



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUÍZ GALLO”**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

Variación del contenido de fenoles totales y betalaínas
durante el proceso productivo y de almacenamiento de
néctar de tuna (*Opuntia ficus indica*)

TESIS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO(A) DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

AUTORES:

Bach.: Carranza Manayay Segundo German

Bach.: Suysuy Pinglo Diana Elizabeth

ASESOR:

M. Sc. James Jenner Guerrero Braco - ORCID 0000-0003-3028-9493

LAMBAYEQUE

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUÍZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Variación del contenido de fenoles totales y betalainas durante
el proceso productivo y de almacenamiento de néctar de tuna
(Opuntia ficus indica)

TESIS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO (A) DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Sustentada y aprobada ante el siguiente
jurado:

Dra. Tarcila Amelia Cabrera Salazar
PRESIDENTE

M. Sc. Juan Francisco Robles Ruiz
SECRETARIO

Ing. Héctor Lorenzo Villa Cajavilca
VOCAL

Dr. James Jenner Guerrero Braco
ASESOR

LAMBAYEQUE

2022



ACTA DE SUSTENTACIÓN N°071-2022-UINV-FIQIA-VIRTUAL



Siendo las 9:30 am del día 03 de octubre del 2022, se reunieron vía plataforma virtual, meet.google.com/yyc-awiu-eyi los miembros de jurado evaluador de la Tesis Titulada: **“Variación del contenido de fenoles totales y Betalainas durante el proceso productivo y almacenamiento de néctar de tuna (*Opuntia ficus indica*).”**; designados por Decreto N°273-2019-UINV-FIQIA de fecha 28/10/19 con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformados por los siguientes docentes:

- | | |
|---|------------|
| ✓ Presidente: Dra. Tarcila A. Cabrera Salazar | Presidente |
| ✓ Secretario: M.Sc. Juan Francisco Robles Ruiz | Secretario |
| ✓ Vocal: Ing. Hector Lorenzo Villa Cajavilca | Vocal. |

La tesis fue asesorada por el **M.Sc. James Jenner Guerrero Braco**; nombrado (a) por Decreto N°239-2019-UINV-FIQIA de fecha 23/09/2019. El acto de sustentación fue autorizado por Res. N°3169-2022-D-FIQIA-VIRTUAL fecha 20/09/2022. La Tesis fue presentada y sustentada por los Bachilleres: **CARRANZA MANAYAY SEGUNDO GERMAN y SUYSUY PINGLO DIANA ELIZABETH**; y tuvo una duración de 60 minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado; se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el calificativo de (17) (DIECISIETE) en la escala vigesimal, mención BUENO. Por lo que quedan APTOS para obtener el Título Profesional **de Ingeniero (a) de Industrias Alimentarias** de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 10:30 am se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto, con la firma de los miembros del jurado.

Firmas

Presidente

Dra. Tarcila A. Cabrera Salazar

Secretario

M.Sc. Juan Francisco Robles Ruiz

Vocal

Ing. Héctor Lorenzo Villa Cajavilca

Asesor

M.Sc. James J. Guerrero Braco

CONSTANCIA DE VERIFICACION DE ORIGINALIDAD

Dr. JAMES JENNER GUERRERO BRACO, usuario (a) revisor de la Tesis titulada: Variación del contenido de fenoles totales y betalainas durante el proceso productivo y de almacenamiento de néctar de tuna (*Opuntia ficus indica*).

