concentración de 60 °Brix se pesó 120 g de sacarosa para disolver en 120 ml de agua.

3.3. Deshidratación osmótica de frambuesa heritage

Para la deshidratación osmótica de frambuesa se modificada y acondiciono la metodología que utilizó (Yanqui y Maquera, 2010).

3.3.1. Diagrama de flujo del proceso para la deshidratación osmótica de frambuesa heritage

En la siguiente Figura 09 se muestra el diagrama de flujo para cada proceso de deshidratación osmótica de frambuesa heritage.

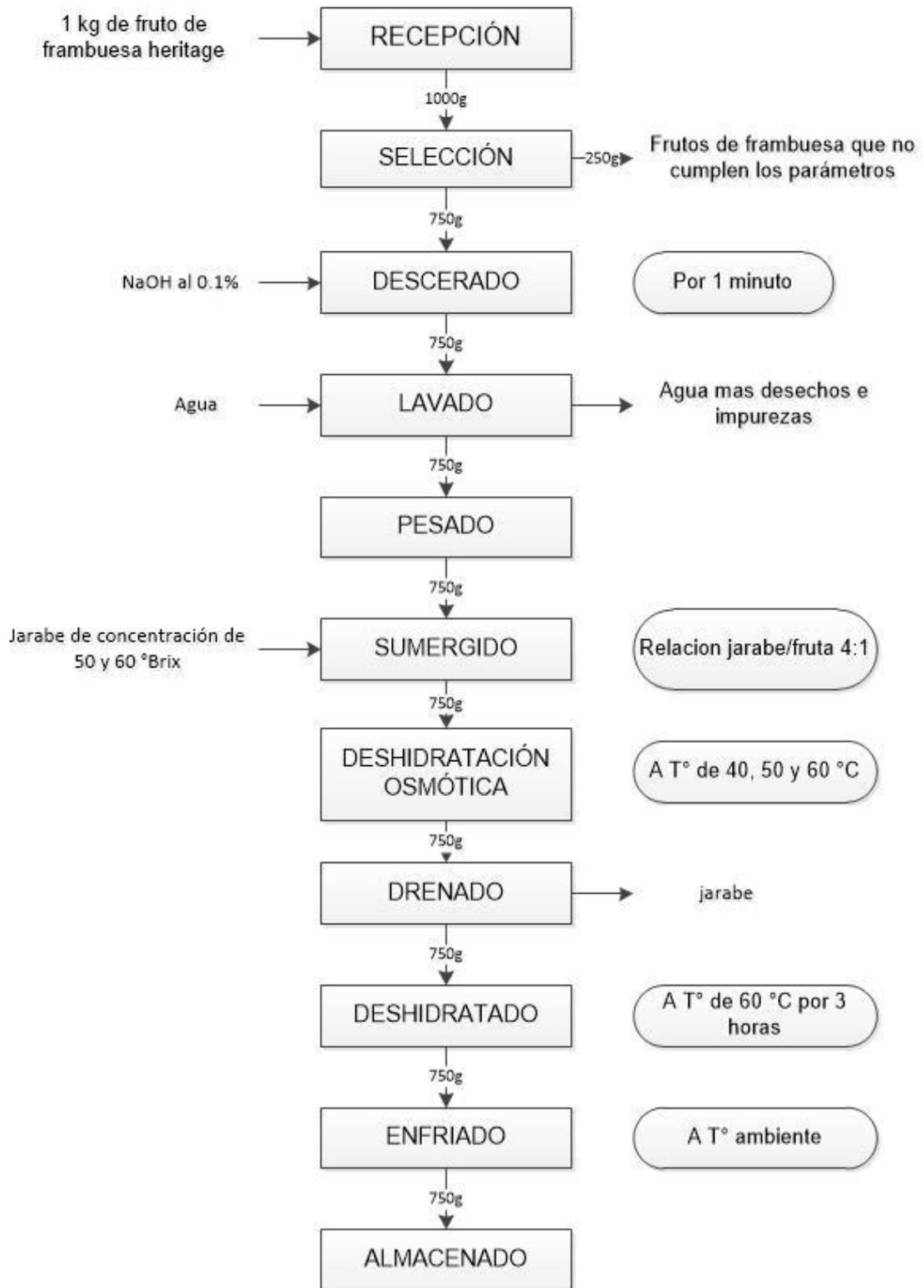


Figura 09. Diagrama de flujo cualitativo de la deshidratación osmótica de frutos de frambuesa heritage.

3.3.2. Descripción de procesos para la deshidratación osmótica de frambuesa heritage

- ✓ **Recepción.** Se recepcionó los frutos de frambuesas en una cantidad de 1 kilogramo recolectadas del centro poblado de Compuerta de distrito de Pacucha, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.
- ✓ **Selección.** Se seleccionó de forma manual por inspección, teniendo como base el grado de madurez, daños físicos, forma, color y tamaño.
- ✓ **Descerado.** El descerado se realizó en inmersión en una solución de hidróxido de sodio al 0.1%, durante 1 minuto.
- ✓ **Lavado.** Se realizó con agua corriente con el fin de eliminar los restos de material extraño que son producto de la cosecha y post cosecha.
- ✓ **Pesado.** Se pesó cada fruto de frambuesa para cada tratamiento para tener el peso inicial del fruto.
- ✓ **Sumergido.** Se sumergieron en una solución sacarosa cada fruta de frambuesa en un vaso precipitado de 80 ml con relación de 4:1 jarabe/fruta (Julca y Vasquez, 2018).
- ✓ **Deshidratación osmótica.** La fruta es sumergida en un vaso precipitado de 80 ml que contiene jarabe osmótico, con una relación de 4:1 jarabe/fruta y fueron introducidos a baño maría a las temperaturas de (40, 50 y 60 °C) y concentraciones de soluto (50 y 60 °Brix), estos parámetros fueron considerados de la investigación que realizo con frutos de arándano (Silva, 2018) y luego los pesos son controlados a cada 30 minutos hasta llegar a un equilibrio osmótico.
- ✓ **Drenado.** La fruta sacada del jarabe de sacarosa fue escurrida para eliminar el jarabe de la superficie.
- ✓ **Deshidratado.** Las frambuesas que llegaron al equilibrio osmótico fueron deshidratadas en la estufa a una temperatura de 60°C por el tiempo de 3 horas, estos parámetros son tomados de las referencias que realizo en el fruto de sauco (Ponce, 2017).
- ✓ **Enfriado.** El producto final se dejará enfriar en campana extractora hasta que alcance la temperatura ambiente.
- ✓ **Almacenado.** los frutos de frambuesa se almacenaron a temperatura ambiente en envases descartables.

3.4. Método de análisis

3.4.1. Evaluación de la cinética de deshidratación osmótica.

La evaluación de la transferencia de masa en el proceso de deshidratación osmótica de los frutos de frambuesa heritage, se midió a través de la pérdida de peso (PP), pérdida de agua (PA) y ganancia de sólidos (GS). (Arista y Cruz, 2014), las ecuaciones para determinar dichos parámetros se muestran a continuación:

Pérdida de peso (PP)

Es la diferencia de peso inicial y tomado inmediatamente después de retirar la muestra de un tiempo en cada uno de los tratamientos de deshidratación osmótica.

$$PP = \frac{P_o - P_f}{P_o} * 100 \dots \dots \dots Ec. (07)$$

Dónde:

P_f Peso al momento de muestrear (g)

P_o Peso inicial (g)

Pérdida de agua (PA)

Para determinar la variación porcentual de pérdida de agua del producto se toma el peso inicial del producto y el peso después de retirar la muestra de inmersión en cada uno de los tiempos determinados en la deshidratación osmótica.

$$PA = \frac{(H_o * P_o) - (H_f * P_f)}{P_o} \dots \dots \dots Ec. (08)$$

Dónde:

P_f Peso al momento de muestrear (g)

P_o Peso inicial (g)

H_o Humedad inicial de la fruta (%)

H_f Humedad de la fruta, al muestrear (%)

Ganancia de sólidos solubles (SG)

Para determinar la diferencia de sólidos solubles del producto se toma el peso y sólidos solubles iniciales del producto y luego inmediatamente después de retirar la muestra de la inmersión a un tiempo se toma el peso y sólidos solubles finales

del producto, los cuales fueron determinados utilizando el Brixómetro, previamente calibrado en cada uno de los tratamientos.

$$GS = \frac{(P_f * S_f) - (P_o * S_o)}{P_o} \dots\dots\dots Ec. (09)$$

Dónde:

- P_f Peso al momento de muestrear (g)
- P_o Peso inicial (g)
- S_o Sólidos solubles iniciales de la fruta (°Brix)
- S_f Sólidos solubles de la fruta, al muestrear (°Brix)

Humedad final de la frambuesa heritage

Humedad final se determinó calculando el contenido de sólidos totales para cada tratamiento según las ecuaciones reportadas por Azuara (1998), Utilizando la ecuación 10. El contenido de sólidos totales (SG). Se calculó para cada tiempo, de acuerdo con la siguiente formula ecuación:

$$H(\%) = 100 - SG(\%) \dots\dots\dots Ec. (10)$$

3.4.2. Determinación de la difusividad efectiva de la sacarosa

Para el cálculo del coeficiente de difusividad efectiva hay dos métodos analíticos mediante el cual podemos determinar, tales como el programa STATISTICA y la solución analítica de la segunda ecuación de Fick, la cual resulta adecuada para fenómenos difusivos durante la transferencia de masa en el alimento durante el secado hasta alcanzar el equilibrio. Asumiendo que los frutos de frambuesa se asemejan a una esfera y que la transferencia de masa es tridimensional para los tiempos de secado.

El modelo matemático utilizado fue de newton para representar la segunda ley de Fick se muestra en la siguiente ecuación.

$$'K = exp(-K\theta) \dots\dots\dots Ec. (11)$$

Esta correlación es utilizada por muchos estudiosores, para determinar la difusividad efectiva. La relación para las diferentes geometrías es:

$$\frac{C - C_e}{C_t - C_e} = 'K \dots \dots \dots Ec. (12)$$

Para el cálculo de la difusividad (Def) se linealiza dicha ecuación y se convierte en la Ecuación (13), donde la pendiente de la ecuación obtenida se iguala a $-\frac{D_{ef}\pi^2\theta}{r^2}$, de donde se obtiene la Def. Así mismo la siguiente ecuación se simplifico para un valor N=1 al N=10.

$$'K = -\frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{n^2\pi^2 D_{ef}\theta}{r^2}\right) \dots \dots \dots Ec. (13)$$

Siendo:

$$A = \text{Coeficiente angular} = \left(\frac{\pi^2 D_{ef}\theta}{r^2}\right)$$

$$B = \text{Coeficiente Lineal} = \left(\frac{6}{\pi^2}\right)$$

Donde:

- D_{ef} Es el coeficiente de difusividad efectiva ($m^2 s^{-1}$)
- r Es el radio de la esfera a secar (m).
- C Contenido de soluto (°Brix)
- C_t Contenido de concentración de equilibrio (°Brix)
- C_0 Contenido de concentración inicial (°Brix)

La representación de la segunda ley de Fick es reducida de la serie infinita al primer término debido a que los términos superiores se hacen muy pequeños para tiempos largo como menciona (Hermida, 2000).

3.5. Contenido de antocianinas después de deshidratado osmótico de frambuesa heritage

3.5.1. Preparación de buffers

- Buffer pH 1.0 (cloruro de potasio 0.025 M): pesar 1.86 g KCl en un Beaker, agregar agua destilada hasta los 980mL, medir el pH y ajustar a 1.0, con HCl concentrado (toma alrededor de 6.3mL). transferir a una probeta de 1 l y enrasar con agua destilada.
- Buffer pH 4.5 (acetato de sodio 0.4 M): pesar 54.43 g CH₃CO₂Na*3H₂O en un Beaker, agregar agua destilada hasta los 960mL medir el pH y ajustar a

4.5, con ácido clorhídrico concentrado (toma alrededor de 22mL). transferir a una probeta de 1 l y enrasar con agua destilada.

3.5.2. Descripción de los procesos para el contenido de antocianinas

Para determinar el contenido de antocianinas se utilizó el método propuesto por (Giusti y Worlstad 2001) a través del método del pH diferencial, describiendo de la siguiente forma:

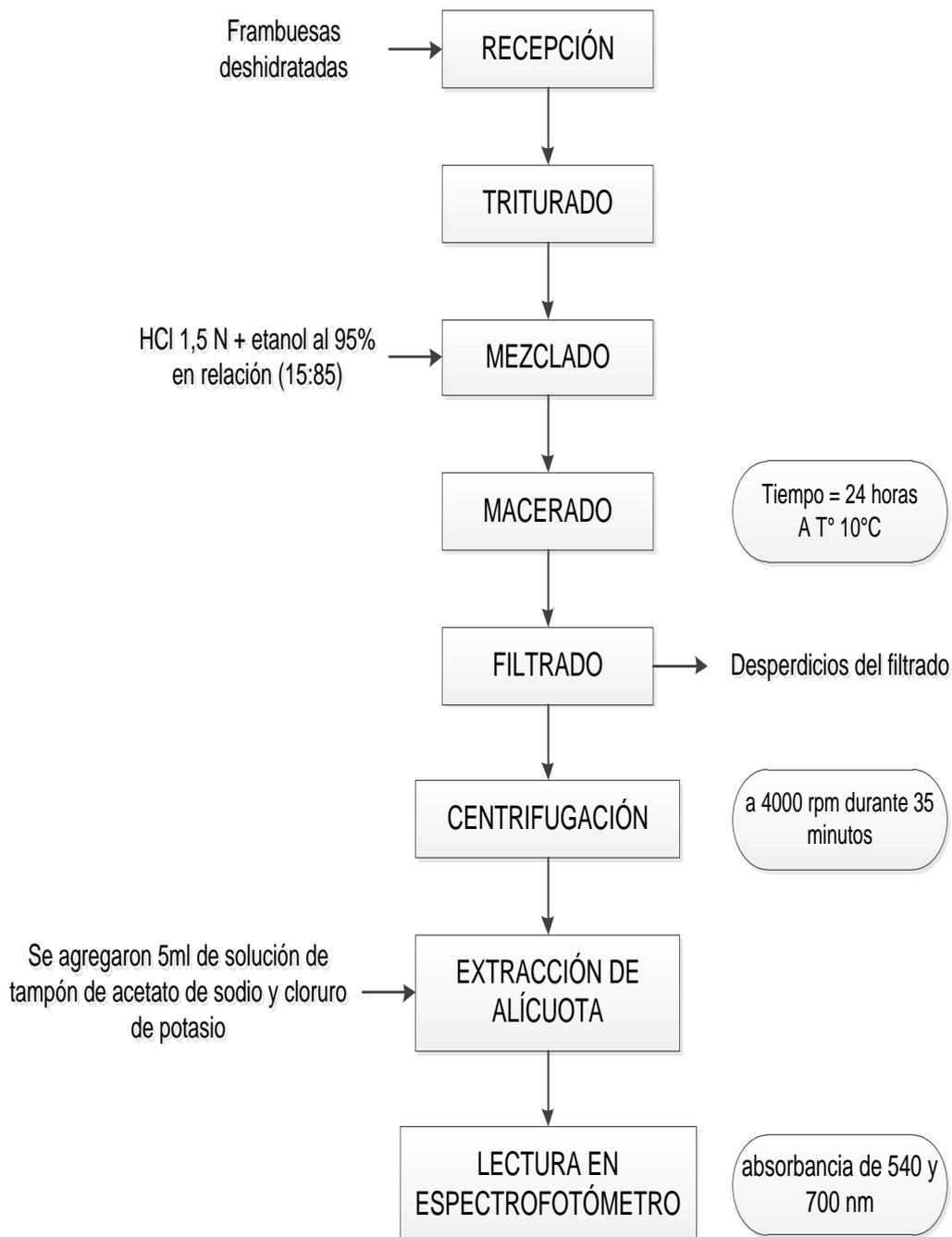


Figura 10. Diagrama de flujo cualitativa para la determinación de antocianinas.

