

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial

“EFECTO DEL TIEMPO DE OSMODESHIDRATACIÓN Y LA RELACIÓN EXTRACTO DE BETARRAGA (*Beta vulgaris* L.) Y AZÚCAR EN EL CONTENIDO DE BETALAÍNAS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE FRUTOS DE MANZANA DELICIA (*Malus domestica*)”

Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial

Autor (es):

Bach. Celita Yrigoin Fernández

Asesor:

Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto

Firma manuscrita en azul del asesor, Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto, sobre una línea horizontal.

Coasesor

Dra. Gina De La Cruz Calderón

Firma manuscrita en azul de la coasesora, Dra. Gina De La Cruz Calderón.

Chota – Perú

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
ASESOR DE INFORME DE TESIS

Constancia de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

CO-004-2026-FFVB-EPIA-FCA

El que suscribe, Asesor del Informe de Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis Titulado “**EFFECTO DEL TIEMPO DE OSMODESHIDRATACIÓN Y LA RELACIÓN EXTRACTO DE BETARRAGA (*Beta vulgaris* L.) Y AZÚCAR EN EL CONTENIDO DE BETALAÍNAS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE FRUTOS DE MANZANA DELICIA (*Malus domestica*)**” perteneciente a la tesista Celita Yrigoin Fernández; presenta un **GRADO DE SIMILITUD de 16 % y USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL DE 0 %**, en base al análisis realizado por el Software Antiplagio Turnitin (04/05/2026) y este corresponde a una similitud menor al 20 %, por lo que se considera producción intelectual propia (Art. 27e del Reglamento de Grados y Títulos 2025 aprobado mediante RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 770-2025-UNACH).

La presente se emite al interesado para los trámites que estime conveniente.

Chota, 04 de mayo de 2026.

Ph. D. Frank Pluker Velásquez Barreto
Asesor de Informe de Tesis
Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial
Facultad de Ciencias Agrarias

Frank Fluker Velásquez Barreto

Tesis Celita Yriogin Fernández

-  Tesis Celita
-  Tesis Celita
-  Universidad Nacional Autonoma de Chota



Ph. Frank Fluker Velásquez Barreto
Docente asesor
CIP 98934

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3558754862

Fecha de entrega

4 may 2026, 10:43 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

4 may 2026, 11:03 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

INFORME_FINAL_-_IMPRIMIR.docx

Tamaño del archivo

4.4 MB

115 páginas

26.900 palabras

150.087 caracteres




16% Similitud general

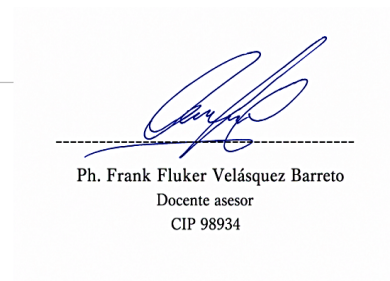
El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía


Fuentes principales

- 15%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)



Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
17 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

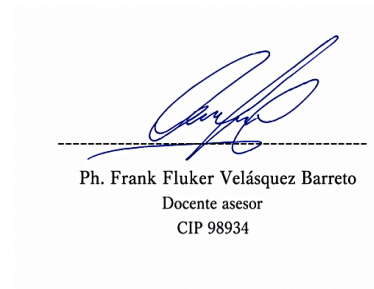
Fuentes principales

- 15% Fuentes de Internet
- 5% Publicaciones
- 6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

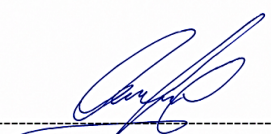
Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.unach.edu.pe	2%
2	Internet	repositorio.unsch.edu.pe	<1%
3	Internet	hdl.handle.net	<1%
4	Internet	repositorio.unas.edu.pe	<1%
5	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
6	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%
7	Trabajos del estudiante	unsaac	<1%
8	Internet	1library.co	<1%
9	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion	<1%
10	Internet	www.coursehero.com	<1%
11	Trabajos del estudiante	uncedu	<1%




12	Internet	catarina.udlap.mx	<1%
13	Internet	www.researchgate.net	<1%
14	Internet	www.scielo.org.co	<1%
15	Internet	caelum.ucv.ve	<1%
16	Internet	docplayer.es	<1%
17	Internet	repositorio.unsaac.edu.pe	<1%
18	Internet	dspace.unitru.edu.pe	<1%
19	Internet	repositorio.unat.edu.pe	<1%
20	Internet	literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080	<1%
21	Internet	repositorio.unjfsc.edu.pe	<1%
22	Internet	repositorio.upct.es	<1%
23	Internet	Codina Torrella, Idoia, Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Cièn...	<1%
24	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Centro del Peru	<1%
25	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	<1%




Ph. Frank Fluker Velásquez Barreto
 Docente asesor
 CIP 98934

26	Trabajos del estudiante unajma	<1%
27	Trabajos del estudiante Universitat Politècnica de València	<1%
28	Internet colposdigital.colpos.mx:8080	<1%
29	Internet cia.uagraria.edu.ec	<1%
30	Publicación Calle Salcedo, Victor. "Clima institucional y el desempeño laboral de los docentes ...	<1%
31	Trabajos del estudiante BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA	<1%
32	Trabajos del estudiante American Heritage School	<1%
33	Internet bibliotecadigital.exactas.uba.ar	<1%
34	Internet revistas.uncp.edu.pe	<1%
35	Internet tesis.usat.edu.pe	<1%
36	Publicación C. I. Ochoa-Martínez, A. Ayala-Aponte. "MODELOS MATEMÁTICOS DE TRANSFEREN...	<1%
37	Trabajos del estudiante Universidad Anahuac México Sur	<1%
38	Internet issuu.com	<1%
39	Internet repositorio.lamolina.edu.pe	<1%




Ph. Frank Fluker Velásquez Barreto
 Docente asesor
 CIP 98934

40	Internet	repositorio.uns.edu.pe	<1%
41	Internet	repositorio.upec.edu.ec	<1%
42	Internet	repositorio.uta.edu.ec	<1%
43	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Autonoma de Chota	<1%
44	Internet	www.dspace.uce.edu.ec	<1%
45	Internet	es.scribd.com	<1%
46	Trabajos del estudiante	Universidad Técnica Nacional de Costa Rica	<1%
47	Internet	doctoradoagrarias.files.wordpress.com	<1%
48	Internet	revistas.unh.edu.pe	<1%
49	Internet	doczz.net	<1%
50	Internet	repositorio.uncp.edu.pe	<1%
51	Internet	www.repositorio.unach.edu.pe	<1%
52	Publicación	Carmen Ortuño Cases. "Aplicación de ultrasonidos de potencia para la mejora de ...	<1%
53	Publicación	Castro Perez, Gladys Marilu. "Composición nutricional y funcional de granos de q...	<1%




Ph. Frank Fluker Velásquez Barreto
 Docente asesor
 CIP 98934

54	Trabajos del estudiante	Colegio Sebastián de Benalcázar	<1%
55	Trabajos del estudiante	Universidad de Cartagena	<1%
56	Internet	dgsa.uaeh.edu.mx:8080	<1%
57	Internet	literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx	<1%
58	Internet	repositorio.udh.edu.pe	<1%
59	Internet	stutzartists.org	<1%
60	Internet	www.slideshare.net	<1%
61	Internet	www.scribd.com	<1%
62	Internet	portaluni.unach.edu.pe	<1%
63	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
64	Internet	repositorio.utea.edu.pe	<1%
65	Internet	revistabiociencias.uan.edu.mx	<1%
66	Publicación	Alarcón Huanca, Yenny Luz. "Los estilos de aprendizaje y el rendimiento académi..."	<1%
67	Publicación	Gallegos Rojas, Justo. "Determinación del efecto de humedad y presión en las pro..."	<1%




Ph. Frank Fluker Velásquez Barreto
 Docente asesor
 CIP 98934

68	Trabajos del estudiante	Universidad Estatal Amazonica-	<1%
69	Publicación	A. Jurado, C. García, M. L. Timón, A. I. Carrapiso. "MADURACIÓN DEL JAMÓN IBÉRI...	<1%
70	Internet	purl.org	<1%
71	Internet	worldwidescience.org	<1%
72	Publicación	Hinojosa Mamani, Jhonatan. "Influencia de la inteligencia artificial en la elaboraci...	<1%
73	Trabajos del estudiante	Universitat Oberta de Catalunya	<1%
74	Internet	core.ac.uk	<1%
75	Internet	dspace.umh.es	<1%
76	Internet	helvia.uco.es	<1%
77	Internet	www.paginasamarillas.com	<1%
78	Publicación	María Hernández Carrión. "OBTENCIÓN DE INGREDIENTES FUNCIONALES PARA L...	<1%
79	Publicación	REVISTA COLOMBIANA DE ENTOMOLOGÍA. "REVISTA COLOMBIANA DE ENTOMOL...	<1%
80	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Barranca	<1%
81	Internet	dspace.ups.edu.ec	<1%




Ph. Frank Fluker Velásquez Barreto
 Docente asesor
 CIP 98934

82	Trabajos del estudiante unia	<1%
83	Internet www.renc.es	<1%
84	Trabajos del estudiante Universidad Nacional de San Martín	<1%
85	Internet network.bepress.com	<1%
86	Internet repositorio.unprg.edu.pe	<1%
87	Internet repositorio.untumbes.edu.pe	<1%
88	Internet www.journalofoptometry.org	<1%
89	Internet www.mef.gob.pe	<1%
90	Internet alicia.concytec.gob.pe	<1%
91	Internet dehesa.unex.es	<1%
92	Internet doi.org	<1%
93	Internet dokumen.pub	<1%
94	Internet dspace.ueb.edu.ec	<1%
95	Internet patents.google.com	<1%




Ph. Frank Fluker Velásquez Barreto
 Docente asesor
 CIP 98934

96	Internet	repositorio.unitec.edu	<1%
97	Internet	revistas.itm.edu.co	<1%
98	Internet	saludvegana.com	<1%
99	Internet	www.cedem.gov.ar	<1%
100	Internet	www.itto.int	<1%
101	Internet	www.tuestima.com	<1%
102	Internet	www.viasalus.com	<1%
103	Publicación	Gabriela Clemente Polo. "Efecto de la contracción en la cinética de secado de mús...	<1%
104	Publicación	Harrison de la Rosa Ramírez. "Desarrollo de formulaciones de ácido poliláctico (P...	<1%
105	Publicación	KEQING XUE. "Optimización del secado por aire caliente de pera blanquilla.", Univ...	<1%
106	Publicación	Lenilson Da F. Roza, Aleksandro S. Da Silva, Marcos J. Migliorini, Nathieli B. Bottari...	<1%
107	Publicación	Mamani Flores, Mishell Julisa. "Bioacumulación de metales pesados en Schoenopl...	<1%
108	Internet	agroxxi.org.ar	<1%
109	Internet	dictionary.cambridge.org	<1%




Ph. Frank Fluker Velásquez Barreto
 Docente asesor
 CIP 98934

110	Internet	espacioimasd.unach.mx	<1%
111	Internet	ojs.unipamplona.edu.co	<1%
112	Internet	pdffox.com	<1%
113	Internet	repositorio.chapingo.edu.mx	<1%
114	Internet	repositorio.uaaan.mx	<1%
115	Internet	repositorio.ucsm.edu.pe	<1%
116	Trabajos del estudiante	unasam	<1%
117	Internet	"Contribución al estudio de la aplicación de ultrasonidos de alta intensidad en pr...	<1%
118	Publicación	CLARA TALENS VILA. "DESARROLLO DE TÉCNICAS COMBINADAS DE SECADO CON ...	<1%
119	Publicación	David William Foster, Daniel Altamiranda, Carmen de Urioste. "Spanish Literature...	<1%
120	Publicación	Fernandes, Luana. "Effect of Several Post-Harvest Technologies on the Food Quali...	<1%
121	Internet	Irene Peinado Pardo. "Estudio de utilización de isomaltulosa en el desarrollo de p...	<1%
122	Publicación	Juliana Arango G, Julián Echeverri Z, Albeiro López H. "Association of the bovine g...	<1%
123	Publicación	Sanahuja Piera, Ignasi. "Caracterización funcional del mucus epidérmico en peces...	<1%




Ph. Frank Fluker Velásquez Barreto
 Docente asesor
 CIP 98934

124	Publicación	T. Rivas, B. Silva, B. Prieto. "Determination of the efficacy of two water repellents ..."	<1%
125	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE	<1%
126	Internet	americanoticias.uolsinectis.com.ar	<1%
127	Internet	apirepositorio.unu.edu.pe	<1%
128	Internet	bibliotecadigital.usbcali.edu.co	<1%
129	Internet	cienciasagricolas.inifap.gob.mx	<1%
130	Internet	diposit.ub.edu	<1%
131	Internet	documentop.com	<1%
132	Internet	eprints.uanl.mx	<1%
133	Internet	labfitop.paginas.ufsc.br	<1%
134	Internet	repositorio.escuelahipu.edu.pe	<1%
135	Internet	repositorio.ug.edu.ec	<1%
136	Internet	repositorio.unh.edu.pe	<1%
137	Internet	repositorio.upt.edu.pe	<1%



Ph. Frank Fluker Velásquez Barreto
 Docente asesor
 CIP 98934

138	Internet	repositorio.utc.edu.ec	<1%
139	Internet	repositorio.uwiener.edu.pe	<1%
140	Internet	ri-ng.uaq.mx	<1%
141	Internet	studylib.es	<1%
142	Internet	www.consumer.es	<1%
143	Internet	www.grafiati.com	<1%
144	Internet	www.repsol-ypf.com	<1%
145	Internet	www.thieme-connect.com	<1%
146	Internet	idoc.pub	<1%
147	Internet	livrosdeamor.com.br	<1%
148	Internet	moam.info	<1%
149	Publicación	Elena Díez Sánchez. "Aprovechamiento de subproductos de zumos de frutos rojos..."	<1%



Ph. Frank Fluker Velásquez Barreto
Docente asesor
CIP 98934



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS

REG. N° 026-2026-FCA

El jurado evaluador designado con RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN DE FACULTAD N.° 576-2025-FCA/UNACH:

Nombres y apellidos	Cargo
Dr. Augusto Antonio Mechato Anastasio	Presidente
MBA. José Felipe Garrido Julca	Secretario
M Sc. Rubén Iván Marchena Chanduvi	Vocal

De la tesis titulada:

"Efecto del tiempo de osmodeshidratación y la relación extracto beterraga (*Beta vulgaris L.*) y azúcar en el contenido de betalainas y capacidad antioxidante de frutos de manzana (*Malus domestica*)".

Que ha sustentado el(los) Bachiller (es):

Nombres y apellidos	DNI
Celita Yrigoin Fernandez	75164901
-----	-----

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero Agroindustrial

Acuerdan por:

Unanimidad Mayoría

Aprobar Desaprobar

Otorgando la calificación de:

<input checked="" type="checkbox"/> 13	Aprobado
<input type="checkbox"/>	Excelente
<input type="checkbox"/>	Bueno
<input checked="" type="checkbox"/>	Regular

Desaprobado

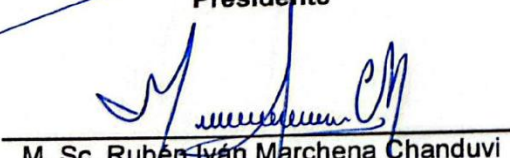
Colpa Huacaris 22 de abril del 2026



 Dr. Augusto Antonio Mechato Anastasio
Presidente



 MBA. José Felipe Garrido Julca
Secretario



 M. Sc. Rubén Iván Marchena Chanduvi
Vocal



 Ph.D. Frank Fluker Velásquez Barreto
Asesor

Dedicatoria

A Dios, ser supremo, por darme la vida y mantenerme saludable, por ser mi guía en aquellos momentos de incertidumbre, mi apoyo en las dificultades y por darme los conocimientos y la inteligencia para realizar esta investigación y de esta forma poder lograr la meta de ser una profesional.

A mis progenitores, Hector Yrigoin y Evita Fernández, por su amor incondicional, respaldo firme y dedicación constante. Su fe, sus consejos sabios y su motivación han sido mi guía en cada paso de mi formación personal y profesional, todo ello me ha permitido llegar a esta etapa de finalización de mi tesis. Además, va dedicado a mis hermanos y a aquellos familiares que de una u otra manera han sido mi apoyo y motivación.

Agradecimientos

Agradezco a Dios, por darme las fuerzas y la inteligencia para realizar este trabajo de investigación que es de mucha importancia para mi formación profesional y para lograr una más de mis metas. Asimismo, agradezco a mis familiares quienes me han apoyado constantemente y de diferentes formas para no decaer, por enseñarme a ser persistente y a luchar por mis sueños a pesar de los obstáculos que se presenten.

A mis asesores el Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto y Dra. Gina De La Cruz Calderón, por la orientación y por compartir sus conocimientos, experiencias y sabiduría, que fueron oportunas para salvar situaciones difíciles a lo largo del desarrollo de la tesis.

A los jefes y técnicos de los laboratorios (Instituto de Investigación del Mejoramiento Productivo, laboratorio de Tecnología de Frutas y Hortalizas, laboratorio de Tecnología de la Leche y Derivados, laboratorio de Análisis y Control de Calidad de Frutas y Hortalizas, laboratorio de Tecnología de Carne y Panificación, laboratorio de Microbiología y Biotecnología Agroindustrial), por las facilidades para ejecutar mi tesis.

Índice de contenido

Dedicatoria.....	xvii
Agradecimientos.....	xviii
Índice de tablas.....	xxii
Índice de figuras.....	xxiii
RESUMEN.....	24
ABSTRACT.....	25
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	26
1.1. Planteamiento del problema.....	26
1.2. Justificación.....	28
1.3. Formulación del problema.....	30
1.4. Objetivos de la investigación.....	31
<i>1.4.1. Objetivo general.....</i>	<i>31</i>
<i>1.4.2. Objetivos específicos.....</i>	<i>31</i>
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	32
2.1. Antecedentes.....	32
2.2. Bases Teórico – Científicas.....	37
<i>2.2.1. Generalidades de manzana (Malus domestica Bork).....</i>	<i>37</i>
<i>2.2.2. Taxonomía de la manzana.....</i>	<i>38</i>
<i>2.2.3. Composición química y nutricional de la manzana.....</i>	<i>38</i>
<i>2.2.4. Compuestos bioactivos de la manzana.....</i>	<i>39</i>
<i>2.2.5. Manzana variedad delicia.....</i>	<i>40</i>
<i>2.2.6. Generalidades de la betarraga (Beta vulgaris L.).....</i>	<i>41</i>
<i>2.2.7. Características nutricionales y fisicoquímicas de la betarraga.....</i>	<i>41</i>
<i>2.2.8. Propiedades antioxidantes de la betarraga.....</i>	<i>42</i>
<i>2.2.9. Industrialización de la betarraga.....</i>	<i>44</i>
<i>2.2.10. Extracto betarraga.....</i>	<i>45</i>
<i>2.2.11. Beneficios de la betarraga.....</i>	<i>45</i>
<i>2.2.12. Osmodeshidratación.....</i>	<i>46</i>
<i>2.2.13. Características del proceso de osmodeshidratación.....</i>	<i>46</i>
<i>2.2.14. Parámetros a tomar en cuenta en la de osmodeshidratación.....</i>	<i>47</i>
<i>2.2.15. Importancia de la osmodeshidratación.....</i>	<i>48</i>
<i>2.2.16. Higroscopicidad de los alimentos.....</i>	<i>49</i>
<i>2.2.17. Factores que Afectan la Higroscopicidad de los Alimentos.....</i>	<i>49</i>

2.2.18. <i>Difusividad efectiva</i>	50
2.3. Definiciones conceptuales	52
2.3.1. <i>Osmodeshidratación</i>	52
2.3.2. <i>Extracto</i>	52
2.3.3. <i>Higroscopicidad</i>	53
2.3.4. <i>Difusividad efectiva</i>	53
2.3.5. <i>Betalaínas</i>	53
2.3.6. <i>Capacidad antioxidante</i>	53
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	54
3.1. Tipo, diseño, nivel y enfoque de investigación	54
3.1.1. <i>Tipo y nivel de investigación</i>	54
3.1.2. <i>Enfoque de investigación</i>	54
3.1.3. <i>Diseño de Investigación</i>	54
3.2. Ubicación, población, muestra, muestreo y unidad de análisis	55
3.2.1. <i>Ubicación</i>	55
3.2.2. <i>Población</i>	56
3.2.3. <i>Muestra</i>	56
3.2.4. <i>Muestreo</i>	57
3.2.5. <i>Unidad de análisis</i>	57
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	57
3.4. Hipótesis	58
3.5. Operacionalización de variables	58
3.6. Procedimientos de recolección de datos	59
3.6.1. <i>Tratamiento osmótico de la manzana con solución hipertónica de extracto de betarraga</i>	59
3.6.2. <i>Medición de los parámetros de color</i>	62
3.6.3. <i>Determinación de la higroscopicidad</i>	62
3.6.4. <i>Determinación de la difusividad efectiva</i>	63
3.6.5. <i>Determinación del contenido de betalaínas totales</i>	64
3.6.6. <i>Determinación de la capacidad antioxidante</i>	65
3.7. Procedimientos de análisis de datos	66
3.8. Material y equipos	68
3.9. Aspectos Éticos	70
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	71
4.1. Descripción de resultados	71

4.2. Contratación de Hipótesis	87
4.3. Discusión de resultados	88
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
5.1. Conclusiones	95
5.2. Recomendaciones	96
REFERENCIAS	97
ANEXOS	109

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Clasificación taxonómica de la manzana</i>	38
Tabla 2 <i>Composición nutricional de la manzana</i>	39
Tabla 3 <i>Compuestos bioactivos de la manzana</i>	40
Tabla 4 <i>Propiedades químicas y nutricionales de la remolacha en 100 g de porción comestible</i>	42
Tabla 5 <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	58
Tabla 6 <i>Matriz de operacionalización de variables</i>	59
Tabla 7 <i>Corridas experimentales utilizando el diseño factorial 3²</i>	67
Tabla 8 <i>ANOVA para el diseño factorial 3² está determinada de la siguiente manera</i>	68
Tabla 9 <i>Parámetros de color (L*, a*, b*) de las manzanas osmodeshidratadas</i>	72
Tabla 10 <i>Higroscopicidad de las manzanas osmodeshidratadas</i>	77
Tabla 11 <i>Difusividad efectiva de frutos de manzana osmodeshidratados</i>	79
Tabla 12 <i>Contenido de betalaínas en las manzanas osmodeshidratadas</i>	82
Tabla 13 <i>Capacidad antioxidante de las manzanas osmodeshidratadas</i>	86
Tabla 14 <i>Resumen del análisis estadístico (ANOVA) para contrastación de hipótesis</i>	88
Tabla 15 <i>Análisis de varianza para la Luminosidad (L*)</i>	113
Tabla 16 <i>Análisis de varianza para el parámetro a*</i>	113
Tabla 17 <i>Análisis de varianza para el parámetro b*</i>	114
Tabla 18 <i>Análisis de varianza para la higroscopicidad</i>	114
Tabla 19 <i>Análisis de varianza para la difusividad efectiva</i>	115
Tabla 20 <i>Análisis de varianza para el contenido de betacianinas en la manzana osmodeshidratada</i>	115
Tabla 21 <i>Análisis de varianza para el contenido de Betaxantinas en la manzana osmodeshidratada</i>	116
Tabla 22 <i>Análisis de varianza para la capacidad antioxidante en la manzana osmodeshidratada</i>	116

Índice de figuras

Figura 1 <i>Ilustración general del fruto de manzana</i>	37
Figura 2 <i>Ilustración de la manzana variedad delicia</i>	40
Figura 3 <i>Ilustración de la remolacha</i>	41
Figura 4 <i>El esquema experimental de esta investigación</i>	55
Figura 5 <i>Ubicación geográfica del lugar donde se realizó el estudio</i>	56
Figura 6 <i>Diagrama de flujo de osmodeshidratación de manzana variedad delicia</i>	60
Figura 7 <i>Cambios en los parámetros de color (L^*, a^*, b^*) de la manzana osmodeshidratada</i>	73
Figura 8 <i>Cambios en la higroscopicidad de las manzanas osmodeshidratadas</i>	77
Figura 9 <i>Cambios de la difusividad efectiva en la manzana osmodeshidratada</i>	80
Figura 10 <i>Cambios del contenido de betalaínas en las manzanas osmodeshidratadas</i>	83
Figura 11 <i>Cambios de la capacidad antioxidante en las manzanas osmodeshidratadas</i>	86

RESUMEN

La osmodeshidratación es una operación que permite la eliminación de agua contenida en un alimento al ponerlo en contacto directo con una disolución concentrada, cuyo fin es alargar la vida útil del producto. El propósito del estudio fue evaluar el efecto del tiempo de osmodeshidratación y la relación extracto de betarraga y azúcar sobre los parámetros de color, higroscopicidad, difusividad efectiva, contenido de betalaínas y capacidad antioxidante de frutos de manzana; para su ejecución, estos fueron pelados y cortados en rodajas de 2 mm y posteriormente sometidos a osmodeshidratación en tres tiempos (2, 4 y 6 h) y tres proporciones de azúcar/betarraga (60/40%, 50/50% y 40/60%). Se observaron efectos significativos ($p < 0,05$) del tiempo y la proporción sobre el color (L^* , a^* y b^*), la higroscopicidad, difusividad efectiva y el contenido de betalaínas. En el caso de la luminosidad (L^*), esta se redujo con el incremento de ambos factores, el valor de a^* se redujo en proporciones intermedias (50/50) y tiempos prolongados (6 h), y el valor de b^* se incrementó al ser mayor la proporción. La higroscopicidad también se vio reducida al ser mayor el tiempo (6 h) y la proporción de extracto (40/60%). Por otro lado, la difusividad efectiva presentó los valores más elevados en soluciones con mayor cantidad de azúcar y proporciones equilibradas. El contenido de betalaínas también se incrementó en tiempos prolongados y mayores proporciones. Finalmente solo la proporción de betarraga afectó significativamente la capacidad antioxidante, mostrando un incremento con la proporción. Se concluye que los factores tiempo y proporción azúcar/betarraga sí tienen un efecto significativo sobre las propiedades estudiadas.

Palabras Clave: Betalaínas, capacidad antioxidante, color, difusividad efectiva, extracto de betarraga, higroscopicidad, manzana, osmodeshidratación

ABSTRACT

Osmodehydration is an operation that allows the elimination of water contained in a food by putting it in direct contact with a concentrated solution, the purpose of which is to extend the shelf life of the product. The purpose of the study was to evaluate the effect of osmodehydration time and the relationship between beet extract and sugar on the parameters of color, hygroscopicity, effective diffusivity, betalain content and antioxidant capacity of apple fruits; For their execution, they were peeled and cut into 2 mm slices and then subjected to osmodehydration in three stages (2, 4 and 6 h) and three sugar/beet ratios (60/40%, 50/50% and 40/60%). Significant effects ($p < 0.05$) of time and proportion were observed on color (L^* , a^* and b^*), hygroscopicity, effective diffusivity and betalain content. In the case of luminosity (L^*), it decreased with the increase of both factors, the value of a^* decreased in intermediate proportions (50/50) and prolonged times (6 h), and the value of b^* increased with the higher proportion. Hygroscopicity was also reduced by increasing the time (6 h) and the proportion of extract (40/60%). On the other hand, the effective diffusivity presented the highest values in solutions with a higher amount of sugar and balanced proportions. The betalain content also increased over long periods of time and in higher proportions. Finally, only the proportion of beets significantly affected the antioxidant capacity, showing an increase with the proportion. It is concluded that the factors time and sugar/beet ratio do have a significant effect on the properties studied.

Keywords: Betalains, antioxidant capacity, color, effective diffusivity, beet extract, hygroscopicity, apple, osmodehydration

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

A nivel internacional, los frutos de manzana frescos son muy apreciados no solo por su sabor agradable, sino también por ser multifuncionales y por su importante valor nutricional en la dieta humana (Chen et al., 2025); esto lo ha llevado a ser considerada una de las frutas más completas en cuanto a su contenido de carbohidratos, vitaminas (E y C), fibra, minerales (calcio, hierro, fósforo, magnesio, potasio y sodio) y diversos compuestos bioactivos que favorecen la salud de los consumidores (Karatas, 2020). Por este motivo, su uso predomina en la industria de alimentos para la producción de néctar, jugos, manzana deshidratada, entre otros (López, 2022). En este mismo contexto, una de las variedades de manzana utilizada frecuentemente en la industria alimentaria es la Delicia, gracias a su agradable sabor y excelente textura; sin embargo, en estado fresco es muy perecible, por lo cual durante su conservación es susceptible a la pérdida de nutrientes y deterioro (Sottocornola et al., 2023).

Asimismo, la remolacha azucarera es uno de los tubérculos más importantes para el ser humano en distintas partes del mundo, porque posee valiosos nutrientes e importantes propiedades medicinales, proporcionadas principalmente por la presencia de betalaínas y metabolitos secundarios de nitrógeno (Trinidad et al., 2021). Este tubérculo contiene varios pigmentos de la familia de las betalaínas, siendo los más importantes las betacianinas (de rojo a morado) y la betaxantinas (amarillo) que se encuentran en cantidades más pequeñas. Estas sustancias son conocidas por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, hepatoprotectoras y anticancerígenas únicas y se utilizan para realzar el color rojo de productos como puré de tomate, salsas, sopas, mermeladas, helados, dulces y diversos cereales (De Dios et al., 2023).