Cuyo autor (es) son: **Carranza Manayay Segundo German** con DNI N°73964438 y **Suysuy Pinglo Diana Elizabeth** con DNI N°48328200; declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud **18%**, verificables en el Resumen del Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito (a) analizó reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos,

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 16 de setiembre del 2022



Firma asesor (a)

Nombres y Apellidos: **James Jenner Guerrero Braco**
DNI N° 16703920

Adjunta:

Resumen de Reporte automatizado de similitudes
Recibo digital

Variación del contenido de fenoles totales y betalaínas durante el proceso productivo y de almacenamiento de néctar de tuna (*Opuntia ficus indica*)

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%	18%	4%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unprg.edu.pe:8080 Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	1%
6	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	1%
7	www.redalyc.org Fuente de Internet	1%
8	sqperu.org.pe Fuente de Internet	1%


Dr. James Jenner Guerrero Braco
Asesor
16703920

9	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.unica.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	www.scielo.cl Fuente de Internet	<1 %
12	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	www.cienciadigital.org Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	<1 %
15	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	revistas.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	"SELECCIÓN DEL MEJOR PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE POMELO EN POLVO (Citrus Paradisi) DE ALTA CALIDAD NUTRITIVA, FUNCIONAL Y SENSORIAL", 'Universitat Politecnica de Valencia' Fuente de Internet	<1 %
18	brazilianjournals.com Fuente de Internet	<1 %



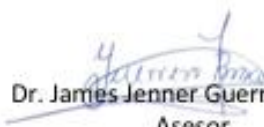
Dr. James Jenner Guerrero Braco

Asesor
16703920

19	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	T.G. Liu, B.C. Khoo, K.S. Yeo. "Ghost fluid method for strong shock impacting on material interface", Journal of Computational Physics, 2003 Publicación	<1 %
21	biotecnia.unison.mx Fuente de Internet	<1 %
22	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
23	Repositorio.Unsa.Edu.Pe Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.inia.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
25	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
26	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
27	pesquisa.bvsalud.org Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.ulcb.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.upct.es Fuente de Internet	<1 %


 Dr. James Jenner Guerrero Braco
 Asesor
 16703920

30	repository.unad.edu.co Fuente de Internet	<1 %
31	www.alanrevista.org Fuente de Internet	<1 %
32	Submitted to Universidad Católica San Pablo Trabajo del estudiante	<1 %
33	Submitted to Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba Trabajo del estudiante	<1 %
34	repositorio.espam.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
36	melbourneinstitute.com Fuente de Internet	<1 %
37	Submitted to 94839 Trabajo del estudiante	<1 %
38	Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León Trabajo del estudiante	<1 %
39	www.clubensayos.com Fuente de Internet	<1 %
40	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %


 Dr. James Jenner Guerrero Braco
 Asesor
 16703920



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Segundo Y Diana Carranza Y Suysuy
Título del ejercicio:	"Variación del contenido de fenoles totales y betalainas dura...
Título de la entrega:	"Variación del contenido de fenoles totales y betalainas dura...
Nombre del archivo:	RANZA_MANAYAY_SEGUNDO_GERMAN-_SUYSUY_PINGLO_DI...
Tamaño del archivo:	5.04M
Total páginas:	73
Total de palabras:	13,081
Total de caracteres:	71,903
Fecha de entrega:	17-mar.-2023 03:15a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre...	2039225307



Derechos de autor 2023 Turnitin. Todos los derechos reservados.


 Dr. James Jenner Guerrero Braco
 Asesor
 16703920

AGRADECIMIENTO

Primero a **DIOS** por darnos la vida, la salud y permitirnos haber vivido gratas experiencias durante nuestra etapa universitaria habiendo culminado con éxito la carrera.

Al M. Sc. James Jenner Guerrero Braco, nuestro Asesor, por habernos dedicado parte de su tiempo, orientado en el desarrollo de nuestra tesis y habernos acompañado en este proceso a pesar de las limitaciones debido a la coyuntura de estos últimos años, respaldando nuestro proyecto de investigación.

Al Ing. William Sánchez Chávez, nuestro Co-Asesor, por su disposición, colaboración y por transmitirnos sus conocimientos durante el desarrollo de nuestro proyecto.

A todos nuestros docentes y las personas que se involucraron dedicando su tiempo y esfuerzo en la realización de este trabajo que finalmente hemos culminado.