3.5.2.1. Descripción de procesos para el contenido de antocianinas de frambuesa heritage

- ✓ **Recepción.** Los frutos de frambuesa que llegaron a un equilibrio después del deshidratado osmótico fueron analizados el contenido de antocianinas.
- ✓ **Triturado.** La muestra es triturada en mortero para disminuir el tamaño.
- ✓ **Mezclado.** Con la solución de extracción (HCl 1,5 N + etanol al 95%) en una proporción de (15:85) respectivamente y posterior se transvasó en un vaso precipitado de 100 ml.
- ✓ **Macerado.** Se dejó macerar por un lapso de 24 h a una temperatura de 10 °C.
- ✓ **Filtrado.** Se filtró a un matraz Erlenmeyer de 250 ml con papel whatman N°2 previamente forrado con papel aluminio para evitar el paso de luz.
- ✓ **Centrifugación.** Las muestras fueron centrifugadas a 4000rpm durante 35 minutos con la finalidad de obtener un extracto libre de desechos y posteriormente se volverá a filtrar.
- ✓ **Extracción de la alícuota:** se extrajo la alícuota de 0.3 ml de extracto acuoso de antocianinas y se agregaron 5ml de solución de tampón de acetato de sodio (pH 4.5) y cloruro de potasio (pH 1.0) y se midió la absorbancia.
- ✓ **Lectura en espectrofotómetro** las muestras serán leídas a una absorbancia de 540 y 700 nm.

3.5.3. Contenido de antocianinas

Donde se procede a realizar las lecturas en el espectrofotómetro con una longitud de onda de 520 y 700 nm y aplicando la siguiente ecuación se obtuvo una rápida y exacta medida de la antocianina total.

$$\text{Contenido de antocianinas } \left(\frac{mg}{l}\right) = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\epsilon \times l} \dots\dots\dots Ec. (14)$$

$$A = (A_{520nm} - A_{700nm})_{pH 1,0} - (A_{520nm} - A_{700nm})_{pH 4.5}$$

Dónde:

A = absorbancia de la muestra.

MW = 449,6 g/L, Peso Molecular de cianidina – 3 – glucósido.

DF = factor de dilución

$\varepsilon = 26\,900 \text{ L cm}^{-1} \text{ mg}^{-1}$, Absortividad Molar de cianidina – 3glucósido
1 = 1cm, grosor de cobertura.

3.6. Diseño experimental

Con un diseño factorial mixto de 3x2 se estudió el efecto de dos factores considerando tres y dos niveles, cada réplica de este diseño factorial mixto consiste de $3 \times 2 = 6$ combinaciones o tratamientos se consideraron como variables de entrada o independiente a la concentración de sacarosa y la temperatura con las siguientes niveles de concentración de 50 y 60 °Brix y temperatura de 40, 50 y 60 °C como variable de respuesta o dependiente están los parámetros de la cinética de transferencia de masa como pérdida de peso (PP), pérdida de agua (PA), ganancia de sólidos (GS), coeficiente de difusividad efectiva y contenido de antocianinas. Se realizó un ANOVA para la cinética y contenidos de antocianinas utilizando el programa Excel (2016) y el software estadístico STATGRAPHICS Plus 5.1 (Gutiérrez de la vara, 2008).

3.6.1. Modelo estadístico e hipótesis de interés

Para evaluar la influencia de la temperatura y la concentración de sacarosa en la cinética, coeficiente de difusividad y contenido de antocianinas, se utilizó un diseño experimental con arreglo factorial mixto de 3x2 con 3 repeticiones cada uno. Para este diseño factorial mixto el modelo matemático viene dado de la siguiente forma.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (14) \dots\dots\dots Ec. (15)$$

Donde

- μ : Es la media general,
- α_i Es el efecto del i-ésimo nivel del factor temperatura,
- β_j Es el efecto del j-ésimo nivel del factor concentración de sacarosa
- $(\alpha\beta)$ Representa el efecto de interacción en la combinación de los factores de temperatura y concentración sacarosa
- ε_{ijk} Es el error aleatorio.

Hipótesis estadística

H_0 : La temperatura y concentración sacarosa tienen efecto en la cinética, coeficiente de difusividad y contenido de antocianinas de frambuesa, para un nivel de significancia del 5%

H_A : La temperatura y concentración de sacarosa no tienen efecto en la cinética, coeficiente de difusividad y contenido de antocianinas de los frutos de frambuesa, para un nivel de significancia del 5%

En la siguiente Tabla 06 se observa todas las combinaciones posibles que se pueden dar con el diseño factorial mixto.

Tabla 06. Matriz de tratamiento

Tratamiento	Temperatura °C	Concentración °Brix	Resultados
1	T1	C1	T1C1
2	T2	C1	T2C1
3	T3	C1	T3C1
4	T1	C2	T1C2
5	T2	C2	T2C2
6	T3	C2	T3C2

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Resultados preliminares

4.1.1. Características físicas de la frambuesa heritage (*Rubus idaeus*)

La caracterización física de la materia prima se efectuó en estado de madurez seleccionado según el muestreo aleatorio a conveniencia.

Tabla 07. Características de la frambuesa heritage

Características	Valores
Diámetro (cm)	2 ± 1.33
pH	3.4 ± 0.84
Sólidos solubles (°Brix)	12 ± 0.70
Humedad (%)	81.07 ± 0.79
Peso (g)	5.70 ± 0.14

En la Tabla 07 se muestra los resultados obtenidos sobre las características físicas de los frutos de frambuesa heritage, como el pH, contenido de sólidos solubles, humedad y diámetro. El peso máximo determinado de los frutos de frambuesa fue de 5.70 gramos con una desviación estándar 0.14, que representa un valor similar en comparación a Manzano (2013) que indica el peso de los frutos de frambuesa esta entre 2 a 5 gramos; asimismo también sierra exportadora (2015) indica que el diámetro de los frutos de frambuesa es 2 cm y García (2014) obtuvo que la humedad de los frutos de frambuesa es de 87 % pero no menciona la variedad que utilizó, así mismo los valores de peso, diámetro, sólidos solubles y pH se asemejan a los resultados obtenidos por Manzano (2013) y García (2014).

4.1.2. Tiempo de deshidratado osmótico de frambuesa heritage

Los resultados obtenidos para el tiempo de deshidratado osmótico se muestran en la Tabla 05, donde se consideró a los frutos de frambuesas que llegaron al equilibrio osmótico en un tiempo t , es decir que los °Brix de la frambuesa y la concentración de equilibrio son iguales y no varía significativamente con el paso del tiempo.

Tabla 08. Tiempo de deshidratado osmótico de frambuesa heritage

Concentración °Brix	Temperatura °C	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)
	40	9.83 ± 00	590 ± 0.00
50	50	8.83 ± 00	530 ± 0.00
	60	7.83 ± 00	470 ± 0.00
	40	9.33 ± 00	560 ± 0.00
60	50	8.33 ± 00	500 ± 0.00
	60	7.33 ± 00	440 ± 0.00

En la Tabla 08 se observa el tiempo necesario de deshidratado osmótico que demoran los frutos de frambuesa en llegar al equilibrio osmótico, también a partir de los resultados que muestra la Tabla se puede observar que el mayor tiempo fue 9.83 horas en llegar a equilibrio osmótico, que pertenece a tratamiento de concentración 50 °Brix y temperatura 40 °C. El tratamiento de concentración 60 °Brix y temperatura 60 °C tuvo un tiempo menor de 7.33 horas en llegar al equilibrio osmótico, donde se dice que el incremento de la temperatura y concentración hace que baje el tiempo de equilibrio osmótico. Así mismo también la tabla de ANOVA que se muestra en el Anexo 02 se puede ver que la concentración y temperatura influyen significativamente en el proceso de deshidratación osmótica de frambuesa heritage.

En la investigación realizada por Giraldo y Duque (2005) para el fruto de mora en la deshidratación osmótica el tiempo que demora en alcanzar a equilibrio osmótico fue de 7 horas; así mismo otros investigadores como Huamán (2000) muestra que el aguaymanto demora 10 horas en alcanzar el equilibrio osmótico, dichos valores son similares a nuestros resultados obtenidos, esto debido a que el tamaño del aguaymanto es igual que de frambuesa heritage, y la mora es la familia de la frambuesa. Para el higo el tiempo necesario en llegar al equilibrio osmótico es de 2 horas reportado por Arreola (2007), donde dicho valor es muy inferior a nuestro resultado obtenido esto debido a las características que presenta el higo son diferentes a nuestra muestra en estudio. El valor que se asemeja más a nuestros resultados es de la mora, ya que la mora tiene las mismas características que la frambuesa heritage.

4.2. Cinética de deshidratación osmótica de la frambuesa heritage

4.2.1. Pérdida de peso

Los resultados serán obtenidos a partir de la ecuación (7) para el porcentaje de pérdida de peso, donde los datos obtenidos y el análisis de pérdida de peso se encuentran en el Anexo 8 al 13 con sus respectivas replicas para cada tratamiento. El comportamiento que experimenta la pérdida de peso a diferentes temperaturas y concentraciones se muestra en la siguiente Figura 11.

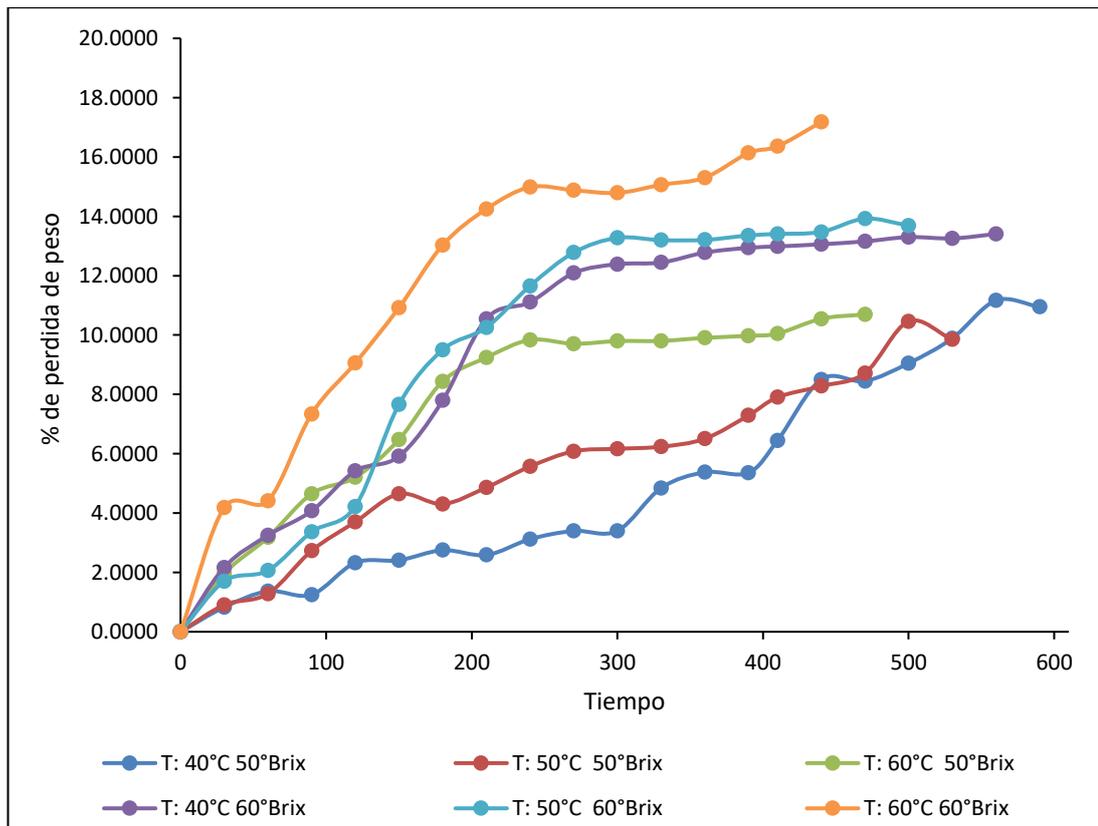


Figura 11. Variación porcentual de pérdida de peso en la deshidratación osmótica de frambuesa heritage.

En la Figura 11 se observa el comportamiento de porcentaje de pérdida de peso a una concentración de sacarosa y temperatura, donde podemos observar que el 17.17 % es la mayor pérdida de peso que se registra a una temperatura de 60 °C y concentración de sacarosa 60 °Brix, a medida que aumenta la temperatura, tiempo y la concentración incrementa la pérdida de peso hasta llegar a un equilibrio osmótico. También, se observa que a medida que aumenta la concentración y temperatura los tratamientos incrementan en la pérdida de peso, además se aprecia que la pérdida de peso está directamente relacionada con el

aumento de temperatura y concentración de solución, como se muestra el tratamiento de concentración 60 °Brix y temperatura 60 °C pierde mayor peso. Para todos los tratamientos en estudio se observa una mayor variación de pérdida de peso en los primeros 180 minutos. Según Camacho (2004) indica que las variaciones de peso en los primeros minutos es debido que en la etapa inicial el gradiente de concentraciones es mucho mayor en la deshidratación osmótica, por eso el proceso de pérdida de peso es producido por la salida de agua de la fruta y se realiza de forma mucho más rápida que la entrada de soluto hacia la fruta por difusión, pero a partir de un cierto tiempo, comienza a predominar la entrada de solutos de la disolución hacia la fruta y esta comienza a perder el peso por este efecto. Además, Barbosa y Vega (2000) indica que la mayor variación se da en los primeros minutos y luego va decreciendo, específicamente alrededor de las dos primeras horas se realiza la mayor eliminación de agua. Este mecanismo de difusión es debido al gradiente de concentración existente entre el alimento y la solución osmótica. En la investigación que realizo Julca y Vásquez (2018), en la deshidratación osmótica de mamey obtuvieron los valores de 37.76 % la mayor pérdida de peso en el tratamiento de 45 °Brix, este valor obtenido es muy alto a nuestros resultados, esto debido que la deshidratación osmótica depende de varios factores como es el tamaño, forma del producto y las condiciones que realiza el proceso de deshidratado osmótico. Así mismo Arreola y Rosas (2007) en su investigación de deshidratado osmótico de higo demuestran que la mayor pérdida de peso se realizó en el tratamiento de 65 °Brix y temperatura de 35 °C, si bien es cierto que este resultado es muy ambiguo, ya que nuestros resultados muestran que la mayor pérdida de agua se dio en el tratamiento de concentración de 60 °Brix y temperatura de 60 °C obteniendo 17.17 % de mayor pérdida de peso. Por otra parte, López y Galeano (1998) en la deshidratación osmótica de fresa determino que en el tratamiento de 65 °Brix es el que pierde más peso. Se notó también, que a las ocho horas del proceso se alcanzó el equilibrio osmótico, tiempo en el cual la reducción de peso más alta fue de 18.56 %. Este resultado se asemeja a nuestros resultados obtenidos en nuestra investigación, pero cave recalcar que en la deshidratación osmótica la pérdida de peso está en función del tamaño, forma y peso de la fruta que va a deshidratar osmóticamente.