En el ámbito nacional, la demanda de alimentos funcionales que aporten beneficios adicionales a la salud del consumidor se encuentra en constante crecimiento, priorizando

especialmente aquellos que sean fáciles de consumir y que mantengan su valor nutricional (Osorio et al., 2020). No obstante, la mayoría de estos alimentos se someten a procesos de pelado, corte o trituración que exponen el tejido alimentario al medio ambiente, lo cual causa una disminución de nutrientes y aumenta su perecibilidad (Valdiviezo, 2023). En el caso de las manzanas, estas operaciones perjudican considerablemente su viabilidad, debido a los daños mecánicos que comprometen las respuestas moleculares, fisiológicas y sensoriales (Incardona et al., 2024). Por consiguiente, es necesario utilizar técnicas de conservación en estos alimentos para extender su vida útil.

Uno de los métodos de conservación más eficaces y empleados desde la antigüedad es el deshidratado, que consiste en remover el agua libre de los alimentos empleando calor (secado solar y por aire caliente) para evitar que los microorganismos la aprovechen y lo deterioren (Valdivia et al., 2022). Sin embargo, estos generan altos consumos energéticos, pérdida de nutrientes y propiedades sensoriales debido al uso de altas temperaturas (Valdiviezo, 2023).

Considerando lo anterior, es necesario minimizar la pérdida de nutrientes empleando la osmodeshidratación, que es una técnica efectiva para mantener la calidad de frutas y vegetales; consiste en la inmersión del alimento en soluciones hipertónicas altamente concentradas con la finalidad de generar un intercambio de masa, que causa una disminución de agua y un incremento en sólidos, previniendo reacciones de pardeamiento enzimático, disminuye la actividad del agua y evita la aparición de microorganismos dañinos (Mari et al., 2024), esto permite además fortalecer las propiedades nutricionales del producto (Ventura, 2023); es una tecnología simple y requiere bajos costos para su implementación (Marceliano & Vegas, 2023).

En el ámbito local, específicamente en el distrito de Chota, la variedad Delicia es una de las manzanas más comercializadas; sin embargo, no se le añade ningún valor y menos aún se le brinda el cuidado necesario para conservar su vida útil, lo que conlleva a su deterioro y ocasiona pérdidas económicas para los vendedores (González y Herrera, 2021). Por otro lado,

la producción de remolacha azucarera en dicho distrito es limitada debido al desconocimiento de sus propiedades y beneficios que puede aportar al cuerpo humano; dicha problemática está vinculada con las escasas investigaciones realizadas en la remolacha y peor aún sobre la utilización de su extracto en procesos de osmodeshidratación. En este contexto, osmodeshidratar manzanas con extractos naturales de remolacha y edulcorantes vendría a ser una alternativa importante para conservar esta fruta, y además puede impregnarse en las manzanas componentes importantes como las betalaínas que ayudan a mejorar la capacidad antioxidante del producto.

En este contexto, la osmodeshidratación de manzanas, empleando extractos naturales de remolacha y edulcorantes, se presenta como una opción realista para la preservación de dicha fruta. Esto permite también que se añadan compuestos funcionales, por ejemplo las betalaínas, que ayudan a incrementar la capacidad antioxidante del producto final.

Considerando la problemática expuesta, la presente investigación tuvo como objetivo principal determinar el efecto del tiempo de osmodeshidratación y la relación extracto de betarraga y azúcar en los parámetros de color, higroscopicidad, difusividad efectiva, contenido de betalaínas y capacidad antioxidante de frutos de manzana.

1.2. Justificación

Desde un punto de vista social, esta investigación se justifica porque los consumidores actuales muestran un interés cada vez mayor en productos alimenticios que pueden proporcionar valor nutricional y beneficios para la salud además de un rico sabor. Por lo tanto, el uso de soluciones hipertónicas a base de extracto de remolacha en manzanas mediante osmodeshidratación brindará a los consumidores una opción saludable que no solo satisface su demanda de alimentos nutritivos, sino que también puede promover el bienestar integral debido a que la remolacha tiene compuestos bioactivos con efectos antiinflamatorios y propiedades anticancerígenas (Castillo, 2021). Además, puede reducir los efectos negativos si el producto

se somete a procesos térmicos adicionales, lo que favorece el desarrollo de alimentos más accesibles y beneficiosos para la salud de la población en general.

Desde un enfoque económico, la osmodeshidratación se presenta como una opción efectiva y factible en comparación con otras técnicas de conservación de alimentos, como el secado al aire caliente o la congelación, que demandan más energía y producen un mayor desperdicio de materia prima. La realización de este proceso mediante la combinación adecuada de tiempos y soluciones osmóticas (como el extracto de betarraga y el azúcar) permite obtener productos deshidratados de excelente calidad, favoreciendo la diversificación y el incremento del valor agregado de productos como la manzana, lo que genera nuevas oportunidades en mercados locales, nacionales e internacionales.

En cuanto a la metodología, la investigación aporta conocimiento científico debido a que existe información limitada, sobre todo en lo concerniente al enriquecimiento funcional de frutas que no contienen betalaínas de forma natural como la manzana. Asimismo, son escasos los análisis que han estudiado a fondo la influencia de las condiciones de osmodeshidratación con extractos de betarraga y azúcares. Además, la investigación incluyó un análisis minucioso de la relación entre elementos como el tiempo de deshidratación y la concentración de los ingredientes osmóticos, lo que permitió establecer condiciones de proceso orientadas a la obtención de un producto con características mejoradas. Este enfoque metodológico podría servir como referencia para futuros estudios en el área de la conservación y el enriquecimiento nutricional de alimentos (García et al., 2018).

La manzana tipo Delicia fue la variedad empleada para esta investigación, por sus propiedades físicas y organolépticas que la hacen particularmente apta para este procedimiento. Se distingue por su pulpa firme, su textura crujiente y su sabor dulce; estos rasgos posibilitaron que los resultados en términos de conservación del color, el gusto y los nutrientes durante la osmodeshidratación fueran más favorables. Esta variedad también muestra un balance

apropiado entre agua y azúcares, lo que permitió que las soluciones osmóticas penetraran con mayor facilidad y optimizó el procedimiento (Castillejo & Quillay, 2021).

Tecnológicamente, esta investigación se justifica porque la osmodeshidratación constituye una tecnología emergente que logra la conservación de alimentos y permite mejorar la calidad del producto final a través del control preciso de variables de proceso como el tiempo de inmersión y la concentración de las soluciones osmóticas. Esta última representa una innovación tecnológica, ya que permite enriquecer frutas que no contienen betalaínas de forma natural, como la manzana, mejorando sus propiedades funcionales sin recurrir a aditivos sintéticos.

Desde el enfoque medioambiental, la osmodeshidratación contribuye a la reducción de la huella de carbono y a una menor dependencia de fuentes energéticas no renovables. Además, este procedimiento resulta más respetuoso con el medio ambiente ya que produce menos desechos y conserva una calidad superior en los productos, lo cual tiene el potencial de disminuir el despilfarro de alimentos (Granados et al., 2019). El empleo de extractos naturales de betarraga como componente osmótico también tiene un efecto positivo, porque se utilizan recursos vegetales para optimizar la calidad de otros productos, lo que disminuye la necesidad de aditivos artificiales y fomenta la sostenibilidad (Arias & Flores, 2024).

1.3. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto del tiempo de osmodeshidratación y la relación extracto de betarraga (*Beta vulgaris* L.) y azúcar en los parámetros de color, higroscopicidad, difusividad efectiva, contenido de betalaínas y capacidad antioxidante de frutos de manzana (*Malus domestica*)?.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto del tiempo de osmodeshidratación y la relación extracto de betarraga (*Beta vulgaris* L.) y azúcar en los parámetros de color, higroscopicidad, difusividad efectiva, contenido de betalaínas y capacidad antioxidante de frutos de manzana (*Malus domestica*).

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto del tiempo de osmodeshidratación y la relación extracto de betarraga y azúcar en los parámetros de color (L*, a* y b*) de frutos de manzana.
- Evaluar el efecto del tiempo de osmodeshidratación y la relación extracto de betarraga y azúcar en higroscopicidad de frutos de manzana.
- Evaluar el efecto del tiempo de osmodeshidratación y la relación extracto de betarraga y azúcar en difusividad efectiva de frutos de manzana.
- Evaluar el efecto del tiempo de osmodeshidratación y la relación extracto de betarraga y azúcar en el contenido de betalaínas de frutos de manzana.
- Evaluar el efecto del tiempo de osmodeshidratación y la relación extracto de betarraga y azúcar en capacidad antioxidante de frutos de manzana.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

De La Cruz & Aguirre (2025) determinaron la actividad enzimática y el porcentaje de inhibición de PPO en láminas de carambola tratadas con osmodeshidratación. Se utilizó una muestra de 15 kg de carambola, cortada en rodajas de 0,5 cm. Las rodajas se sometieron a concentraciones de sacarosa de 50 y 60 °Brix, y se añadió ácido cítrico al 0,15% para invertir la sacarosa, utilizando una relación 1:3 entre fruta y jarabe, durante 4 ha temperatura ambiente. Los resultados indicaron que la concentración de sacarosa tuvo una leve influencia, pero contribuyó a la variabilidad de los datos. El tratamiento óptimo para inhibir la oxidación fue con una concentración intermedia de sacarosa. El proceso de osmodeshidratación limitó la disponibilidad de agua para la acción enzimática. Se concluyó que este tratamiento mejora la calidad fisicoquímica y la estabilidad enzimática de la carambola procesada.

López (2024) realizó una deshidratación osmótica a frutos de mamey y determinó sus propiedades nutrimentales y sensoriales. La osmodeshidratación, consistió en sumergir al mamey en soluciones de sacarosa de diferentes concentraciones (40° Brix y 60° Brix) a temperaturas de 40 y 60°C. Se determinó que las muestras expuestas a temperaturas de 60°Brix y 60°C se caracterizaron por tener los parámetros visuales más altos, mantuvieron un color uniforme y no sufrieron deterioro estructural. Por otro lado, según los últimos resultados de los análisis químicos, el contenido de agua se redujo en un 75% en todas las muestras, lo que indica una vida útil más larga. Se observó que en las muestras expuestas a temperaturas de 40°Brix y 40°C, la concentración de fibra fue mayor y alcanzó el 30% en comparación con las muestras restantes. Concluyó que, desde el punto de vista sensorial, la osmodeshidratación influyó decisivamente en el sabor y percepción del producto.

Osorio et al. (2020) analizaron el efecto de la osmodeshidratación en rodajas de manzana criolla. Para lo cual cortaron las manzanas en rodajas de 5 mm y realizaron la

osmodeshidratación en una proporción de 1:30 (fruta: solución) por 120 min a 40 °C utilizando 3 soluciones osmóticas: sacarosa (600 g) - agua destilada (400 mL); sacarosa (600 g) – extracto de jamaica (400 mL), y una emulsión de 60 g de almidón, 20 de oleoresina de chile piquín, 530 g de sacarosa y 400 mL de agua. Analizaron la pérdida de agua y ganancia de sólidos, color, fenoles y antocianinas. Los hallazgos indicaron que las muestras sometidas a la emulsión exhibieron un aumento en fenoles solubles y antocianinas. La existencia de jamaica contribuyó al cambio de tonalidad de las muestras. Concluyeron que la osmodeshidratación puede emplearse para impregnar las rodajas de manzana con componentes funcionales, con el fin de elaborar alimentos más atractivos para el consumidor.

Gutiérrez et al., (2021) examinó la influencia de la osmodeshidratación y convectiva en las características fisicoquímicas, funcionales (betalaínas) y sensoriales de tuna. Se utilizó una técnica combinada de deshidratación (osmótica y convectivo), a dos niveles de temperatura (40 y 60 °C). Se emplearon maltodextrina (60 °Brix), maltodextrinacloruro de sodio 55:5% y sacarosa-cloruro de sodio 55:5% como agentes osmóticos. Determinaron la humedad, actividad del agua, color, polifenoles totales, betalaínas, acidez titulable y características sensoriales. Como resultado, no hubo diferencias estadísticamente significativas en el contenido de polifenoles y betalaína entre las diferentes muestras. La mezcla de maltodextrina y cloruro de sodio mostró excelente eficiencia en la degradación del contenido de betalaína, mientras que la solución osmótica de sacarosa y cloruro de sodio fue adecuada para secar la tuna a 40 °C, conservando propiedades funcionales y proporcionando propiedades organolépticas adecuadas para el consumo. Concluyeron que la osmodeshidratación y el tipo de agente osmótico influyen en la conservación de las propiedades funcionales y sensoriales del fruto de tuna.

Marceliano et al., (2023) examinaron el impacto de la temperatura y la concentración de panela en los coeficientes de difusividad efectiva (D_e, w) del agua y los sólidos (D_e, s) en la osmodeshidratación de aguaymanto mediante el uso de ultrasonido (40 kHz) y agitación

(50–100 rpm). Para conseguirlo, los frutos fueron osmodeshidratados en panela en concentraciones del 30% al 60% y a temperaturas del 30 al 60 °C durante 7 h. Los resultados mostraron que los valores de De,w en movimiento fueron de 2,004 y $4,694 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y los De,s variaron entre 1,93 y $4,23 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, en tanto que con ultrasonido fueron de 2,76 a $5,90 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ (De,w) y de 2,617 y $4,925 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ (De,s). El impacto de la concentración de panela sobre De,w y De,s fue significativo ($p < 0,05$), donde a mayor concentración y temperaturas altas, existió una pérdida de la capacidad antioxidante. Concluyeron que el aumento de la temperatura y la concentración de los componentes osmóticos potencia los procesos de difusión en la OD.

Acosta & Castro (2020) efectuaron una osmodeshidratación de la mashua amarilla utilizando un jarabe de sacarosa invertido y zumo de maracuyá. La materia prima se partió en láminas de 4 mm de espesor y se sumergió a 30 y 40 °C en una solución osmótica (jarabe de sacarosa a 60 °Brix y zumo de maracuyá) en proporciones (65:35, 70:30 y 75:25) con concentraciones de 37,5; 41,5 y 40,5 °Brix respectivamente, durante 4,5 h. Luego se filtró y se secó a 50 °C para determinar la pérdida de peso (PP%), ganancia de sólidos (GS), capacidad antioxidante y capacidad de deshidratación. Se encontró que el tratamiento a 37,5 °Brix y 40 °C dio el valor más alto (PP%) de $23,56\% \pm 0,07$ y el valor más alto (GS) de $0,715 \pm 0,003 \text{ g}$ materia seca/g fruto. Como resultado del tratamiento, se redujo el contenido total de polifenoles y la capacidad antioxidante. A 41,5 °Brix y 30 °C, se registró la pérdida más baja: $7,57 \pm 0,21 \text{ mg EAG/g}$ de materia seca. y $21,12 \pm 0,16 \mu\text{mol TE/g MS}$, correspondientes a 17% y 11,78%. Concluyeron que la temperatura y la concentración tuvieron una influencia significativa ($p < 0,05$) sobre los parámetros cinéticos y los compuestos biológicamente activos.

Valdiviezo (2023) evaluó el impacto del tratamiento osmótico inicial en el tiempo de secado de melones. El método consiste en evaluar la ósmosis de melones a concentraciones osmóticas de 45 y 60 °Brix y tiempos de remojo de 120 y 180 min, seguido de secado a 50 °C

para lograr un contenido de humedad mínimo del 15%. Los estudios sobre ósmosis de agua mostraron la importancia ($p < 0,05$) de los factores estudiados en la pérdida de agua, el peso corporal y la ganancia de peso seco. Se logró una pérdida de agua de 48,393% a 68,204%, mientras que el tiempo de secado se redujo de 23% a 46%. Concluyó que tratamiento que produjo el menor tiempo de secado tuvo condiciones de pretratamiento de 60 °Brix y remojo durante 180 min.

Ventura (2023) determinó el efecto de la osmodeshidratación en frutos de carambola. Para este propósito combinó sacarosa a 40 y 60 °Brix y tiempos de inmersión de 4 y 6 h, realizó un análisis físico, químico y proximal de la carambola osmodeshidratada. Los resultados evidenciaron que la carambola deshidratada logró índices de Humedad (15,92%), proteína (3,55%) y grasa (1,93). Además, se evaluó el impacto de la concentración de sacarosa y el tiempo en la fluctuación del color (ΔC), estableciendo como tratamiento ideal al T2 con 48,50% de sacarosa conjuntamente con los tiempos de 4 y 10 h, lo que posibilita obtener una carambola osmodeshidratada de alta calidad comercial. Concluyó que la osmodeshidratación, utilizando una concentración de sacarosa y tiempo de inmersión, permite obtener carambola con buenas características físicoquímicas y calidad comercial.

Castillo (2021) determinó la difusividad efectiva de betarragas sometidas a diversos agentes edulcorantes. Para dicho fin la Betarraga fue cortada en cubos de 0,01 m de lado, luego se sumergieron en la solución osmótica preparada con distintos edulcorantes (sacarosa, glucosa y miel de abejas) a niveles de 40, 50 y 60 °Brix durante un lapso de 240 min. Descubrió variaciones en la masa total, la pérdida de agua, el aumento de sólidos disueltos y el coeficiente de difusión efectivo. Los valores del coeficiente de difusión del agua oscilaron entre $1,24 \times 10^{-8}$ y $15,86 \times 10^{-8}$ m². s⁻¹, mientras que el coeficiente de difusión efectiva de las partículas sólidas está en el rango de $1,91 \times 10^{-8}$ a $5,48 \times 10^{-8}$ m². s⁻¹. Las fluctuaciones en la masa total y la pérdida de agua se vieron afectadas por los elementos

edulcorantes y la concentración. Concluyó que las variaciones de ganancia de sólidos fueron influenciadas por los agentes edulcorantes, donde predominó la miel de abeja.

Laura (2023) puso en evidencia la alteración del color y la consistencia del mango deshidratado por ósmosis y con aire cálido. Los mangos se cortaron en cubos de 1,5 cm y se sometieron a un pretratamiento de ósmosis con una solución de sacarosa a 40 °Brix y a una temperatura constante de 20 °C. Este procedimiento se llevó a cabo en una incubadora durante 16 h sin retirarlos. Luego, se deshidrató mediante el secado en bandas de aire forzado (50 °C, 60 °C y 70 °C). Posteriormente, se midieron los valores de L^* , a^* y b^* , así como la textura. Los hallazgos en cuanto a los factores estudiados para maximizar las variables evaluadas fueron: temperatura 50 °C y velocidad del aire 1,63 (L^* 63,1), temperatura 70 °C y velocidad del aire 1 m/s (a^* 20), temperatura 50 °C y velocidad del aire 1,62 m/s (b^* 64.94), mientras que, para textura, el valor ideal fue de 141,9 N a una temperatura de 57 °C y una velocidad del aire de 1 m/s. Concluyó que los parámetros de color mostraron variaciones significativas ($p < 0,05$).

Gordana et al. (2021) investigaron la influencia de la concentración y temperatura en el color de las muestras de manzana deshidratadas osmóticamente en melazas de remolacha azucarera. La osmodeshidratación se realizó con las siguientes combinaciones de temperatura y concentración: 45 °C y 40 °Brix, 45 °C y 80 °Brix, 65 °C y 40 °Brix, 65 °C y 80 °Brix. El color se midió en el sistema CIE L^* a^* b^* . Los resultados evidenciaron que los valores del parámetro L^* cambian significativamente en la primera hora del proceso. Después, los cambios son insignificantes. El valor negativo del parámetro a^* , medido en manzanas frescas, durante la deshidratación se modificó significativamente y obtuvo un valor positivo que indica el predominio del color rojo en las muestras tratadas. En comparación con las manzanas frescas, se observó un pequeño aumento del valor del parámetro b^* durante la primera hora de deshidratación, lo que indica el aumento de la participación del color amarillo en las muestras.

Concluyeron que la concentración y la temperatura influyen en los cambios de color de la manzana durante la osmodeshidratación.

2.2. Bases Teórico – Científicas

2.2.1. Generalidades de manzana (*Malus domestica* Bork)

La manzana (*Malus domestica*) es conocida como la campeona de las frutas y ocupa una posición fundamental en la producción internacional de frutas (Bingxiu et al., 2024). Es posible hallarlos en prácticamente todos los países alrededor del mundo. y se produce en mayor cantidad en las regiones templadas; sus frutos se caracterizan por tener un color y una apariencia llamativa, se encuentran de distintos tamaños que dependen de la variedad, su pulpa es crujiente, con sabor agradable y una textura que atraen a los consumidores (ver Figura 1), y además tienen un alto valor nutricional y contenido bioactivo (Karatat, 2020).

La manzana se consume principalmente en fresco debido a su capacidad de conservación y su maduración se produce desde finales de verano hasta el invierno, clasificándose en manzanas de verano, otoño e invierno. La variedad, la fase de maduración, la edad del árbol, el sistema de formación, el suelo y las condiciones climáticas afectan en gran medida a las características externas e internas de la manzana (Chen et al., 2025).

Figura 1

Ilustración general del fruto de manzana



Nota. Ilustración obtenida de Garcés et al. (2023).

2.2.2. Taxonomía de la manzana

Taxonómicamente la manzana pertenece al reino vegetal y se clasifica de la forma en que se especifica en la Tabla 1.

Tabla 1

Clasificación taxonómica de la manzana

Taxon.	Denominación
Especie	<i>M. domestica</i>
Género	<i>Malus</i>
Familia	Rosaceae
Phylum	Fanerógamas
Clase	Magnoliopsida
Reino	Vegetal
División	Magnoliophyta
Nombre científico	<i>Malus domestica</i>

Nota. Obtenido de Adrián (2020).

2.2.3. Composición química y nutricional de la manzana

Las propiedades alimenticias más destacadas de la manzana abarcan un elevado aporte fibra soluble, que contribuye a la eliminación del colesterol en el organismo, son ricas en pectina, aminoácidos, ácidos y azúcares (Escalera Cruz, 2019). Asimismo, al consumirlo aportan una considerable cantidad de elementos minerales (como calcio, hierro, fósforo, magnesio, potasio y sodio), fibra dietética y diversos compuestos biológicamente activos, tales como ácido ascórbico y compuestos fenólicos (Corona et al., 2020). Algunos de estos componentes más importantes se manifiestan seguidamente en la Tabla 2.

Tabla 2*Composición nutricional de la manzana*

Componente	Valores según autores (manzana con piel) en base a 100 g		
	Adrián (2020)	Puente & Valenzuela (2015)	Hidalgo et al., (2016)
Agua (g)	85,56	85,7	84
Energía (kcal)	52	53	59
Proteína (g)	0,26	0,3	0,19
Grasa (g)	0,17	-	-
Carbohidratos (g)	13,81	12	15
Fibra (g)	2,4	2	2,7
Azúcares totales (g)	10,39	-	-
Calcio (mg)	6	6	7
Hierro (mg)	0,12	0,4	0,18
Magnesio (mg)	5	5	5
Fósforo (mg)	11	8	7
Potasio (mg)	107	120	115
Sodio (mg)	1	2	-
Vitamina C (mg)	4,6	10	-

Nota. Adrián (2020); Puente & Valenzuela (2015); Hidalgo et al. (2016).

2.2.4. Compuestos bioactivos de la manzana

La manzana es una fruta que sobresale por ser una de las mayores proveedoras de polifenoles en la alimentación. Estos compuestos presentes en la manzana son de gran relevancia, dado que juegan un papel fundamental, pues cumplen una función esencial en la calidad sensorial de la fruta, tanto cuando se consume fresca como en su forma procesada. Además, estos polifenoles son reconocidos por sus propiedades antioxidantes, las cuales contribuyen a promover la salud (Corona et al., 2020). Los compuestos bioactivos más predominantes en la manzana se exponen en la Tabla 3.

Tabla 3*Compuestos bioactivos de la manzana*

Componente	Autores	
	Macit et al. (2021)	Corona et al., (2020)
Polifenoles totales mg EAG/100 g	160,27 – 280,59	137,2 a 315,87
Capacidad antioxidante	23,2 – 90,96 (%)	1367.80 a 2559.08 (µmoles ET/100 g)
Vitamina C (mg 100 g ⁻¹)	2,31 – 7,66	-

Nota. Macit et al. (2021); Corona et al., (2020)

2.2.5. Manzana variedad delicia

La manzana Delicia es un fruto que se produce en gran cantidad en Perú donde predomina la región de Lima, se caracteriza por presentar mayor resistencia a enfermedades y su fruto se distingue por su forma redonda, un aroma atractivo y un gusto dulce, tiene piel color rojo brillante, pulpa blanquecina, es algo arenosa y un peso de 160 a 240 g (ver Figura 2). Se utiliza en los procedimientos de elaboración de hojuelas deshidratadas, harinas, compotas, mermeladas, néctares y otros productos destinados al consumo humano directo y que, bajo determinados criterios, favorecen una dieta saludable (Bravo & Dávila, 2024).

Figura 2*Ilustración de la manzana variedad delicia*

Nota. Tomada de Bravo & Dávila (2024).

2.2.6. Generalidades de la betarraga (*Beta vulgaris* L.)

La remolacha se cultiva en regiones como Francia, Norteamérica y Polonia. Es una planta que completa su ciclo en dos años, floreciendo y produciendo semillas en el segundo año, a menos que se den condiciones especiales. Aunque no es considerado un vegetal muy popular para el consumo, es un cultivo que se encuentra en todo el mundo (Muñoz, 2020).

La remolacha se clasifica dentro de la familia Chenopodiaceae, específicamente en la especie botánica *Beta vulgaris* L., donde se encuentran tres subespecies de gran relevancia: *Beta vulgaris* sacarífera o remolacha azucarera, *Beta vulgaris* esculenta o remolacha forrajera y *Beta vulgaris* hortensis o remolacha de mesa o ensalada. La raíz es un engrosamiento en los extremos inferiores del tallo y superiores de la raíz principal, y exhibe un tono rojizo o morado típico de casi todas las especies cultivadas (ver Figura 3), debido al pigmento betanina o betacianina que posee (Lazo & Cortez, 2022).

Figura 3

Ilustración de la remolacha



Nota. Obtener Lazo & Cortez (2022).

2.2.7. Características nutricionales y fisicoquímicas de la betarraga

La remolacha alberga elevados contenidos de antioxidantes que se pueden tomar biológicamente, junto con otros elementos que favorecen la salud tales como: calcio, fósforo, sodio, niacina, biotina, vitamina B₆ y fibra soluble. Además, el consumo de este cultivo en sus diversas formas (harina, mezclas, zumos, concentrados) y por el nitrato inorgánico (NO₃), un

precursor del óxido nítrico (NO) que posee, resulta favorable para la salud (Acosta & Romero, 2022).

Tabla 4

Propiedades químicas y nutricionales de la remolacha en 100 g de porción comestible

Componente	Autores	
	Gómez & Duque, (2018)	Giler (2019)
Energía (Kcal)	37	5,0
Proteínas (g)	1,3	1,93
Lípidos totales (g)	-	0,10
Carbohidratos (g)	6,4	7,99
Agua (g)	89,2	87,85
Fibra (g)	3,1	2,14
Calcio (mg)	23	23,0
Hierro (mg)	0,8	0,10
Magnesio (mg)	15	18,50
Sodio (mg)	84	84,0
Potasio (mg)	300	458,50
Fósforo (mg)	31	66,00
Vitamina C (mg)	10	7,50
pH	4,92	-
Acidez (%)	0,12	-
Sólidos solubles	11,6	-

Nota. Gómez & Duque, (2018); Giler (2019)

2.2.8. Propiedades antioxidantes de la betarraga

La pulpa de Betarraga posee un elevado contenido biológico de antioxidantes. No obstante, su consumo no es tan común como el de otras verduras como el tomate, la zanahoria, la manzana o el mango, quizás debido a las dificultades en la percepción del sabor y la textura, además de que produce coloración en la orina. Los compuestos bioactivos más importantes

localizados en la remolacha y que se pretende estudiar son el contenido de Betalaina y la capacidad antioxidante (Fuentes et al., 2018).

A. Contenido de betalaina en la betarraga

La remolacha se compone de varios pigmentos de la familia betalaina, siendo la betacianina (de tonalidad roja y violeta) el colorante predominante. Esta sustancia representa entre el 75 y el 95% de la totalidad de las sustancias, que comprenden: betanina isobetanina, probetanina y neobetanina, sobresalen por su capacidad antioxidante y la presencia de nitrógeno en su composición química. La otra sección se compone de cantidades reducidas de betaxantina (de tonalidad amarilla) y los productos de la descomposición de betalaina (de tonalidad marrón claro). El tinte de color rojo-violeta (betacianina), que se disuelve en agua y conserva su estabilidad a un pH de 3 a 7, se utiliza para realzar el tono rojo de las pastas de tomate, salsas, sopas, mermeladas, helados, dulces y diversos cereales, se utiliza para realzar el tono rojo de las pastas de tomate, así como de otros cereales (Acosta & Romero, 2022).

Las betalainas son un destacado representante de este tipo de moléculas bioactivas en la actualidad, sobresaliendo sobre otros compuestos por su relativa estabilidad ante variaciones de pH, su singular solubilidad y una eminente actividad antioxidante que fomenta ventajas para la salud, además de una posible actividad antiinflamatoria y antitumoral. Las betalainas son abundantes en la raíz de remolacha, no obstante, un desafío radica en reutilizar las partes menos valiosas de este tubérculo, como los tallos y hojas que a menudo son descartados, pero que constituyen matrices tan importantes tanto nutricionalmente como biológicamente como la raíz de remolacha (De Dios et al., 2023).

B. Capacidad antioxidante de la betarraga

La remolacha es rica en compuestos fenólicos como catequinas y ácidos fenólicos, que poseen potentes propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, hepatoprotectoras y

anticancerígenas. Estos compuestos ayudan a corregir alteraciones fisiopatológicas, especialmente en enfermedades cardiovasculares y respiratorias, gracias a su capacidad biológica (Acosta & Romero, 2022).