GERMAN Y DIANA

DEDICATORIA

A Santos Carranza Montalvo y Marilú Manayay Tolentino, mis padres, por su apoyo y confianza incondicional, por haberme enseñado que con esfuerzo, perseverancia y dedicación ante cualquier obstáculo se pueden cumplir sueños y metas.

A mis abuelitas Santos Montalvo Ramos y Rosa Tolentino Matos por llevarme siempre en sus oraciones y no desviarme del camino.

A mis hermanos: Christian Urbano, Jhonatan Arturo, Edwin Fernando, Marco Antonio y Zedany Ronaldo; a mis primos y tíos que siempre me alentaron para cumplir con mis metas.

A mi señorita enamorada Diana Elizabeth

A mis amigos y docentes por compartir sus conocimientos transmitidos durante mi formación universitaria.

GERMAN

DEDICATORIA

Primero a **Dios** por ser mi guía y mi fortaleza, para ser mejor cada día.

A mis padres Flor de María Pinglo Chunga y Julio Antonio Suysuy Carrasco por ser un estímulo y un gran ejemplo de amor, esfuerzo y sacrificio, por darme su apoyo, confianza y encaminarme siempre para poder lograr cada meta trazada.

A mis hermanas Rossy y Lucy porque me motivaron a no rendirme.

A mis abuelos José Alejandro y María Natividad, a la memoria de Irma y Miguel por ser ese ejemplo de maestros y padres a la vez y en especial a mi mamá Rosa Suysuy Chepe y José Humberto Chonate Prada por haber dejado una huella muy grande de amor en mi alma que el tiempo no podrá borrar.

A mis tíos, amigos, docentes y a mí casa de estudios por permitir mi formación en tan reconocida escuela. A todos ellos muchas gracias.

DIANA

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	X
DEDICATORIA.....	XI
DEDICATORIA.....	XII
INDICE DE CONTENIDO	XIII
INDICE DE TABLAS	XV
INDICE DE FIGURAS	XVII
RESUMEN	XVIII
ABSTRACT	XIX
INTRODUCCIÓN	20
I. ANTECEDENTES Y BASES TEÓRICAS.....	22
1.1. Antecedentes	22
1.2. Base Teórica.....	24
1.2.1. Tuna.....	24
1.2.2. Compuestos Fenólicos	26
1.2.3. Betalaínas.....	28
1.2.4. Néctar de tuna	30
1.2.4.1 Composición del néctar de tuna roja.....	30
1.2.4.2 Elaboración del néctar de tuna roja.....	32
1.2.5. Cinética aplicada en los alimentos	34
II. MÉTODO Y MATERIALES	42
2.1. Marco Metodológico	42
2.1.1. Operacionalización de variables	42
2.1.2. Diseño de contrastación de la hipótesis.....	42
2.1.3. Población y muestra.....	44
2.1.4. Materiales, técnicas e instrumentos de recolección de datos.	44
2.1.5. Análisis estadístico	47
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
3.1. Caracterización de la tuna roja	49
3.2. Contenido de fenoles totales y betalaínas durante el proceso productivo de néctar de tuna roja	49
3.3. Contenido de fenoles totales y betalaínas durante el almacenamiento de néctar de tuna roja	55