En el Anexo 15, se tiene la ANOVA para la variación porcentual de pérdida de peso en función de la concentración de la solución (°Brix) y temperatura (°C) para diferentes tiempos; Como se puede observar el efecto de la concentración y

temperatura resultan significativos en el proceso de deshidratación osmótica, así mismo también para las interacciones: concentración - temperatura y para las demás interacciones son significativos en la variación porcentual de pérdida de peso.

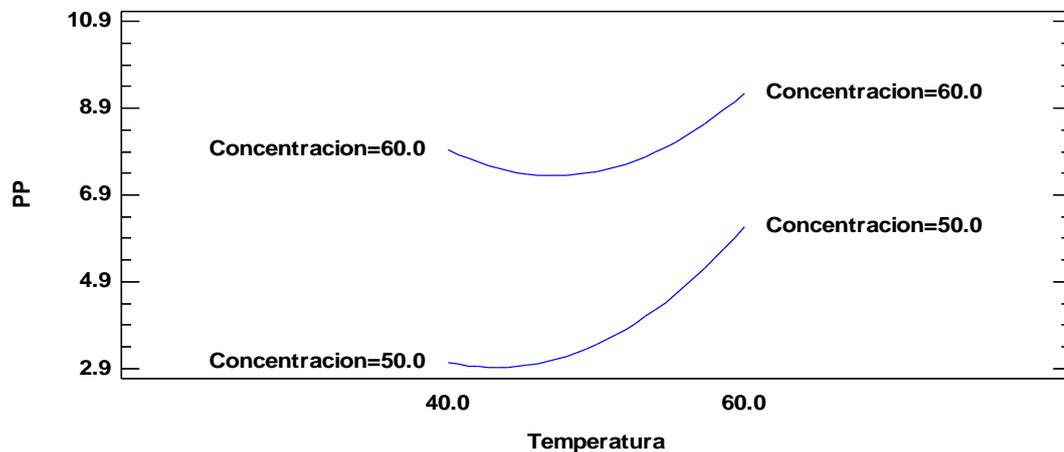


Figura 12. Gráfica de interacción para la variación porcentual de pérdida de peso con respecto a concentración y temperatura.

De la Figura 12, se observa que a una temperatura de 40 °C y a una concentración de 50 °Brix, la pérdida de peso es inferior obteniendo un valor de 0.83 %, mientras a una concentración de sacarosa de 60 °Brix y a una temperatura de 60 °C la pérdida de peso fue 17.17 %. Es decir que, a mayor concentración de sacarosa y mayor temperatura, tiene mayor influencia en la pérdida de peso. De acuerdo con ANOVA (Anexo 15) mostrado, tanto los dos efectos principales (concentración de sacarosa y temperatura) como el efecto de interacción concentración y temperatura tienen un efecto significativo sobre la variación porcentual de pérdida de peso como se muestra en la Figura 12, puesto que los valores-p son menores que 0.05 para los factores de estudio, esto con un nivel de confianza al 95 %. Es decir que la temperatura y la concentración de sacarosa influyen significativamente en la variación porcentual de pérdida de peso. Della Rocca (2011), mencionan que la mayor pérdida de peso se presentó a medida que aumento la temperatura de proceso y la concentración de la solución osmótica. También para los investigadores mencionados anteriormente, la influencia de la temperatura y concentración son significativos en la deshidratación osmótica.

4.2.2. Pérdida de agua

De la forma similar para la variación porcentual de pérdida de agua se obtendrá a partir de la ecuación 8, donde el análisis y los cuadros se encuentran en el anexo 8 al 13. A partir del análisis de los cuadros se obtiene el comportamiento que experimenta la variación porcentual de agua, que se muestra en la siguiente Figura 13.

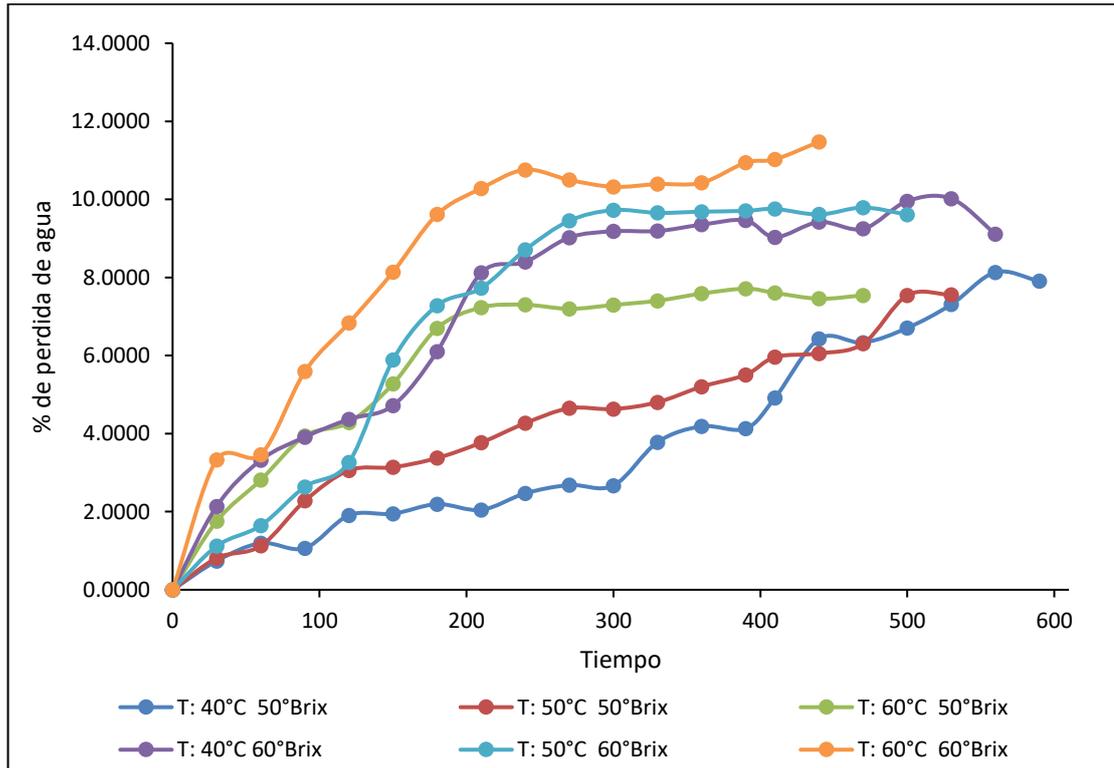


Figura 13. Variación porcentual de pérdida de agua en la deshidratación osmótica de frambuesa heritage.

En la Figura 13 se muestran las diferentes variaciones porcentuales de pérdida de agua durante la deshidratación osmótica de los frutos de frambuesa, en donde se observa que a medida que aumenta el tiempo se incrementa la variación porcentual de pérdida de agua, además se observa que a mayor concentración de solución osmótica mayor es la variación de agua, esto se ve al igual que la variación porcentual de pérdida de peso, los cambios más drásticos se ve en los primeros 200 minutos, en el tratamiento de 60 °C y a una concentración de sacarosa 60 °Brix del proceso, después de ese tiempo los cambios de pérdida de agua se da en un intervalo de 1.5 %. Con respecto a Torres (2007) indica que la geometría y el tamaño del producto relacionados con la superficie específica, son

variables importantes para controlar ya que grandes superficies específicas favorecen la pérdida de agua y mayor ganancia de sólidos.

En general el proceso de variación porcentual de pérdida de agua en base a este análisis se considera más idóneo trabajar con una temperatura de 60 °C, porque incrementa de manera rápida la velocidad de pérdida de agua en menor tiempo en dos concentraciones de sacarosa (50 y 60°Brix), esto debido al incremento de movilidad de las moléculas de la membrana. Sin embargo, dentro de los factores que afectan en la deshidratación osmótica se encuentra la permeabilidad y características estructurales de las paredes o membranas celulares. Los frutos de frambuesas sumergidas en un jarabe hipertónico durante los primeros 200 minutos pierden mayor cantidad de agua y luego la variación es mínima. La velocidad de deshidratación depende tanto de las características propias de la fruta, permeabilidad de la membrana y forma de la fruta y de los factores de la disolución, concentración y naturaleza del agente osmótico (Castro *et al* 2013). Las paredes celulares de la frambuesa en su mayoría son celulosas, hemicelulosa y fibra soluble, lo que permitiría una mayor respuesta en la pérdida de agua.

Otros investigadores también como Pérez y Pimentel (2003) afirma que a altas concentraciones de la solución osmótica produce una mayor pérdida de agua en el fruto. Estas altas concentraciones producen grandes fuerzas impulsoras, con ello los tiempos de proceso son más cortos y las células superficiales de la muestra quedan muy deshidratadas. Así mismo también Silva (2018) estudio la deshidratación osmótica en arándanos, obteniendo los siguientes resultados de temperatura de 56 °C y concentración de sacarosa de 65 °Brix, bajo estas condiciones obtuvo 13 % de mayor variación porcentual de pérdida de agua. Si bien es cierto el resultado obtenido muestra la mayor variación porcentual de pérdida de agua en el tratamiento de concentración 60 °Brix y temperatura de 60 °C obteniendo 11.47 %, esto debido que cada producto tiene diferentes cantidades de agua según el tamaño que tiene la fruta, por tal motivo la pérdida de agua se realiza según a su composición que tiene la fruta.

En el Anexo 16, se muestra la ANOVA para la variación porcentual de pérdida de agua en la deshidratación osmótica del fruto de frambuesa heritage, en el cual la presencia de concentración de sacarosa (azúcar) y la presencia de temperatura presentan un efecto significativo en el proceso de deshidratación osmótica. Al

respecto Phisut (2012), indica que la concentración del agente osmótico y la temperatura influyen sobre la cinética de transferencia de masa, durante el tratamiento osmótico prolongado, el aumento de las concentraciones de soluto en los resultados aumenta las tasas de pérdida de agua.

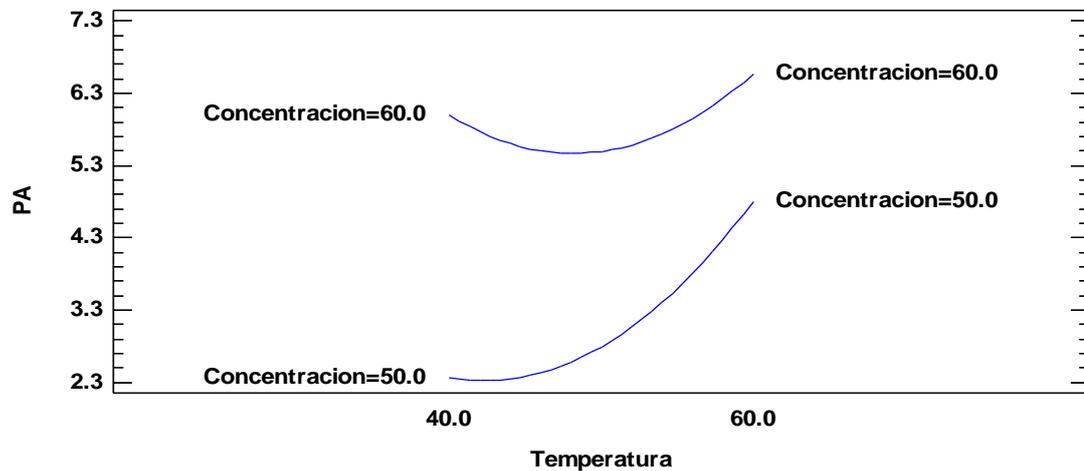


Figura 14. Gráfica de Interacción para la variación porcentual de pérdida de agua con respecto a la concentración y temperatura.

De la Figura 14, se observa que la variación porcentual de pérdida de agua se incrementa con la concentración de sacarosa y la temperatura, el tratamiento que presenta mayor pérdida de agua es de temperatura de 60 °C y concentración de sacarosa de 60 °Brix, también se observa que a una concentración de 50 °Brix y una temperatura de 40°C la variación porcentual de pérdida de agua es menor. Y de acuerdo con ANOVA (Anexo 16), tanto los dos efectos principales (concentración de sacarosa y temperatura) como el efecto de interacción (concentración x temperatura) tienen un efecto significativo sobre la pérdida de agua, puesto que para la temperatura y concentración de sacarosa los valores-p son menores que 0.05, esto con un nivel de confianza al 95 %. Esto indica que el producto pierde mayor cantidad de agua cuando se halla inmerso en las soluciones de concentración de sacarosa elevada y mayor temperatura. Según López y Galeano (1998), estudio la deshidratación osmótica de la fresa, menciona que obtuvo los mejores resultados a mayor temperatura y mayor concentración de solución osmótica. También Arreola *et al.* (2007), menciona que la concentración de la solución osmótica y la temperatura influyen considerablemente durante el proceso debido a que un aumento de esta última intensifica la eliminación de agua y la penetración de sacarosa.

4.2.3. Ganancia de sólidos solubles

Los resultados para la variación porcentual de ganancia de solidos solubles son obtenidos a partir de la ecuación 9 donde los datos se muestran en el Anexo 8 al 13.

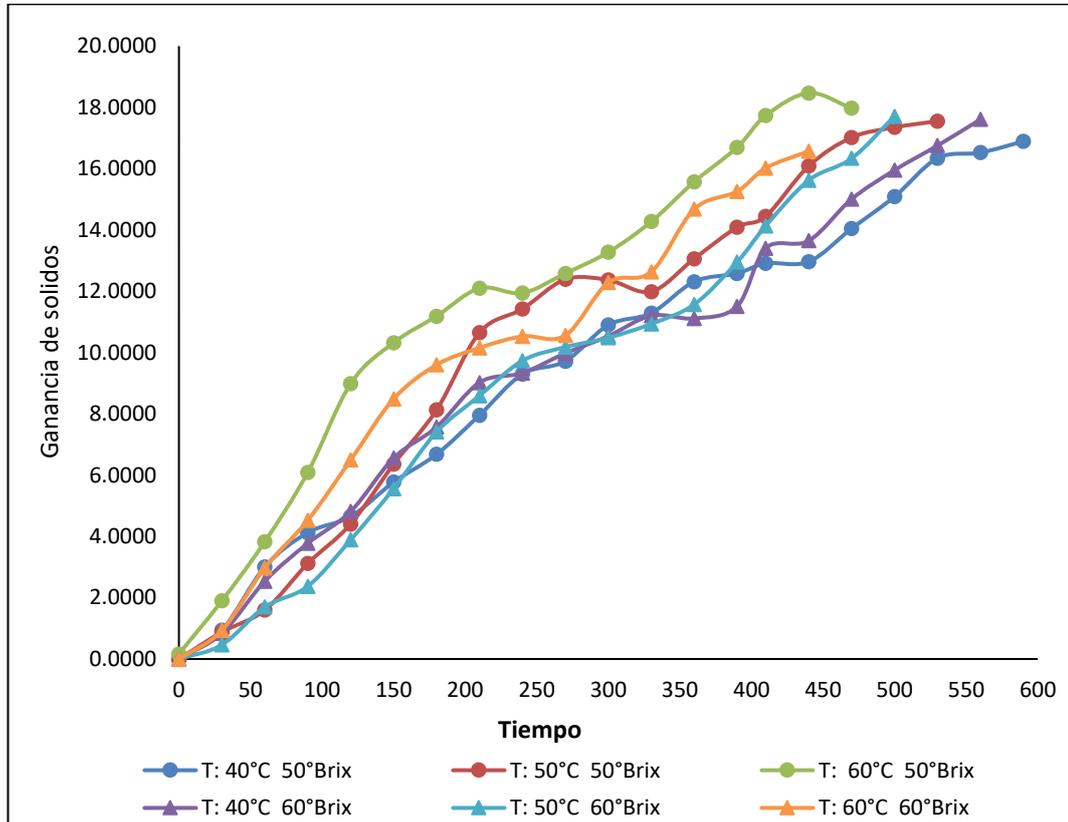


Figura 15. Ganancia de sólidos solubles en la deshidratación osmótica de frambuesa heritage.