La remolacha de color rojo es especialmente rica en vitamina C y flavonoides, antioxidantes con gran capacidad anticancerígena. Por ende, su consumo constante en una dieta balanceada contribuye a evitar la aparición de cáncer. Además, es un escudo contra afecciones cardiovasculares. Los flavonoides son compuestos orgánicos que se generan en las plantas y protegen al organismo del daño causado por componentes oxidantes (Gómez & Duque, 2018).

La betarraga muestra una variada actividad antioxidante, oscilando entre $8,37 \pm 0,29\%$ y $21,83 \pm 0,35\%$ AOA (% de inhibición) (Fuentes et al., 2018).

2.2.9. Industrialización de la betarraga

La creciente demanda de alimentos de calidad que aporten no solo nutrición, sino también salud, ha cobrado protagonismo. Esto se refleja directamente en la creciente y progresiva evolución en el campo de la ciencia alimentaria y la investigación en nutrición, tal es así que el perfil del consumidor actual post pandemia se destaca por la búsqueda de una dieta equilibrada y saludable a través de la adquisición de nuevos productos, que presenten en su composición ingredientes que aporten beneficios a la salud (De Dios et al., 2023).

Los pigmentos hidrosolubles derivados de la remolacha son útiles en el sector alimenticio para la producción de bebidas, productos cárnicos, lácteos, productos de repostería, salsas, panificación, aderezos, entre otros. Esto se debe a su capacidad de coloración, sus características antioxidantes y antiinflamatorias, así como a su uso en la industria farmacéutica y cosmética. Por otro lado, se podría afirmar que el empleo del tinte de remolacha es restringido, ya que las betacianinas se descomponen fácilmente al exponerse a constituyentes como la humedad, temperatura, luz y oxígeno (Salazar et al., 2019).

2.2.10. Extracto betarraga

El jugo de remolacha es un recurso abundante en antioxidantes y micronutrientes tales como potasio, betalaína, sodio, magnesio, vitamina C y NO₃ (Gisbert et al., 2015). Una vez consumido, el nitrato (NO₃⁻) se descompone a óxido nítrico (ON), que tiene propiedades hipotensores y antiinflamatorias, además de mejorar la eficacia mitocondrial y la regulación de la contractibilidad muscular (Ramos et al., 2021). El extracto de betarraga es abundante en antocianinas y otros compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes. Cuando se utiliza en la osmodeshidratación de manzanas, puede mejorar tanto el valor nutricional, así como las particularidades sensoriales del producto final, como el color y el sabor (Fuentes et al., 2018).

Habitualmente, para obtener estos pigmentos se filtran o muelen frutos o plantas en su estado natural en agua fría o a temperatura ambiente. En la mayoría de los casos, se requiere una solución de agua-metanol o agua-etanol (del 20 al 50% en volumen) para lograr una extracción completa. A veces es necesaria la fermentación aeróbica del jugo (usando *Saccharomyces cerevisiae* y *Aspergillus niger*) para reducir los azúcares libres y aumentar el contenido de betacianina (Orellana, 2015).

2.2.11. Beneficios de la betarraga

La remolacha posee propiedades mineralizantes, antisépticas, coleréticas y favorece el fortalecimiento de la mucosa gástrica. Se ha empleado también en el tratamiento de tumores intestinales y genitales. Por otro lado, se ha demostrado que los extractos de raíces frescas o hojas son eficaces en el tratamiento de tumores del sistema digestivo, además de los del pulmón, hígado, mama, próstata, útero, anemia y convalecencia (Parra, 2015).

El proceso de envejecimiento genera especies reactivas de oxígeno, principalmente radicales libres, capaces de provocar daño oxidativo en las células, alterando su función y promoviendo el surgimiento de patologías como el cáncer y la diabetes. Los antioxidantes

presentes en frutas y vegetales, tales como la remolacha, tienen la capacidad de evitar este deterioro celular. Esto reduce la posibilidad de sufrir afecciones degenerativas como el cáncer, afecciones cardiovasculares, neurodegenerativas y diabetes. La investigación científica apoya la función defensiva de estos antioxidantes en la salud (Moreno, 2023).

2.2.12. Osmodeshidratación

La osmodeshidratación alude a un procedimiento de dispersión de líquidos mediante una membrana semipermeable (Granados et al., 2019). Este procedimiento es frecuentemente empleado en técnicas combinadas de conservación y/o en la elaboración de alimentos funcionales, posibilitando la inclusión de elementos que elevan el valor nutricional de las frutas o alimentos en su totalidad. La correcta utilización del pretratamiento osmótico puede disminuir significativamente el tiempo de secado, manteniendo el color, potenciando la textura y salvaguardando el contenido de vitaminas y compuestos de gran valor nutricional presentes en las frutas y verduras (García et al., 2018).

2.2.13. Características del proceso de osmodeshidratación

La osmodeshidratación busca prolongar el tiempo de conservación de los alimentos eliminando agua sin cambiar su fase. Este procedimiento se lleva a cabo al introducir los alimentos en soluciones hipertónicas de azúcares, cloruro de sodio, sorbitol, glicerol, entre otras sustancias. Durante el proceso, el agua sale del alimento, y sustancias disueltas en la solución entran al producto. La membrana celular no es totalmente selectiva, lo que permite que algunos solutos (ácidos orgánicos, azúcares, minerales, fragancias y colorantes) migren hacia la solución hipertónica (Ventura, 2023).

La osmodeshidratación es un procedimiento donde se elimina de forma parcial el agua contenida en alimentos, mediante su inmersión en soluciones hipertónicas. Las elevadas concentraciones de los jarabes provocan una presión osmótica en el tejido del alimento, provocando que el agua que ha sido ocluida en los poros de los alimentos se desplace hacia la

solución osmótica. Este es el principal flujo de masa durante el proceso. Por otro lado, se produce el ingreso de sólidos a los alimentos, aunque los beneficios son notablemente inferiores en comparación con la salida de agua del alimento. Un tercer flujo es la migración de solutos (ácidos orgánicos, azúcares, vitaminas, minerales, compuestos de color sabor y aroma) del alimento a la solución (Valdiviezo, 2023).

2.2.14. Parámetros a tomar en cuenta en la osmodeshidratación

La osmodeshidratación es influenciada por varios factores, y la mejora de este proceso puede incrementar las velocidades de transferencia de masa para así elevar las tasas de transferencia. Los elementos esenciales que afectan más al proceso son el tipo de sustancia osmótica, la concentración de la mezcla, la temperatura, el tiempo de inmersión, el grado de agitación y las proporciones entre la fruta y la solución osmótica.

A. Tipo de agente osmótico: en cuanto al tipo de agente osmótico, se han utilizado varios tipos de azúcares para el procesamiento de frutas, incluyendo sacarosa, glucosa, fructosa, maltodextrina, entre otros. No obstante, entre estos, la sacarosa es la más utilizada por su coste y accesibilidad, además de tener un alto poder osmótico (Laura, 2023).

B. Concentración de la solución osmótica: se han realizado estudios sobre diversos niveles de concentración osmótica, cuyo fin ha sido determinar aquellos parámetros más apropiados para dicho fin, donde se señala que al incrementar las concentraciones osmóticas, se obtienen tasas de transferencia de masa más elevadas. Esto conlleva a un mayor descenso del agua, que es el flujo fundamental del proceso, debido a un elevando el volumen de la solución osmótica que se emplea, la presión osmótica dentro del sistema también se eleva y, por consiguiente, el agua se pierde más y los sólidos ascienden (Castillo, 2021).

C. Proporción fruta: solución osmótica: La proporción indica la cantidad de solución osmótica por unidad de peso de alimento. Es crucial mantener altas concentraciones para evitar que la solución se diluya y afecte el proceso. Sin embargo, usar proporciones demasiado altas

puede causar desperdicio de solución y una ganancia excesiva de sólidos, lo que no es deseable (Valdiviezo, 2023).

D. La temperatura: viene a ser uno de los factores más importantes durante el proceso de osmodeshidratación, donde las mayores temperaturas implican una aceleración y mayor transferencia del agua del alimento al hacia el medio osmótico al hacer más permeables sus membranas. Sin embargo, se recomienda no exceder los 50 °C, ya que temperaturas más altas pueden destruir nutrientes y dañar los tejidos del alimento (Ventura, 2023).

E. Tiempo de inmersión: diversos estudios han observado la tendencia a aumentar la transferencia de masa al aumentar el tiempo de sumersión del fruto en la solución osmótica, sin embargo, se ha identificado que las dos primeras h son las que generan la mayor pérdida de agua del alimento, posterior a este tiempo continua la pérdida de agua a un ritmo menor y se generarán mayores ganancias de sólidos (Laura, 2023).

F. Agitación: la agitación es uno de los factores que debe permanecer durante el proceso de osmodeshidratación, ya que su principal objetivo es evitar que se formen zonas de dilución en la solución osmótica, sobre todo alrededor del alimento, lo cual disminuiría la eficiencia del proceso, ya que las altas concentraciones osmóticas no serían constantes durante el tiempo de inmersión (Valdiviezo, 2023)

2.2.15. Importancia de la osmodeshidratación

Hoy en día, la osmodeshidratación se percibe comúnmente como un pretratamiento con aplicabilidad en la elaboración de frutas y vegetales tradicionales, con el objetivo de incrementar su calidad y economizar energía. El motivo principal de su uso como un tratamiento previo es la alteración que se consigue en la composición química de los alimentos y vegetales a través de la pérdida conjunta de agua y la elevación de sólidos solubles (Osorio et al., 2020). El procedimiento de osmodeshidratación constituye una etapa inicial antes del secado en el vacío o secado por convección. Esta metodología ofrece una variedad de ventajas

que comprenden la restricción de alteraciones perjudiciales sobre el gusto, el color, la disminución de nutrientes de gran valor, la reducción del pardeamiento enzimático y una considerable disminución del gasto de transporte y energía, ya que genera un consumo energético en un rango del 20 a 30% menor en comparación a otros tipos de secado (Ventura, 2023).

2.2.16. Higroscopicidad de los alimentos

La higroscopicidad de un alimento está relacionada con la capacidad de sus componentes para interactuar con el agua en el ambiente, lo que genera que el alimento absorba o libere agua dependiendo de las condiciones ambientales. Los alimentos higroscópicos, pueden alterar su contenido de humedad dependiendo de la humedad relativa del aire. Esto puede afectar su textura, sabor y vida útil (Bari, 2022).

Cuando se quiere describir la capacidad de un producto para absorber agua se representa generalmente a través de curvas, las mismas que ilustran cómo varía la cantidad de agua absorbida con la humedad relativa del ambiente. Todo ello, ayuda a predecir de qué manera se comportan los alimentos al momento que son almacenados (Sapper et al., 2015).

2.2.17. Factores que Afectan la Higroscopicidad de los Alimentos

A. Composición de los alimentos: en este caso aquellos alimentos con mayor cantidad de azúcares y almidones, así como con un elevado contenido proteico suelen tener una mayor capacidad de absorción de agua debido a sus estructuras moleculares que interactúan fácilmente con el agua. Los azúcares, por ejemplo, contienen grupos hidroxilos que pueden formar enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua, lo que aumenta su higroscopicidad (Bari, 2022).

B. Temperatura y Humedad Relativa: La temperatura y la humedad relativa del aire influyen directamente en la cantidad de agua que los alimentos pueden absorber. A temperaturas más altas, los alimentos tienen más energía cinética, lo que les permite absorber

más agua. Del mismo modo, en un ambiente con alta humedad, los productos secos tienden a absorber más agua, lo que puede resultar en una alteración de sus características organolépticas y su vida útil (Liu et al., 2021).

C. Contenido de Solutos: es la medida de la materia que se disuelve en un líquido para formar una mezcla. En dicha mezcla, el soluto suele estar presente en menor proporción que el disolvente, que es el componente que realiza el proceso de disolución. La relación entre solutos y disolventes es fundamental para comprender los factores que afectan la solubilidad y la forma en que se preparan las mezclas (Yu et al., 2020).

2.2.18. Difusividad efectiva

Se refiere a la velocidad a la que una sustancia (agua, sustancias solubles o aromas) se dispersa o se desplaza por un alimento durante un proceso de transmisión de masa, como el secado, la cocción o la fermentación. Esta característica considera las características específicas de los alimentos, como su estructura interna, la porosidad, la humedad, la temperatura y otros factores que influyen en el desplazamiento de las moléculas en su interior (Castro et al., 2021).

2.2.18.1. Estimación de la difusividad efectiva (segunda ley de Fick)

Tafur (2018) menciona que se han propuesto varios mecanismos para explicar los procesos de transporte de humedad en productos alimenticios, incluyendo la difusión molecular, la difusión por estrés, el movimiento capilar y la difusión de líquidos a través de poros sólidos, difusión de vapor, etc. Por lo tanto, algunos investigadores recomiendan describir la tasa de transporte interno de humedad en términos del coeficiente de difusión efectiva promedio porque no es posible determinar el mecanismo dominante durante el secado.

Los mecanismos de transporte de humedad durante el secado se pueden modelar matemáticamente a partir de la segunda ley de Fick. Dicha ecuación es un principio fundamental en la ciencia de la difusión, que describe cómo cambia la concentración de una sustancia a través del tiempo debido a la difusión en un medio. Es ampliamente utilizada en

áreas como la física, la química, la biología, y la ingeniería, especialmente en la transferencia de masa y procesos de difusión en sistemas no estacionarios (Cussler, 2009). Si la difusión ocurre en tres dimensiones está gobernada por la ecuación 1:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial z^2} \right) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde, M es el contenido de humedad, t es el tiempo x , y y z son coordenadas espaciales y D_{eff} es el coeficiente de difusión efectiva.

En la ecuación (1), si $\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x} x \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \right)$ y $M = MR$, la ecuación puede escribirse de la siguiente manera:

$$\frac{\partial MR}{\partial t} = D_{eff} \nabla^2 MR \quad \text{Ecuación 2}$$

La solución a la ecuación diferencial anterior varía dependiendo de la geometría de la muestra para geometrías simples como placas, cilindros, esferas y paralelogramos (finitos e infinitos) (Tafur, 2018).

La solución propuesta por Crank (1975) supone que: La placa es infinitamente plana, el coeficiente de difusión efectivo es constante, no se tiene en cuenta la contracción de la muestra y no hay resistencia a la transferencia de masa (Ecuación 3).

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp \left[-(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right] \quad \text{Ecuación 3}$$

En la ecuación anterior, L es la mitad del espesor de la lámina final y n es el número de cadenas del total. Usando el primer término de la serie ($n = 1$), cuando el tiempo de secado es largo, esta ecuación se puede reducir a la ecuación 4.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp \left[-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right] \quad \text{Ecuación 4}$$

Finalmente, aplicando el logaritmo natural a ambos lados de la ecuación 4, obtenemos la expresión matemática para calcular experimentalmente el coeficiente de difusión efectiva de la humedad según la ecuación 5.

$$\ln(MR) = -0.21 + \left(-\frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2}\right) t \quad \text{Ecuación 5}$$

Al realizar un gráfico con los datos experimentales, donde el eje de las ordenadas tomaría los valores de $\ln(MR)$ y el eje de las abscisas el tiempo en segundos, entonces la pendiente de la Ecuación lineal 6 sería:

$$Pendiente = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad \text{Ecuación 6}$$

Despejando D_{eff} se obtiene la ecuación final 7, de la difusividad efectiva.

$$D_{eff} = \frac{4L^2 pendiente}{\pi^2} \quad \text{Ecuación 7}$$

2.3. Definiciones conceptuales

2.3.1. Osmodeshidratación

La osmodeshidratación es un procedimiento frecuentemente empleado en técnicas combinadas de preservación y/o en la elaboración de productos alimentarios funcionales, posibilitando la inclusión de elementos que incrementan el valor nutricional de las frutas o alimentos en su conjunto incrementando así su valor nutricional (García et al., 2018).

2.3.2. Extracto

Sustancia concentrada que se obtiene a partir de una materia prima (como plantas, frutas, hierbas, o productos naturales) mediante un proceso de extracción. Este proceso puede involucrar el uso de solventes, calor o presión para separar los compuestos activos o los principios activos de la materia original, con el fin de concentrar sus propiedades esenciales (Santamaría et al., 2015).

2.3.3. Higroscopicidad

La higroscopicidad es la propiedad que tienen ciertos materiales o sustancias de absorber o liberar humedad (agua) del ambiente, especialmente en forma de vapor. Los materiales higroscópicos, como la sal, el azúcar, la madera o algunos polímeros, pueden absorber agua cuando la humedad relativa del ambiente es elevada, y liberarla cuando la humedad es baja, lo que puede provocar cambios en sus características físicas o propiedades, como su volumen, forma o consistencia (Díaz, 2005).

2.3.4. Difusividad efectiva

Hace referencia a la rapidez con la que una sustancia (agua, los compuestos solubles o los aromas) se distribuye o se mueve a través de un alimento durante un proceso de transferencia de masa, como el secado, la cocción o la fermentación. Esta propiedad tiene en consideración las particularidades específicas de los alimentos, tales como su estructura interna, la porosidad, la humedad, la temperatura y otras variables que afectan el movimiento de las moléculas dentro del mismo (Castro et al., 2021).

2.3.5. Betalaínas

Las betalaínas representan un conjunto de tintes naturales solubles en agua presentes en ciertas plantas como la Betarraga y de la familia *Amaranthaceae* y *Caryophyllaceae*. Estos compuestos se dividen en dos tipos principales: betacianinas, de tonalidad roja-violeta, y betaxantinas, de tonalidad amarilla-naranja, estos pigmentos pueden emplearse como aditivos en alimentos para potenciar su sabor o prevenir su decoloración. (Verona et al., 2020).

2.3.6. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante se describe como la habilidad de un producto de origen vegetal para funcionar como un antioxidante, la cual está influenciada por la cantidad y la estructura química de los compuestos antioxidantes que se encuentran, tales como la vitamina C, la vitamina E, los carotenoides y los compuestos fenólicos (Mejía et al., 2020).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo, diseño, nivel y enfoque de investigación

3.1.1. Tipo y nivel de investigación

Esta investigación fue de tipo aplicada, pues se empleó los conocimientos obtenidos, a la vez que se obtuvieron nuevos, tras la implementación y sistematización de la práctica basada en investigación, con el objetivo de solucionar un problema (Castro et al., 2022). El nivel fue explicativo ya que se buscó una explicación de los fenómenos que acontecen al aplicar distintos tiempos de osmodeshidratación y extracto de betarraga evaluando su influencia sobre los parámetros de color, higroscopicidad, difusividad efectiva, contenido de betalaínas y capacidad antioxidante de frutos de manzana (Ramos, 2020).

3.1.2. Enfoque de investigación

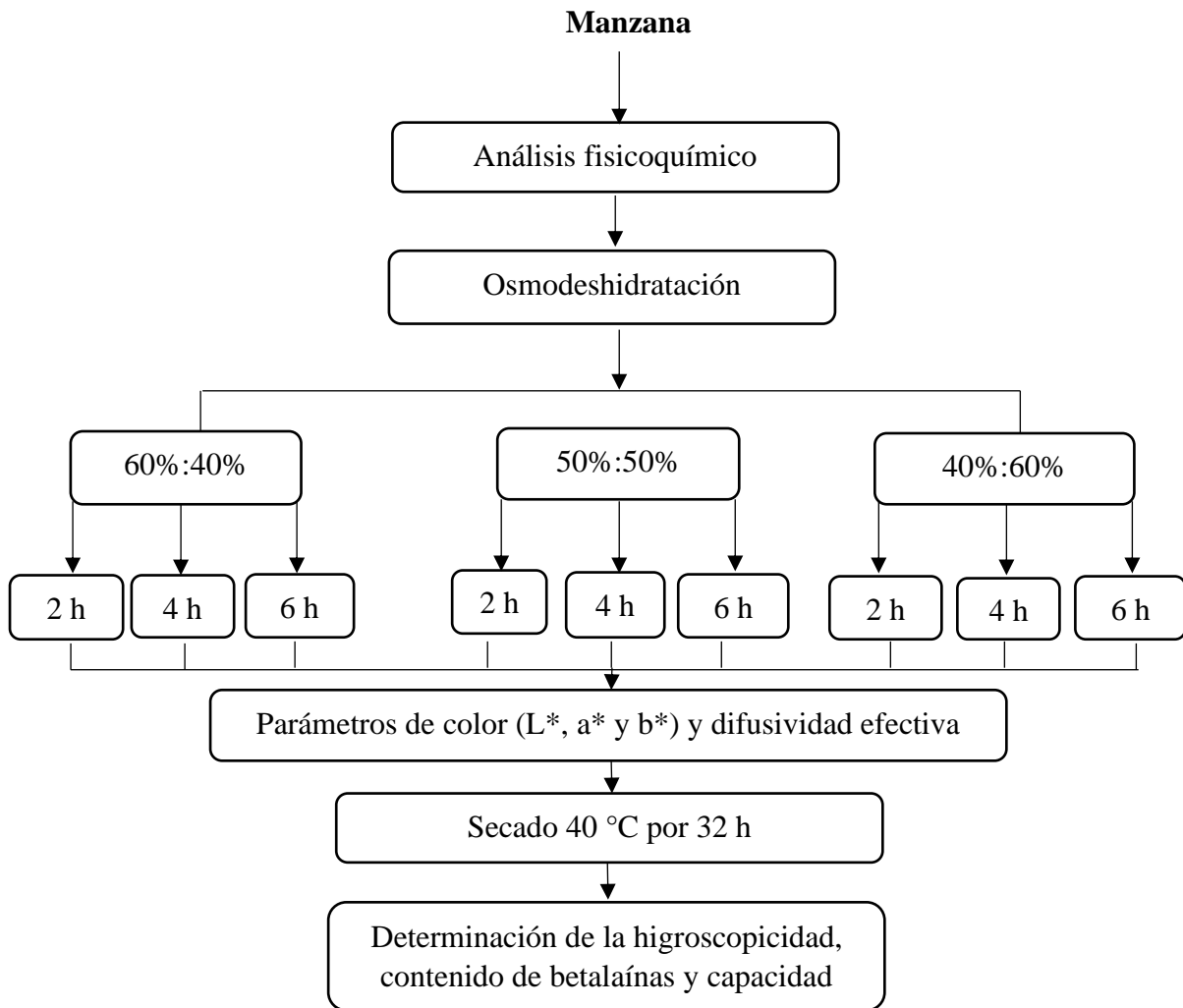
El enfoque de la presente investigación es cuantitativo, ya que se basó en aspectos numéricos para realizar la investigación, para analizar y comprobar la información y datos.

3.1.3. Diseño de Investigación

La metodología del estudio es experimental, ya que se manipularon las variables independientes para observar su impacto en las variables dependientes. El diseño que se utilizó fue el 3^k , donde se trabajó con 2 factores que corresponden al tiempo de osmodeshidratación y relación de extracto de betarraga: azúcar, y 3 niveles (2, 4 y 6 h) (60%: 40%; 50%: 50% y 40%: 60%) respectivamente, como se ilustra en el esquema experimental que se muestra en la Figura 4.

Figura 4

El esquema experimental de esta investigación



3.2. Ubicación, población, muestra, muestreo y unidad de análisis

3.2.1. Ubicación

El estudio se realizó en los laboratorios del pabellón de la Escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial, que está ubicado en la comunidad de Colpa Huacaris, distrito de Chota, provincia de Chota, región Cajamarca, cuyas coordenadas de ubicación son: 6°32'07"S y 78°38'42"W. Dicha ubicación geográfica se muestra en la figura 5.

Figura 5

Ubicación geográfica del lugar donde se realizó el estudio



Nota. Obtenido de Google Earth (2025).

3.2.2. Población

La población en estudio estuvo constituida por los frutos de manzana variedad delicia en un estadio de madurez comercial (de consumo), la misma que fue obtenida del mercado central de la ciudad de Chota, distrito y provincia de Chota, región Cajamarca, la procedencia de dicha variedad de manzana fue el departamento de Lambayeque. También se consideró parte de la población a la betarraga proveniente del Valle Doñana, C.P. el Campamento, Chota. Se utilizó, además, el azúcar blanco, también llamado azúcar granulado o azúcar de mesa.

3.2.3. Muestra

La muestra para este estudio estuvo compuesta por 42 kg de manzana variedad Delicia de tamaño homogéneo, recolectadas del mercado central de la ciudad de Chota, las cuales fueron cortadas en rodajas y sometidas al proceso de osmodeshidratación; además, se utilizaron 30 kg de betarraga obtenida del Valle Doñana, C.P. El Campamento, Chota, Cajamarca, y 14 kg de azúcar blanco para la preparación de las soluciones osmóticas.

3.2.4. Muestreo

Se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, dado que se realizó considerando aspectos propios del investigador como: cercanía al lugar de estudio, disponibilidad de materia y aspectos económicos. Los 42 kg de frutos de manzana en madurez comercial se adquirieron en el mercado central de la ciudad de Chota, seleccionando frutos con un tamaño uniforme, con un peso entre 170 y 200 g. Los 20 kg de betarraga provenientes de la parcela de la Señora Celida Sayaverde Rimarachín del Valle Doñana, asegurándose que no presenten daños físicos ni microbiológicos. Todos los ingredientes fueron trasladados al laboratorio de Frutas y Hortalizas de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, donde las manzanas pasaron por un proceso de lavado, desinfectado y cortado en rodajas de 0,50 cm de espesor.

Para la obtención del extracto, las betarragas fueron lavadas y desinfectadas, peladas, cortadas en trozos y licuadas en una licuadora industrial y posteriormente homogenizadas con azúcar en las proporciones señaladas. Finalmente se sumergieron las manzanas en solución osmótica preparada y se dejó por 2, 4 y 6 h para su posterior análisis.

3.2.5. Unidad de análisis

La unidad de análisis estuvo constituida por cada rodaja de manzana variedad Delicia sometida al proceso de osmodeshidratación, sobre la cual se realizaron las evaluaciones correspondientes.

3.3. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

A continuación, la Tabla 5 detalla las técnicas e instrumentos que se emplearon para la recopilación de datos.

Tabla 5*Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

Técnicas	Instrumentos	Datos recolectados
Observación directa	Fichas de observación	Características de la manzana
Mediciones físicas	Regla de Vernier, balanza analítica, buretas, vasos de precipitación.	Medida y peso de la manzana, preparación de soluciones.
Análisis físico y químicos	Colorímetro, estufa, espectrofotómetro.	Color (L*, a* y b*), higroscopicidad, difusividad efectiva, contenido de betalaínas totales y capacidad antioxidante.

3.4. Hipótesis

Ha: El tiempo de osmodeshidratación y la relación entre el extracto de betarraga (*Beta vulgaris* L.) y azúcar afectan significativamente en los parámetros de color, higroscopicidad, difusividad efectiva, contenido de betalaínas y capacidad antioxidante de frutos de manzana (*Malus domestica*).

H0: El tiempo de osmodeshidratación y la relación entre el extracto de betarraga (*Beta vulgaris* L.) y azúcar no afectan significativamente en los parámetros de color, higroscopicidad, difusividad efectiva, contenido de betalaínas y capacidad antioxidante de frutos de manzana (*Malus domestica*).

3.5. Operacionalización de Variables

En seguida, en la Tabla 6 se ostenta la operacionalización de variables de esta tesis, donde se especifica cada una de las variables, las dimensiones, indicadores y los instrumentos que se utilizaron para su desarrollo eficiente.

Tabla 6*Matriz de operacionalización de variables*

Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Variable independiente (Proceso de osmodeshidratación)	Relación de azúcar: Extracto de Betarraga	Relación (60%:40%; 50%:50% y 40%:60%)	Materiales volumétricos
	Tiempo de osmodeshidratación	de tiempo (2, 4 y 6 h)	Cronómetro
	Parámetros de Color	L*, a* y b*	Colorímetro
	Higroscopicidad	%	Campana desecadora
Variable dependiente (Propiedades físicas y químicas)	Difusividad efectiva	(m ² /s)	-
	Contenido de betalaínas totales	mg/ 100 g (b.s)	Espectrofotómetro
	Capacidad antioxidante	(μmol Trolox/100 g)	Espectrofotómetro

3.6. Procedimientos de recolección de datos

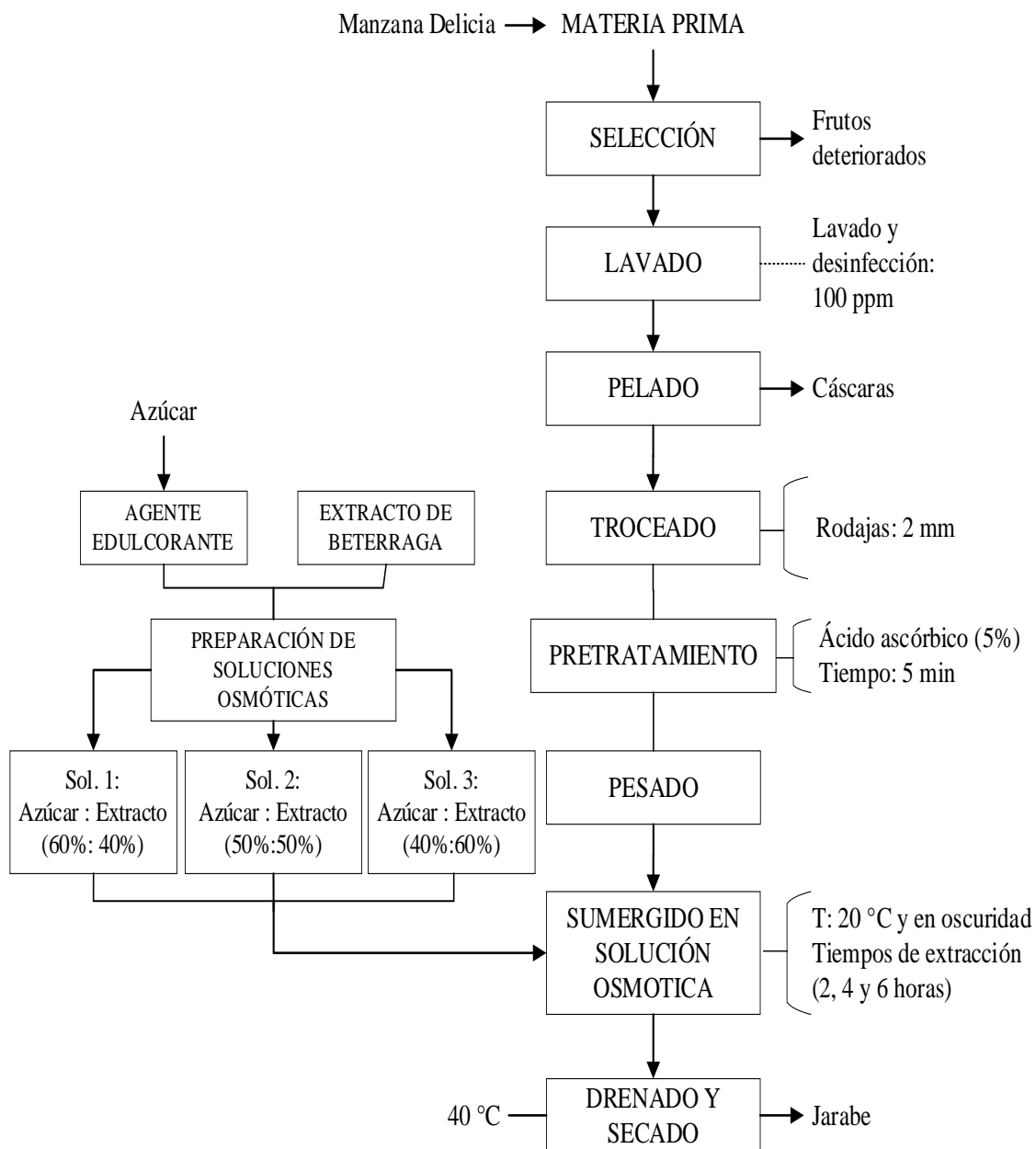
A continuación, se detalla el procedimiento que se implementó para la recopilación de datos de esta investigación:

3.6.1. Tratamiento osmótico de la manzana con solución hipertónica de extracto de betarraga

La Figura 6 presenta los procedimientos efectuados durante la osmodeshidratación de la manzana con la incorporación de los agentes edulcorantes y sus respectivas concentraciones.