En la Figura 15, muestra que la ganancia de solidos solubles aumenta con el tiempo de tratamiento y además se observa que la velocidad de ganancia de solidos solubles incrementa conforme se incrementa la concentración de sacarosa y temperatura. Al respecto Mendoza y Sánchez (2008) reportaron que la ganancia de solidos es proporcional a la concentración y temperatura, los resultados son similares en el efecto de la temperatura y la concentración de sacarosa que influyen en la ganancia de solidos solubles en frutos de frambuesa heritage osmodeshidratado. El experimento realizado a una concentración de 50 °Brix a temperatura 60 °C muestra un valor más alto de 18.46 % para la ganancia de solidos solubles. También durante los primeros 210 minutos de proceso se

observa la mayor ganancia de sólidos, pero a medida que transcurre el tiempo la ganancia de sólidos se mantiene constante con diferencias no significativas entre porcentajes del 3 %. Dixon y Jen (1997), mencionan que la mayor cantidad de sólidos ganados se da dentro de los primeros minutos de tratamiento. A partir de ese punto los flujos se hacen muy lentos. La velocidad de transferencia de masa de sustancias nativas (azúcares, ácidos orgánicos, minerales etc.) que atraviesan la membrana, es muy pequeña, lo que hace que las pérdidas sean cuantitativamente despreciables.

En otras investigaciones como Cerdán y López (2006) obtuvieron que a concentración de sacarosa de 40 °Brix el valor más alto fue de 17.70 % en el estudio de deshidratación osmótico de aguaymanto, este resultado se asemeja a nuestro valor obtenido. Así mismo Arreola y Vasquez (2018) en su estudio de deshidratación osmótico de higo, señala que a concentración de 50 °Brix y a una temperatura de 65 °C la penetración de sacarosa al producto se da de una manera muy considerable, si bien sabemos que el aumento de la temperatura del sistema va a producir cambios en la permeabilidad de la pared celular y en la fluidez de la concentración. El aumento de la permeabilidad produce una mayor velocidad de deshidratación, debido a la mayor movilidad de las moléculas y a la pérdida de la selectividad de la membrana, la cual permite un mayor intercambio de agua que sale de la fruta, pero también un mayor ingreso de solutos. A medida que avanza el tiempo de contacto de la fruta con la concentración la penetración de sacarosa se va difundiendo lentamente. Durante el proceso de deshidratación osmótica se observa como la fruta gana sólidos solubles y pierde agua. Según los resultados, de la pérdida de peso, se dice que la salida de agua fue mayor que la ganancia de sólidos durante los 210 minutos del proceso, esto se debe al gradiente de concentraciones que existe entre la fruta y la solución en los primeros minutos, por lo tanto, la presión que ejercen los solutos de la solución de una concentración alta es muy grande, lo que conduce a la salida del agua.

En el Anexo 17, se muestra la ANOVA para ganancia de sólidos solubles en la deshidratación osmótica de frutos de frambuesa. En el cual se muestra que existen diferencias significativas para la concentración, temperatura, la interacción de temperatura – concentración y la concentración cuadrática en la ganancia de sólidos solubles, esto indican que solo la concentración, temperatura y las

interacciones puede provocar una mejor transferencia de solidos solubles en la deshidratación osmótica de frambuesa.

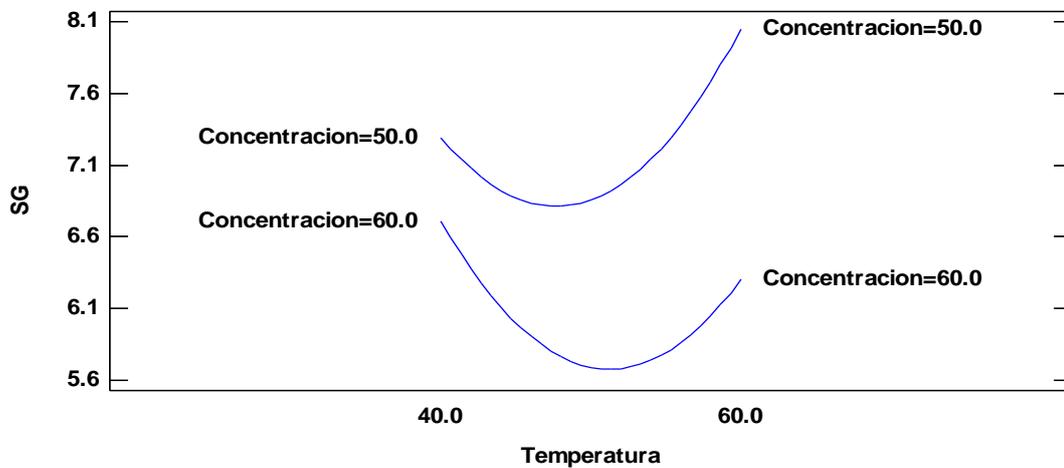


Figura 16. Grafica de Interacción para la ganancia de solidos solubles con respecto a la concentración de sacarosa y temperatura.

En la Figura 16, se observa que a una temperatura de 60 °C y una concentración de sacarosa de 60 °Brix la ganancia de solidos solubles es menor, también se observa que hay mayor ganancia de solidos solubles a una temperatura 60 °C y una concentración de sacarosa de 50 °Brix, por lo tanto, se puede afirmar que la concentración y la temperatura influyen significativamente en la variación de ganancia de solidos solubles. Areola y Vasquez (2018) y Garzón (2014), mencionan que la concentración de la solución osmótica y la temperatura influyen considerablemente durante el proceso debido a que un aumento de esta última intensifica la eliminación de agua y la penetración de sacarosa. Así mismo López y Galiano (1998), señala en su investigación de deshidratación osmótica de fresa que la alta concentración de sacarosa de la solución hipertónica genera una mayor transferencia de solutos de la solución hacia el producto. En cambio, Della (2011), menciona que la ganancia de solidos es inferior a altas concentraciones de sacarosa debido a la formación de una capa de sacarosa superficial sobre el producto que impide el ingreso dentro del mismo. Esto es debido a que algunos investigadores utilizan soluciones con solutos de mayor peso molecular, donde la perdida de agua se incrementa y la ganancia de solutos resultan despreciables debido a que el incremento en la concentración de la solución se forma una capa de soluto sobre la superficie del producto que impide la penetración del producto.

4.3. Difusividad efectiva en la deshidratación osmótica de frambuesa heritage

A partir de la linealización de la ecuación de Fick para obtener los valores de difusividad se utilizó el programa STATISTICA para valores de N = 1 al N = 10. En la Tabla 09 se presentan los datos de la difusividad efectiva de la solución de sacarosa en el proceso de deshidratación osmótica.

Tabla 09. Valores de la difusividad efectiva de concentración 50 °Brix para diferentes temperaturas en la deshidratación osmótica de frambuesa heritage.

Valor de N	40 °C		50 °C		60 °C	
	Difusividad m^2/s	Dif %	Difusividad m^2/s	Dif %	Difusividad m^2/s	Dif %
N=1	4.0440E-10		3.3703E-10		3.2504E-10	
N=2	3.9020E-10	3.5121	3.2769E-10	2.7722	3.1656E-10	2.6106
N=3	3.8366E-10	1.6761	3.1889E-10	2.6848	3.0583E-10	2.3885
N=4	3.8155E-10	0.5496	3.1522E-10	1.1507	3.0103E-10	1.5717
N=5	3.8080E-10	0.1965	3.1369E-10	0.4876	2.9894E-10	0.6921
N=6	3.8051E-10	0.0748	3.1303E-10	0.2077	2.9805E-10	0.2995
N=7	3.8040E-10	0.0283	3.1276E-10	0.0873	2.9767E-10	0.1268
N=8	3.8037E-10	0.0100	3.1265E-10	0.0353	2.9751E-10	0.0520
N=9	3.8035E-10	0.0032	3.1261E-10	0.0133	2.9745E-10	0.0208
N=10	3.8035E-10	0.0009	3.1260E-10	0.0046	2.9743E-10	0.0072

Tabla 10. Valores de la difusividad efectiva de concentración 60 °Brix a diferentes temperaturas en la deshidratación osmótica de frambuesa heritage.

Valor de N	40 °C		50 °C		60 °C	
	Difusividad m^2/s	Dif %	Difusividad m^2/s	Dif %	Difusividad m^2/s	Dif %
N=1	2.8839E-10		2.6591E-10		2.5659E-10	
N=2	2.9166E-10	1.1323	2.7708E-10	4.1758	2.7190E-10	5.9650
N=3	2.8809E-10	1.2246	2.7388E-10	1.1329	2.6832E-10	1.3179
N=4	2.8666E-10	0.4950	2.7239E-10	0.5416	2.6655E-10	0.6592
N=5	2.8609E-10	0.1980	2.7177E-10	0.2283	2.6581E-10	0.2782
N=6	2.8585E-10	0.0843	2.7150E-10	0.0998	2.6548E-10	0.1230
N=7	2.8574E-10	0.0375	2.7137E-10	0.0455	2.6533E-10	0.0558
N=8	2.8570E-10	0.0162	2.7132E-10	0.0204	2.6526E-10	0.0255
N=9	2.8568E-10	0.0068	2.7130E-10	0.0087	2.6523E-10	0.0109
N=10	2.8567E-10	0.0028	2.7129E-10	0.0036	2.6522E-10	0.0047

Los resultados de la difusividad efectiva de la deshidratación osmótica de frambuesa heritage fueron obtenidos al desarrollar la ecuación 13 para los valores de N=1 al N= 10. En donde se observa para N = 1 la mayor difusividad efectiva corresponde a concentración 50 °Brix y una temperatura de 40 °C dando un valor de $4.04E-10 m^2/s$, la menor difusividad se da en la temperatura de 60 °C y una concentración de 60 °Brix obteniendo un valor de $2.56E-10 m^2/s$, por lo cual se deduce que la mayor influencia sobre la difusividad efectiva se da por la menor concentración y temperatura, esto se debe a que al inicio del proceso existe un mayor diferencial de concentraciones entre el producto y la solución hipertónica y a medida que transcurre el tiempo esta diferencial se reduce y disminuye la velocidad de penetración de la sacarosa.

En la tabla 09 y 10 también se puede observar los resultados para N = 5 donde el valor alto es $3.80E-10 m^2/s$ que se registra en el tratamiento de concentración 50 °Brix y a una temperatura 40°C, así mismo también para N=5 a una concentración de 60 °Brix y temperatura 60 °C la difusividad efectiva es $2.65E-10 m^2/s$ donde el valor es menor, de mismo modo sucede para los demás valores de N a menor concentración y menor temperatura se da mayores valores de difusividad y también cuando la temperatura aumenta los valores de difusividad disminuye,

Hermida (2000) señala que una simplificación usual utilizando una solución asintótica que consiste en reducir la serie infinita al término 1 debido a que los términos superiores para la difusividad se hacen muy pequeños para tiempos largos. Entonces se dice que cuando incrementa el valor de N los valores de la difusividad efectiva se hacen muy pequeños como sucede en nuestros resultados.

En otras investigaciones como, Maldonado (2007); Gavidia *et al*, (2013) y Rojas y Vásquez (2012), obtuvieron valores de difusividades relativamente igual a nuestro estudio, también concuerdan que la mayor influencia sobre la difusividad efectiva se da a menor temperatura. Así mismo, Phisut, (2012), menciona que el agente osmótico de bajo peso molecular penetra más fácilmente en la célula de la fruta en comparación con el agente osmótico de elevado peso molecular. Cerdán y López (2006) en su investigación de deshidratación osmótica de aguaymanto obtuvieron un valor de $2.54 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para una concentración de 30 %, si bien se sabe que este resultado es similar a nuestros resultados obtenidos, es decir que la concentración de sacarosa es muy importante en el proceso de difusión ya que cuanto más alto es la temperatura la difusividad es mayor, por otro lado Gamboa y Silva (2018) mencionan en la deshidratación osmótica de arándanos la difusividad efectiva para una concentración de 60 °Brix fue de $3.428 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y Valero (2017) en el estudio de deshidratación osmótica de papayita nativa obtuvo un valor de $1.2062 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ con cual podemos concluir que a difusividad efectiva depende de la concentración y no de la temperatura que tiene la solución porque cuanto más es la concentración y más bajo es la temperatura más alto será el valor de la difusividad efectiva de solución.

4.4. Contenido de antocianinas totales después del deshidratado osmótico de frambuesa heritage

El contenido de antocianinas totales presenta en el Anexo 26 por triplicado y en el Anexo 27 se muestra la ANOVA para diferencias significativas entre las etapas del desarrollo de la investigación cuando las muestras llegaron al equilibrio osmótico.

Tabla 11. Contenido de antocianinas totales al final de cada etapa del proceso de deshidratación osmótica de frambuesa.

Temperatura	Concentración sacarosa	mg c-3 g/100 g muestra	Desviación Estándar
Frambuesa fresca		73.72	1.521
40	50	67.42	1.863
50	50	48.56	1.200
60	50	40.21	2.349
40	60	59.74	4.336
50	60	43.22	3.348
60	60	34.62	2.320

En la tabla 11 se muestra la variación de antocianinas totales en los 6 tratamientos de estudio de deshidratación osmótico aplicados en la investigación, donde el tratamiento 1 de concentración 50 °brix y temperatura de 40 °C muestra el contenido más alto de las antocianinas de 67.42 mg cianidina - 3 glucosido/100 gramos muestra, mientras el tratamiento 6 de concentración 60 °Brix y temperatura 60 °C. Muestra un menor contenido de antocianinas 14.67 mg cianidina- 3 glucosido/100 gramos muestra.

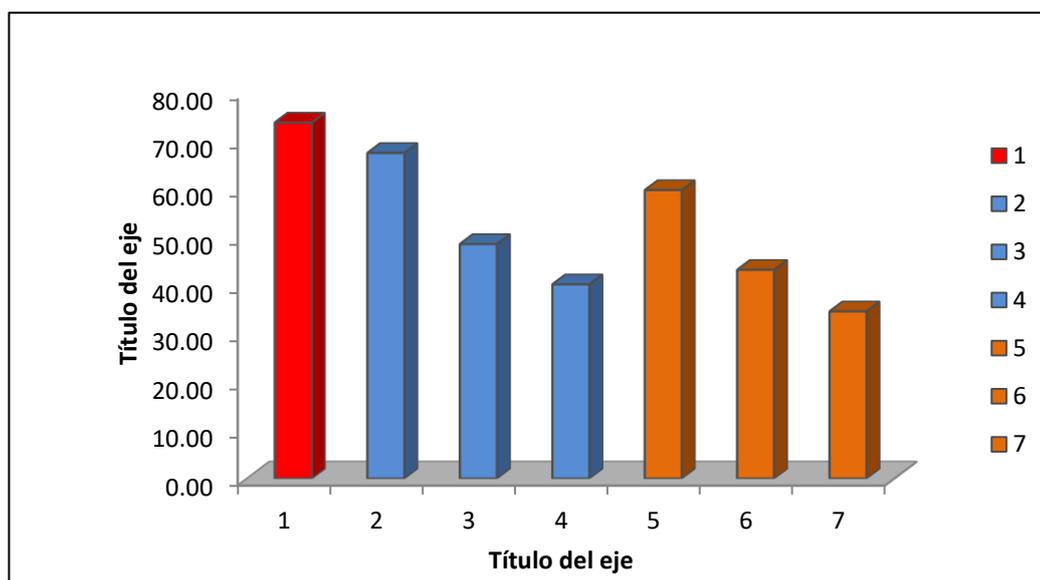


Figura 17. Concentración de antocianinas totales cuantificadas después de cada etapa del proceso de deshidratación osmótica.

En la Figura 17, podemos apreciar gráficamente el contenido de antocianinas totales, en donde se evidencia el descenso paulatino al finalizar cada etapa de investigación, lo cual resulta obvio debido a que el producto en cuestión va

disminuyendo su contenido de antocianinas a medida que el producto es manipulado y procesado. Cabe mencionar que la exposición del producto a temperaturas elevadas fue clave para la pérdida de las antocianinas. Con respecto al contenido de antocianinas en su estado fresco, el valor encontrado fue cercano al reportado por Mejia E, 2016, quien señala que el contenido de antocianinas para una frambuesa fresca es de 78 mg Cianidina-3-glucosido/100 g muestra, así mismo también el valor obtenido en la tabla 16 de la frambuesa fresca se asemeja con lo señalado por Moyer *et al.*, 2002, que señala que el contenido de antocianinas de frambuesa fresca se encuentra entre 73 y 430 mg Cianidina-3-glucosido/100 g peso fresco, con lo cual los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango.

Los diferentes autores no explican los factores como: variedades, los factores ambientales tales como clima, luminosidad, radiación UV, temperatura, humedad del suelo, disponibilidad de nutrientes, practicas agronómicas y el grado de madurez de la frambuesa fresca, ya que las variaciones en el contenido de antocianinas totales de frambuesa fresca podrían ser alteradas por los factores mencionadas (Clark y Howard, 2002).

En la Tabla 09, se presentan el contenido de antocianinas después del deshidratado osmótico de frambuesa heritage, se encontró un tratamiento que conserva en mayor porcentaje el contenido de antocianinas, lo cual indica una retención de antocianinas totales de 67.42 mg Cianidina-3-glucosido/100 g peso fresco, lo mencionado coincide con Moyer *et al.*, 2002, que los resultados obtenidos tienden a tener un nivel de significancia diferido, esto es debido a que en la etapa de deshidratación osmótica, al mantenerse una temperatura alta (68 °C) hace que la solubilidad de las antocianinas disminuya con ligera independencia a la concentración de sacarosa lo cual indica una retención de antocianinas totales de 38.37, también Giovanelli *et al.*, 2013 afirma en su evaluación del efecto de la deshidratación osmótica sobre las características antioxidantes de los arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.), se enfatiza que los ensayos osmóticos con sacarosa (60°Brix) causaron pérdidas significativas en los componentes antioxidantes (fenoles totales, antocianinas totales e individuales) siendo de un 20 a 60 % de perdida en el contenido de antocianinas (delfinidina, cianidina y petunidina glucósidos), teniendo en cuenta lo mencionado, en nuestro

estudio el tratamiento de concentración 60 °Brix y una temperatura de 60°C causaron una pérdida mayor de antocianinas.

En el Anexo 27 se puede observar la ANOVA para el contenido de antocianinas, donde la presencia de temperatura y la interacción de temperatura cuadrática influyen significativamente en el contenido de antocianinas a un nivel de confianza de 95%, mientras que la concentración no influye significativamente en el contenido de antocianinas de frambuesa heritage.

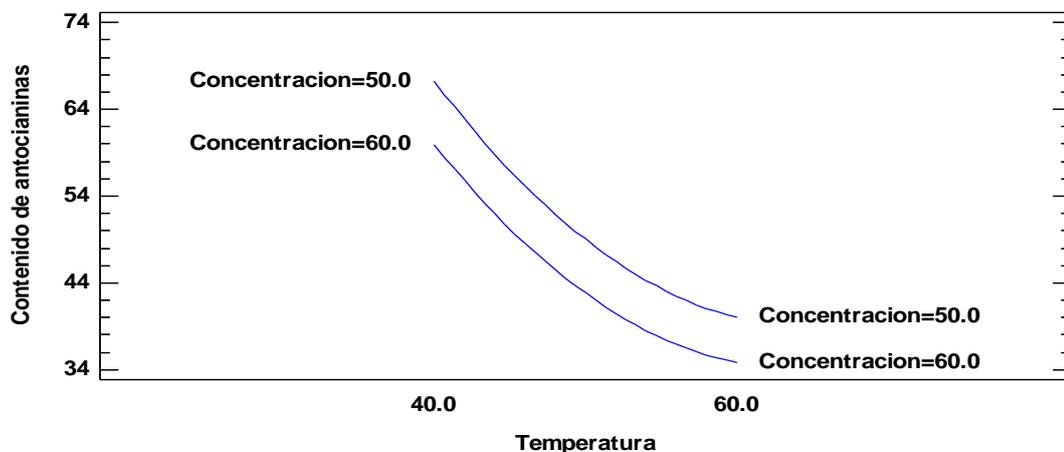


Figura 18. Grafica de interacción para el contenido de antocianinas en la deshidratación osmótica de frambuesa heritage.

En la Figura 18 del gráfico de interacción se puede observar esquemáticamente que a concentración 50 °Brix y temperaturas de 40 °C el contenido de antocianinas es afectada en menor proporción en cuanto al estado inicial de la frambuesa. Así mismo Ponce j (2017) señala que el tratamiento donde se degrada menos las antocianinas es en (20 °C; 60 °Brix), del cual nuestro resultado coincide que la temperatura es el factor fundamental en la estabilidad de antocianinas.

CONCLUSIONES

- ✓ La aplicación de temperatura y concentración en la cinética tuvieron un efecto importante sobre la pérdida de peso y pérdida de agua. Los niveles máximos de pérdida de peso y pérdida de agua se registraron a temperatura de 60 °C y concentración 60 °Brix. Para la ganancia de sólidos solubles la concentración de solución influye significativamente pero no la temperatura, el valor más alto fue a una concentración de 50 °Brix y temperatura de 60 °C.
- ✓ Los valores de coeficiente de difusividad efectiva dependen directamente del efecto de la temperatura y concentración de la solución osmótica empleada en el proceso de deshidratación osmótica. El máximo valor para N=1 fue de $4.04399E-10 \text{ m}^2/s$, para N=5 fue de $3.807974E-10 \text{ m}^2/s$ y para N=10 fue $3.803512E-10 \text{ m}^2/s$ que se muestra en el tratamiento de concentración 50 °Brix y a temperatura de 40 °C.
- ✓ El contenido de antocianinas fue afectado de manera significativa por el incremento de temperatura y concentración en el proceso de deshidratación osmótica, el incremento de temperatura en la estabilidad de las antocianinas genera una disminución en el tratamiento patrón (frambuesa fresca). El máximo valor mostrado de contenidos de antocianinas fue de 67.42 mg cianidina - 3 glucosido/100 gr muestra a una concentración de 50 °Brix y una temperatura de 40 °C, este tratamiento disminuye de manera no significativa del contenido total de antocianina que presentan las frambuesas en etapa inicial

RECOMENDACIONES

- ✓ Evaluar la difusividad efectiva de sacarosa en láminas de frambuesa y con otros métodos.
- ✓ Realizar las pruebas organolépticas del producto obtenido.
- ✓ Realizar estudios con diferentes agentes osmóticos para determinar la vida útil de frambuesa después de deshidratado osmóticos.
- ✓ Después del deshidratado osmótico realizar los estudios para determinar la calidad de antocianinas que tiene la frambuesa
- ✓ Hacer estudio de deshidratación osmótica en la estufa y luego determinar los compuestos Bioactivos que tiene la frambuesa heritage.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Andreotti, R., Palmas, D., (1995). Conservazione di pesche parzialmente disidratate per osmosi diretta. Industria Conserve, Estados Unidos.
- Arrehola, R., Rosas, I., Martha, M., (2007). Aplicación de vacío en la deshidratación Osmótica de Higos (*Ficus carica*). Mexico.
- Aroni, J., (2013). Evaluación de la estabilidad de antocianinas presentes en los frutos de hesperomeles *escalloniifolia* schltl (capachu), *berberis cummutata eichler* (huancachu), *berberis humbertiana* j.f. macbr (cheqche) y *Vaccinium floribundum* kunth (alaybilí) frente al pH y temperatura. Tesis de pregrado. Universidad Nacional José María Arguedas. Andahuaylas-Perú.
- Aguilera, M., Reza, C., Chew, R., Meza, A., (2011). Propiedades funcionales de las antocianinas. España, Editorial Acribia S.A.
- Badui, D., (1993). Química de los alimentos. Addison Wesley Longman de México, S. A. DE C. V. México D. F., México.
- Barat, J., Fito, P., Chiralt, A., (2001). Modelling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues. Journal of Food Engineering.
- Barboza, G., Vega, H., (2000). Deshidratación de Alimentos, Zaragoza - España, Editorial Acribia S.A.
- Cárdenas, O., (1996). Aprovechamiento de Productos de la Osmodeshidratación en el Mejoramiento de las Características Sensoriales de Conservas de Piña en Almibar. Santafé de Bogotá: Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos.
- Castro, A., Manjarres, K., Ospina, A., Pineda, Y., (2003). Estudio de la cinética de deshidratación osmótica de la uchuva (*physalis peruviana*). Bogotá Colombia.
- Campos, A., Flores, D., (2012). Deshidratación osmótica de placas de chayote (*Sechium edule*). Tesis para optar título profesional de ingeniero alimentario en la Universidad de Chile.

- Cerdán, K., López, C., (2006). Efecto de concentración del soluto en la deshidratación osmótica de aguaymanto
- Chaffer, M., González, C., Ortola, M., Chiralt, A., y Fito, P. (2001). Kinetics of osmotic dehydration in orange and mandarin peels. *Journal of Food Process Engineering*.
- Colina, M., (2010). *Deshidratación de Alimentos*, Edt. Trillas, México D.F. Della.
- Crank, J., (1956). *The mathematics of the diffusion*. Ed. Lorendon Press, Oxford.
- Delgado, F., Jiménez, A., Paredes, O., (2000). Natural pigments: bcarotenoids, anthocyanins, betalains characteristics, biosynthesis, processing and stability. *Food Science and Nutrition*.
- Dixon, M., Jen, J., (1997). Changes of sugars and acids of osmovac-dried apple slices, *Journal of Food Science*.
- Fennema, O., (2000). *Química de los Alimentos*. Editorial. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- Fito, P., (1994). Modeling of vacuum osmotic dehydration of foods. *Journal of food engineering*.
- Garcell, L., Díaz, G., Surís, C., (1988). *Transferencia de cantidad de movimiento calor y masa*. Editorial Pueblo, Habana Cuba.
- Garzón, A., (2008). *Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos biológicos*. Colombia.
- García, S., (2014). El cultivo del frambueso disponible en <http://www.serida.org/pdfs/6085.pdf>.
- Garrote, R., Bertone, A., (1989). Osmotic concentration at low temperature of frozen strawberry halves. Effect of glycerol, glucose and sucrose solutions on exudates loss during thawing.
- Geankoplis, J., (1998). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. Tercera Edición. Compañía Editorial Continental S.A. de C.V. México.

- Giusti, G., y Wrolstad, B., (1976). Characterization and measure 5. Ments of anthocyanins by UV-VIS spectroscopy. In Current protocols in Food Analytical Chemistry New York.
- Giraldo, G., Duque, A (2005). Deshidratación osmótica como pretratamiento en la conservación de mora (*Rubus glaucus*) y aguaymanto (*Physalis peruviana l.*). Escuela Superior Politécnica del Litoral Ecuador.
- Góngora, J., León, M., (1991). Alternativas para la industrialización de las frambuesas, Tesis. Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- Gutierrez, H., Vara, I., (2008). Análisis y diseño de experimentos (M.-H. Interamericana Ed. segundo ed.). Mexico.
- Gorriti, A., Arroyo, J., Negron, L., Jurado, B., Purizaca, H., Santiago, I., Taype, E., Quispe, J., (2009). Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante de las corontas del maíz morado (*Zea mays L.*): Método de extracción. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas.
- Holman, J., (1999). Transferencia de calor, décima edición. Editorial McGraw-Hill, México.
- Heng, K. Guilbert, S., Cuq, J., (1990). Osmotic Dehydration of Papaya: Influence of Process Variables on the Product Quality. Sciences des Aliments.
- Hermida, J., (2000). Fundamentos de Ingeniería de Procesos Agroalimentarios, Coedición, Editorial Mundi Prensa, Madrid.
- Hernandez, J., (2007). Cinética del secado de productos agrícolas. México distrito federal de México.
- Horton, D., (1998). Underground caops. long terin trends in production of roots an tubers. Winrock international.
- Huayamave, J. y Cornejo, M., (2005), Influencias de presiones de vacío en la trasferencia de masa durante la deshidratación osmótica del mango.

Escuela Superior Politécnica del Litoral Ecuador.

Huamán, I., (2000). Determinación de los coeficientes de difusión de transferencia de masa en el proceso de deshidratado osmótico de capulí (*Physalis peruviana*). (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero en Industrias alimentarias). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo-Perú.

James, R., Charles, W., Robert E., Wicks, W., (1988). Fundamentos de transferencia de momento calor y masa. Editorial Limusa.

Julca, L.; Vasquez, F., (2018). Deshidratación osmótica de mamey (*Mammea americana L.*) y su efecto en las características fisicoquímicas

Kaymak, F. (2003). Modelling de mass transfer during osmotic dehydration of apple, journal of food engineering.

Kopjar M., Piližota V. (2009). Copigmentation effect of phenolic compounds on red currant juice anthocyanins during storage. Croatian Journal of Food Science and Technology.

Laleh G., Frydoonfar H., Heidary R., Jameel R. y Zare S., (2006). The effect of light, temperature, pH and species on stability of anthocyanin pigments in four berberis species. Pakistan Journal of Nutrition.

Lerici C., Pinnavaia G., Rosa M.D. and Bartolucci L., 1985. Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agent on drying behaviour and product quality, Journal of Food Science.

Leyva, S., (2009). Determinación de antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante en licores y fruto de mora. Tesis de pregrado, Facultad de ingeniería de alimentos, Universidad Tecnológico de Mixteca, México.

Lefevre, M., (2006). anthocyanins inhibit lipogenesis of 3T3-L1 preadipocytes.

López Ortiz, O., Galeano Huertas, A. (1998). Deshidratación osmótica de la fresa (*Fragaria chiloensis*).

Maltini, E., Torregiani, D., (1981). Recent Developments in the Production of

Shelf Stable Fruits by Osmosis. Food Science Technology.

Maldonado, S., (2017) Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*).

Mantilla, V., (2008). Estudio de Prefactibilidad para la producción y comercialización de frambuesas (*Rubus Ideaus*), en el mercado ecuatoriano.

Manzano, M., (2013). Proyecto de factibilidad para la creación de una empresa productora y comercializadora de frambuesas para su exportación a los estados unidos de américa, ubicada en puenbo, provincia de pichincha. Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana sede – Quito.

Mendoza, R., Sanchez, A., (2008). Cálculo de los parámetros de transferencia de masa durante la cinética de deshidratación osmótica de la manzana mediante un algoritmo

Mejia, D., (2016). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos biológicos de las frambuesas. Tesis de grado de la Universidad Mixteca, México.