Figura 6

Diagrama de flujo de osmodeshidratación de manzana variedad delicia



Nota. Adaptado de Castillo (2021).

• **Materia prima:** Se utilizó 42 kg de frutos de manzana variedad delicia comprada en el mercado central de la ciudad de Chota, dicha manzana es proveniente del departamento de Lambayeque. Junto a ello también se recolectó 20 kg de betarraga que proviene del Valle Doñana C.P. el Campamento – Chota, y 14 kg de azúcar blanco.

- **Selección:** Se seleccionó aquellas manzanas y betarragas con tamaño y color uniforme y libre de daños mecánicos (con impactos o rasguños) y microbiológicos aparentes (en una condición de descomposición provocada por microorganismos) y defectos que pueden alterar la investigación.
- **Lavado y desinfección:** Se realizó de manera manual utilizando agua potable con el propósito específico para eliminar cualquier impureza, tierra, elementos ajenos de la fruta y luego se realizó la desinfección en una solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm para disminuir la carga bacteriana presente en la manzana.
- **Pelado y troceado:** El pelado se llevó a cabo manualmente con un cuchillo afilado y el troceado consistirá en cortar las manzanas en forma de rodajas con 2 mm de espesor, esto se realizó con una cortadora manual.
- **Pretratamiento de la manzana:** las rodajas fueron sometidas a un pretratamiento con ácido ascórbico a una concentración del 5% peso base, en un tiempo de inmersión de 5 min, esto con el propósito de evitar la oxidación de la manzana ya que esta fruta se oxida rápidamente después de haberlo cortado (Rubiano & Sánchez, 2016).
- **Pesado:** se realizó en una balanza analítica, donde se pesó aproximadamente 500 g de muestra para cada unidad experimental.
- **Osmodeshidratación:** se preparó una solución hipertónica diluyendo el azúcar (sacarosa) de grado alimentario en el extracto de Betarraga en relación 60%:40%; 50%:50% y 40%:60% respectivamente, todo esto a temperatura ambiente; la unidad de medida para el azúcar será en g y para el extracto en mililitros (mL). Después los trozos de manzana se sumergieron en las soluciones preparadas durante un periodo de tiempo de 2, 4 y 6 ha 20 °C y en un ambiente oscuro.

- **Drenado y secado:** se realizó el retiro de las muestras a las 2, 4 y 6 h, luego se drenaron y se secaron a 40 °C en una bandeja de secado, tratando de no montar las muestras por un lapso de tiempo 32 h. Posteriormente se realizaron los análisis correspondientes.

3.6.2. Medición de los parámetros de color

Para la medición del color se empleó el método colorimétrico detallado por Laura (2023). Para ello, se utilizó un colorímetro portátil con iluminante D65 y observador estándar de 10° previamente calibrado en dos pasos: Calibrado en blanco y calibrado en negro, seguidamente la medición se efectuó colocando el lente del colorímetro sobre una rodaja de manzana, obteniendo los datos de 2 puntos específicos de la muestra. El color se obtuvo según el sistema CIE L*a*b* donde la coordenada L* es un indicador de luminosidad (desde 100 cuando es blanco y 0 cuando es negro), a* al color de Rojo (+) a verde (-) y b* del color Amarillo (+) a azul (-).

3.6.3. Determinación de la higroscopicidad

Para medir la higroscopicidad, se utilizó el procedimiento presentado por Mendoza et al. (2016). Para lograrlo, se pesó 1 g de cada muestra de manzana y se distribuyó de manera homogénea en placas Petri, y se colocó a 25 °C en un recipiente de vidrio sellado lleno de una solución saturada de cloruro de sodio (NaCl) (36 g de NaCl en 100 mL de agua). Tras una semana, las muestras se recolectaron y se pesó para luego determinar el porcentaje de higroscopicidad a través de la siguiente Ecuación 8. Los hallazgos se presentan en g de humedad por cada 100 g de sólidos (Santos & Santos, 2021).

$$Higroscopicidad(\%) = \frac{\frac{b+w_i}{1+\frac{b}{a}}}{a} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

a: cantidad de muestra (g)

b: cantidad (g) de humedad del polvo previo a la exposición a la humedad.

Wi: incremento de la cantidad (g) de humedad en la muestra posterior a la exposición.

3.6.4. Determinación de la difusividad efectiva

Los valores de difusividad efectiva (De) para agua y sólidos se lograron mediante la aplicación de las ecuaciones difusionales, incorporando la segunda Ley de Fick, para periodos de proceso extensos y considerando las rodajas de manzana como una lámina interminable. La ecuación de Fick converge con rapidez, lo que permite usar únicamente el primer término del desarrollo de la serie como una aproximación efectiva (Castillo, 2021). Para calcular la difusividad (De) en este estudio se siguió el procedimiento que se describe a continuación:

Medición de la masa inicial de la manzana: antes de comenzar el proceso de deshidratación osmótica, se pesaron todas las rodajas de manzana utilizando una balanza de precisión ($\pm 0,001$ g) para registrar la masa inicial.

Verificación durante el proceso: durante el proceso de osmodeshidratación, se tomaron muestras cada 20 min y se realizó la medida de los °Brix, considerando los tiempos de 2, 4 y 6 h.

Modelización del Proceso de Difusión de Agua: La difusividad efectiva de la manzana osmodeshidratada se determinó utilizando el modelo de difusión de la segunda ley de Fick, para lo cual se utilizó las Ecuaciones 9, 10, 11 y 12:

$$x_{we} = 1 - \frac{Dx_{SO}L}{100} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$Y_w = \frac{x_{wt} - x_{we}}{x_{w0} - x_{we}} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$L_n Y = L_n \frac{8}{\pi^2} - \left(\frac{D_{we} \pi^2}{4L^2} \right) t \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

Y_w : Fuerza impulsora de agua (Adimensional)

x_{we} : Fracción de masa de agua en equilibrio (g agua . g-1 m. s.)

X_{wt} : Fracción de masa de agua a tiempo t (g agua . g⁻¹ m. s.)

X_{w0} : Fracción de masa de agua a tiempo 0 (g agua . g⁻¹ m. s.)

D_{We} : Difusividad efectiva de agua (m² . s⁻¹)

L : Semi espesor (m)

t : Tiempo (s)

3.6.5. Determinación del contenido de betalaínas totales

El contenido de betalaínas totales se determinó con la suma de pigmentos de betaxantinas y betacianinas cuantificado según el método espectrofotométrico. Dicha metodología se dio inicio con la preparación de la muestra que consistió en triturar un trozo de manzana hasta obtener un polvo fino. Para el análisis se tomó 50 mg de muestra triturada y se colocaron en matraz aforado donde se diluyó con 10 mL de metanol al 80%. De esta dilución se tomó 5 mL y se agregó 20 mL de solvente (solución tampón de McIlvaine) a un pH de 5,2 y se homogenizó por 2 min. Seguidamente se colocó la misma solución tampón hasta completar 50 mL de volumen, esta dilución fue filtrada con el papel filtro N° 41 de la marca Whatman (Barboza, 2023). Luego las muestras se llevaron al espectrofotómetro y se midió la absorbancia a 538 nm en el caso de las betacianinas y a 483 nm en cuanto a las betaxantinas. Finalmente se llevó a cabo la transformación de las unidades de absorbancia pasando a unidades de concentración mediante el uso de la Ecuación 12 (Guzman, 2021).

$$B \left(\frac{mg}{100 mL} \right) = \frac{A * FD * PM * V}{\epsilon * W * L} \quad \text{Ecuación 12}$$

Dónde:

B: betacianinas o betaxantinas.

A: absorbancia de 483 nm para betaxantinas y 538 nm para betacianinas.

FD: factor dilución

L: longitud de la celda en cm

W: masa de la muestra en g

Para determinar los valores de betacianinas se usaron el peso molecular $PM=550$ g/mol y coeficiente de extensión molar de betanina $\epsilon =60000$ L.cm/mol y para determinar las betaxantinas, los valores del peso molecular $PM=390$ g/mol y coeficiente de extensión molar de dopaxantina $\epsilon=48000$ L.cm/mol.

3.6.6. Determinación de la capacidad antioxidante

Este análisis se llevó a cabo considerando el método de espectrofotometría propuesto por Huamani (2023), el mismo que se efectuó de la siguiente manera:

- A. Preparación de la solución madre del radical DPPH.** Para este fin se pesó 2,4 mg del radical DPPH, se homogenizó con 100 mL de metanol (80%) y se almacenó a 25 °C en un espacio sin iluminación.
- B. Preparación de la curva de calibración de Trolox.** Se tomaron 0,005 mg de Trolox y se combinaron con 100 mL de metanol al 80%, de dicha solución se tomaron 100, 250, 400, 500 y 1000 μ l y se homogenizaron con agua destilada cuyos volúmenes fueron 900, 750, 600, 500 y se completó con agua destilada hasta alcanzar un volumen de 1000 μ l. Las diluciones se elaboraron a concentraciones de 0,02; 0,05; 0,08; 0,1; 0,2 μ mol/mL para la elaboración de una curva estándar.
- C. Lectura de la absorbancia de la curva estándar Trolox.** Se tomaron pequeños tubos para la reacción donde se agregaron 200 μ l de aquellas diluciones previamente preparadas y se colocó 3,8 μ l de solución de trabajo del radical DPPH en cada tubo, dejando por un lapso de 30 min en un ambiente oscuro para que se produzca la reacción correspondiente.
- D. Extracción de la muestra.** Se tomó un trozo de manzana y se trituroó, de ello se pesó 100 mg y se diluyó en 10 mL de metanol al 80%, seguidamente se agitó magnéticamente por 20 min en un ambiente oscuro, subsiguientemente se centrifugó a

4500 rpm por 20 min, el restante se almacenó en oscuridad a 25 °C para ser analizado posteriormente.

E. Lectura de la absorbancia de las muestras. Se tomó 200 µL de la muestra y consecutivamente se adicionó 3,8 µL de solución del radical DPPH y se dejó en reposo por 30 min en un ambiente oscuro, luego para efectuar la lectura a 515 nm por triplicado. La Ecuación 13 establecerá la concentración de antioxidantes.

$$CA \left(\frac{\mu\text{mol eq.Trolox}}{100g} \right) = \left(\frac{\text{ABS}_{\text{muestra}} - B}{A} \right) \times \frac{F_d}{M} \times 100 \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

CA: Capacidad antioxidante

B: Intercepto de la ecuación de la curva estándar

A: Pendiente de la ecuación de la curva estándar

ABS muestra: Absorbancia de la muestra

Fd: Factor de dilución

M: Peso de la muestra (g)

La Ecuación 14 se utilizará para determinar el porcentaje de atrapamiento de las muestras en el radical DPPH.

$$\%I = \left(1 - \frac{\text{ABS}_{\text{muestra}515\text{nm}}}{\text{ABS}_{\text{Control}515\text{nm}}} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

%I: Se refiere a la capacidad de inhibición o atrapamiento.

ABS muestra: Se refiere a la absorbancia del material a 515 nm.

ABS control: Es la absorbancia inicial en el blanco o solución del radical DPPH a 515 nm.

3.7. Procedimientos de análisis de datos

El diseño experimental utilizado en este estudio es un diseño factorial $3^k = 3^2$, siendo k los factores de estudio: factor A (relación de azúcar y extracto de Betarraga) factor B (tiempo),

cada factor tiene 3 niveles para cada factor de estudio; se trabajó con 3 repeticiones por cada tratamiento y 27 elementos muestrales. Así A=3, B=3, n=3, N=2.

Modelo estadístico del diseño factorial fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad \text{Ecuación 15}$$

Por lo que μ es el efecto medio global, τ_i es el impacto del nivel i-ésimo del factor A, β_j es el nivel j-ésimo del factor B, $(\tau\beta)_{ij}$ es el impacto de la interacción entre τ_i y β_j y ε_{ijk} es un elemento del error aleatorio. Con $i = 1, 2; j = 1, 2; k = 1 \dots n$.

Tabla 7

Corridas experimentales utilizando el diseño factorial 3²

Tratamiento	Repetición	Relación (A: EB) (g: mL)	Tiempo (h)
T ₁	R ₁	60%:40%	2
	R ₂	60%:40%	2
	R ₃	60%:40%	2
T ₂	R ₁	60%:40%	4
	R ₂	60%:40%	4
	R ₃	60%:40%	4
T ₃	R ₁	60%:40%	6
	R ₂	60%:40%	6
	R ₃	60%:40%	6
T ₄	R ₁	50%:50%	2
	R ₂	50%:50%	2
	R ₃	50%:50%	2
T ₅	R ₁	50%:50%	4
	R ₂	50%:50%	4
	R ₃	50%:50%	4
T ₆	R ₁	50%:50%	6
	R ₂	50%:50%	6
	R ₃	50%:50%	6
T ₇	R ₁	40%:60%	2

	R ₂	40%:60%	2
	R ₃	40%:60%	2
T ₈	R ₁	40%:60%	4
	R ₂	40%:60%	4
	R ₃	40%:60%	4
T ₉	R ₁	40%:60%	6
	R ₂	40%:60%	6
	R ₃	40%:60%	6

Nota. A: proporción de azúcar; EB: proporción de extracto de Betarraga

Tabla 8

ANOVA para el diseño factorial 3² está determinada de la siguiente manera

Fuente	SC	GL	CM	F ₀	Valor-p
Efecto A	SC _a	a - 1	CM _a	CM _{at} / CM _e	P(F > F ₀ ^A)
Efecto B	SC _β	b - 1	CM _β	CM _{βt} / CM _e	P(F > F ₀ ^B)
Efecto AB	SC _{aβ}	(a - 1)(b - 1)	CM _{aβ}	CM _{aβt} / CM _e	P(F > F ₀ ^{AB})
Error	SC _e	ab(n - 1)	CM _e		
Total	SC _t	abn - 1			

El ANOVA se llevó a cabo con un grado de confianza del 95% para establecer la existencia o no de diferencias significativas entre los valores medios en función de la Relación (A: EB), así como también entre los valores en función al tiempo de osmodeshidratación y adicional a ello la influencia de la interrelación de ambos elementos.

De existir diferencias significativas se aplicó la prueba de Tukey para comparar las medias e identificar cómo se diferencian dichos valores. El ordenamiento de datos se realizó en el Microsoft Excel y el procesamiento en el software estadístico Minitab Statistical 20.

3.8. Material y equipos

A. Materia prima e insumos

- Manzana: materia prima principal y objeto de estudio.
- Betarraga: materia prima que se utilizó para la preparación de solución osmótica.

- Azúcar: se usó como componente de solución osmótica con el fin de que ayude a extraer el agua de la manzana.
- Hipoclorito de sodio: desinfectante que se empleó para desinfectar las manzanas antes del proceso.
- Alcohol: empleado para desinfectar materiales y superficies que se utilizaron durante la ejecución.

B. Materiales de laboratorio, equipos y reactivos

- Colorímetro: equipo que se utilizó para la medición del color de la manzana osmodeshidratada.
- Espectrofotómetro: equipo para medir la absorbancia en la determinación de la capacidad antioxidantes.
- Refractómetro digital: equipo que se utilizó para la medición de sólidos solubles de la manzana osmodeshidratada.
- Cuchillos: se usaron para pelar y cortar la manzana y la betarraga.
- Papel toalla: se usó para secar las superficies o materiales recién lavados.
- Guantes desechables, cofia y cubrebocas: materiales de bioseguridad que se usaron para evitar la contaminación del producto, así como también evitar los riesgos por contacto o inhalación de reactivos.
- Envases de vidrio: para medir el volumen de los desinfectantes, de reactivos, y también del extracto.
- Papel aluminio: para cubrir aquellos reactivos que son sensibles a la luz.
- Papel filtro Whatman N° 41: para filtrar el extracto y también algunas soluciones.
- Placas petri de 90 x 15 mm: se usaron para medir la higroscopicidad.
- Tubos de ensayo de vidrio: se usaron para la determinación de la capacidad antioxidante y betalaínas.

- Agua destilada: se usó para preparar soluciones.
- Solución tampón de McIlvaine: fue el reactivo utilizado para determinar el contenido de betalaínas.
- Metanol: se usó para la preparación de soluciones para la determinación de capacidad antioxidante así como también las betalaínas.
- Carbonato de sodio: agente alcalinizante que se usó para la preparación de soluciones analíticas.
- Reactivo DPPH: radical libre que se empleó para determinar la capacidad antioxidante.
- Trolox: reactivo que se usó como patrón para la determinación de capacidad antioxidante.

3.9. Aspectos Éticos

Se respetaron todos los aspectos y normas éticas contempladas en la Universidad Nacional Autónoma de Chota, tales como la objetividad, es decir los datos fueron recolectados y analizados de manera íntegra, sin manipulaciones ni alteraciones. No maleficencia, puesto que al ejecutar el presente proyecto se cumplió con todos los parámetros para evitar causar daño físico, emocional o psicológico a los participantes.

Otro de los aspectos es la confidencialidad ya que los datos personales o sensibles recolectados deben ser tratados con estricta confidencialidad, garantizando que la información se almacene de manera segura y los resultados se presentaron de forma que no permita identificar a los participantes.

Se garantizó también la originalidad de este trabajo, para lo cual se ha citado adecuadamente los autores y fuentes de donde se obtiene la información según los parámetros de las Normas APA, Séptima Edición.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción de resultados

4.1.1. Efecto del tiempo de osmodeshidratación y la relación extracto de betarraga y azúcar en los parámetros de color (L^ , a^* y b^*) de frutos de manzana*

En la Tabla 9 se muestran los resultados respecto a los parámetros de color (L^* , a^* y b^*) de las manzanas que han sido sometidas a distintas condiciones de osmodeshidratación, variando el tiempo de tratamiento (2, 4 y 6 h) y las concentraciones de azúcar y extracto de betarraga, de lo cual se obtuvo valores entre 25,84 y 33,45 para L^* , entre 34,62 y 39,72 para el parámetro a^* , y valores entre 7,81 y 12,32 para el parámetro a^* . De manera general, se evidencia que el parámetro L^* , que indica la luminosidad, tiende a bajar a medida que se incrementa el tiempo y la concentración del extracto, lo que indica que hay una disminución en la claridad del color de la fruta. El valor de a^* , que indica la intensidad del color rojo, presenta valores más altos en los tratamientos con mayor cantidad de extracto de betarraga, lo que resalta una coloración más pronunciada. En cuanto al parámetro b^* , que representa la coloración amarilla, muestra leves cambios entre los tratamientos.

Tabla 9*Parámetros de color (L*, a*, b*) de las manzanas osmodeshidratadas*

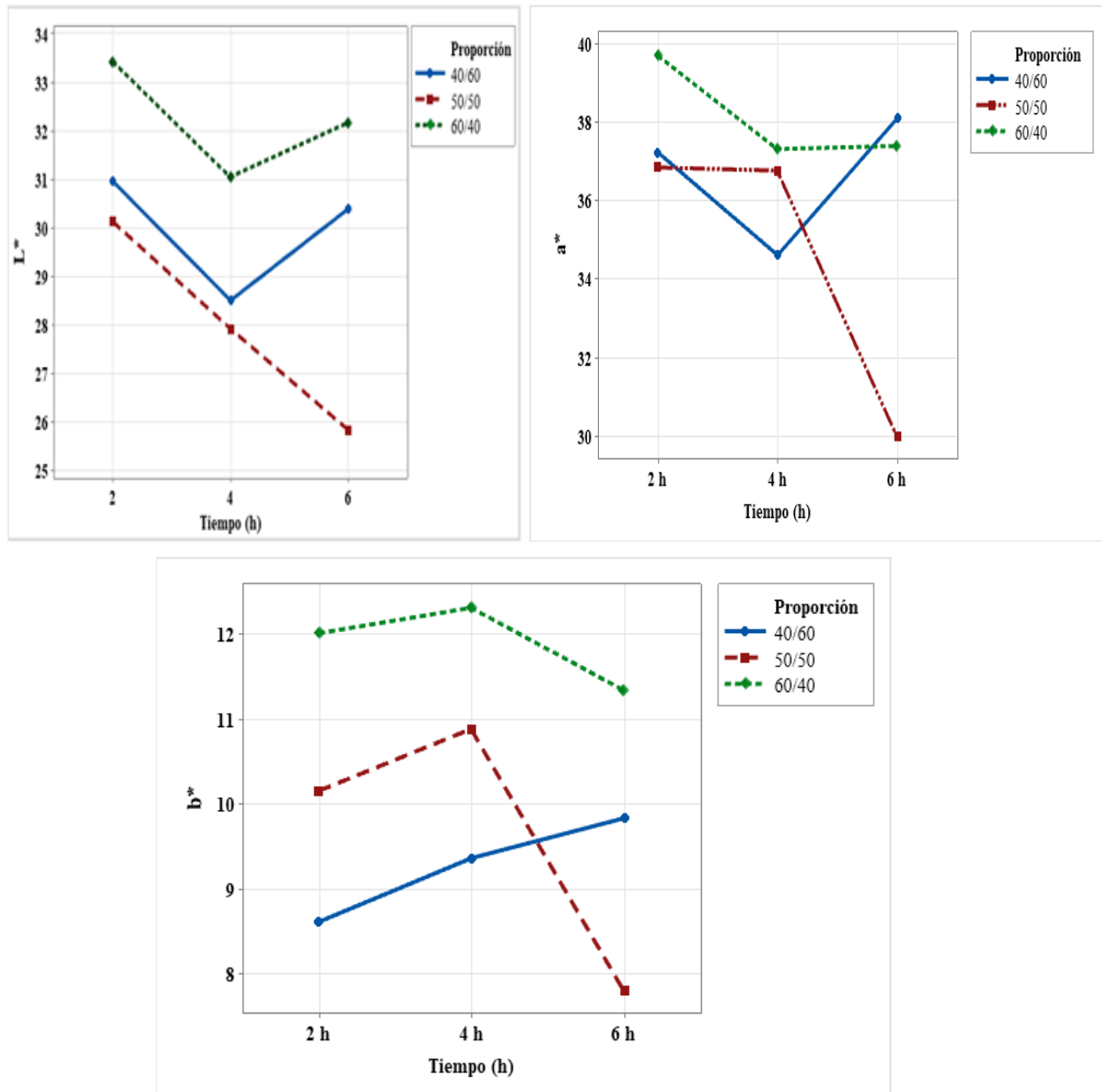
Parámetro L*			
Tiempo (h)	Proporción		
	60/40	50/50	40/60
2	33,45 ± 0,669 ^{aA}	30,14 ± 1,133 ^{bA}	30,97 ± 0,469 ^{bA}
4	31,06 ± 1,500 ^{aA}	27,93 ± 1,633 ^{aAB}	28,51 ± 0,416 ^{aB}
6	32,18 ± 1,905 ^{aA}	25,84 ± 1,103 ^{bB}	30,40 ± 0,181 ^{aA}
Parámetro a*			
2	39,72 ± 1,675 ^{aA}	36,86 ± 2,904 ^{aA}	37,24 ± 2,251 ^{aA}
4	37,33 ± 1,677 ^{aA}	36,78 ± 2,277 ^{aA}	34,62 ± 1,634 ^{aA}
6	37,41 ± 1,974 ^{aA}	30,00 ± 1,791 ^{bB}	38,11 ± 1,029 ^{aA}
Parámetro b*			
2	12,02 ± 1,851	10,16 ± 1,100	8,62 ± 1,333
4	12,32 ± 1,576	10,89 ± 1,263	9,37 ± 1,390
6	11,35 ± 1,198	7,81 ± 1,338	9,84 ± 0,153

Nota. Letras minúsculas distintas en el superíndice indican diferencias significativas en función a la proporción. Letras mayúsculas distintas en el superíndice indican diferencias significativas en función al tiempo según la prueba de Tukey.

La Figura 7 confirma gráficamente que el aumento del tiempo de osmodeshidratación y del extracto de betarraga genera una disminución de la luminosidad (L*), lo que demuestra que la manzana presentó un oscurecimiento. El parámetro a* presentó un incremento al ser mayor la cantidad de extracto y el parámetro b* presenta ligeras variaciones, con una tendencia leve a la disminución al incrementarse el tiempo de tratamiento.

Figura 7

Cambios en los parámetros de color (L^ , a^* , b^*) de la manzana osmodeshidratada*



A. Análisis estadístico para la luminosidad (L^*)

El ANOVA general para L^* reveló que ambos factores (tiempo y la relación azúcar/betarraga) presentaron un efecto significativo ($p < 0,001$) y el modelo mostró un coeficiente de determinación $R^2 = 84,3\%$, lo que indica que explica una gran cantidad de la variabilidad observada en los valores. Del mismo modo, los efectos lineales en cuanto a la proporción resultaron ser el factor con mayor efecto significativo ($p = 0,000$), seguido por el

tiempo de la osmodeshidratación ($p = 0,001$). Además la interacción entre ambos factores también resultó significativo ($p = 0,039$), lo que explicaría que el efecto del tiempo sobre el parámetro L^* se produce en función de la concentración del extracto y viceversa (Anexo 7).

El estudio de efectos simples, demostró que en la proporción de 60/40, el tiempo tuvo un efecto altamente significativo ($p=0,000$) sobre el parámetro L^* . De acuerdo a la prueba de Tukey los valores reportados en las 4 h se diferencian de 2 y 6 h. En la proporción 50/50 también se evidenció un efecto significativo del tiempo ($p=0,020$), donde las 2 h se diferenció de 6 h. Sin embargo, en la proporción de 60/40 no se encontraron diferencias significativas entre los tiempos ($p=0,212$). Por otro lado, al evaluar el efecto de la proporción dentro de cada tiempo se obtuvo que a las 2 h el factor proporción fue estadísticamente significativa ($p = 0,006$). La prueba de Tukey mostró que las diferencias se encontraron entre las proporciones 60/40 con 40/60, así como entre 60/40 con 50/50. A las 4 h la proporción no tuvo efecto significativo ($p = 0,055$), pero a las 6 h, nuevamente se observó un efecto significativo ($p = 0,002$). La prueba de Tukey confirmó las diferencias entre 50/50 y 40/60 y entre 60/40 con 50/50.

A. Análisis estadístico para el parámetro a^*

El ANOVA mostró que el tiempo de la osmodeshidratación y la proporción de azúcar y betarraga afectaron considerablemente el valor de a^* , con valores p correspondientes de 0,027 y 0,004 respectivamente. El coeficiente de determinación R^2 del modelo fue del 59,91%, lo que significa que explica el 72,24% de la variabilidad observada en los valores de a^* ; además, la interacción entre ambos factores también presentó diferencias significativas ($p = 0,004$), lo cual indica que el efecto del tiempo en el parámetro a^* está determinado por la concentración del extracto y viceversa (Anexo 7).

En el estudio de efectos simples, se demostró que en las proporciones de 60/40 y 40/60, el tiempo no tuvo un efecto significativo ($p = 0,104$ y $p = 0,256$) sobre el parámetro a^* , es decir se mantuvieron valores de a^* estables con el incremento del tiempo. Lo contrario ocurrió en la proporción 50/50 donde sí se evidenció un efecto significativo del factor tiempo ($p = 0,019$), en lo cual a^* disminuyó notablemente al incrementarse el tiempo, alcanzando su valor más bajo a las 6 h. La prueba de Tukey indicó los resultados en las 2 h se diferenciaron de 6 h. Por otro lado al evaluar el efecto de la proporción dentro de cada tiempo se obtuvo que a las 2 h el factor proporción no mostró diferencias significativas ($p = 0,573$), a las 4 h tampoco fue significativo ($p = 0,254$). Sin embargo, a las 6 h, si se observó un efecto significativo de la proporción ($p = 0,002$), donde las muestras con mayor concentración de extracto (40/60) revelaron mayores valores de a^* , mientras que la concentración intermedia (50/50) presentó los valores más bajos. La prueba de Tukey mostró que la proporción 50/50 se diferenció de 60/40 y también 40/60 se diferenció de 50/50.