Moldovan B.; David L., Chişbora C. y Cimpoi C., (2012). Degradation kinetics of anthocyanins from european cranberrybush (*Viburnum opulus L.*) fruit extracts. Effects of temperature, pH and storage solvent. Molecules 2012.

Moy J., Lau N., Dollar A., (1978), Effects of sucrose and acids on osmovacdehydration of tropical fruits. J. Food Proc. Preserv.

Mugurama, M., Katayama, K., Nakaruma, M., Yamaguchi, M., (1987). Low Temperature Osmotic Dehydration Improves the Quality of Intermediate Moisture Meats. Meats Science.

Pérez, M., Pimentel, J., (2003). Transferencia de Masa I. Editorial Offeset San Román. Primera Edición. Puno Perú.

Potter, N., Hotchkiss, J., (1999). Ciencia de los Alimentos. Editorial Acribia, S.A.

Zargosa-España.

- Pereira, M., Ferrari, C., Mastrantonio, S., Rodríguez, A., Hubinger M., (2006). Kinetics aspects, texture, and color evaluation of some tropical fruits during osmotic dehydration. *Drying Technology*.
- Ponce, J., (2017). Efecto del deshidratado osmótico en la estabilidad de antocianinas del saúco (*Sambucus peruviana HBK*) a diferentes temperaturas y concentraciones de jarabe de sacarosa.
- Quispe, M., (2003). Estudio del efecto de la irradiación gamma en la conservación del mango, de la variedad Haden, almacenado en refrigeración [Tesis]- Lima-Perú. Universidad Nacional Agraria de la Molina.
- Rastogi, H., Raghavarao, R., (2003), Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration.
- Rebolledo, F., (2007). Determinación del Potencial de Coloración en Alimentos de un concentrado de Jugo de Cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) Obtenido por Nanofiltración. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile.
- Rein, M., (2005). Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins. Academic dissertation. University of Helsinki. Department of Applied Chemistry and Microbiology Food Chemistry Division.
- Sablani, S., Rahman, M., (2003). Effect of Nyrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficients Turing osmótica dehydration of mango. *Food Research International*.
- Saurel, R., Raoult, A., Ríos G., Guilbert S., (1994), Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple. II. Frozen plant tissue. *International Journal of Food Science and Technology*.
- Sierra y selva exportadora, (2015). Ficha tecnica de frambuesas crudas en la base de datos de nutrientes.
- Silva, J., (2018). Determinación de temperatura y concentración de soluto en la

deshidratación osmótica de arándano.

Stintzing, F., (2002), Color and Antioxidant Properties of Cyanidin-based Anthocyanin Pigments. J Agric Food Chem.

Tepper, P., (1996). Transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de palta cv fuerte Santiago de Chile.

Vilca, L., (2015). Determinación de la cinética de deshidratación osmótica de yacón (*smallanthus sonchifolius*) en rodajas.

Valero, E., (2017). deshidratación osmótica de la papayita nativa (*Vasconcellea pubescens*) en tres agentes osmodeshidratantes. Tesis de pregrado. Universidad Nacional José María Arguedas. Andahuaylas-Perú.

Yao, Z., Le Maguer, R., (1997). Mathematical modelling and simulation of mass transfer in osmotic dehydration processes. Part. III: parametric study. Journal of food Engineering.

Zogzas, P., Maroulis, B., Kouris, M., (1994). Moisture diffusivity methods of experimental determination. A review. Drying Technology.

ANEXOS

ANEXO 01. Tiempo en llegar la frambuesa al equilibrio en la deshidratación osmótico para diferentes tratamientos.

Concentración	Temperatura	Tiempo de equilibrio			Desviación estándar
		R1	R2	R3	
50	40	590	590	590	0.00
	50	530	530	530	0.00
	60	470	470	470	0.00
60	40	560	560	560	0.00
	50	500	500	500	0.00
	60	440	440	440	0.00

ANEXO 02. ANOVA para el tiempo de deshidratado osmótico de la frambuesa heritage

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	45633.3	1	45633.3	320.40	0.0000
B: Concentración	2938.89	1	2938.89	20.63	0.0008
AA	11.1111	1	11.1111	0.08	0.7852
AB	133.333	1	133.333	0.94	0.3541
Bloques	344.444	2	172.222	1.21	0.3352
Error total	1566.67	11	142.424		
Total (corr.)	50627.8	17			

ANEXO 03. Valores del tratamiento de temperatura 40 °C y concentración 50 °Brix para la determinación de la cinética en la deshidratación osmótica.

Tiempo (Min)	Muestra representativa			C	Humedad
	P0	PF	C0		
0	5.675	5.675	12.50	50.00	0.9002
30	5.9032	5.853	14.00	49.50	0.8945
60	5.4085	5.3190	16.00	49.00	0.8799
90	5.9034	5.8320	17.50	48.00	0.8611
120	5.5045	5.37	18.00	47.00	0.8211
150	5.7243	5.611	19.00	45.50	0.8013
180	6.005	5.8823	19.50	45.50	0.7981
210	5.923	5.7756	21.00	43.00	0.7908
240	5.8965	5.7123	22.50	42.00	0.7913
270	6.1534	5.9324	23.00	40.50	0.7894
300	5.3549	5.1634	24.50	39.50	0.7851
330	5.1123	4.8499	25.00	37.00	0.7805
360	5.5022	5.1995	26.50	35.50	0.7788
390	5.8123	5.4789	26.50	34.50	0.7701
410	5.6743	5.2398	27.50	34.00	0.7645
440	4.7684	4.3387	28.00	34.50	0.7564
470	4.3218	3.9265	29.00	34.00	0.7512
500	6.0345	5.4645	28.50	33.50	0.7489
530	4.5789	4.0945	30.50	33.00	0.7498
560	4.6758	4.1124	32.00	33.50	0.7345
590	4.5643	4.0034	32.50	33.50	0.73002

ANEXO 04. Valores del tratamiento de temperatura 50 °C y concentración 50 °Brix para la determinación de la cinética en la deshidratación osmótica.

Tiempo (min)	Muestra representativa			C	Humedad
	P0	PFO	C0		
0	5.3426	5.3426	12.50	50.00	0.9042
30	4.7401	4.702	13.50	49.00	0.8966
60	5.4050	5.3326	14.00	48.50	0.8773
90	4.4502	4.3391	15.50	46.50	0.8337
120	6.0836	5.8567	17.00	45.00	0.8254
150	5.7668	5.4908	19.50	43.50	0.8224
180	4.8827	4.6678	21.00	43.50	0.7856
210	4.2067	4.0056	24.50	41.00	0.7754
240	6.0645	5.7467	25.00	40.00	0.7698
270	5.1067	4.7956	26.50	38.50	0.7690
300	5.1278	4.8080	26.50	37.00	0.7513
330	5.4056	5.0747	26.00	36.50	0.7418
360	5.6689	5.3323	27.50	35.50	0.7453
390	5.7653	5.4087	28.00	34.50	0.7398
410	5.8856	5.4067	28.00	34.00	0.7324
440	5.2318	4.8043	30.50	34.50	0.7312
470	4.7843	4.4907	32.50	34.00	0.7234
500	4.0564	3.6087	33.50	33.50	0.7211
530	4.672	4.2085	33.50	33.00	0.7198

ANEXO 05. Valores del tratamiento de temperatura 60 °C y concentración 50 °Brix para la determinación de la cinética en la deshidratación osmótica

Tiempo (min)	Muestra representativa			C	Humedad
	P0	PFO	C0		
0	4.678	4.678	11.50	50.00	0.9167
30	3.7067	3.6345	14.00	52.50	0.8987
60	4.1123	3.9845	16.50	54.50	0.8887
90	4.2056	4.0034	18.00	48.00	0.8454
120	3.3067	3.1356	21.50	47.00	0.8266
150	4.0067	3.7345	23.50	45.50	0.8156
180	4.1867	3.8356	25.00	45.50	0.7978
210	3.2879	2.9760	26.00	43.00	0.7808
240	4.1980	3.7856	26.00	42.00	0.7734
270	4.2367	3.7869	26.50	40.50	0.7639
300	4.6634	4.2845	27.00	39.50	0.7523
330	5.6387	5.2086	28.00	37.00	0.7429
360	5.3494	4.9065	29.50	35.50	0.7319
390	4.3456	4.0127	31.00	34.50	0.7234
410	4.6023	4.1234	32.50	34.00	0.7112
440	5.3289	4.7435	33.50	33.00	0.7067
470	5.8754	5.2239	33.00	33.50	0.7051

ANEXO 06. Valores del tratamiento de temperatura 40 °C y concentración 60 °Brix para la determinación de la cinética en la deshidratación osmótica

Tiempo	Muestra representativa			C	Humedad
	P0	PFO	C0		
0	6.1292	6.1292	12.00	60.0000	0.9248
30	5.5383	5.3465	13.50	58.0000	0.8231
60	4.7045	4.4756	15.00	57.0000	0.8133
90	3.9027	3.7467	16.00	55.5000	0.8012
120	4.6067	4.3523	17.50	54.0000	0.7991
150	4.8053	4.5865	20.00	52.5000	0.7899
180	4.8323	4.4568	21.00	51.0000	0.7786
210	5.0568	4.5234	23.50	50.5000	0.7643
240	3.8645	3.4456	24.00	49.0000	0.7538
270	4.9945	4.3860	24.50	47.5000	0.7456
300	4.1135	3.5967	25.50	45.5000	0.7412
330	4.5056	3.9756	26.50	44.0000	0.7382
360	4.6875	4.1256	26.50	43.5000	0.7319
390	5.8977	5.1345	27.00	42.0000	0.7312
410	4.6758	4.0965	29.00	40.5000	0.7289
440	5.6434	4.9064	29.50	38.5000	0.7213
470	5.7962	5.0498	31.00	37.5000	0.7179
500	4.9854	4.2876	32.50	35.5000	0.7112
530	5.1293	4.4023	33.50	34.0000	0.7067
560	5.8723	5.1134	34.00	34.5000	0.7051

ANEXO 07. Valores del tratamiento de temperatura 50 °C y concentración 60 °Brix para la determinación de la cinética en la deshidratación osmótica.

Tiempo	Muestra representativa			C	Humedad
	PO	PFO	CO		
0	4.9076	4.9076	12.5000	60.0000	0.9144
30	4.4164	4.2862	13.0000	58.0000	0.8466
60	5.2911	5.1854	14.5000	57.0000	0.7977
90	4.6834	4.5267	15.5000	55.5000	0.7845
120	4.6711	4.4770	17.0000	54.0000	0.7799
150	5.1609	4.7682	19.5000	52.5000	0.7688
180	4.0035	3.6210	22.5000	51.0000	0.7622
210	6.1170	5.5671	23.5000	50.5000	0.7402
240	5.1278	4.5367	25.5000	49.0000	0.7365
270	3.3375	2.8897	26.0000	47.5000	0.7264
300	4.6278	4.0152	26.5000	45.5000	0.7218
330	5.1868	4.4895	27.0000	44.0000	0.7315
360	4.0052	3.5247	27.5000	43.5000	0.7278
390	5.4131	4.7625	29.0000	42.0000	0.7256
410	5.0881	4.4950	30.5000	40.5000	0.7167
440	3.5021	3.0552	32.5000	38.5000	0.7134
470	4.6196	4.0063	33.5000	37.5000	0.7032
500	4.8278	4.2152	35.0000	35.5000	0.7019

ANEXO 08. Valores del tratamiento de temperatura 60 °C y concentración 60 °Brix para la determinación de la cinética en la deshidratación osmótica.

Tiempo	Muestra representativa			C	Humedad
	P0	PFO	C0		
0	5.789	5.789	12.0000	60.0000	0.9215
30	4.5866	4.3961	13.5000	58.0000	0.7954
60	5.6042	5.3598	15.6667	57.0000	0.7844
90	5.1965	4.8145	17.8333	55.5000	0.7617
120	4.9934	4.5286	20.3333	54.0000	0.7546
150	5.9945	5.2956	23.0000	52.5000	0.7453
180	4.8844	4.2518	24.8333	51.0000	0.7378
210	5.5432	4.7187	25.8333	50.5000	0.7215
240	4.7155	3.9690	26.5000	49.0000	0.7178
270	4.8054	4.0423	26.5000	47.5000	0.7054
300	4.2845	3.6093	28.5000	45.5000	0.6978
330	5.5234	4.6389	29.0000	43.0000	0.6898
360	5.1034	4.2263	31.5000	41.5000	0.6812
390	5.2051	4.3390	32.5000	38.5000	0.6781
410	6.1845	5.1317	33.5000	36.5000	0.6739
440	4.7149	3.9082	34.5000	35.0000	0.6679

ANEXO 09. Valores experimentales para el modelamiento de cinética, a una concentración de 40 °Brix, temperatura de 50 °C

Pérdida de peso				Perdida de agua				Ganancia de solidos			
R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1.1830	0.4507	0.8504	0.8280	1.0567	0.4026	0.7607	0.7400	1.0050	0.4414	1.3809	0.9424
1.0877	1.3566	1.6548	1.3663	0.9462	1.1801	1.4561	1.1941	2.9963	2.7897	3.2352	3.0071
1.2796	1.2628	1.2095	1.2506	1.0864	1.0721	1.0415	1.0667	4.2825	3.2980	4.7883	4.1229
2.2642	2.2623	2.4435	2.3233	1.8591	1.8576	2.0063	1.9077	4.7667	4.1154	5.0602	4.6474
2.4014	2.8489	1.9793	2.4098	1.9475	2.3104	1.5860	1.9480	5.7184	5.4730	6.1239	5.7718
3.1912	3.0114	2.0433	2.7486	2.5469	2.4034	1.6308	2.1937	6.5391	6.8977	6.6016	6.6794
2.4797	2.7945	2.4886	2.5876	1.9609	2.2099	1.9680	2.0463	7.9793	7.9132	7.9774	7.9566
3.1202	3.1185	3.1239	3.1209	2.4690	2.4677	2.4719	2.4695	9.2980	9.2983	9.2971	9.2978
3.2171	3.3854	3.5915	3.3980	2.5396	2.6724	2.8351	2.6824	9.7601	9.7214	9.6740	9.7185
3.4033	3.2215	3.5762	3.4003	2.6720	2.5292	2.8076	2.6696	10.8442	10.7269	11.1238	10.8983
4.7197	4.6740	5.1327	4.8422	3.6837	3.6481	4.0061	3.7793	11.3201	11.3315	11.2168	11.2895
5.4887	5.1346	5.5014	5.3749	4.2746	3.9988	4.2845	4.1860	12.2305	12.1650	12.5421	12.3125
5.4501	4.8932	5.7361	5.3598	4.1971	3.7682	4.4174	4.1276	12.5557	12.7033	12.4799	12.5797
6.4380	5.2377	7.6573	6.4444	4.9148	3.9812	5.8540	4.9167	13.2296	12.6120	12.8942	12.9119
8.9585	7.5410	9.0114	8.5037	6.7493	5.7214	6.8162	6.4290	12.9916	12.9262	12.9768	12.9649
8.5666	7.6353	9.1467	8.4495	6.3950	5.7280	6.8710	6.3313	14.9300	13.3621	13.8475	14.0465
9.4152	8.2911	9.4457	9.0507	6.8929	6.1528	7.0739	6.7065	16.9401	15.0127	13.3080	15.0869
9.9302	9.1515	10.5790	9.8869	7.2888	6.7071	7.9321	7.3093	17.2230	17.0258	14.7734	16.3407
10.0231	11.4167	12.0493	11.1630	7.2296	8.3171	8.8502	8.1323	17.1924	16.7325	15.6442	16.5230
10.4513	10.1153	12.2889	10.9518	7.4235	7.3174	8.9711	7.9040	17.4988	17.1620	16.0061	16.8890