B. Análisis estadístico para el parámetro b^*

El análisis de varianza (ANOVA) global mostró que las variables estudiadas (tiempo de osmodeshidratación y la proporción entre azúcar y betarraga) tienen un efecto significativo sobre el parámetro b^* de la manzana ($p = 0,007$). Esto significa que estos factores son responsables de una parte importante de la variabilidad del color. Donde el tiempo no tuvo un efecto significativo ($p = 0,188$) sobre el color de la manzana, pero si la proporción de azúcar/betarraga ($p = 0,001$). La interacción, por su parte, no fue relevante. En última instancia, el modelo mostró un R^2 de 48,06%, lo que indica que explica un 48,06% de la variabilidad existente entre los valores de b^* . Esto muestra una adaptación moderada y cierta dispersión que no se explica por los factores examinados (Anexo 7).

En el estudio de efectos simples, se demostró que en las proporciones de 60/40, 50/50 y 40/60, el tiempo no tuvo un efecto significativo ($p = 0,450$, $p = 0,052$ y $p = 0,750$ respectivamente) sobre el parámetro b^* , es decir se mantuvieron valores estables con el incremento del tiempo. Por otro lado al evaluar el efecto de la proporción dentro de cada tiempo se obtuvo que a las 2 h y 4 h el factor proporción no mostró diferencias significativas ($p = 0,076$ y $p = 0,110$ respectivamente). Sin embargo, al osmodeshidratar la manzana por 6 h, si se observó un efecto significativo de la proporción ($p = 0,017$). Las muestras con mayor concentración de extracto (40/60) revelaron mayores valores de b^* , mientras que la concentración intermedia (50/50) presentó los valores más bajos. La prueba de Tukey mostró que la proporción de 40/60 se diferenció de 50/50, esto revela que a las 6 h y a mayor proporción se intensificó el color amarillo.

4.1.2. Efecto del tiempo de osmodeshidratación y la relación extracto de betarraga y azúcar en la higroscopicidad de frutos de manzana

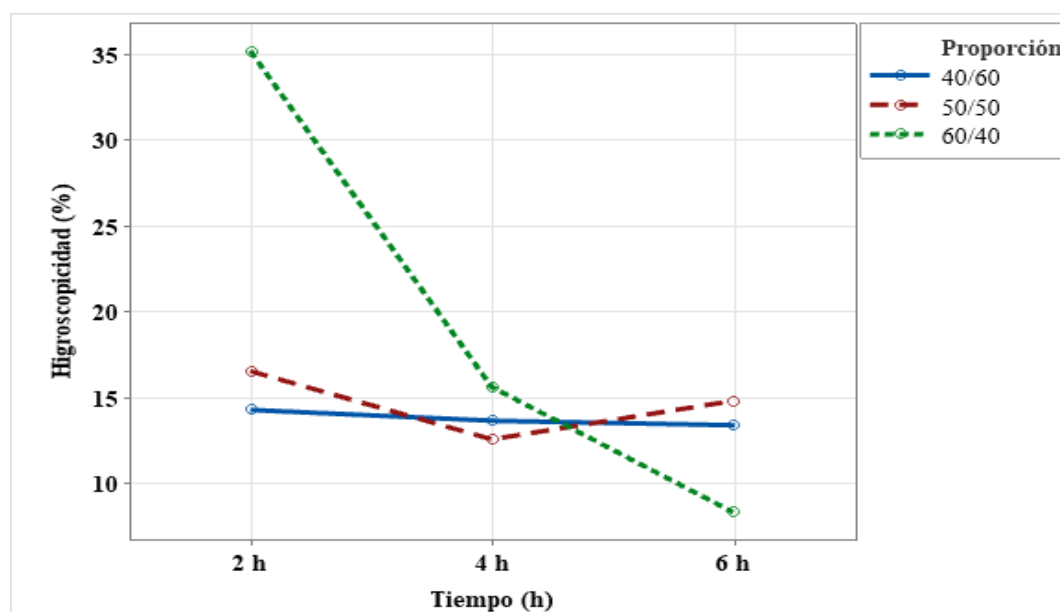
Los resultados promedio de la higroscopicidad de las manzanas que se sometieron a diferentes condiciones de osmodeshidratación están presentados en la Tabla 10. En términos generales, se observa que la higroscopicidad varió entre 8,32 y 35,20%, disminuyendo cuando el tiempo de osmodeshidratación y la cantidad de extracto de betarraga se incrementan. Esto sugiere que los frutos tratados por más tiempo o con una concentración más alta de solutos presentan menor capacidad para captar humedad. Se vio que los tratamientos más cortos (2 h) y con una concentración más baja de extracto tenían las cifras más elevadas, en cambio los tratamientos más largos (6 h) tuvieron las cifras más bajas. Esto demuestra que existe una relación inversa entre la duración del tratamiento y la higroscopicidad del producto.

Tabla 10*Higroscopicidad de las manzanas osmodeshidratadas*

Tiempo (h)	Higroscopicidad (%)		
	Proporción		
	60/40	50/50	40/60
2	35,200 ± 0,684 ^{aA}	16,547 ± 0,811 ^{bA}	14,307 ± 0,991 ^{cA}
4	15,623 ± 0,967 ^{aB}	12,573 ± 0,533 ^{bB}	13,677 ± 0,928 ^{abA}
6	8,320 ± 0,218 ^{cC}	14,813 ± 0,758 ^{aA}	13,417 ± 0,381 ^{bA}

Nota. Letras minúsculas distintas en el superíndice indican diferencias significativas en función a la proporción. Letras mayúsculas distintas en el superíndice indican diferencias significativas en función al tiempo según la prueba de Tukey.

La Figura 8 presenta gráficamente el efecto del tiempo y proporción extracto de beterraga/ azúcar, donde se visualiza que la disminución de la higroscopicidad no es uniforme en todas las proporciones. Observándose una mayor reducción en la proporción 60/40, dicha tendencia se hace más notoria al incrementarse el tiempo. Por su parte las proporciones 50/50 y 40/60 presentan variaciones moderadas, revelando un menor efecto del tiempo.

Figura 8*Cambios en la higroscopicidad de las manzanas osmodeshidratadas*

- **Análisis estadístico para la higroscopicidad de frutos de manzana**

El ANOVA general reveló que ambos factores (tiempo y proporción azúcar/betarraga) poseen un efecto significativo ($p = 0,000$) sobre la higroscopicidad de la manzana. Por su parte, el modelo lineal también presenta diferencias significativas ($p = 0,000$), y de forma específica, el factor tiempo y el factor proporción azúcar/betarraga presentaron efectos significativos ($p = 0,000$ y $p = 0,000$ respectivamente), esto demuestra que el tiempo (2, 4 y 6 h) y las proporciones (60/40; 50/50 y 40/60) generan cambios notables en dicha característica evaluada. Por su parte, la interacción también fue significativa ($p = 0,000$), lo que indica un efecto combinado de ambos factores (Anexo 8). Finalmente el modelo evidenció un $R^2 = 98,96\%$, ello demuestra que el modelo explica casi la totalidad de la variabilidad.

En el estudio de efectos simples, se demostró que en la proporción 60/40, el tiempo no tuvo un efecto significativo ($p = 0,439$), mostrando resultados estables a lo largo del periodo analizado. No obstante, en la proporción 50/50 sí se notaron diferencias significativas entre los tiempos ($p = 0,001$). Según la prueba de Tukey los resultados a 4 h (12,57%) se diferenciaron de las 2 h (16,55%) y las 6 h (14,81%), disminuyendo ligeramente en un inicio e incrementándose posteriormente; asimismo, se observaron diferencias significativas en la proporción de 40/60 ($p = 0,000$), demostrando una reducción cuando el tiempo de osmodeshidratación se incrementa. Por otro lado, al evaluar el efecto de la proporción dentro de cada tiempo se obtuvieron también diferencias significativas, donde al osmodeshidratar las muestras a 2 h, las tres proporciones formaron grupos diferentes, siendo la proporción de 40/60 la que mostró mayor higroscopicidad. A 4 h la proporción también mostró un efecto significativo ($p = 0,011$), con mayores diferencias entre 40/60 y 50/50. Finalmente, a las 6 h el efecto de proporción continuó siendo significativo ($p = 0,000$), y las 3 proporciones volvieron a diferenciarse entre sí.

4.1.3. Efecto del tiempo de osmodeshidratación y la relación extracto de betarraga y azúcar en difusividad efectiva de frutos de manzana

La Tabla 11 muestra que la difusividad varió entre $1,297 \times 10^{-09}$ y $8,664 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, evidenciando que tanto el tiempo como la concentración de la solución osmótica influyeron significativamente en el proceso. Se observa que, inicialmente a las 4 h la difusividad se redujo en base a su valor a un tiempo de osmodeshidratación de 2 h; sin embargo posteriormente al incrementarse el tiempo a 6 h dicho valor de difusividad también tiende a incrementarse, alcanzando los valores más altos, esto es un indicativo de un incremento de la transferencia de masa y una salida más eficiente de agua de los trozos de manzana. Por su parte, las soluciones con una mayor proporción azúcar (60%) y concentraciones equilibradas (50/50) presentaron valores superiores de difusividad, lo que podría estar generado por un mayor gradiente osmótico del azúcar, lo que favorece la eliminación de agua hacia el medio externo.

Tabla 11

Difusividad efectiva de frutos de manzana osmodeshidratados

Difusividad efectiva (m^2/s)			
Tiempo (h)	Proporción		
	60/40	50/50	40/60
2	$2,079 \times 10^{-09} \pm 1,731 \times 10^{-10} \text{ bA}$	$2,697 \times 10^{-09} \pm 1,015 \times 10^{-10} \text{ aA}$	$2,220 \times 10^{-09} \pm 1,311 \times 10^{-10} \text{ bA}$
4	$1,297 \times 10^{-09} \pm 3,414 \times 10^{-11} \text{ aB}$	$1,389 \times 10^{-09} \pm 2,078 \times 10^{-10} \text{ aB}$	$1,129 \times 10^{-09} \pm 1,101 \times 10^{-10} \text{ aB}$
6	$8,664 \times 10^{-10} \pm 2,287 \times 10^{-11} \text{ aC}$	$6,341 \times 10^{-10} \pm 7,165 \times 10^{-11} \text{ bC}$	$6,950 \times 10^{-10} \pm 6,561 \times 10^{-11} \text{ bC}$

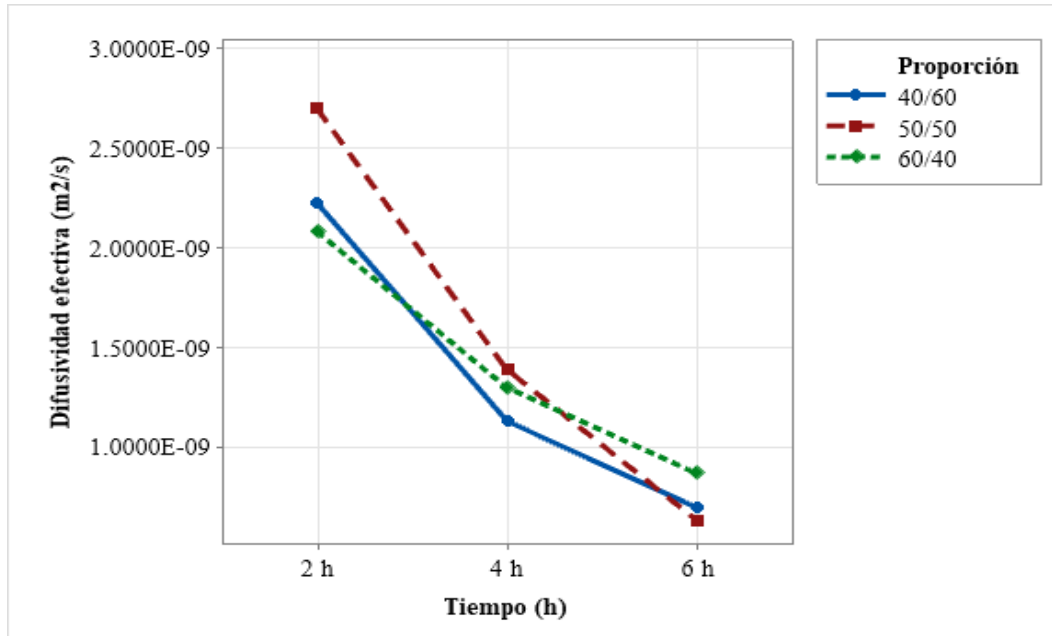
Nota. Letras minúsculas distintas en el superíndice indican diferencias significativas en función a la proporción. Letras mayúsculas distintas en el superíndice indican diferencias significativas en función al tiempo según la prueba de Tukey.

En la Figura 9, se observa de forma complementaria una tendencia general decreciente de la difusividad con el incremento del tiempo, haciéndose más pronunciada entre 2 y 4 h para

todas las proporciones. Además se observa que la proporción 50/50 presenta los valores más elevados de difusividad a 2 h, y a las 6 h estas diferencias entre proporciones se reducen.

Figura 9

Cambios de la difusividad efectiva en la manzana osmodeshidratada



- **Análisis estadístico para la difusividad efectiva de frutos de manzana**

El ANOVA general reveló que ambos factores (tiempo y proporción azúcar/betarraga) poseen un efecto significativo ($p = 0,000$) sobre la difusividad efectiva de la manzana, es decir, de forma conjunta los factores estudiados manifiestan la variabilidad de dicha característica. Por su parte, el modelo lineal también presenta diferencias significativas ($p = 0,000$), y de forma específica, los factores tiempo y proporción presentaron efectos significativos ($p = 0,000$ y $p = 0,002$ respectivamente). Por su parte, la interacción también fue significativa ($p = 0,000$), lo que indica un efecto combinado de ambos factores (Anexo 9). Finalmente el modelo evidenció un $R^2 = 97,25\%$, ello demuestra que el modelo explica casi la totalidad de la variabilidad.

En el estudio de efectos simples, se demostró que en las proporciones de 60/40; 50/50 y 40/60, el tiempo tuvo un efecto significativo ($p = 0,000$) sobre la difusividad efectiva; dichas diferencias según la prueba de Tukey se presentaron entre todas las comparaciones (2, 4 y 6 h), es decir difieren una con otra, formando 3 grupos distintos. Por otro lado al evaluar el efecto de la proporción dentro de cada tiempo se obtuvo también diferencias significativas, donde al osmodeshidratar las muestras a 2 h, el factor proporción azúcar/betarraga mostró diferencias significativas ($p = 0,004$), donde según Tukey la proporción 50/50 se diferenció de 60/40 y 40/60 formando 2 grupos distintos. Algo similar se evidenció a 6 h ($p = 0,006$) donde según la prueba de Tukey la proporción de 40/60 fue diferente a 50/50 y 60/40. Sin embargo, a las 4 h el efecto de proporción no fue estadísticamente significativo ($p = 0,141$), es decir los resultados en todas las proporciones fueron similares.

4.1.4. Efecto del tiempo de osmodeshidratación y la relación extracto de betarraga y azúcar en el contenido de betalaínas de frutos de manzana

En la Tabla 12 se presentan los resultados en cuanto al contenido de betalaínas en las rodajas de manzanas osmodeshidratadas; en ella se nota que los niveles de betaxantinas y betacianinas se elevan con la concentración del extracto de betarraga y con periodos de tratamiento más largos. Los tratamientos con la menor concentración de extracto (40%) y el menor tiempo (2 h), mostraron los niveles más bajos de betalaínas (0,031 mg/g de betacianinas y 0,051 mg/g de betaxantinas). Esto señala que hubo una incorporación reducida de pigmentos. Por otro lado, los contenidos más altos se lograron en tratamientos con mayor concentración de extracto (60%) y a un mayor tiempo (6 h) (0,071 mg/g de betacianinas y 0,110 mg/g de betaxantinas). Esto demuestra que al aumentar el tiempo de exposición se promueve la difusión y absorción de las sustancias pigmentarias desde la solución osmótica hasta la matriz del fruto.

Tabla 12*Contenido de betalaínas en las manzanas osmodeshidratadas*

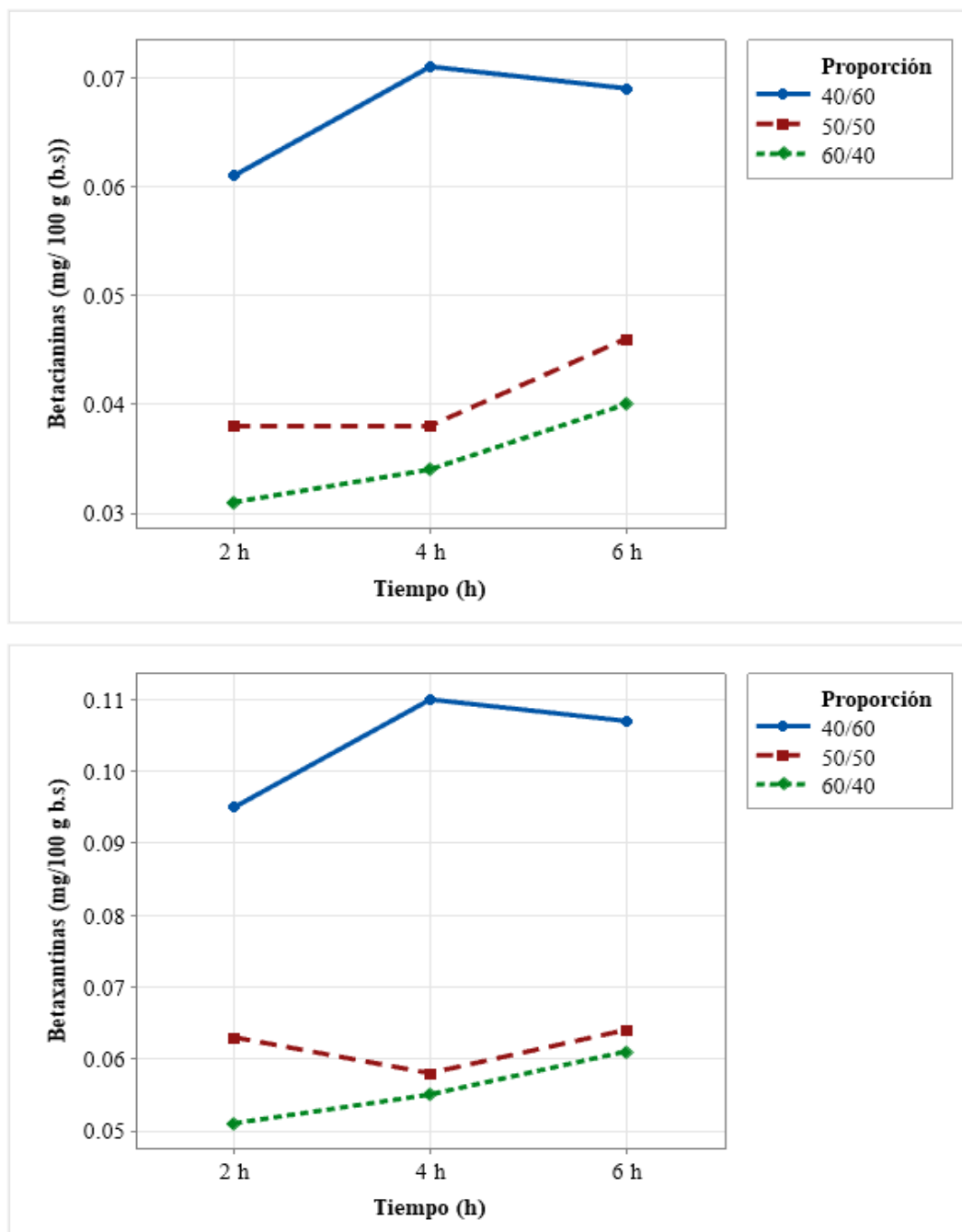
Betacianinas (mg/ 100 g (b.s))			
Tiempo (h)	Proporción		
	60/40	50/50	40/60
2	0,031 ± 0,004 ^{bA}	0,038 ± 0,001 ^{bB}	0,061 ± 0,005 ^{aA}
4	0,034 ± 0,004 ^{bA}	0,038 ± 0,000 ^{bB}	0,071 ± 0,004 ^{aA}
6	0,040 ± 0,003 ^{bA}	0,046 ± 0,001 ^{bA}	0,069 ± 0,003 ^{aA}
Betaxantinas			
2	0,051 ± 0,004 ^{cB}	0,063 ± 0,001 ^{bA}	0,095 ± 0,007 ^{aB}
4	0,055 ± 0,003 ^{bAB}	0,058 ± 0,003 ^{bB}	0,110 ± 0,003 ^{aA}
6	0,061 ± 0,004 ^{bA}	0,064 ± 0,002 ^{bA}	0,107 ± 0,006 ^{aAB}

Nota. Letras minúsculas distintas en el superíndice indican diferencias significativas en función a la proporción. Letras mayúsculas distintas en el superíndice indican diferencias significativas en función al tiempo según la prueba de Tukey.

La Figura 10 confirma gráficamente que las mayores concentraciones betalaínas (betacianinas y betaxantinas) a lo largo de todo el proceso corresponden a la proporción con mayor contenido de extracto (60/40). Además, se visualiza un aumento progresivo hasta las 4 h, son una posterior estabilización a las 6 h, principalmente en el caso de las betacianinas.

Figura 10

Cambios del contenido de betalaínas en las manzanas osmodeshidratadas



- **Análisis estadístico para el contenido de betacianinas de frutos de manzana**

El ANOVA general reveló que ambos factores (tiempo y proporción azúcar/betarraga) poseen un efecto significativo ($p = 0,000$) sobre el contenido de betacianinas, es decir, de forma conjunta los factores estudiados manifiestan la variabilidad de dicha característica. Asimismo,

de forma específica, el factor tiempo y proporción azúcar/betarraga presentaron efectos significativos ($p = 0,000$), esto demuestra que los tiempos (2, 4 y 6 h) y las proporciones (60/40; 50/50 y 40/60) utilizadas generan cambios notables en dicha característica evaluada. Sin embargo, la interacción no presentó un efecto significativo ($p = 0,057$) (Anexo 10). Finalmente el modelo evidenció un $R^2 = 95,62\%$, ello demuestra que el modelo explica casi la totalidad de la variabilidad.

El estudio de efectos simples, demostró que en la proporción de 50/50, el tiempo tuvo un efecto significativo ($p = 0,000$) sobre el contenido de betacianinas, donde según la prueba de Tukey el tiempo de 6 h se diferenció de 2 y 4 h. Sin embargo, en las proporciones de 60/40 y 40/60 no se reportaron diferencias significativas ($p = 0,050$ y $p = 0,059$ respectivamente), es decir los valores son similares en todos los tiempos. Por otro lado, al evaluar el efecto de la osmodeshidratación a 2, 4 y 6 h considerando el factor proporción azúcar/betarraga mostraron diferencias significativas ($p = 0,000$), donde la proporción de 60/40 se diferencia de 50/50 y 40/60. Cabe recalcar que este resultado es el mismo en todos los tiempos evaluados, por ello se está describiendo de forma general.

- **Análisis estadístico para el contenido de Betaxantinas de la manzana osmodeshidratada**

El ANOVA general reveló que ambos factores (tiempo y proporción azúcar/betarraga) poseen un efecto significativo ($p = 0,000$) sobre el contenido de betaxantinas. De forma específica, el factor tiempo y el factor proporción azúcar/betarraga presentaron un $p = 0,003$ y $p = 0,000$ respectivamente, esto demuestra que los tiempos (2, 4 y 6 h) y las proporciones (60/60; 50/50 y 40/60) utilizadas generan cambios notables en dicha característica evaluada; así como también la interacción de ambos factores ($p = 0,008$) (Anexo 10). Finalmente el modelo evidenció un $R^2 = 96,90\%$, ello demuestra que el modelo explica casi la totalidad de la variabilidad.

El estudio de efectos simples, demostró que en las proporciones de 40/60 y 50/50, el tiempo tuvo un efecto significativo ($p = 0,029$, $p = 0,018$ respectivamente) sobre el contenido de betaxantinas, donde según Tukey los resultados obtenidos a 4 h se diferenciaron de 2 h y 6 h. Asimismo, la proporción de 60/40 también tuvo un efecto significativo ($p = 0,044$), donde la diferencia se presentó principalmente entre 2 h y 4 h. Por otro lado, al evaluar el efecto de la osmodeshidratación por un tiempo de 2 h, el análisis estadístico en función al factor proporción mostró diferencias significativas ($p = 0,000$), dichas diferencias según Tukey se encontraron entre cada una de las proporciones (60/40; 50/50 y 40/60). A las 4 y 6 h continuó el efecto significativo ($p = 0,000$), donde la proporción de 60/40 se diferenció de 50/50 y 40/60.

4.1.5. Evaluación del efecto del tiempo de osmodeshidratación y la relación extracto de betarraga y azúcar en capacidad antioxidante de frutos de manzana

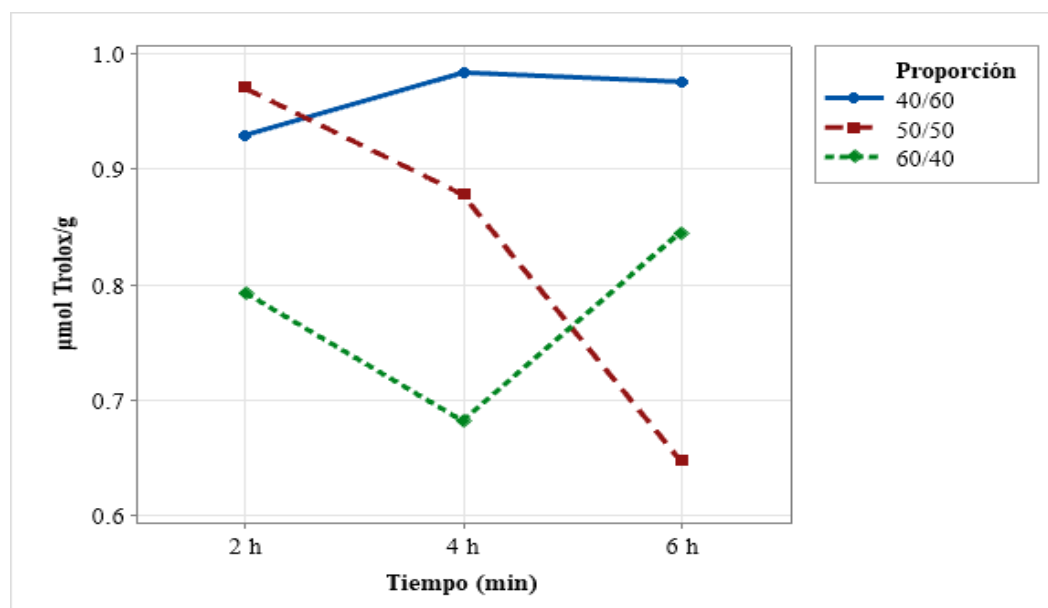
La Tabla 13 presenta cómo la capacidad antioxidante de las manzanas se ve afectada por el tiempo (2, 4 y 6 h) de osmodeshidratación y la proporción entre el azúcar y el extracto de betarraga (40, 50 y 60 %). Los datos obtenidos muestran que la capacidad antioxidante varía con las condiciones de tratamiento, donde las rodajas de manzanas tratadas con una mayor cantidad de extracto de betarraga (60%) tuvieron una capacidad antioxidante más alta; asimismo, el tiempo de osmodeshidratación de 4 h fue el que logró preservar mejor la actividad antioxidante cuyo valor fue de $0,983 \mu\text{mol Trolox/g}$. Sin embargo, los tratamientos sometidos a una osmodeshidratación por un mayor tiempo (6 h) y con menor concentración de betarraga (40%) presentaron una reducción de la capacidad antioxidante, alcanzando un valor mínimo de $0,648 \mu\text{mol Trolox/g}$.

Tabla 13*Capacidad antioxidante de las manzanas osmodeshidratadas*

Tiempo (h)	Capacidad antioxidante $\mu\text{mol Trolox/g}$		
	Proporción		
	60/40	50/50	40/60
2	$0,793 \pm 0,237^{\text{aA}}$	$0,970 \pm 0,076^{\text{aA}}$	$0,929 \pm 0,110^{\text{aA}}$
4	$0,682 \pm 0,064^{\text{bA}}$	$0,878 \pm 0,055^{\text{aAB}}$	$0,983 \pm 0,056^{\text{aA}}$
6	$0,845 \pm 0,137^{\text{aA}}$	$0,648 \pm 0,165^{\text{aB}}$	$0,975 \pm 0,099^{\text{aA}}$

Nota. Letras minúsculas distintas en el superíndice indican diferencias significativas en función a la proporción. Letras mayúsculas distintas en el superíndice indican diferencias significativas en función al tiempo según la prueba de Tukey.

En la Figura se observa de forma gráfica que la proporción con mayor contenido e extracto (40/60), tiene los valores más altos de capacidad antioxidante a lo largo del proceso, alcanzando un máximo a las 4 h. En la proporción 50/50 la capacidad antioxidante se reduce considerablemente a las 6 h. Sin embargo a 60/40 se evidencia una recuperación de la capacidad antioxidante al prolongarse el tiempo (6 h).