ANEXO 10. Valores experimentales para el modelamiento de cinética, a una concentración de 50 °Brix, temperatura de 50 °C

Pérdida de peso				Perdida de agua				Ganancia de solidos			
R1	R2	R3	promedio	R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.8159	1.1060	0.7953	0.9057	0.7269	0.9930	0.7131	0.8110	0.8899	0.8507	0.8926	0.8777
1.1638	1.3434	1.3395	1.2822	1.0199	1.1819	1.1751	1.1257	1.6665	1.8052	1.3125	1.5947
2.4965	3.1941	2.4965	2.7290	2.0881	2.6658	2.0813	2.2784	3.2631	3.4730	2.6130	3.1164
3.6960	3.6782	3.7297	3.7013	3.0507	3.0452	3.0785	3.0581	4.5137	4.8379	3.8660	4.4059
4.7860	4.3602	4.7860	4.6441	3.9360	3.5858	3.9360	3.8193	6.3841	6.6280	6.0667	6.3596
4.2661	4.2524	4.4013	4.3066	3.3356	3.3292	3.4576	3.3741	8.2423	8.5645	7.5757	8.1275
4.7764	5.0269	4.7805	4.8613	3.7194	3.8808	3.7068	3.7690	10.8298	10.2935	10.8288	10.6507
5.0111	6.4551	5.2403	5.5689	3.8580	4.9098	4.0340	4.2673	11.7222	11.3539	11.1899	11.4220
6.1396	6.0156	6.0920	6.0824	4.6901	4.5743	4.6847	4.6497	12.3730	12.4059	12.3856	12.3882
6.1210	6.1390	6.2366	6.1655	4.5919	4.6080	4.6856	4.6285	12.3779	12.3732	12.3473	12.3661
6.0219	5.2893	6.1214	5.8109	4.5122	3.9262	4.5409	4.3264	11.9343	12.1248	11.9084	11.9892
5.8347	5.9377	5.9377	5.9034	4.3486	4.4253	4.4253	4.3998	12.9246	12.8968	13.3671	13.0629
6.1853	6.0798	6.1853	6.1501	4.5759	4.4979	4.5759	4.5499	14.2372	14.2672	13.7681	14.0909
8.0009	8.2774	8.1368	8.1384	5.8598	6.0624	5.9594	5.9605	15.0997	15.0168	13.2217	14.4461
8.1712	8.4960	8.1712	8.2794	5.9748	6.2123	5.9748	6.0539	16.4261	16.3238	15.5078	16.0859
9.9031	10.1058	6.1367	8.7152	7.1639	7.3106	4.4393	6.3046	16.3310	16.7156	18.0056	17.0174
9.8218	10.5183	11.0369	10.4590	7.0825	7.5847	7.9587	7.5420	17.7097	17.0290	17.3026	17.3471
9.9208	9.7129	9.9208	9.8515	7.1410	6.9914	7.1410	7.0911	17.2261	17.7462	17.6765	17.5496

ANEXO 11. Valores experimentales para el modelamiento de cinética, a una concentración de 50 °Brix, temperatura de 60 °C

Pérdida de peso				Perdida de agua				Ganancia de solidos			
R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000	0.0000	0.0000	0.1667
2.0746	1.8582	1.9478	1.9602	1.8531	1.6696	1.7505	1.7577	2.2096	1.2584	2.2273	1.8984
3.2524	3.1755	3.1077	3.1786	2.8716	2.8081	2.7619	2.8139	3.9796	3.0237	4.4872	3.8302
4.5167	4.6188	4.8079	4.6478	3.8347	3.9250	4.0646	3.9414	6.4827	6.1455	5.6346	6.0876
5.1247	5.3212	5.1743	5.2067	4.2079	4.3692	4.2771	4.2847	9.2144	8.8559	8.8875	8.9860
6.5123	6.1345	6.7936	6.4801	5.2945	4.9873	5.5409	5.2742	10.4696	10.0891	10.4035	10.3207
8.3213	8.6039	8.3861	8.4371	6.5913	6.8178	6.6904	6.6998	11.2669	10.8920	11.4035	11.1875
9.3645	8.8749	9.4863	9.2419	7.3118	6.9739	7.4069	7.2309	12.0652	12.1925	12.0336	12.0971
9.7201	9.9621	9.8237	9.8353	7.2473	7.6708	7.5977	7.5053	11.9728	11.9099	11.9458	11.9428
8.2692	8.4638	10.6168	9.1166	6.0894	6.4706	8.1101	6.8901	12.8087	12.7571	12.1866	12.5841
8.3030	8.3030	8.1250	8.2437	6.0712	6.2464	6.1124	6.1433	13.2582	13.2582	13.3063	13.2742
8.3310	7.9089	7.6284	7.9561	6.0725	5.8755	5.6671	5.8717	14.1673	14.2855	14.3641	14.2723
8.2794	8.1275	8.2794	8.2288	5.9720	5.9485	6.0597	5.9934	15.5576	15.6024	15.5576	15.5725
9.9618	9.5235	7.6606	9.0486	7.1516	6.8893	5.5417	6.5275	16.4118	16.5477	17.1252	16.6949
9.7689	9.9723	10.4057	10.0490	6.9476	7.0923	7.4005	7.1468	17.8251	17.7590	17.6182	17.7341
9.4640	11.1955	10.9854	10.5483	6.6882	7.9118	7.7634	7.4545	18.8296	18.2495	18.3199	18.4663
9.7174	11.2806	11.0886	10.6955	6.8517	7.9540	7.8186	7.5414	18.2933	17.7774	17.8408	17.9705

ANEXO 12. Valores experimentales para el modelamiento de cinética, a una concentración de 60 °Brix, temperatura de 40 °C

Pérdida de peso				Perdida de agua				Ganancia de solidos			
R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3.806	3.827	3.463	3.699	3.400	3.150	2.851	3.134	0.986	0.502	1.032	0.840
4.660	4.923	4.866	4.816	4.115	4.004	3.957	4.025	2.619	2.737	2.270	2.542
4.169	4.050	3.997	4.072	3.539	3.245	3.203	3.329	3.652	4.311	3.360	3.775
5.334	5.399	5.522	5.419	4.380	4.314	4.413	4.369	4.882	5.028	4.534	4.815
6.621	6.566	4.553	5.913	5.383	5.186	3.597	4.722	6.365	6.220	7.089	6.558
7.761	7.850	7.771	7.794	6.148	6.112	6.051	6.103	7.524	7.812	7.368	7.568
10.172	10.920	10.548	10.547	7.942	8.346	8.062	8.117	9.110	8.934	9.021	9.022
11.256	11.229	10.840	11.108	8.553	8.464	8.171	8.396	9.298	9.305	9.398	9.334
11.882	12.201	12.183	12.089	8.885	9.097	9.084	9.022	10.030	10.389	9.515	9.978
12.545	12.056	12.564	12.388	9.298	8.936	9.312	9.182	10.447	10.865	10.296	10.536
12.791	12.774	11.763	12.443	9.451	9.430	8.684	9.188	11.110	11.115	11.383	11.203
12.975	13.377	11.987	12.780	9.489	9.791	8.773	9.351	11.062	10.955	11.323	11.113
12.941	12.941	12.941	12.941	9.462	9.462	9.462	9.462	11.506	11.506	11.506	11.506
12.389	12.389	12.389	12.389	9.031	9.031	9.031	9.031	13.407	13.407	13.407	13.407
13.060	13.060	13.060	13.060	9.420	9.420	9.420	9.420	13.647	13.647	13.647	13.647
12.877	12.877	12.877	12.877	9.245	9.245	9.245	9.245	15.008	15.008	15.008	15.008
13.997	13.997	13.997	13.997	9.955	9.955	9.955	9.955	15.951	15.951	15.951	15.951
14.173	14.173	14.173	14.173	10.016	10.016	10.016	10.016	16.752	16.752	16.752	16.752
12.923	12.923	12.923	12.923	9.112	9.112	9.112	9.112	17.606	17.606	17.606	17.606

ANEXO 13. Valores experimentales para el modelamiento de cinética, a una concentración de 60 °Brix, temperatura de 50 °C

Pérdida de peso				Perdida de agua				Ganancia de solidos			
R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.981	2.416	2.948	2.782	2.522	2.044	2.496	2.354	0.598	0.674	0.117	0.463
2.151	2.043	1.998	2.064	1.716	1.629	1.594	1.646	1.688	1.704	1.710	1.701
3.349	3.398	3.346	3.364	2.623	2.661	2.625	2.636	2.642	1.990	2.481	2.371
4.155	4.351	4.155	4.220	3.203	3.354	3.241	3.266	4.113	3.760	3.794	3.889
7.682	7.692	7.609	7.661	5.906	5.913	5.850	5.890	5.656	5.500	5.516	5.557
9.629	9.323	9.554	9.502	7.397	7.162	7.282	7.280	7.382	6.995	7.850	7.409
10.815	10.959	8.990	10.255	8.208	8.317	6.654	7.726	8.458	8.425	8.887	8.590
11.706	11.736	11.527	11.657	8.804	8.827	8.490	8.707	9.573	9.566	10.061	9.733
12.638	12.280	13.417	12.778	9.437	9.170	9.746	9.451	10.214	10.307	10.012	10.178
13.314	13.279	13.237	13.277	9.823	9.797	9.555	9.725	10.472	10.481	10.492	10.482
14.630	11.517	13.445	13.197	10.702	8.425	9.835	9.654	10.550	11.390	10.870	10.937
13.422	11.998	11.998	12.472	9.769	8.732	8.732	9.077	11.309	11.701	11.701	11.570
14.522	10.172	12.020	12.238	10.537	7.381	8.721	8.880	12.289	13.550	13.014	12.951
14.711	11.656	11.656	12.675	10.544	8.354	8.354	9.084	13.513	14.445	14.445	14.134
14.902	12.762	12.762	13.475	10.631	9.104	9.104	9.613	15.157	15.852	15.852	15.621
15.215	13.277	13.277	13.923	10.699	9.336	9.336	9.790	15.903	16.552	16.552	16.336
15.694	12.689	12.689	13.691	11.016	8.906	8.906	9.609	17.007	18.059	18.059	17.708

ANEXO 14. Valores experimentales para el modelamiento de cinética, a una concentración de 60 °Brix, temperatura de 60 °C

Pérdida de peso				Perdida de agua				Ganancia de solidos			
R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3.948	4.460	4.153	4.187	3.140	3.548	3.304	3.331	0.967	0.898	0.939	0.935
4.434	4.427	4.361	4.407	3.478	3.472	3.421	3.457	2.972	2.973	2.983	2.976
7.274	7.389	7.351	7.338	5.541	5.628	5.599	5.590	4.536	4.516	4.522	4.525
8.906	8.955	9.308	9.056	6.721	6.757	7.024	6.834	6.522	6.513	6.441	6.492
10.551	10.555	11.659	10.922	7.863	7.867	8.689	8.140	8.573	8.572	8.318	8.488
12.716	13.419	12.951	13.029	9.382	9.901	9.556	9.613	9.676	9.501	9.617	9.598
14.189	13.678	14.874	14.247	10.237	9.869	10.732	10.279	10.168	10.300	9.991	10.153
15.554	13.575	15.831	14.986	11.164	9.744	11.363	10.757	10.378	10.903	10.305	10.529
15.398	13.361	15.880	14.880	10.862	9.425	11.202	10.496	10.419	10.959	10.292	10.557
15.049	13.563	15.758	14.790	10.501	9.464	10.996	10.320	12.211	12.635	12.009	12.285
15.316	13.859	16.014	15.063	10.565	9.560	11.046	10.391	12.558	12.981	12.356	12.632
14.995	13.731	17.187	15.304	10.215	9.354	11.707	10.425	14.776	15.175	14.086	14.679
17.046	14.718	16.639	16.135	11.559	9.980	11.283	10.941	14.960	15.717	15.092	15.256
16.678	15.382	17.023	16.361	11.239	10.366	11.472	11.026	15.913	16.347	15.797	16.019
17.951	16.473	17.109	17.178	11.990	11.002	11.427	11.473	16.307	16.817	16.597	16.574

ANEXO 15. ANOVA para la pérdida de peso en la deshidratación osmótica de la frambuesa

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	14.7797	1	14.7797	105.67	0.0000
B: Concentración	71.6987	1	71.6987	512.61	0.0000
AA	5.3022	1	5.3022	37.91	0.0001
AB	2.46967	1	2.46967	17.66	0.0015
Bloques	0.00062811	2	0.000314055	0.00	0.9978
Error total	1.53857	11	0.13987		
Total (corr.)	95.7894	17			

ANEXO 16. ANOVA para la pérdida de agua de la frambuesa en la deshidratación osmótica

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	6.8032	1	6.8032	149.90	0.0000
B: Concentración	32.8166	1	32.8166	723.06	0.0000
AA	2.46699	1	2.46699	54.36	0.0000
AB	2.596	1	2.596	57.20	0.0000
Bloques	0.00009173	2	0.00004586	0.00	0.9990
Error total	0.499242	11	0.0453857		
Total (corr.)	45.1821	17			

ANEXO 17. ANOVA para la ganancia de sólidos solubles en la deshidratación osmótica de frambuesa heritage.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	0.0883568	1	0.0883568	1.12	0.3125
B: Concentración	6.13842	1	6.13842	77.83	0.0000
AA	2.66696	1	2.66696	33.81	0.0001
AB	1.02849	1	1.02849	13.04	0.0041
Bloques	0.473867	2	0.236933	3.00	0.0910
Error total	0.86758	11	0.0788709		
Total (corr.)	11.2637	17			

ANEXO 18. Correlación de concentraciones para difusividad efectiva de concentración 50 °Brix y temperaturas de 40 °C.

Tiempo (segundos)	Concentración °Brix	K	N=1	N=5	N=10
0	50.0000	1.0000			
1800	49.5000	0.9697			
3600	49.0000	0.9394			
5400	48.0000	0.8788			
7200	47.0000	0.8182			
9000	45.5000	0.7273			
10800	45.5000	0.7273			
12600	43.0000	0.5758			
14400	42.0000	0.5152			
16200	40.5000	0.4242	4.0439E-10	3.8079E-10	3.8035E-10
18000	39.5000	0.3636			
19800	37.0000	0.2121			
21600	35.5000	0.1212			
23400	34.5000	0.0606			
24600	34.0000	0.0303			
26400	34.5000	0.0606			
28200	34.0000	0.0303			
30000	33.5000	0.0000			
31800	33.0000	0.0303			
33600	33.5000	0.0000			
35400	33.5000	0.0000			

ANEXO 19. Correlación de concentraciones para difusividad efectiva de concentración 50 °Brix y temperaturas de 50 °C.

Tiempo (segundo)	Concentración °Brix	K	N=1	N=5	N=10
0	50.0000	1.0000			
1800	49.0000	1.1176			
3600	48.5000	1.1471			
5400	48.0000	0.8824			
7200	47.0000	0.8235			
9000	45.5000	0.7353			
10800	45.5000	0.7353			
12600	43.0000	0.5882			
14400	42.0000	0.5294			
16200	40.5000	0.4412	3.3703E-10	3.1368E-10	3.1259E-10
18000	39.5000	0.3824			
19800	37.0000	0.2353			
21600	35.5000	0.1471			
23400	34.5000	0.0882			
24600	34.0000	0.0588			
26400	34.5000	0.0882			
28200	34.0000	0.0588			
30000	33.5000	0.0294			
31800	33.0000	0.0000			

ANEXO 20. Correlación de concentraciones para difusividad efectiva de concentración 50 °Brix y temperaturas de 60 °C.

Tiempo (segundo)	Concentración °Brix	K	N=1	N=5	N=10
0	50.0000	1.0000			
1800	52.5000	1.1515			
3600	54.5000	1.2727			
5400	48.0000	0.8788			
7200	47.0000	0.8182			
9000	45.5000	0.7273			
10800	45.5000	0.7273			
12600	43.0000	0.5758	3.250E-10	2.984E-10	2.9743E-10
14400	42.0000	0.5152			
16200	40.5000	0.4242			
18000	39.5000	0.3636			
19800	37.0000	0.2121			
21600	35.5000	0.1212			
23400	34.5000	0.0606			
24600	34.0000	0.0303			
26400	33.0000	0.0303			
28200	33.5000	0.0000			

ANEXO 21. Correlación de concentraciones para difusividad efectiva de concentración 60 °Brix y temperaturas de 40 °C.

Tiempo (segundo)	Concentración °Brix	K	N=1	N=5	N=10
0	60.0000	1.0000			
1800	58.0000	0.9216			
3600	57.0000	0.8824			
5400	55.5000	0.8235			
7200	54.0000	0.7647			
9000	52.5000	0.7059			
10800	51.0000	0.6471			
12600	50.5000	0.6275			
14400	49.0000	0.5686	2.889E-10	2.8609E-10	2.8567E-10
16200	47.5000	0.5098			
18000	45.5000	0.4314			
19800	44.0000	0.3725			
21600	43.5000	0.3529			
23400	42.0000	0.2941			
24600	40.5000	0.2353			
26400	38.5000	0.1569			
28200	37.5000	0.1176			
30000	35.5000	0.0392			
31800	34.0000	0.0196			
33600	34.5000	0.0000			

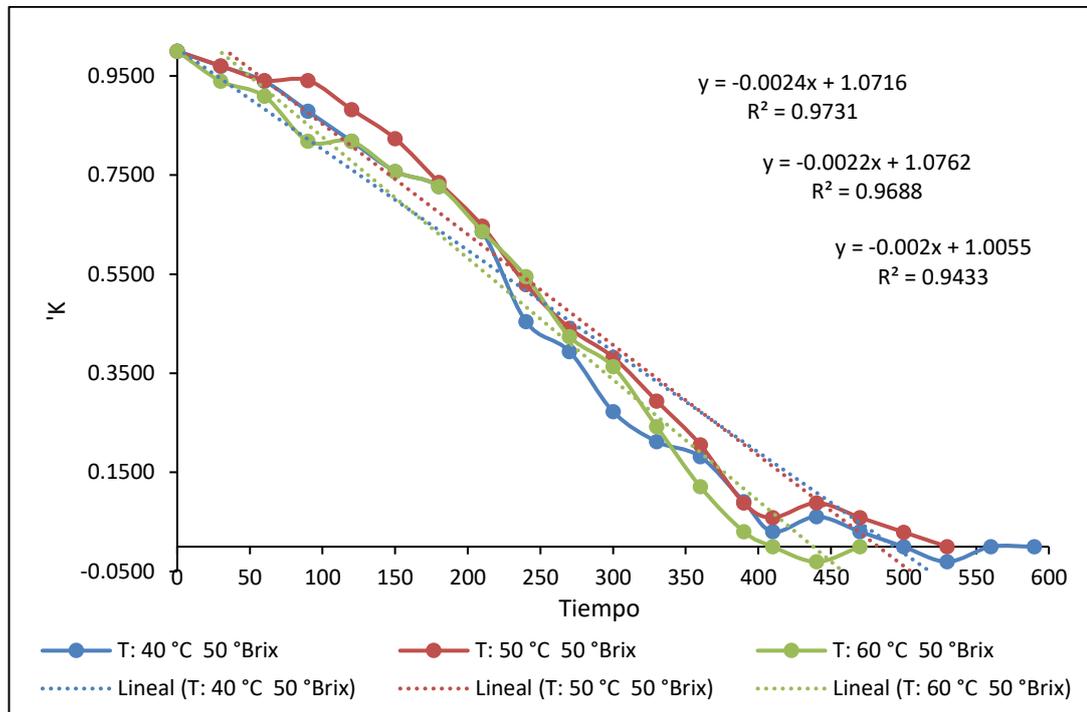
ANEXO 22. Correlación de concentraciones para difusividad efectiva de concentración 60 °Brix y temperaturas de 50 °C.

Tiempo (segundo)	Concentración °Brix	K	N=1	N=5	N=10
0	60.0000	1.0000			
1800	58.0000	0.9184			
3600	57.0000	0.8776			
5400	55.5000	0.8163			
7200	54.0000	0.7551			
9000	52.5000	0.6939			
10800	51.0000	0.6327			
12600	50.5000	0.6122	2.6591E-10	2.7177E-10	2.7129E-10
14400	49.0000	0.5510			
16200	47.5000	0.4898			
18000	45.5000	0.4082			
19800	44.0000	0.3469			
21600	43.5000	0.3265			
23400	42.0000	0.2653			
24600	40.5000	0.2041			
26400	38.5000	0.1224			
28200	37.5000	0.0816			
30000	35.5000	0.0000			

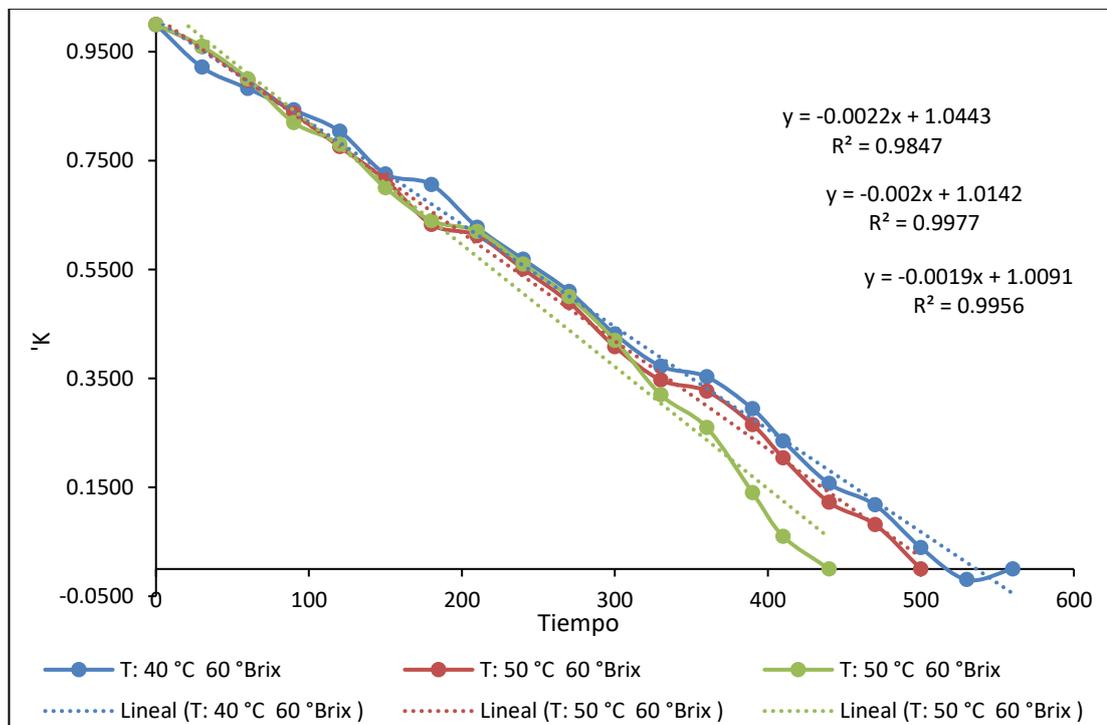
ANEXO 23. Correlación de concentraciones para difusividad efectiva de concentración 60 °Brix y temperaturas de 60 °C.

Tiempo (segundo)	Concentración °Brix	K	N=1	N=5	N=10
0	60.0000	1.0000			
1800	58.0000	0.9200			
3600	57.0000	0.8800			
5400	55.5000	0.8200			
7200	54.0000	0.7600			
9000	52.5000	0.7000			
10800	51.0000	0.6400			
12600	50.5000	0.6200	2.565E-10	2.6581E-10	2.6522E-10
14400	49.0000	0.5600			
16200	47.5000	0.5000			
18000	45.5000	0.4200			
19800	43.0000	0.3200			
21600	41.5000	0.2600			
23400	38.5000	0.1400			
24600	36.5000	0.0600			
26400	35.0000	0.0000			

ANEXO 24. Determinación de regresión lineal de difusividad efectiva para concentración 60 °Brix y temperaturas de 40, 50 y 60 °C.



ANEXO 25. Determinación de regresión lineal de difusividad efectiva para concentración 60 °Brix y temperaturas de 40, 50 y 60 °C.



ANEXO 26. Datos obtenidos por triplicado para el contenido de antocianinas

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	R1	R2	R3	mg c-3 g/100 g muestra
Frambuesa fresca	73.12	72.59	75.45	73.72
T 1	67.72	65.43	69.12	67.42
T2	48.89	47.23	49.56	48.56
T 3	38.61	39.12	42.91	40.21
T4	57.95	64.68	56.58	59.74
T 5	42.12	46.98	40.56	43.22
T 6	32.16	36.77	34.92	34.62

ANEXO 27. ANOVA para las antocianinas después de deshidratación osmótico de la frambuesa.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	2053.82	1	2053.82	283.25	0.0000
B: Concentración	173.414	1	173.414	23.92	0.0005
AA	84.9162	1	84.9162	11.71	0.0057
AB	3.27608	1	3.27608	0.45	0.5153
Bloques	13.5717	2	6.78587	0.94	0.4214
Error total	79.7591	11	7.25082		
Total (corr.)	2408.76	17			

ANEXO 28. PANEL FOTOGRÁFICO.



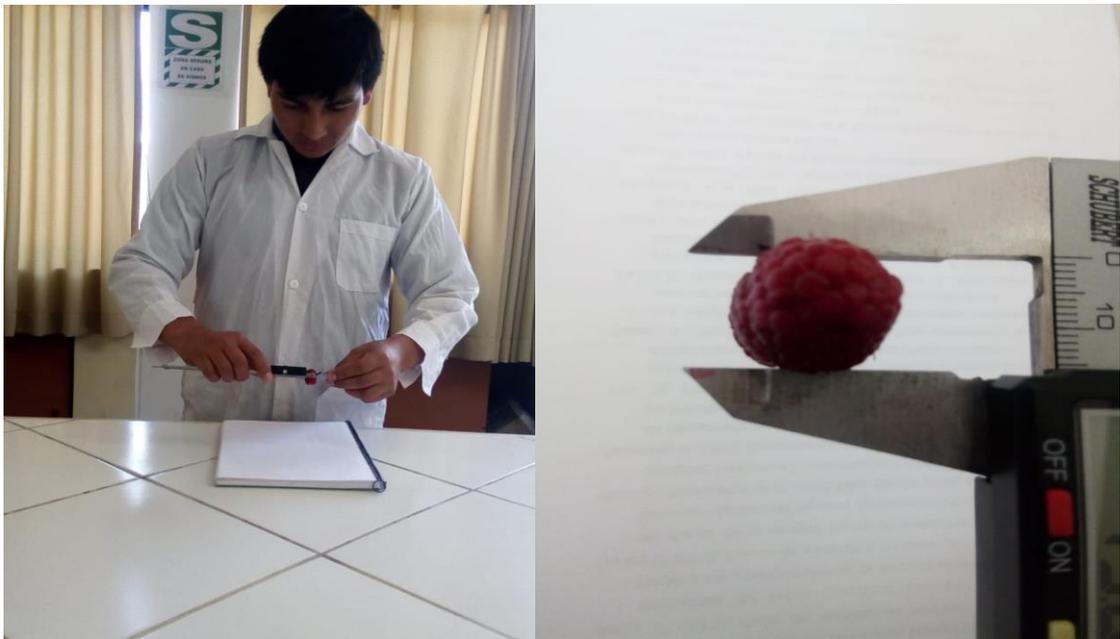
Frambuesa heritage en estado maduro



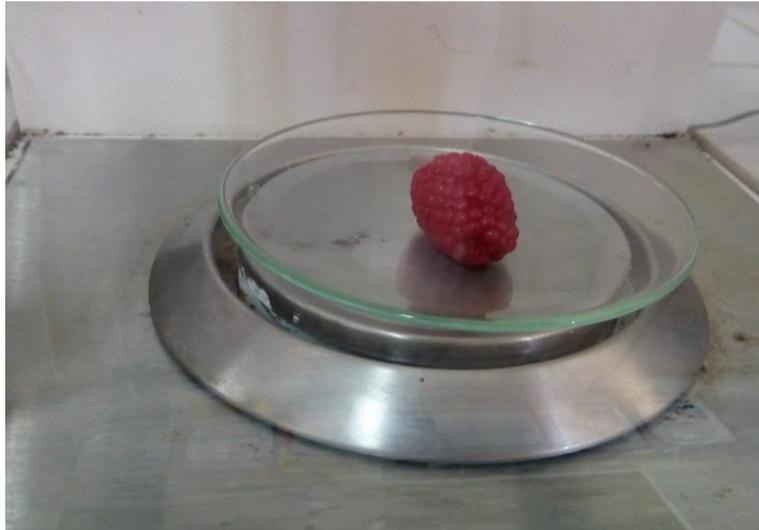
Selección de frambuesas



Frambuesas seleccionadas.



Medición de diámetro de las frambuesas



Pesado de las frambuesas.



Sumergido de las frambuesas



Frambuesas sumergidas en una solución osmótica.



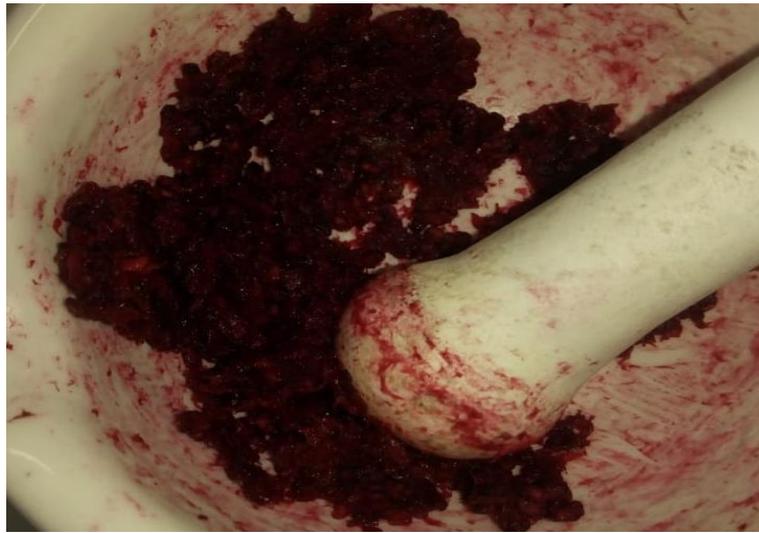
Deshidratación osmótica.



Frambuesas en proceso de deshidratado osmótico.



Frambuesas lavadas después del deshidratado osmótico



Molienda de frambuesa después de deshidratado en la estufa



Deshidratado de las frambuesas



Filtrado después de macerado



Lectura en espectrofotómetro