Figura 11*Cambios de la capacidad antioxidante en las manzanas osmodeshidratadas*

- **Análisis estadístico para la capacidad antioxidante de las manzanas osmodeshidratadas**

El ANOVA general reveló que ambos factores (tiempo y proporción azúcar/betarraga) poseen un efecto significativo ($p = 0,023$) sobre la capacidad antioxidante, es decir, de forma conjunta los factores estudiados manifiestan la variabilidad de dicha característica. Por su parte, el modelo lineal también presentó diferencias significativas ($p = 0,41$), principalmente en el factor proporción azúcar/betarraga ($p = 0,014$) y no fue significativo en función al tiempo ($p = 0,452$); así como también la interacción de ambos factores ($p = 0,008$). Sin embargo, en la interacción también se evidenció diferencias significativas ($p = 0,047$), lo que indican un efecto combinado (Anexo 11). Finalmente el modelo evidenció un R^2 ajustado de 57,63 %, ello demuestra que el modelo no explica toda la variabilidad.

El estudio de efectos simples, demostró que en la proporción de 50/50, el tiempo tuvo un efecto significativo ($p = 0,028$) sobre la capacidad antioxidante; la mayor diferencia según la prueba de Tukey se presentó entre el tiempo de 2 h y 6 h. Sin embargo, las proporciones de 40/60 y 60/40 no reportaron un efecto significativo ($p = 0,495$ y $p = 0,742$ respectivamente). Por otro lado, al osmodeshidratar la manzana por 4 h, el análisis estadístico en función al factor proporción mostró diferencias significativas ($p = 0,002$); dichas diferencias según Tukey se encontraron entre la proporción de 40/60 con las proporciones de 50/50 y 60/40. Sin embargo, a las 2 y 6 h no se evidenciaron efectos significativos ($p = 0,410$ y $p = 0,067$ respectivamente), lo que demuestra que en estas proporciones la capacidad no fue afectada por el tiempo.

4.2. Contrastación de Hipótesis

La Tabla 22 muestra el resumen de la contrastación de la hipótesis para cada una de las variables dependientes (color, higroscopicidad, difusividad efectiva, betalaínas y capacidad antioxidante) en función al análisis estadístico ANOVA realizado.

Tabla 14

Resumen del análisis estadístico (ANOVA) para contrastación de hipótesis

Variable	Indicador	p-valor (Tiempo)	p-valor (Azúcar/Betarraga)
	L*	0,001	0,000
Color	a*	0,027	0,004
	b*	0,188	0,001
Higroscopicidad	%	0,000	0,000
Difusividad efectiva	m ² /s	0,000	0,002
Betalainas	Betacianinas (mg/ 100 g (b.s))	0,000	0,000
	Betaxantinas (mg/ 100 g (b.s))	0,003	0,000
Capacidad antioxidante	μmol Trolox/g	0,452	0,014

Entonces, debido a que la mayoría de características son afectadas significativamente tanto por el tiempo, así como por la proporción de azúcar/betarraga se permite inferir que se descarta la hipótesis nula (H_0) y se aprueba la hipótesis alternativa que menciona que el tiempo de osmodeshidratación y la relación entre el extracto de betarraga (*Beta vulgaris* L.) y azúcar influyen significativamente en los parámetros de color, higroscopicidad, difusividad efectiva, contenido de betalaínas y capacidad antioxidante de frutos de manzana (*Malus domestica*).

4.3. Discusión de resultados

4.3.1. Parámetros de color (L^* , a^* y b^*) de la manzana osmodeshidratada

Los resultados evidenciaron que ambos factores (tiempo y proporción azúcar/betarraga) afectaron de forma significativa la luminosidad (L^*) de las manzanas, donde al incrementarse dichos factores se produce una reducción de la claridad del color, lo que es explicado por la adherencia de pigmentos en la manzana contenidos en el extracto de la betarraga, donde los

más predominantes son las betalaínas (betacianinas) que otorgan un color rojo oscuro y son las causantes de que la luminosidad se reduzca al ser mayor la concentración (Sadowska & Bartosz, 2021). Por otro lado, a menor tiempo (2 h), las muestras con mayor proporción de betarraga (1,50) conservaron una mayor luminosidad, mientras que a proporciones intermedias (1,00) se registró el mayor oscurecimiento; esto explica que el extracto de betarraga no solo proporciona una coloración roja, sino que además tiene el potencial de proteger en parte la luminosidad frente a los efectos del tiempo de tratamiento (Shofinita et al., 2023). Sin embargo, las diferencias en el color también pueden haber sido influenciadas por el azúcar agregado ya que esto puede reducir la actividad del agua y, por lo tanto, lograr cierto efecto protector, posiblemente debido a la inhibición de reacciones enzimáticas o al efecto inhibitorio sobre las reacciones (Tobolka et al., 2024).

Se observó además, que el tiempo de osmodeshidratación y la proporción influyen en la intensidad del color rojo (a^*), el mismo que se redujo al utilizar proporciones intermedias (1,00) y tiempos más largos (6 h); esto probablemente suceda como resultado de la degradación de los pigmentos betalaínicos, lo cual está fundamentado por estudios realizados donde indican que las betalaínas se degradan en función al tiempo y de la matriz de tratamiento (Guneser, 2021). Por otra parte, al utilizar extracto en mayor cantidad (1,50) los valores de a^* fueron estables, lo cual es un indicador de que el pigmento de la betarraga tiene un efecto protector contra la pérdida de color durante el tratamiento (Calva et al., 2022).

En cuanto al parámetro b^* que es un indicador del color amarillo fue afectado por la proporción, más no por el tiempo. Al ser mayor el factor significativo, los valores de b^* también fueron mayores, lo que sugiere que el extracto de betarraga contribuye a mantener la estabilidad cromática del color; este comportamiento puede explicarse por la presencia de betaxantinas, el mismo que es un pigmento amarillo que se encuentra en menor cantidad en la betarraga, lo que se ve incrementado al ser mayor la proporción utilizada (Calva et al., 2022). Asimismo, la

betarraga también contiene en menor cantidad xantofilas y carotenos que otorgan una tonalidad amarilla, y esto podría estar incrementando también el valor de b^* (Sarango & Chenche, 2024). Por otro lado, que el tiempo no presentó un efecto significativo se justifica con lo encontrado por Guneser (2021), quien observó que las betaxantinas son menos susceptibles a la degradación térmica inicial, lo que ayuda a mantener la coloración amarilla durante el tiempo de osmodeshidratación.

De acuerdo con lo anterior, en su investigación, Burscheri et al. (2025) encontraron resultados parecidos: las muestras tratadas mostraron un incremento importante de amarillez y enrojecimiento, tal como se aprecia en los valores positivos de los parámetros a^* y b^* , respectivamente. Este incremento es coherente con la cantidad total de betalaína en las muestras. En cambio, el parámetro de brillo L disminuye de manera considerable debido a los tratamientos que se aplican; en otras palabras, la elevación de la concentración del pigmento está relacionada con el aumento de la intensidad del color y la reducción de la luminosidad (L^*).

4.3.2. Higroscopicidad de la manzana osmodeshidratada

Los resultados mostraron que la higroscopicidad de la manzana se ve afectada de manera significativa por la proporción entre el azúcar y la remolacha, así como por el tiempo de osmodeshidratación. Se evidenció una reducción de esta propiedad a medida que aumentaba el tiempo y la concentración del extracto, lo cual revela una reducción de la capacidad de las rodajas de manzana para absorber la humedad del ambiente; esta conducta concuerda con los descubrimientos que indican que al usar periodos más largos y cantidades superiores de soluciones osmóticas, se favorece un aumento en la absorción de sólidos y una pérdida de agua, generando un incremento de material seco y la formación de una estructura menos porosa (Cichowska et al., 2020). Además, Jakubczyk et al. (2024), al estudiar la manzana tras la osmodeshidratación, encontraron que los niveles de higroscopicidad decrecen a medida que

disminuye la actividad del agua y aumenta el contenido de materia seca. En estas circunstancias, la reducción de la proporción del extracto osmótico podría haber permitido que los solutos, que normalmente interactúan con el agua en la matriz, penetraran y formaran una barrera química o física que restringe la absorción de humedad durante su almacenamiento. De manera parecida, al ampliar el tiempo de tratamiento, se estimulan estos movimientos de masa y se intensifica la alteración estructural del tejido hacia un estado con menor higroscopicidad. En el estudio, el tratamiento con una proporción de 60/40 y a 6 h fue el mejor ya que presentó menor higroscopicidad (8,320%), en este sentido este tratamiento es el más favorable para conservar la estabilidad del producto, ya que al ser menor la higroscopicidad se disminuye la capacidad del producto para absorber humedad del ambiente y evitando la pérdida de calidad durante el almacenamiento (Hong et al., 2018).

4.3.3. Difusividad efectiva de la manzana osmodeshidratada

El tiempo de osmodeshidratación y la proporción de azúcar/betarraga influyeron en la difusividad efectiva. En términos generales, la difusividad bajó a las 4 h y luego se elevó nuevamente a las 6 h, lo que demuestra una eficiencia más alta en la transferencia de masa en los tratamientos de larga duración. Los valores más altos se dieron en las soluciones con una cantidad de azúcar más elevada o con proporciones equilibradas, lo que indica que un gradiente osmótico más alto favorece la salida del agua del fruto y hace que el proceso de deshidratación mejore. Esto se debe a que al incrementarse el tiempo y la concentración de solutos se modifica la permeabilidad del tejido de la manzana, a consecuencia del encogimiento, obstrucción de poros y por el daño celular (Mari et al., 2024). En un inicio, la impregnación de la solución osmótica en la superficie de las rodajas de manzana pudo haber formado una barrera difusiva que limitó la salida del agua; pero al incrementarse dicho tiempo la degradación parcial de las paredes celulares, posiblemente generó una estructura con mayor porosidad que facilita la transferencia de agua (Yazidi et al., 2024).

Los valores más altos de difusividad al ser mayor la cantidad de azúcar coinciden con lo encontrado por Salehi (2023), quien menciona que una mayor concentración de azúcar favorece el incremento de la fuerza motriz para que ocurra la difusión del agua, mejorando el proceso de deshidratación. Esto es ratificado por Mari et al. (2024) quienes también mencionan que a mayores concentraciones de solutos se incrementa la pérdida de agua y el ingreso de sólidos.

La difusividad efectiva presentó valores similares durante tiempos cortos, puesto que en las primeras etapas del proceso, el gradiente osmótico es mayor, lo que genera un flujo rápido y constante de salida de agua, esto es confirmado por Crank (1975), que menciona que el transporte difusivo en los primeros momentos depende principalmente del gradiente inicial. Por otro lado, puede deberse a que la estructura celular de la manzana aún no ha sufrido alteraciones importantes, por lo que la resistencia interna a la transferencia de agua es casi similar en todos los tratamientos (Marceliano & Vegas, 2023). De acuerdo a ello, en el presente estudio el mejor tratamiento fue cuando se utilizó una proporción de 50/50 y durante tiempos de 2 y 4 h, ya que en estas condiciones la difusividad efectiva es mayor, debido a una mayor transferencia de agua y por ende una mayor capacidad de penetración de compuestos del extracto de betarraga.

4.3.4. Contenido de betalaínas de la manzana osmodeshidratada

El contenido de betalaínas también fue influenciado significativamente por el tiempo de osmodeshidratación y la proporción azúcar/betarraga, los mismos que al ser incrementados favorecen la difusión de betalaínas hacia la matriz del fruto, alcanzando mayores niveles de betacianinas y betaxantinas en tratamientos prolongados y con mayor proporción de betarraga. Se debe a una mayor adherencia de la solución osmótica en las rodajas de la manzana ya que la betarraga posee estos 2 pigmentos que otorgan un color rojo púrpura y amarillo (Sadowska

& Bartosz, 2021). El tratamiento osmótico permite la impregnación de compuestos bioactivos y de pigmentos en la elaboración de distintos productos sin alterar significativamente la integridad celular de la matriz alimentaria sólida (Adsare et al., 2016). Esto se relaciona con nuestros resultados obtenidos, los mismos que muestran que la osmodeshidratación es capaz de aportar componentes bioactivos y nutricionales a la manzana.

Además al compararlo con un estudio realizado por Burscheri et al. (2025) quienes al utilizar cáscara de betarraga roja para enriquecer snacks de manzana obtuvieron un incremento de betalaínas totales alcanzando valores entre 22,83 y 67,01 mg de betalaínas/100 g de MS. Esta tendencia fue similar en el presente estudio, donde el mejor tratamiento fue al utilizar una proporción de 40/60 y a tiempos prolongados (4 y 6 h). Al utilizar una mayor concentración de extracto de betarraga (60%) se aporta mayor cantidad de betalaínas; además, se incrementa el gradiente de pigmentos y favorece su transferencia e impregnación en la manzana (Mari et al., 2024).

4.3.5. Capacidad antioxidante de la manzana osmodeshidratada

La proporción azúcar/betarraga influyó significativamente en la capacidad antioxidante tras la osmodeshidratación; a medida que esta relación aumentaba, también se incrementó el contenido de esta propiedad; en cambio, el tiempo no tuvo un efecto significativo; sin embargo, sí lo tuvo la interacción entre los dos factores, lo que indica un efecto de combinación. Los resultados obtenidos se pueden explicar por el hecho de que la osmodeshidratación supone un intercambio de masa simultáneo: la pérdida de agua de la matriz de la fruta y la ganancia de solutos de la solución osmótica, que, si esta última es solución osmótica de extracto de betarraga rica en compuestos fenólicos y betalaínas, ocurre una impregnación parcial de compuestos fenólicos y betalaínas en el tejido de la manzana. Aguirre et al. (2020) presentaron un comportamiento similar en su estudio sobre la impregnación de jugo de betarraga en rodajas

de manzana, donde observaron aumentos significativos del contenido fenólico total y de la capacidad antioxidante, que fueron atribuidos a la transferencia de compuestos bioactivos de medio a fruta.

Estos resultados también son consistentes con lo que Burscheri et al. (2025) informaron, quienes hallaron una actividad antioxidante significativamente más alta en cinco bocadillos de manzana osmódeshidratada con extracto de betarraga que en el control sin tratar, con valores que llegaron hasta 37,11 $\mu\text{mol Trolox/g}$. Los polifenoles, flavonoides, carotenoides, betalaínas y otros componentes bioactivos de la cáscara de remolacha roja pueden ser responsables de la mejora en la actividad antioxidante. También por la vitamina C, que está presente en más proporción en la cáscara de la remolacha que en otras partes de esta. Lo que coincide con lo reportado en el presente estudio, donde el mejor tratamiento que presentó los valores más altos de capacidad antioxidante fue en la proporción 40/60 (0,983 $\mu\text{mol Trolox/g}$), debido a la mayor cantidad de extracto de betarraga, el mismo que contiene distintos compuestos bioactivos y pigmentos que otorgan mayor capacidad antioxidante a la manzana (Samborska et al., 2019).

El hecho que el tiempo de tratamiento no haya dado lugar a un efecto significativo por sí solo sugiere que en condiciones de baja proporción de betarraga, rápidamente se favorece el equilibrio de la transferencia de compuestos antioxidantes, aumentando el tiempo de tratamiento. La significación o la importancia determinada de la interacción tiempo x proporción azúcar/betarraga indica que cuando la proporción de betarraga es elevada, el tiempo aparece como un factor crucial, favoreciendo el grado de transferencia de los compuestos bioactivos de la betarraga hacia el interior de la manzana; esta sinergia ha sido también reportada por otros autores (por ejemplo en el caso de osmódeshidratación con soluciones ricas en antioxidantes en donde altos tratamientos de concentración combinados con tratamientos de tiempos moderados favorecen la mayor actividad antioxidante (Suput et al., 2024).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se evaluó el efecto del tiempo de osmodeshidratación y la relación extracto de betarraga y azúcar en los parámetros de color (L^* , a^* y b^*) de frutos de manzana, evidenciándose que ambos factores afectaron significativamente a la luminosidad (L^*) y a la intensidad del color rojo (a^*). Sin embargo, el parámetro b^* solo fue afectado por la proporción, más no por el tiempo. Estos cambios ocurren por la pigmentación intensa del extracto de la betarraga que dependen de la cantidad utilizada.

Se evaluó el efecto del tiempo de osmodeshidratación y la relación extracto de betarraga y azúcar en higroscopicidad de frutos de manzana, obteniendo que esta propiedad es afectada de manera significativa por la proporción entre el azúcar y la remolacha, así como por el tiempo, observándose una reducción a medida que aumentaba el tiempo y la concentración del extracto, lo cual revela una capacidad reducida para absorber humedad en los tratamientos más largos, siendo el tratamiento con una proporción de 60/40 y a 6 h el más adecuado ya que presentó menor higroscopicidad (8,320%).

El tiempo de osmodeshidratación y la proporción de azúcar/betarraga afectaron a la difusividad efectiva, demostrando que esta propiedad tuvo una eficiencia más alta en la transferencia de masa en los tratamientos de larga duración. Los valores más altos se dieron en las soluciones con una cantidad de azúcar más elevada o con proporciones equilibradas, lo que indica que un gradiente osmótico más alto favorece la salida del agua del fruto y hace que el proceso de deshidratación mejore, siendo el tratamiento a una proporción de 50/50 y durante tiempos de 2 y 4 h, el más adecuado ya que se produce una mayor capacidad de penetración de compuestos del extracto de betarraga.

El contenido de betalaínas también fue afectado significativamente por el tiempo de osmodeshidratación y la proporción azúcar/betarraga, los mismos que al ser incrementados

favorecieron la difusión de betalaínas hacia la matriz del fruto, alcanzando mayores niveles de betacianinas y betaxantinas en tratamientos prolongados y con mayor proporción de betarraga, siendo en este caso el tratamiento con una proporción de 40/60 y a tiempos prolongados (4 y 6 h) el más adecuado.

Finalmente, la proporción azúcar/betarraga afectó significativamente a la capacidad antioxidante tras la osmodeshidratación; a medida que esta relación aumentaba, también se incrementó el valor de esta propiedad; en este sentido el tratamiento con una proporción 40/60 de azúcar / extracto de betarraga fue el que presentó mejor capacidad antioxidante y fue el tratamiento más adecuado.

5.2. Recomendaciones

Realizar estudios complementarios donde se optimice el tiempo y la proporción adecuada para osmodeshidratar manzanas.

Evaluar otros compuestos bioactivos y contenido nutricional de modo que se verifique si el extracto de betarraga logra incorporar dichos componentes como parte de su contenido.

Considerar a la osmodeshidratación como una alternativa para aplicarlo en la elaboración de frutas deshidratadas con valor agregado, ya que además sirve como un colorante natural y que sobre todo podría incorporar componentes funcionales al producto tratado.

Realizar estudios para determinar la vida útil de estos productos osmodeshidratados basándose en sus características fisicoquímicas.

REFERENCIAS

- Acosta, E., & Castro, Á. (2020). Osmodeshidratación de mashua amarilla (*Tropaleum tuberosa*) Osmodeshidratación de mashua amarilla (*Tropaleum tuberosa*). *Prospectiva Universitaria*, 17(1), 41 - 47. <https://doi.org/https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2020.17.1389>
- Acosta, M., & Romero, E. (2022). Consumo de remolacha (*Beta vulgaris*): composición y efectos en la salud. *Revista de la Facultad de Farmacia*, 85(1-2). <https://doi.org/10.54305/RFFUCV.2022.85.1-2.8>
- Adrián, I. (2020). *Elaboración de galletas a partir de manzana deshidratada (Malus domestica) y linaza (Linum usitatissimum L) como fuente de antioxidante natural*. [Trabajo de titulación, Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ADRIAN%20BELTRAN%20KEVIN%20FABIAN.pdf>
- Adsare, S., Bellary, A., Sowbhagya, H., Baskaran, R., Prakash, M., & Rastogi, N. (2016). Tratamiento osmótico para la impregnación de antocianinas en caramelos de grosella espinosa india (*Emblica officinalis*). *Revista de Ingeniería de Alimentos*, 175, 24-32. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.11.023>
- Aguirre, M., Hernández, P., Cortés, O., Ruiz, H., Ochoa, C., & Ruiz, I. (2020). Mass transfer analysis of bioactive compounds in apple wedges impregnated with beetroot juice: A 3D modelling approach. *Journal of Food Engineering*, 282, 110003. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110003>
- Arias, G., & Flores, L. (2024). El uso de la remolacha como colorante vegetal. *Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo*, 5(9), 135-155. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.56519/m97mna95>
- Arslan, A., Soysal, Y., & Keskin, M. (2020). Mathematical Modeling, Moisture Diffusion and Color Quality in Intermittent Microwave Drying of Organic and Conventional Sweet Red Peppers. *AgriEngineering*, 2(3), 393-407. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agriengineering2030027>
- Ballena, M. (2020). *Determinación de parámetros de osmodeshidratación y deshidratación convectiva de la variedad de piña samba de Chanchamayo (Anana comosus L. mer cv. Samba de Chanchamayo)*. [Tesis para optar el título profesional. Universidad San

Martin de Porres, Lima, Perú].
https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/6777/parra_pd.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Barboza, M. (2023). *Efecto del tiempo y temperatura de pasteurización en la aceptabilidad y vida útil del néctar mixto de tuna (Opuntia ficus indica) con aguaymanto (Physalis peruviana L.)*. [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional Autónoma de Chota, Chota]. <https://repositorio.unach.edu.pe/items/6b173f89-1304-4b2f-a5c6-aa411b1b030c>

Bari, M. (2022). Hygroscopicity of food materials and its effect on food quality. *Food Science and Technology*, 39(4), 321-329.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fst.2021.12.015>

Bingxiu, S., Chengkai, H., Xiaoli, X., Yunhong, H., & Hua, Y. (2024). Improved young fruiting apples target recognition method based on YOLOv7 model. *Neurocomputing*, 17, 129186. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neucom.2024.129186>

Bravo, Y., & Dávila, Y. (2024). *Sustitución parcial de harina de trigo (Triticum vulgare) por harina de manzana (Malus domestica) delicia para elaboración de galletas dulces y su efecto en las características sensoriales, físicas y nutricionales*. [Tesis para obtener el título profesional, Universidad Nacional de Jaén].
https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/742/1/T-Bravo%20Vallejos_D%c3%a1vila%20Chumacero_IIA_2024.pdf

Burserchi, I., Ciurla, L., Enache, L., Patras, A., Ciprian, G., & Mihai, L. (2025). Valorización de la cáscara de remolacha para el desarrollo de snacks de manzana deshidratada enriquecidos con nutrientes. *Alimentos*, 14(15), 2560.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods14152560>

Calva, J., Jiménez, M., & Cervantes, E. (2022). Betalains and their applications in food: The current state of processing, stability and future opportunities in the industry. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 4, 100089.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100089>

Castillejo, F., & Quillay, L. (2021). *Complemento dietético de caqui (Diospyros kaki), manzana (Malus domestica) y aloe Gel (Aloe vera barbadensis)*. [Tesis para optar el título profesional. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú].

<https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/6357/CASTILLEJO%20y%20QUILLAY.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Castillo, L. (2021). *Determinación de la difusividad efectiva en el proceso de osmodeshidratación de betarraga (Beta Vulgaris) en diferentes agentes edulcorantes*. [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16187?show=full>
- Castro, D., Otero, K., & Llamoca, E. (2021). Estudio de los parámetros cinéticos en el secado de la cáscara de tuna (*Opuntia ficus indica*). *Revista de Innovación y Transferencia Productiva*, 2(1), e005. <https://doi.org/https://doi.org/10.54353/ritp.v2i1.e005>
- Castro, J., Gómez, L., & Camargo, E. (2022). investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, 27(75), 140-174. <https://doi.org/https://doi.org/10.14483/22487638.19171>
- Chen, H., Guo, T., Jin, L., Wang, J., Zhu, Y., Ban, Z., & Di, J. (2025). Prediction of damage characteristics of apple fruit based on test and finite element method. *Journal of Stored Products Research*, 111, 102543. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jspr.2025.102543>
- Cichowska, J., Figiel, A., Carbonell, Á., Paslawska, M., & Witrowa, D. (2020). Physicochemical Properties of Dried Apple Slices: Impact of Osmo-Dehydration, Sonication, and Drying Methods. *Molecules*, 25(5), 1078. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules25051078>
- Corona, L., Hernández, D., & Meza, O. (2020). Análisis de parámetros fisicoquímicos, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en piel, pulpa y fruto entero de cinco cultivares de manzana (*Malus domestica*) cosechadas en México. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, XXII(1), 166-174. <https://doi.org/https://www.scielo.org.mx/pdf/biotecnia/v22n1/1665-1456-biotecnia-22-01-166.pdf>
- Crank, J. (1975). *The Mathematics of diffusion*. Oxford University Press, Ely House, London W.I. https://doi.org/https://www-eng.lbl.gov/~shuman/NEXT/MATERIALS&COMPONENTS/Xe_damage/Crank-The-Mathematics-of-Diffusion.pdf

- Cussler, E. (2009). *Diffusion mass transfer in fluid systems*. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. <https://doi.org/http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/53995/1/5.pdf>
- De Dios, C., De Souza, C., Da Silva, T., Somacal, S., Queiroz, L., Jacob, E., . . . Ragagnin, C. (2023). Co-encapsulación de *Lactobacillus plantarum* y compuestos bioactivos extraídos del tallo de remolacha roja (*Beta vulgaris* L.) mediante secado por aspersión. *Investigación alimentaria internacional*, 167, 112607. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112607>
- De La Cruz, G., & Aguirre, E. (2025). Determinación de la actividad enzimática y el porcentaje de Inhibición de la PPO en las láminas de carambola post tratadas a escaldado y osmodeshidratado. *Journal of Scientific and Technological Research Industrial*, 6(1), 17-24. <https://doi.org/https://journalindustrial.com/index.php/jstri/article/view/57/71>
- Díaz, J. (2005). Propuesta metodológica para determinar el potencial de humedad de un material granular a partir de la humedad relativa. *Ingeniería y Competitividad*, 7(1), 73-79. <https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291323470007>
- Escalera Cruz, D. Á. (2019). Beneficios de la manzana (*Malus domestica*) en la salud. *Universidad del Valle Bolivia*, 11(28). <https://doi.org/https://doi.org/10.52428/20756208.v11i28.619>
- FAO. (2014). *Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe*. <https://www.fao.org/3/i3942s/i3942s.pdf>
- Fuentes, H., Muñoz, D., Aguilera, R., & González, C. (2018). Influencia de los compuestos bioactivos de betarraga (*Beta vulgaris* L) sobre el efecto cardio-protector: Una revisión narrativa. *Rev Chil Nutr*, 45(2), 178-182. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182018000300178>.
- Garcés, A., Menéndez, O., Patricio, E., & Prado, Á. (2023). Clasificación de calidad de manzana para monitoreo de cosechabilidad utilizando visión por computador y algoritmos de aprendizaje profundo. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 31(15), 1-18. <https://doi.org/https://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v31/0718-3305-ingeniare-31-15.pdf>
- García, F., Bejarano, D., Paredes, L., Vega, R., & Encinas, J. (2018). La osmodeshidratación mejora la calidad de *Ananas comosus* deshidratadas. *Scientia Agropecuaria*, 9(3), 349-357. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.03.06>

- Giler, A. (2019). *Caracterización de las Hojas de Remolacha (Beta vulgaris) liofilizadas para su uso en la elaboración de infusión*. [Proyecto de investigación, Universidad Laica Ely Alfaro de MANABÍ, Manabí, Ecuador]. <https://repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/123456789/2279/1/ULEAM-AGROIN-0051.pdf>
- Gisbert, J., Mas, A., Prat, M., Vicente, A., & Romeu, M. (2015). El efecto del zumo de remolacha sobre la presión arterial y el ejercicio físico: revisión sistemática. *Rev Esp Nutr Comunitaria*, 21(2), 20-29. <https://doi.org/10.14642/RENC.2015.21.2.5099>
- Gómez, M., & Duque, A. (2018). Caracterización fisicoquímica y contenido fenólico de la remolacha (*Beta vulgaris* L.) en fresco y sometida a tratamiento térmico. *Revista Ion*, 31(1), 43-47. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018007>
- González, M., & Herrera, M. (2021). El valor agregado en productos hortofrutícolas: Un análisis de la comercialización de la manzana y su impacto en la economía local. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(7), 1347-1358. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/rmca.v12i7.1445>
- Gordana, K., Nevena, M., Ljubinko, L., Marija, J., & Lidija, J. (2021). Effect of process parameters on the color of apple osmotically dehydrated in sugar beet molasses. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 14(4), 223-226. <https://doi.org/https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1821-4487/2011/1821-44871104223K.pdf>
- Granados, C., Torrenegra, M., Leon, G., Arrieta, Y., Jimenez, J., & Carriazo, L. (2019). Deshidratación osmótica método alternativo de conservación de alimentos. *Limentech ciencia y tecnología alimentaria*, 17(2), 101-114. <https://doi.org/https://core.ac.uk/download/pdf/328146658.pdf>
- Guneser, O. (2021). Modelado cinético de la estabilidad de las betalaínas y los cambios de color en el yogur durante el almacenamiento. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 71(2), 135-145. <https://doi.org/https://doi.org/10.31883/pjfn/134393>
- Gutiérrez, A., Hernández, H., & Jaimez, J. (2021). Efecto de la osmodeshidratación y convectiva en las propiedades fisicoquímicas, funcionales y sensoriales de Opuntia joconostle. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 9(1),

31-38.

<https://doi.org/http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/595/5952727009/index.html>

Guzman, E. (2021). *Contenido de betalainas, polifenoles totales y capacidad antioxidante en las partes de fruto Opuntia soehrensii Britto*. [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú]. <https://repositorio.unjpsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/4859/ELVIS%20JHOE%20GUZMAN%20ZUC3%91IGA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hidalgo, R., Gómez, M., Escalera, D., Rojas, P., Moya, V., Delgado, P., . . . Hinojosa, J. (2016). Beneficios de la manzana (*Malus domestica*) en la salud. *Revista de Investigación e Información en Salud*, 11(28). https://doi.org/http://revistasbolivianas.umsa.bo/pdf/riis/v11n28/v11n28_a9.pdf

Hong, J., Ding, Y., Jin, Y., Wei, H., Li, C., Lei, M., & Ming, X. (2018). Effect of osmotic dehydration on desorption isotherms and glass transition temperatures of mango. *International Journal of Food Science and Technology*, 53, 2602–2609. https://doi.org/https://watermark02.silverchair.com/ijfs13855.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kKhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAA1UwggNRBkgqhkIG9w0BBwagggNCMIIDPgIBADCCAzcGCSqGSIB3DQEHATAeBglghkgBZQMEAS4wEQQMdmS7f-NuWnaSnTcQAgeQgIIDCPVf84Ld8czHes_5ZL8gk7Xwps8_2kRYgfU6LMDQcZn

Huamán, L. (2023). *Determinación del efecto de la temperatura en las betalainas o betaxantinas en un extracto de betarraga (Beta vulgaris) y almacenado a tres temperaturas por siete días*. [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5766>

Huamani, F. (2023). *Compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y ácidos orgánicos de tres variedades de tuna (Opuntia ficus-indica) de la Comunidad Mutca - Aymaraes*. [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Abancay, Perú]. https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1279/T_083.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Incardona, A., Fatchurrahman, D., Amodio, M., Peruzzi, A., & Colelli, G. (2024). Efecto del filo de la cuchilla de corte sobre la calidad física y nutricional de manzanas 'Golden

- Delicious' recién cortadas. *Horticulturae*, 10(9), 2024.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/horticulturae10090955>
- Islam, Z., Kamrunnaher, S., & Sayem, A. (2019). Influence of Osmotic Dehydration on Mass Transfer Kinetics and Quality Retention of Ripe Papaya (*Carica papaya* L.) during Drying. *AgriIngeniería*, 1(2), 220-234.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agriengineering1020016>
- Jakubczyk, E., Rybak, K., Witronwa, D., Wiktor, A., Rabkowski, R., & Nawacka, M. (2024). Convective Drying with the Application of Ultrasonic Pre-Treatment: The Effect of Applied Conditions on the Selected Properties of Dried Apples. *Foods*, 13(23), 3893.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods13233893>
- Karatas, N. (2020). Morphological, sensory and biochemical characteristics of summer apple genotypes. *Brazilian Journal of Biology*, 82, e234780.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1590/1519-6984.234780>
- Laura, J. (2023). *Evaluación de la variación de color y textura en mango (*Mangifera indica* L.) deshidratado por ósmosis y aire caliente*. [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú].
[https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/6141/TESIS%20JOHSE LIN%20MELISSA%20LAURA%20HUAMAN.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/6141/TESIS%20JOHSE%20LIN%20MELISSA%20LAURA%20HUAMAN.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- Lazo, W., & Cortez, M. (2022). *Aprovechamiento de la remolacha y linaza mediante la incorporación a pan integral elaborado en la Planta Mauricio Diaz Müller en el período de diciembre de 2020 a diciembre de 2021*. [Tesis para optar al título de ingeniero de alimentos, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, León].
<http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/9594/1/252316.pdf>
- Liu, L., Zhang, Q., & He, X. (2021). Moisture adsorption and its effect on the quality of dehydrated foods. *Food Research International*, 134, 109-118.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109261>
- López, J. (2024). Deshidratación osmótica del mamey (*Pouteria sapota*) así como la evaluación de sus propiedades nutrimentales y sensoriales. *Revista Iberoamericana para la investigación y el Desarrollo Educativo*, 15(29), e746.
<https://doi.org/https://doi.org/10.23913/ride.v15i29.2114>

- Lopez, K. (2022). *Influencia del kiwi (Actinidia deliciosa) y sábila (Aloe vera) en las propiedades funcionales de una bebida de manzana (Pyrus malus) trabajo experimental*. [Tesis para optar el título profesional, Universidad Agraria del Ecuador, Milagro, Ecuador].
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/LOPEZ%20VALENZUELA%20KAREN%20STEFFANIA.pdf>
- Macit, I., Aydın, E., Tas, A., & Gundogdu, M. (2021). Fruit Quality Properties of the Local Apple Varieties of Anatolia. *Sustainability*, *13*, 6127.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su13116127>
- Marceliano, L., & Vegas, R. (2023). Osmodeshidratación de *Physalis peruviana* L. utilizando panela con aplicación de ultrasonido y agitación. *Artículo de investigación científica y tecnológica*, *21*(2), 7-31.
<https://doi.org/https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.2205>
- Mari, A., Niloleta, D., & Krokida, M. (2024). Exploring Osmotic Dehydration for Food Preservation: Methods, Modelling, and Modern Applications. *Foods*, *13*(17), 2783.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods13172783>
- Mejía, J., García, K., Velázquez, G., & Vázquez, A. (2020). Capacidad antioxidante: conceptos, métodos de cuantificación y su aplicación en la caracterización de frutos tropicales y productos derivados. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, *9*(1), 9-33. <https://doi.org/https://doi.org/10.23850/24220582.4023>
- Mendoza, F., Arteaga, M., & Pérez, O. (2016). Comportamiento de la vitamina C en un producto a base de lactosuero y pulpa de mango variedad Magdalena River (*Mangifera Indica* L.) durante el secado por aspersion. *Rev Chil Nutr Vo*, *43*(2), 159 - 166.
<https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000200008>
- Moreno Zapata, E. (2022). Generalidades de la Betarraga. *Universidad Nacional San Luis Gonzaga*, *5*(11), 89-101. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
- Moreno, S. (2023). Antioxidantes. *Revista chilena de nutrición*, *42*(2), 5-33.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182015000200014>
- Muñoz Peña, D. (2020). Influencia de los compuestos bioactivos de betarraga (*Beta vulgaris* L.) sobre el efecto cardio-protector: Una revisión narrativa. *Revista Chilena de*

Nutrición, 45(2), 4-8. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182018000300178>

Ninanya Gonzales, Y. K. (2021). Determinación de antocianinas de betarraga. *Revista Universidad Peruana los Andes*, 20(4), 65-78. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UPLA_2dace790c832c08287d4d08dc85bd3ec

Orellana, L. (2015). *Extracción y caracterización de los pigmentos naturales presentes en beta vulgaris (remolacha) para la propuesta de una formulación cosmética y evaluación de su estabilidad fisicoquímica y microbiológica*. [Informe de Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <https://core.ac.uk/reader/35291820>

Osorio, F., Peñaloza, A., Maldonado, Y., Jiménez, J., & Salazar, R. (2020). Evaluación de la osmodeshidratación para el enriquecimiento con compuestos bioactivos en manzana. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 1151-1156. <https://doi.org/https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10n5/2007-0934-remexca-10-05-1151.pdf>

Parra, R. (2015). Physicochemical and microbiological characteristics of yoghurt from beetroot colorant. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 13(1), 2027. <https://doi.org/https://core.ac.uk/download/pdf/230755829.pdf>

Puente, L., & Valenzuela, C. (2015). *Elaboración y Caracterización de un Snack en base a Puré de Manzana con incorporación de fibra soluble*. [Proyecto de Memoria para optar al título, Universidad de Chile, Santiago, Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/187515/Elaboracion-y-caracterizacion-de-un-snack-en-base-a-pure-de-manzana.pdf?sequence=1>

Ramos, C. (2020). Los alcances de la investigación. *CienciAmérica*, 9(3), 1-6. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>

Ramos, J., Montoya, J., Tobal, M., & Jodra, P. (2021). Efectos de la suplementación con zumo de remolacha sobre la respuesta neuromuscular: revisión sistemática. *Retos* (39). <https://doi.org/10.47197/retos.v0i39.79650>

Rodríguez, A., & Pérez, A. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 82, 1-24. <https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=20652069006>

- Rubiano, E., & Sánchez, C. (2016). Efecto de dos pretratamientos para evitar el pardeamiento de secado convectivo de manzana. *Agronomía Colombiana*, 34, 329-331. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58051>
- Salazar, K., Mariuxi, L., Coba, R., & Brito, H. (2019). Obtención de Betacianinas de la Remolacha (*Beta vulgaris*). *Ciencia Digital*, 3(3), 228-238. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.4..849>
- Salehi, F. (2023). Recent advances in the ultrasound-assisted osmotic dehydration of agricultural products: A review. *Food Bioscience*, 51, 102307. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102307>
- Santamaría, C., González, A., & Astorga, F. (2015). Aplicación de extractos vegetales para la reducción del estrés. *nutriNews*, 75-80. <https://doi.org/https://nutrinews.com/download/0315-ena-WEB.pdf>
- Santos, D., & Santos, L. (2021). *Microencapsulación del jugo de mora (rubus glaucus) usando goma garrofín en el proceso de atomización*. [Tesis para optar el título profesional. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú]. https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/9546/Santos_Cubas_Deysi_Jazm%C3%ADn_y_Santos_Cubas_Lourdes_Melinna.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sapper, M., Martínez, N., & Camacho, M. (2015). Medida de las propiedades físicas de productos de fruta en polvo. *Grupo de Investigación e Innovación Alimentaria*(<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/56749/SAPPER%20-%20MEDIDA%20DE%20LAS%20PROPIEDADES%20F%3%8DSICAS%20DE%20PRODUCTOS%20DE%20FRUTA%20EN%20POLVO.pdf?sequence=2>), 1-19.
- Sarango, Y., & Chenche, O. (2024). Propiedades físicas, químicas y biológicas del pigmento natural Beta vulgaris: revisión y propuesta de un protocolo experimental. *Reincasol*, 3(6), 3146-3165. [https://doi.org/https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(6\)3146-3165](https://doi.org/https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)3146-3165)
- Shofinita, D., Fawwaz, M., & Benigna, A. (2023). Betalain extracts: Drying techniques, encapsulation, and application in food industry. *Food Frontiers*, 4(2), 576-623. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fft2.227>
- Sottocornola, G., Baric, S., Nocker, M., & Zanker, M. (2023). DSSApple: Un sistema experto híbrido para el diagnóstico de enfermedades poscosecha de la manzana. *Tecnología*

agrícola *inteligente*, 3, 100070.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100070>

Suput, D., Rakita, S., Spasevski, N., Tomicic, R., Dragojlovic, D., Popovic, S., & Hromis, N. (2024). Dried Beetroots: Optimization of the Osmotic Dehydration Process and Storage Stability. *Foods*, 13(10), 1494. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods13101494>

Sottocornola, G., Baric, S., Nocker, M., & Zanker, M. (2023). DSSApple: Un sistema experto híbrido para el diagnóstico de enfermedades poscosecha de la manzana. *Tecnología agrícola inteligente*, 3, 100070.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100070>

Tafur, H. (2018). *Modelamiento de la cinética de secado de las hojas de sachaculantro (Eryngium foetidum L.) por onvección forzada*. [Tesis para optar el título profesional. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú].
<https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f97ac2a7-0836-4171-aad7-656ba26d86fb/content>

Tobolka, A., Škorpilová, T., Beño, F., Podskalská, T., & Rajchl, A. (2024). Effect of Various Carbohydrates in Aqueous Solutions on Color Stability and Degradation Kinetics of Selected Anthocyanins During Storage. *Foods*, 13(22), 3628.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods13223628>

Trinidad, W., Gutiérrez, M., Palacin, P., & Romero, J. (2021). Adaptabilidad de cultivares de betarraga (*Beta vulgaris* L.) a las condiciones de Panao, Huánuco. *Revista Investigación Agraria*, 3(3), 21-29. <https://doi.org/10.47840/ReInA.3.3.1238>

Valdivia, S., Alaníz, K., & Reyes, E. (2022). Evaluación de factores que inciden en el proceso de deshidratación solar térmica. *Revista Científica de FAREM. Estelí*, 2018(42), 204.
<https://doi.org/https://doi.org/10.5377/farem.v11i42.14699>

Valdiviezo, C. (2023). *Efecto del pretratamiento de osmodeshidratación en el tiempo de secado de melón (Cucumis melo)*. [Tesis para obtener el título profesional, Universidad Nacional de Frontera, Sullana, Perú].
<https://repositorio.unf.edu.pe/server/api/core/bitstreams/3d1e34a9-dbf1-4d0f-b5a3-e63bb8eedc00/content>

Ventura, W. (2023). *Efecto del edulcorante y el tiempo de inmersión en la osmodeshidratación en la carambola (Averrhoa carambola L.)*. [Tesis para optar el título profesional,

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú].
<https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/801552f8-7972-4d25-ad5b-8886ed4702b4/content>

Verona, A., Urcia, J., & Paucar, L. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos . *Scientia Agropecuaria* , 11(3), 439 – 453 .
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>

Yu, C., Luo, Z., & Zhang, Z. (2020). Effect of moisture content and solute concentration on the hygroscopicity and shelf-life of food products. *Journal of Food Engineering*, 258, 98-106. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.06.010>

ANEXOS

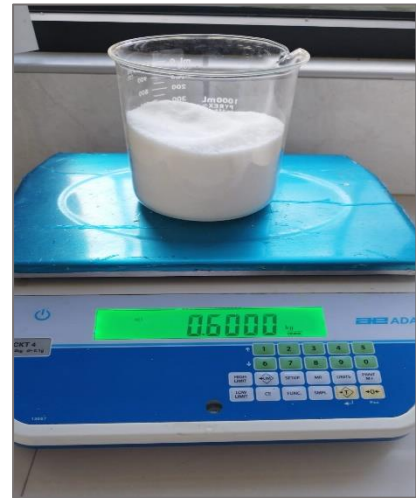
Anexo 1. Proceso de osmodeshidratación de la manzana.



Pelado de betarraga



Obtención de extracto



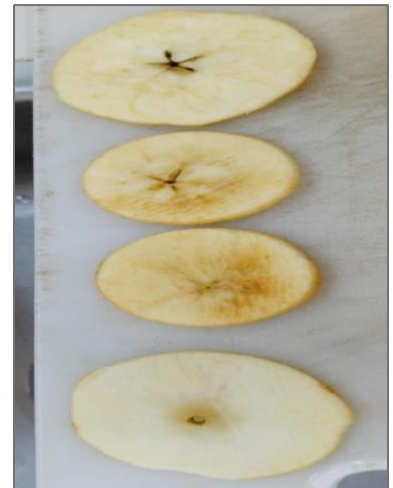
Pesado del azúcar



Preparación de solución osmótica



Lavado de la manzana



Cortado de la manzana



Envasado de solución + rodajas



Osmodeshidratación de las muestras



Rodajas de manzana osmodeshidratada



Rodajas de manzana deshidratada

Anexo 2. Medición del color de la manzana osmodeshidratada.



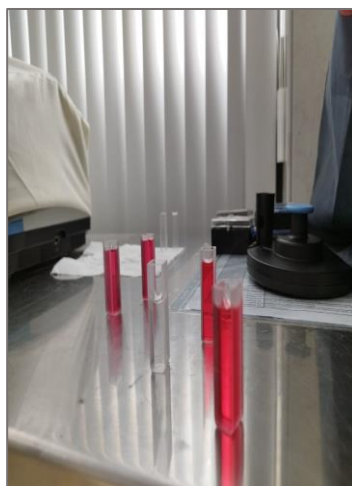
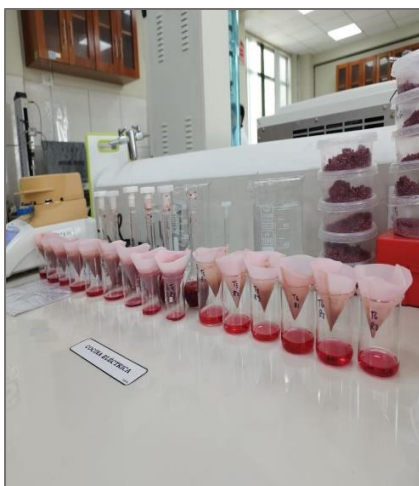
Anexo 3. Determinación de la higroscopicidad de la manzana osmodeshidratada.



Anexo 4. Determinación de difusividad efectiva de la manzana osmodeshidratada.



Anexo 5. Determinación del contenido de betalaínas de la manzana osmodeshidratada.

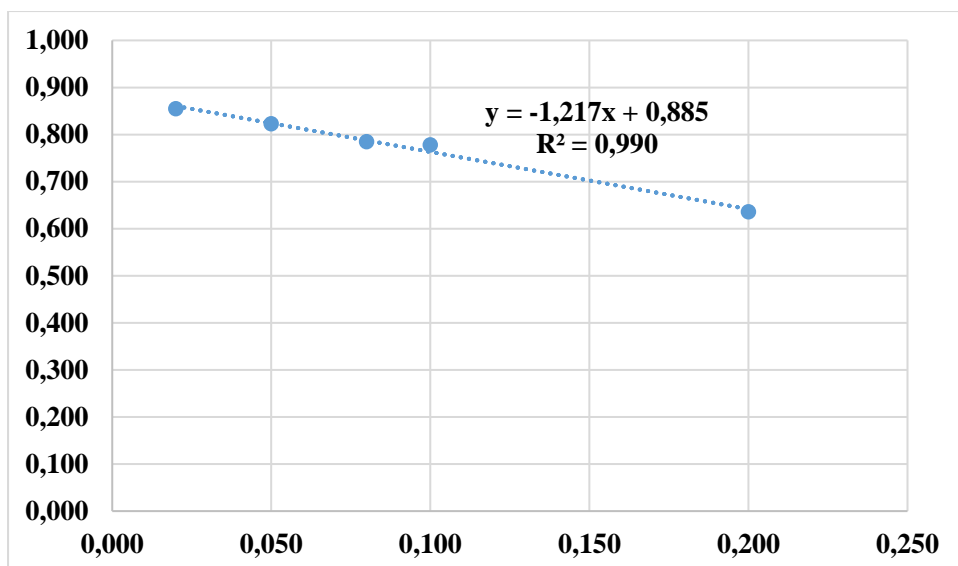


Anexo 6. Determinación de la capacidad antioxidante de la manzana osmodeshidratada.



Curva de calibración

CONCENTRACIÓN	ABSORBANCIA
0.020	0.855
0.050	0.823
0.080	0.785
0.100	0.778
0.200	0.636



Anexo 7. Análisis de varianza para el color de la manzana osmodeshidratada

Tabla 15

Análisis de varianza para la Luminosidad (L^)*

Fuente de variación	GL	SC Ajust.	CM Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	128,00	16,000	12,08	0,000
Lineal	4	111,19	27,799	20,99	0,000
Tiempo	2	29,47	14,735	11,13	0,001
Azúcar/Betarraga	2	81,73	40,863	30,85	0,000
Interacción (Tiempo*Azúcar/Betarraga)	4	16,81	4,202	3,17	0,039
Error	18	23,84	1,324		
Total	26	151,84			

Tabla 16

*Análisis de varianza para el parámetro a^**

Fuente de variación	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	182,90	22,862	5,86	0,001
Lineal	4	94,06	23,515	6,02	0,003
Tiempo	2	34,72	17,361	4,45	0,027
Azúcar/Betarraga	2	59,34	29,669	7,60	0,004
Interacciones	4	88,84	22,209	5,69	0,004
Tiempo × Azúcar/Betarraga	4	88,84	22,209	5,69	0,004
Error	18	70,27	3,904	—	—
Total	26	253,16	—	—	—

Tabla 17*Análisis de varianza para el parámetro b**

Fuente de variación	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	55,836	6,979	4,01	0,007
Lineal	4	42,978	10,745	6,17	0,003
Tiempo	2	6,390	3,195	1,83	0,188
Azúcar/Betarraga	2	36,588	18,294	10,50	0,001
Interacciones	4	12,858	3,214	1,85	0,164
Tiempo × Azúcar/Betarraga	4	12,858	3,214	1,85	0,164
Error	18	31,352	1,742	—	—
Total	26	87,188	—	—	—

Anexo 8. Análisis de varianza para la higroscopicidad de la manzana osmodeshidratada**Tabla 18***Análisis de varianza para la higroscopicidad*

Fuente de variación	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	1368,38	171,048	310,56	0,000
Lineal	4	678,68	169,670	308,06	0,000
Tiempo	2	494,49	247,243	448,90	0,000
Azúcar/Betarraga	2	184,20	92,098	167,22	0,000
Interacciones	4	689,70	172,425	313,06	0,000
Tiempo * Azúcar/Betarraga	4	689,70	172,425	313,06	0,000
Error	18	9,91	0,551		
Total	26	1378,29			

Anexo 9. Análisis de varianza para la difusividad efectiva de la manzana osmodeshidratada

Tabla 19

Análisis de varianza para la difusividad efectiva

Fuente de variación	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	0,000000	0,000000	115,79	0,000
Lineal	4	0,000000	0,000000	221,07	0,000
Tiempo	2	0,000000	0,000000	433,38	0,000
Azúcar/Betarraga	2	0,000000	0,000000	8,75	0,002
Interacciones de 2 términos	4	0,000000	0,000000	10,51	0,000
Tiempo * Azúcar/Betarraga	4	0,000000	0,000000	10,51	0,000
Error	18	0,000000	0,000000	-	-
Total	26	0,000000	-	-	-

Anexo 10. Análisis de varianza para el contenido de betalaínas en la manzana osmodeshidratada

Tabla 20

Análisis de varianza para el contenido de betacianinas en la manzana osmodeshidratada

Fuente de variación	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	0,005625	0,000703	71,88	0,000
Lineal	4	0,005515	0,001379	140,95	0,000
Tiempo	2	0,000295	0,000148	15,09	0,000
Azúcar/Betarraga	2	0,005220	0,002610	266,80	0,000
Interacciones (2 términos)	4	0,000110	0,000027	2,81	0,057
Tiempo*Azúcar/Betarraga	4	0,000110	0,000027	2,81	0,057
Error	18	0,000176	0,000010	-	-
Total	26	0,005801	-	-	-

Tabla 21*Análisis de varianza para el contenido de Betaxantinas en la manzana osmodeshidratada*

Fuente de variación	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	0,013156	0,001644	102,70	0,000
Lineal	4	0,012845	0,003211	200,55	0,000
Tiempo	2	0,000273	0,000136	8,51	0,003
Azúcar/Betarraga	2	0,012573	0,006286	392,60	0,000
Interacciones (2 términos)	4	0,000310	0,000078	4,84	0,008
Tiempo*Azúcar/Betarraga	4	0,000310	0,000078	4,84	0,008
Error	18	0,000288	0,000016	-	-
Total	26	0,013444	-	-	-

Anexo 11. Análisis de varianza para la capacidad antioxidante en la manzana osmodeshidratada

Tabla 22*Análisis de varianza para la capacidad antioxidante en la manzana osmodeshidratada*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	0,38027	0,04753	3,06	0,023
Lineal	4	0,19432	0,04858	3,13	0,041
Tiempo	2	0,02579	0,01290	0,83	0,452
Azúcar/Betarraga	2	0,16853	0,08426	5,42	0,014
Interacciones de 2 términos	4	0,18594	0,04649	2,99	0,047
Tiempo*Azúcar/Betarraga	4	0,18594	0,04649	2,99	0,047
Error	18	0,27961	0,01553	-	-
Total	26	0,65988	-	-	-

Anexo 12. Valores del color obtenidos por repetición.

Tratamiento	Repetición	Parámetros				
		L	a*	b*	C*	h°
T ₁	R1	34.06	38.965	14.085	41.43	19.875
	R2	32.735	38.555	10.505	40	15.03
	R3	33.555	41.64	11.48	43.2	15.37
T ₂	R1	30.495	35.92	14.08	36.145	14.7
	R2	32.76	39.185	11.035	37.94	14.505
	R3	29.925	36.885	11.85	37.745	17.745
T ₃	R1	33.895	36.47	12.685	37.83	14.885
	R2	32.52	39.71	10.365	40.045	14.64
	R3	30.13	36.135	11.005	39.21	16.285
T ₄	R1	29.28	34.79	11.06	36.51	17.65
	R2	29.72	35.6	8.93	36.705	14.075
	R3	31.425	40.175	10.475	39.02	14.63
T ₅	R1	29.25	35.96	10.37	37.43	16.085
	R2	26.105	39.355	12.33	41.545	17.37
	R3	28.44	35.03	9.97	36.42	15.89
T ₆	R1	26.44	28.285	7.765	29.33	15.345
	R2	24.57	29.875	6.5	25.71	14.655
	R3	26.52	31.86	9.175	27.535	14.52
T ₇	R1	30.68	36.81	8.025	37.675	12.295
	R2	30.72	39.67	10.145	40.95	14.355
	R3	31.51	35.23	7.685	36.08	12.44
T ₈	R1	28.905	34.84	10.925	36.515	17.405
	R2	28.075	32.88	8.25	33.895	14.07
	R3	28.535	36.125	8.93	37.21	13.88
T ₉	R1	30.375	37.01	9.795	38.285	14.82
	R2	30.23	38.26	9.715	39.47	14.26
	R3	30.59	39.05	10.01	40.31	14.38

Anexo 8. Valores de higroscopicidad obtenidos por repetición.

Tratamiento	Rep.	Peso placa	Muestra (g)	Peso neto	Después de 2 semanas	Incremento	Peso final	Humedad %	Higroscopicidad
Manzana fresca		18.8019	1.0035	19.8054	20.0410	0.236	1.239	6.69	23.910
T ₁	R1	17.5236	1.0004	18.524	18.8835	0.360	1.360	3.68	35.990
	R2	19.8403	1.0016	20.8419	21.1884	0.347	1.348	3.69	34.810
	R3	19.5588	1.0000	20.5588	20.9068	0.348	1.348	3.79	34.800
T ₂	R1	18.2936	1.0013	19.2949	19.4440	0.149	1.150	3.49	15.040
	R2	17.7602	1.0012	18.7614	18.9276	0.166	1.167	2.9	16.740
	R3	19.3027	1.0006	20.3033	20.4536	0.150	1.151	3.79	15.090
T ₃	R1	19.5137	1.0008	20.5145	20.5944	0.080	1.081	3.1	8.070
	R2	18.4976	1.0012	19.4988	19.5818	0.083	1.084	3.29	8.420
	R3	17.756	1.0012	18.7572	18.8407	0.083	1.085	4.2	8.470
T ₄	R1	17.8927	1.0005	18.8932	19.0529	0.160	1.160	3.66	16.020
	R2	19.7842	1.0015	20.7857	20.9590	0.173	1.175	3.52	17.480
	R3	17.8069	1.001	18.8079	18.9683	0.160	1.161	3.39	16.140
T ₅	R1	19.798	1.0027	20.8007	20.9181	0.117	1.120	3.39	12.010
	R2	19.2907	1.0038	20.2945	20.4171	0.123	1.126	4.19	12.640
	R3	19.2809	1.0029	20.2838	20.4116	0.128	1.131	3.7	13.070
T ₆	R1	19.6027	1.0018	20.6045	20.7500	0.146	1.147	3.01	14.730
	R2	19.5440	1.0028	20.5468	20.7001	0.153	1.156	3.69	15.610
	R3	19.0863	1.0009	20.0872	20.2273	0.140	1.141	3.8	14.100
T ₇	R1	18.7825	1.001	19.7835	19.9194	0.136	1.137	6.27	13.690
	R2	18.7765	1.0012	19.7777	19.9310	0.153	1.155	3.49	15.450
	R3	18.9885	1.0031	19.9916	20.1263	0.135	1.138	3.59	13.780
T ₈	R1	19.2751	1.0008	20.2759	20.4014	0.125	1.126	3.5	12.630
	R2	18.8767	1.0021	19.8788	20.0207	0.142	1.144	2.7	14.400
	R3	19.6994	1.0007	20.7001	20.8394	0.139	1.140	2.59	14.000
T ₉	R1	18.2438	1.0015	19.2453	19.3746	0.129	1.131	3.3	13.080
	R2	18.5961	1.0022	19.5983	19.7344	0.136	1.138	3.39	13.830
	R3	18.8931	1.0013	19.8944	20.0265	0.132	1.133	2.8	13.340

Anexo 9. Valores de difusividad efectiva obtenidos por repetición.

Tiempo	Rep.	t (min)	Xwt	Xwe	Yw	LnYw	L (m)	Pendiente (Lny,t)	pi	D _w
2	R1	0	63.6	0.364	1.0000	0	0.002	0.00122	3.14159	1.971E-09
		20	57.6	0.424	0.905027	-0.09979	0.002			
		40	56.1	0.439	0.881256	-0.12641	0.002			
		60	55.4	0.446	0.870159	-0.13908	0.002			
		80	54.9	0.451	0.862231	-0.14823	0.002			
		100	54	0.46	0.847957	-0.16493	0.002			
		120	53.4	0.466	0.838439	-0.17621	0.002			
	R2	0	65.1	0.349	1.000	0	0.002	0.00141	3.14159	2.279E-09
		20	58.1	0.419	0.891777	-0.11454	0.002			
		40	56.3	0.437	0.86391	-0.14629	0.002			
		60	55.6	0.444	0.853069	-0.15892	0.002			
		80	54.7	0.453	0.839126	-0.17539	0.002			
		100	54	0.46	0.82828	-0.1884	0.002			
		120	53.2	0.468	0.815881	-0.20349	0.002			
	R3	0	62.2	0.378	1	0	0.002	0.00123	3.14159	1.989E-09
		20	55.9	0.441	0.897991	-0.1076	0.002			
		40	55	0.45	0.883401	-0.12398	0.002			
		60	54	0.46	0.867185	-0.1425	0.002			
		80	53.4	0.466	0.857453	-0.15379	0.002			
		100	52.8	0.472	0.847719	-0.16521	0.002			
		120	52	0.48	0.834738	-0.18064	0.002			
2	R1	0	54.4	0.456	1	0	0.002	0.00170	3.14159	2.755E-09
		20	49.5	0.505	0.909082	-0.09532	0.002			
		40	47.6	0.524	0.873784	-0.13492	0.002			
		60	46.1	0.539	0.8459	-0.16735	0.002			
		80	45	0.55	0.825441	-0.19184	0.002			
		100	43	0.57	0.788222	-0.23798	0.002			
		120	44.5	0.555	0.816139	-0.20317	0.002			
	R2	0	54.1	0.459	1	0	0.002	0.00159	3.14159	2.580E-09
		20	48.2	0.518	0.889888	-0.11666	0.002			
		40	46.8	0.532	0.863725	-0.1465	0.002			
		60	45.6	0.544	0.841288	-0.17282	0.002			
		80	44.9	0.551	0.828195	-0.18851	0.002			
		100	44.1	0.559	0.813227	-0.20674	0.002			
		120	43.4	0.566	0.800127	-0.22298	0.002			
	R3	0	54.1	0.459	1	0	0.002	0.00170	3.14159	2.756E-09
		20	47.1	0.529	0.869332	-0.14003	0.002			
		40	46	0.54	0.848768	-0.16397	0.002			
		60	45	0.55	0.830065	-0.18625	0.002			
		80	44.2	0.558	0.815098	-0.20445	0.002			

		100	43.9	0.561	0.809485	-0.21136	0.002				
		120	42	0.58	0.773916	-0.25629	0.002				
2	R1	0	45.8	0.542	1	0	0.002	0.00145	3.14159	2.355E-09	
		20	41.9	0.581	0.913753	-0.09019	0.002				
		40	40.6	0.594	0.884971	-0.1222	0.002				
		60	40	0.6	0.871681	-0.13733	0.002				
		80	39	0.61	0.849524	-0.16308	0.002				
		100	37.6	0.624	0.818488	-0.2003	0.002				
		120	38.2	0.618	0.831791	-0.18417	0.002				
		R2	0	45.5	0.545	1	0				0.002
	20		41.9	0.581	0.919856	-0.08354	0.002				
	40		41	0.59	0.8998	-0.10558	0.002				
	60		39	0.61	0.855202	-0.15642	0.002				
	80		38.9	0.611	0.852971	-0.15903	0.002				
	100		37.8	0.622	0.828424	-0.18823	0.002				
	120		38.6	0.614	0.846277	-0.16691	0.002				
	R3		0	45.2	0.548	1	0	0.002	0.00129	3.14159	2.094E-09
		20	41.8	0.582	0.923798	-0.07926	0.002				
		40	40.4	0.596	0.892386	-0.11386	0.002				
		60	38.9	0.611	0.85871	-0.15232	0.002				
		80	38.6	0.614	0.851971	-0.1602	0.002				
		100	38.4	0.616	0.847479	-0.16549	0.002				
		120	38.3	0.617	0.845232	-0.16814	0.002				
		4	R1	0	64.4	0.356	1	0			
	20			58.9	0.411	0.914048	-0.08987	0.002			
	40			56.3	0.437	0.873364	-0.1354	0.002			
60	55.5			0.445	0.86084	-0.14985	0.002				
80	54.2			0.458	0.84048	-0.17378	0.002				
100	52.3			0.477	0.81071	-0.20985	0.002				
120	51.7			0.483	0.801305	-0.22151	0.002				
140	51.5			0.485	0.798169	-0.22543	0.002				
160	51			0.49	0.79033	-0.2353	0.002				
180	50.7			0.493	0.785626	-0.24127	0.002				
200	51.4			0.486	0.796602	-0.2274	0.002				
220	51.7			0.483	0.801305	-0.22151	0.002				
240	51.2		0.488	0.793466	-0.23134	0.002					
R2	0		65.4	0.346	1	0	0.002	0.0008	3.14159	1.308E-09	
	20		59.2	0.408	0.904604	-0.10026	0.002				
	40		56.9	0.431	0.869168	-0.14022	0.002				
	60		55.2	0.448	0.842961	-0.17083	0.002				
	80		52.6	0.474	0.802852	-0.21958	0.002				
	100		51.8	0.482	0.790505	-0.23508	0.002				
	120		51.3	0.487	0.782786	-0.2449	0.002				
	140		51	0.49	0.778154	-0.25083	0.002				

4		160	50.8	0.492	0.775066	-0.25481	0.002	0.0008	3.14159	1.325E-09
		180	50.1	0.499	0.764256	-0.26885	0.002			
		200	52	0.48	0.793592	-0.23119	0.002			
		220	52.9	0.471	0.807482	-0.21383	0.002			
		240	50	0.5	0.762712	-0.27087	0.002			
	R3	0	63.7	0.363	1	0	0.002	0.0008	3.14159	1.325E-09
		20	59	0.41	0.925739	-0.07716	0.002			
		40	55.8	0.442	0.875115	-0.1334	0.002			
		60	54.2	0.458	0.849783	-0.16277	0.002			
		80	53.9	0.461	0.845032	-0.16838	0.002			
		100	52.1	0.479	0.816517	-0.20271	0.002			
		120	50	0.5	0.783228	-0.24433	0.002			
		140	49.8	0.502	0.780056	-0.24839	0.002			
		160	50.2	0.498	0.786399	-0.24029	0.002			
		180	49.8	0.502	0.780056	-0.24839	0.002			
		200	51	0.49	0.799082	-0.22429	0.002			
		220	48.9	0.511	0.765782	-0.26686	0.002			
	240	52.1	0.479	0.816517	-0.20271	0.002				
	R1	0	52.9	0.471	1	0	0.002	0.0008	3.14159	1.236E-09
		20	48.1	0.519	0.908364	-0.09611	0.002			
		40	47	0.53	0.88734	-0.11953	0.002			
		60	45.4	0.546	0.856744	-0.15462	0.002			
		80	44	0.56	0.829958	-0.18638	0.002			
		100	43	0.57	0.810816	-0.20971	0.002			
		120	41.7	0.583	0.78592	-0.2409	0.002			
140		42.7	0.573	0.805072	-0.21682	0.002				
160		42.5	0.575	0.801242	-0.22159	0.002				
180		42.7	0.573	0.805072	-0.21682	0.002				
200		42.2	0.578	0.795497	-0.22879	0.002				
220		42	0.58	0.791667	-0.23361	0.002				
240	42.1	0.579	0.793582	-0.2312	0.002					
R2	0	54.6	0.454	1	0	0.002	0.0008	3.14159	1.304E-09	
	20	50	0.5	0.914972	-0.08886	0.002				
	40	47.8	0.522	0.874256	-0.13438	0.002				
	60	44.8	0.552	0.81868	-0.20006	0.002				
	80	43.8	0.562	0.800141	-0.22297	0.002				
	100	43	0.57	0.785304	-0.24168	0.002				
	120	41.1	0.589	0.750051	-0.28761	0.002				
	140	43.3	0.567	0.790869	-0.23462	0.002				
	160	42.5	0.575	0.77603	-0.25356	0.002				
	180	42.1	0.579	0.768609	-0.26317	0.002				
	200	42	0.58	0.766753	-0.26559	0.002				
	220	43.1	0.569	0.787159	-0.23932	0.002				
240	43.3	0.567	0.790869	-0.23462	0.002					

	R3	0	54.2	0.458	1	0	0.002	0.0010	3.14159	1.625E-09
		20	48.4	0.516	0.89196	-0.11433	0.002			
		40	47.1	0.529	0.867713	-0.14189	0.002			
		60	45.6	0.544	0.83972	-0.17469	0.002			
		80	44.2	0.558	0.813579	-0.20631	0.002			
		100	43.5	0.565	0.800503	-0.22251	0.002			
		120	41.8	0.582	0.768734	-0.26301	0.002			
		140	40.4	0.596	0.742557	-0.29766	0.002			
		160	39.6	0.604	0.727592	-0.31802	0.002			
		180	41.1	0.589	0.755647	-0.28018	0.002			
		200	41	0.59	0.753777	-0.28266	0.002			
		220	39.9	0.601	0.733204	-0.31033	0.002			
		240	42.4	0.576	0.779949	-0.24853	0.002			
	R1	0	46.2	0.538	1	0	0.002	0.0006	3.14159	1.002E-09
		20	41.4	0.586	0.894769	-0.11119	0.002			
		40	40.7	0.593	0.879404	-0.12851	0.002			
		60	39.4	0.606	0.850858	-0.16151	0.002			
		80	38.9	0.611	0.839874	-0.1745	0.002			
		100	37.8	0.622	0.815701	-0.20371	0.002			
		120	37.5	0.625	0.809106	-0.21183	0.002			
		140	37.1	0.629	0.800312	-0.22275	0.002			
		160	36.6	0.634	0.789317	-0.23659	0.002			
		180	37.6	0.624	0.811304	-0.20911	0.002			
		200	37.9	0.621	0.817899	-0.20102	0.002			
		220	38	0.62	0.820097	-0.19833	0.002			
		240	37.7	0.623	0.813502	-0.20641	0.002			
4	R2	0	45.6	0.544	1	0	0.002	0.0007	3.14159	1.196E-09
		20	41.8	0.582	0.915589	-0.08819	0.002			
		40	40.4	0.596	0.884455	-0.12278	0.002			
		60	39.1	0.609	0.855527	-0.15604	0.002			
		80	38.6	0.614	0.844396	-0.16913	0.002			
		100	37.7	0.623	0.824355	-0.19315	0.002			
		120	37.4	0.626	0.817672	-0.20129	0.002			
		140	37	0.63	0.808761	-0.21225	0.002			
		160	36.8	0.632	0.804305	-0.21778	0.002			
		180	36.9	0.631	0.806533	-0.21501	0.002			
		200	36.5	0.635	0.79762	-0.22612	0.002			
		220	36.5	0.635	0.79762	-0.22612	0.002			
		240	36.9	0.631	0.806533	-0.21501	0.002			
	R3	0	46.9	0.531	1	0	0.002	0.0007	3.14159	1.189E-09
		20	42	0.58	0.894214	-0.11181	0.002			
		40	41.3	0.587	0.879084	-0.12888	0.002			
		60	39.3	0.607	0.835828	-0.17933	0.002			
		80	38.5	0.615	0.818516	-0.20026	0.002			

		100	38.2	0.618	0.812022	-0.20823	0.002				
		120	37.8	0.622	0.803362	-0.21895	0.002				
		140	37.5	0.625	0.796867	-0.22707	0.002				
		160	37.1	0.629	0.788204	-0.238	0.002				
		180	37.3	0.627	0.792536	-0.23252	0.002				
		200	37.4	0.626	0.794701	-0.22979	0.002				
		220	37.2	0.628	0.79037	-0.23525	0.002				
		240	37.3	0.627	0.792536	-0.23252	0.002				
6	R1	0	64.1	0.359	1	0	0.002	0.000527	3.14159	8.543E-10	
		20	58.1	0.419	0.90578	-0.09896	0.002				
		40	56.9	0.431	0.886915	-0.12001	0.002				
		60	55.8	0.442	0.869616	-0.1397	0.002				
		80	55	0.45	0.857031	-0.15428	0.002				
		100	54.7	0.453	0.85231	-0.1598	0.002				
		120	53.1	0.469	0.827128	-0.1898	0.002				
		140	51.1	0.489	0.795633	-0.22862	0.002				
		160	52.8	0.472	0.822405	-0.19552	0.002				
		180	51.9	0.481	0.808233	-0.2129	0.002				
		200	53	0.47	0.825554	-0.1917	0.002				
		220	52.3	0.477	0.814532	-0.20514	0.002				
		240	51	0.49	0.794058	-0.2306	0.002				
		260	50.4	0.496	0.784605	-0.24258	0.002				
		280	49.9	0.501	0.776726	-0.25267	0.002				
		300	49.4	0.506	0.768846	-0.26286	0.002				
		320	50.1	0.499	0.779878	-0.24862	0.002				
		340	50.2	0.498	0.781453	-0.2466	0.002				
	360	49.8	0.502	0.77515	-0.2547	0.002					
		R2	0	65	0.35	1	0	0.002	0.000551	3.14159	8.928E-10
			20	58.6	0.414	0.900907	-0.10435	0.002			
			40	57	0.43	0.876103	-0.13227	0.002			
			60	56.6	0.434	0.869901	-0.13938	0.002			
			80	56	0.44	0.860595	-0.15013	0.002			
			100	55.4	0.446	0.851287	-0.16101	0.002			
			120	52.8	0.472	0.810935	-0.20957	0.002			
			140	51.8	0.482	0.795406	-0.2289	0.002			
			160	51	0.49	0.782979	-0.24465	0.002			
			180	51.9	0.481	0.796959	-0.22695	0.002			
			200	50.3	0.497	0.772104	-0.25864	0.002			
			220	51.6	0.484	0.7923	-0.23282	0.002			
			240	50.8	0.492	0.779872	-0.24863	0.002			
			260	49	0.51	0.7519	-0.28515	0.002			
			280	51	0.49	0.782979	-0.24465	0.002			
			300	50.4	0.496	0.773657	-0.25663	0.002			
			320	50.3	0.497	0.772104	-0.25864	0.002			

6		340	50.4	0.496	0.773657	-0.25663	0.002	0.000526	3.14159	8.522E-10
		360	50.1	0.499	0.768996	-0.26267	0.002			
	R3	0	64	0.36	1	0	0.002			
		20	57.4	0.426	0.896184	-0.10961	0.002			
		40	56.4	0.436	0.880435	-0.12734	0.002			
		60	55.9	0.441	0.872559	-0.13632	0.002			
		80	54.7	0.453	0.853652	-0.15823	0.002			
		100	54	0.46	0.842619	-0.17124	0.002			
		120	53	0.47	0.826853	-0.19013	0.002			
		140	52	0.48	0.811083	-0.20938	0.002			
		160	51.2	0.488	0.798463	-0.22507	0.002			
		180	51.9	0.481	0.809506	-0.21133	0.002			
		200	52.1	0.479	0.81266	-0.20744	0.002			
		220	51.8	0.482	0.807928	-0.21328	0.002			
		240	52	0.48	0.811083	-0.20938	0.002			
		260	50.2	0.498	0.782684	-0.24503	0.002			
		280	49.8	0.502	0.776371	-0.25312	0.002			
		300	50.8	0.492	0.792152	-0.233	0.002			
		320	49.5	0.505	0.771636	-0.25924	0.002			
		340	49.2	0.508	0.7669	-0.2654	0.002			
360	49	0.51	0.763742	-0.26952	0.002					
R1	0	52.9	0.471	1	0	0.002	0.000369	3.14159	5.980E-10	
	20	46.8	0.532	0.883517	-0.12385	0.002				
	40	46.1	0.539	0.870132	-0.13911	0.002				
	60	45.8	0.542	0.864395	-0.14573	0.002				
	80	44.8	0.552	0.845266	-0.1681	0.002				
	100	42	0.58	0.791667	-0.23361	0.002				
	120	41.6	0.584	0.784005	-0.24334	0.002				
	140	42.9	0.571	0.808901	-0.21208	0.002				
	160	43	0.57	0.810816	-0.20971	0.002				
	180	41.3	0.587	0.778258	-0.2507	0.002				
	200	42.2	0.578	0.795497	-0.22879	0.002				
	220	41.7	0.583	0.78592	-0.2409	0.002				
	240	42	0.58	0.791667	-0.23361	0.002				
	260	41.9	0.581	0.789751	-0.23604	0.002				
	280	42.5	0.575	0.801242	-0.22159	0.002				
	300	43.2	0.568	0.814645	-0.205	0.002				
	320	41.8	0.582	0.787836	-0.23847	0.002				
	340	42	0.58	0.791667	-0.23361	0.002				
360	42.7	0.573	0.805072	-0.21682	0.002					
R2	0	54.1	0.459	1	0	0.002	0.000362	3.14159	5.876E-10	
	20	47.6	0.524	0.878677	-0.12934	0.002				
	40	46.4	0.536	0.856247	-0.1552	0.002				
	60	44	0.56	0.811356	-0.20905	0.002				

		80	43.5	0.565	0.801999	-0.22065	0.002	0.000442	3.14159	7.166E-10	
		100	42.8	0.572	0.788896	-0.23712	0.002				
		120	41.8	0.582	0.770171	-0.26114	0.002				
		140	41.8	0.582	0.770171	-0.26114	0.002				
		160	41.9	0.581	0.772044	-0.25871	0.002				
		180	41.4	0.586	0.762679	-0.27092	0.002				
		200	41.3	0.587	0.760806	-0.27338	0.002				
		220	40.9	0.591	0.753313	-0.28328	0.002				
		240	42.1	0.579	0.775789	-0.25387	0.002				
		260	41.7	0.583	0.768298	-0.26358	0.002				
		280	42.8	0.572	0.788896	-0.23712	0.002				
		300	43.8	0.562	0.807613	-0.21367	0.002				
		320	42	0.58	0.773916	-0.25629	0.002				
		340	42	0.58	0.773916	-0.25629	0.002				
		360	42.7	0.573	0.787023	-0.2395	0.002				
	R3	0	54.3	0.457	1	0	0.002				
		20	48	0.52	0.882856	-0.12459	0.002				
		40	47.1	0.529	0.866099	-0.14376	0.002				
		60	46.2	0.538	0.849336	-0.1633	0.002				
		80	45.1	0.549	0.82884	-0.18773	0.002				
		100	44.1	0.559	0.810201	-0.21047	0.002				
		120	42.2	0.578	0.774766	-0.25519	0.002				
		140	43.3	0.567	0.795284	-0.22906	0.002				
		160	42.7	0.573	0.784094	-0.24323	0.002				
		180	42	0.58	0.771035	-0.26002	0.002				
		200	42.9	0.571	0.787824	-0.23848	0.002				
		220	42	0.58	0.771035	-0.26002	0.002				
		240	41.2	0.588	0.756107	-0.27957	0.002				
		260	42.7	0.573	0.784094	-0.24323	0.002				
		280	42.3	0.577	0.776632	-0.25279	0.002				
	300	42.4	0.576	0.778498	-0.25039	0.002					
	320	42.5	0.575	0.780363	-0.248	0.002					
	340	42.6	0.574	0.782228	-0.24561	0.002					
	360	42.5	0.575	0.780363	-0.248	0.002					
	6	R1	0	46.3	0.537	1	0				0.002
			20	43.3	0.567	0.934402	-0.06785				0.002
40			41.7	0.583	0.899381	-0.10605	0.002				
60			40.8	0.592	0.879671	-0.12821	0.002				
80			39.2	0.608	0.844612	-0.16888	0.002				
100			38	0.62	0.818301	-0.20052	0.002				
120			36.9	0.631	0.794171	-0.23046	0.002				
140			36.7	0.633	0.789783	-0.236	0.002				
160			38.2	0.618	0.822687	-0.19518	0.002				
180			37.3	0.627	0.802947	-0.21947	0.002				

		200	37	0.63	0.796365	-0.2277	0.002			
		220	37.2	0.628	0.800753	-0.2222	0.002			
		240	37.6	0.624	0.809528	-0.2113	0.002			
		260	37.9	0.621	0.816108	-0.20321	0.002			
		280	37.3	0.627	0.802947	-0.21947	0.002			
		300	37.1	0.629	0.798559	-0.22495	0.002			
		320	37.2	0.628	0.800753	-0.2222	0.002			
		340	37.3	0.627	0.802947	-0.21947	0.002			
		360	37.3	0.627	0.802947	-0.21947	0.002			
	R2	0	46.1	0.539	1	0	0.002	0.000393	3.14159	6.372E-10
		20	42.1	0.579	0.912128	-0.09197	0.002			
		40	40.3	0.597	0.872536	-0.13635	0.002			
		60	39.6	0.604	0.85713	-0.15417	0.002			
		80	38.7	0.613	0.837316	-0.17755	0.002			
		100	37.9	0.621	0.819697	-0.19882	0.002			
		120	36.5	0.635	0.788849	-0.23718	0.002			
		140	36.4	0.636	0.786644	-0.23998	0.002			
		160	36.4	0.636	0.786644	-0.23998	0.002			
		180	36.7	0.633	0.793257	-0.23161	0.002			
		200	37.8	0.622	0.817494	-0.20151	0.002			
		220	37.5	0.625	0.810885	-0.20963	0.002			
		240	37	0.63	0.799868	-0.22331	0.002			
		260	37.5	0.625	0.810885	-0.20963	0.002			
		280	36.8	0.632	0.795461	-0.22883	0.002			
		300	36.5	0.635	0.788849	-0.23718	0.002			
	320	36.8	0.632	0.795461	-0.22883	0.002				
	340	36.7	0.633	0.793257	-0.23161	0.002				
	360	36.8	0.632	0.795461	-0.22883	0.002				
	R3	0	46.2	0.538	1	0	0.002	0.000473	3.14159	7.663E-10
		20	43	0.57	0.929871	-0.07271	0.002			
		40	41.8	0.582	0.903547	-0.10143	0.002			
		60	40	0.6	0.864035	-0.14614	0.002			
		80	39	0.61	0.842071	-0.17189	0.002			
		100	38.1	0.619	0.822294	-0.19566	0.002			
		120	36.6	0.634	0.789317	-0.23659	0.002			
		140	36.5	0.635	0.787117	-0.23938	0.002			
		160	37.5	0.625	0.809106	-0.21183	0.002			
		180	37.1	0.629	0.800312	-0.22275	0.002			
		200	36.9	0.631	0.795914	-0.22826	0.002			
		220	37	0.63	0.798113	-0.22551	0.002			
		240	36.5	0.635	0.787117	-0.23938	0.002			
		260	37.2	0.628	0.80251	-0.22001	0.002			
		280	36.5	0.635	0.787117	-0.23938	0.002			
		300	36.6	0.634	0.789317	-0.23659	0.002			
	320	36.7	0.633	0.791516	-0.23381	0.002				
	340	36.5	0.635	0.787117	-0.23938	0.002				
	360	36.5	0.635	0.787117	-0.23938	0.002				

Anexo 10. Valores del contenido de betalaínas obtenidos por repetición

BETACIANINAS										
Tratamiento	Rep	PESO (g)	ABS (536)	Resultados	PM (g/mol)	ε (mol. L/cm)	b (cm)	betacianinas	X	DS
T ₁	R1	1	0.233	0.233	308	60000	4.5	0.027	0.031	0.004
	R2	1.0001	0.278	0.278	308	60000	4.5	0.032		
	R3	1.0002	0.296	0.296	308	60000	4.5	0.034		
T ₂	R1	1.0005	0.266	0.266	308	60000	4.5	0.030	0.034	0.004
	R2	1.0002	0.285	0.285	308	60000	4.5	0.033		
	R3	1.0001	0.333	0.333	308	60000	4.5	0.038		
T ₃	R1	1.0002	0.367	0.367	308	60000	4.5	0.042	0.040	0.003
	R2	1.0002	0.356	0.356	308	60000	4.5	0.041		
	R3	1.0003	0.316	0.316	308	60000	4.5	0.036		
T ₄	R1	1.0002	0.33	0.33	308	60000	4.5	0.038	0.038	0.001
	R2	1	0.344	0.344	308	60000	4.5	0.039		
	R3	1.0002	0.337	0.337	308	60000	4.5	0.038		
T ₅	R1	1	0.331	0.331	308	60000	4.5	0.038	0.038	0.000
	R2	1	0.333	0.333	308	60000	4.5	0.038		
	R3	1.0002	0.334	0.334	308	60000	4.5	0.038		
T ₆	R1	1.0002	0.391	0.391	308	60000	4.5	0.045	0.046	0.001
	R2	1	0.417	0.417	308	60000	4.5	0.048		
	R3	1.0002	0.403	0.403	308	60000	4.5	0.046		
T ₇	R1	1	0.484	0.484	308	60000	4.5	0.055	0.061	0.005
	R2	1	0.566	0.566	308	60000	4.5	0.065		
	R3	1.0002	0.55	0.55	308	60000	4.5	0.063		
T ₈	R1	1.0001	0.599	0.599	308	60000	4.5	0.068	0.071	0.004
	R2	1.0001	0.655	0.655	308	60000	4.5	0.075		
	R3	1.0005	0.602	0.602	308	60000	4.5	0.069		
T ₉	R1	1	0.579	0.579	308	60000	4.5	0.066	0.069	0.003
	R2	1.0001	0.631	0.631	308	60000	4.5	0.072		
	R3	1.0002	0.597	0.597	308	60000	4.5	0.068		

BETAXANTINAS									
Tratamiento	Rep	ABS (476)	Resultados	PM (g/mol)	ξ (mol. L/cm)	b (cm)	betacinas	X	DS
T ₁	R1	0.189	0.189	540.48	48000	4.5	0.047	0.051	0.004
	R2	0.215	0.215	540.48	48000	4.5	0.054		
	R3	0.211	0.211	540.48	48000	4.5	0.053		
T ₂	R1	0.229	0.229	540.48	48000	4.5	0.057	0.055	0.003
	R2	0.209	0.209	540.48	48000	4.5	0.052		
	R3	0.223	0.223	540.48	48000	4.5	0.056		
T ₃	R1	0.24	0.24	540.48	48000	4.5	0.060	0.061	0.004
	R2	0.26	0.26	540.48	48000	4.5	0.065		
	R3	0.232	0.232	540.48	48000	4.5	0.058		
T ₄	R1	0.249	0.249	540.48	48000	4.5	0.062	0.063	0.001
	R2	0.254	0.254	540.48	48000	4.5	0.064		
	R3	0.251	0.251	540.48	48000	4.5	0.063		
T ₅	R1	0.222	0.222	540.48	48000	4.5	0.056	0.058	0.003
	R2	0.228	0.228	540.48	48000	4.5	0.057		
	R3	0.242	0.242	540.48	48000	4.5	0.061		
T ₆	R1	0.252	0.252	540.48	48000	4.5	0.063	0.064	0.002
	R2	0.268	0.268	540.48	48000	4.5	0.067		
	R3	0.251	0.251	540.48	48000	4.5	0.063		
T ₇	R1	0.352	0.352	540.48	48000	4.5	0.088	0.095	0.007
	R2	0.408	0.408	540.48	48000	4.5	0.102		
	R3	0.383	0.383	540.48	48000	4.5	0.096		
T ₈	R1	0.427	0.427	540.48	48000	4.5	0.107	0.110	0.003
	R2	0.452	0.452	540.48	48000	4.5	0.113		
	R3	0.439	0.439	540.48	48000	4.5	0.110		
T ₉	R1	0.407	0.407	540.48	48000	4.5	0.102	0.107	0.006
	R2	0.457	0.457	540.48	48000	4.5	0.114		
	R3	0.424	0.424	540.48	48000	4.5	0.106		

Anexo 11. Valores de la capacidad antioxidante por repetición.

		ABS (DPPH)	ABS (muestra)	Concentración (mg/mL)	a	b	Intercepto de la ecuación (X)	P(g)	V(ml)	Trolox (g)	Factor de dilución (1:10)	CA (umol Trolox/g de muestra)	X	DS
T1	R1	0.927	0.755	0.107	-1.217	0.885	0.107	0.1	10	0.005	10	0.534	0.793	0.237
	R2	0.927	0.642	0.199	-1.217	0.885	0.200	0.1	10	0.005	10	0.998		
	R3	0.927	0.679	0.169	-1.217	0.885	0.169	0.1	10	0.005	10	0.846		
T2	R1	0.927	0.704	0.149	-1.217	0.885	0.149	0.1	10	0.005	10	0.744	0.682	0.064
	R2	0.927	0.718	0.137	-1.217	0.885	0.137	0.1	10	0.005	10	0.686		
	R3	0.927	0.735	0.123	-1.217	0.885	0.123	0.1	10	0.005	10	0.616		
T3	R1	0.927	0.716	0.139	-1.217	0.885	0.139	0.1	10	0.005	10	0.694	0.845	0.137
	R2	0.927	0.671	0.176	-1.217	0.885	0.176	0.1	10	0.005	10	0.879		
	R3	0.927	0.651	0.192	-1.217	0.885	0.192	0.1	10	0.005	10	0.961		
T4	R1	0.927	0.631	0.209	-1.217	0.885	0.209	0.1	10	0.005	10	1.044	0.970	0.076
	R2	0.927	0.668	0.178	-1.217	0.885	0.178	0.1	10	0.005	10	0.892		
	R3	0.927	0.648	0.195	-1.217	0.885	0.195	0.1	10	0.005	10	0.974		
T5	R1	0.927	0.680	0.168	-1.217	0.885	0.168	0.1	10	0.005	10	0.842	0.878	0.055
	R2	0.927	0.678	0.170	-1.217	0.885	0.170	0.1	10	0.005	10	0.850		
	R3	0.927	0.656	0.188	-1.217	0.885	0.188	0.1	10	0.005	10	0.941		
T6	R1	0.927	0.750	0.111	-1.217	0.885	0.111	0.1	10	0.005	10	0.555	0.648	0.165
	R2	0.927	0.751	0.110	-1.217	0.885	0.110	0.1	10	0.005	10	0.551		
	R3	0.927	0.681	0.167	-1.217	0.885	0.168	0.1	10	0.005	10	0.838		
T7	R1	0.927	0.642	0.200	-1.217	0.885	0.200	0.1	10	0.005	10	0.998	0.929	0.110
	R2	0.927	0.645	0.198	-1.217	0.885	0.197	0.1	10	0.005	10	0.986		
	R3	0.927	0.690	0.199	-1.217	0.885	0.160	0.1	10	0.005	10	0.801		
T8	R1	0.927	0.633	0.189	-1.217	0.885	0.207	0.1	10	0.005	10	1.035	0.983	0.046
	R2	0.927	0.644	0.197	-1.217	0.885	0.198	0.1	10	0.005	10	0.990		
	R3	0.927	0.660	0.185	-1.217	0.885	0.185	0.1	10	0.005	10	0.924		
T9	R1	0.927	0.663	0.182	-1.217	0.885	0.182	0.1	10	0.005	10	0.912	0.975	0.099
	R2	0.927	0.620	0.217	-1.217	0.885	0.218	0.1	10	0.005	10	1.089		
	R3	0.927	0.660	0.184	-1.217	0.885	0.185	0.1	10	0.005	10	0.924		