3.4. Modelamiento cinético del contenido de fenoles totales y betalaínas durante el proceso productivo de néctar de tuna roja y su almacenamiento.....	62
IV. DISCUSIONES	65
V. CONCLUSIONES	68
VI. RECOMENDACIONES	69
VII. BIBLIOGRAFÍA	70
VIII. ANEXOS	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica.....	25
Tabla 2. Composición proximal de la tuna roja (g/100g fruta)	25
Tabla 3. Clasificación de los compuestos fenólicos.....	27
Tabla 4. Composición bromatológica del néctar de tuna roja	30
Tabla 5. Operacionalización de variables.....	42
Tabla 6. DCA para determinar el contenido de fenoles totales y betalaínas después del proceso de pre-cocción para obtener néctar de tuna	43
Tabla 7. DCA para determinar el contenido de fenoles totales y betalaínas después del proceso de pasteurización para obtener néctar de tuna	43
Tabla 8. DCA para determinar el contenido de fenoles totales y betalaínas después del proceso de envasado para obtener néctar de tuna	43
Tabla 9. DCA para determinar el contenido fenoles totales y betalaínas durante el almacenamiento del néctar de tuna a temperatura ambiente	44
Tabla 10. ANOVA con un nivel de significancia ($\alpha=5\%$)	47
Tabla 11. Caracterización fisicoquímica de la tuna roja	49
Tabla 12. Resultados promedios y desviación estándar de Fenoles totales durante el proceso productivo de néctar de tuna roja.....	50
Tabla 13. ANOVA para Fenoles totales por proceso.....	50
Tabla 14. Resultados de la prueba Tukey en el contenido de Fenoles totales durante el proceso productivo de néctar de tuna roja.....	51
Tabla 15. Resultados promedios y desviación estándar de Betacianinas	52
Tabla 16. ANOVA para Betacianinas por proceso	53
Tabla 17. Resultados de la prueba Tukey en el contenido de Betacianinas durante el proceso productivo de néctar de tuna roja.....	53
Tabla 18. Resultados promedios y desviación estándar de Betaxantinas.....	54
Tabla 19. ANOVA para Betaxantinas por proceso	55
Tabla 20. Promedio y desviación estándar del contenido de Fenoles totales y Betalaínas durante el almacenamiento de néctar de tuna roja	56
Tabla 21. ANOVA para Fenoles totales por tiempo de almacenamiento	56
Tabla 22. Pruebas de múltiples rangos para Fenoles totales por tiempo de almacenamiento	57
Tabla 23. ANOVA para Betacianinas por tiempo de almacenamiento.....	58
Tabla 24. Pruebas de múltiples rangos para Betacianinas por tiempo de almacenamiento.....	59

Tabla 25. ANOVA para Betaxantinas por tiempo de almacenamiento.....	60
Tabla 26. Pruebas de múltiples rangos para Betaxantinas por tiempo de almacenamiento	61
Tabla 27. Parámetros de modelos cinéticos para fenoles totales	62
Tabla 28. Parámetros de modelos cinéticos para betacianinas	63
Tabla 29. Parámetros de modelos cinéticos para Betaxantinas	64

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura básica de los compuestos fenólicos	26
Figura 2. Estructura básica de las betacianinas (A) y betaxantinas (B)	29
Figura 3. Diagrama de flujo para la elaboración de néctar de tuna.	32
Figura 4. Representación gráfica de la pérdida de factor de calidad deseable [A] y la formación de factores no deseables [B], si $n=0$	36
Figura 5. Representación gráfica de la pérdida de factor de calidad deseable [A] y la formación de factores no deseables [B], si $n=1$	38
Figura 6. Representación gráfica de la pérdida de factor de calidad deseable [A] y la formación de factores no deseables [B], expresado de manera lineal $n=1$	38
Figura 7. Representación gráfica del modelo de Arrhenius donde el eje de las abscisas (x) se encuentra la inversa de la temperatura (k) y en el eje de las ordenadas (y) se encuentra $\ln(k)$	41
Figura 8. Gráfico de medias para Fenoles totales durante el proceso productivo del néctar de tuna roja.....	51
Figura 9. Gráfico de medias para Betacianinas durante el proceso productivo del néctar de tuna roja.....	54
Figura 10. Gráfico de medias para Betaxantinas durante el proceso productivo del néctar de tuna roja.....	55
Figura 11. Gráfico de medias para Fenoles totales durante el almacenamiento del néctar de tuna roja.....	57
Figura 12. Gráfico de medias para Betacianinas durante el almacenamiento del néctar de tuna roja.....	59
Figura 13. Gráfico de medias para Betaxantinas durante el almacenamiento del néctar de tuna roja.....	61
Figura 14. Gráfico de modelos cinéticos para Fenoles totales durante el almacenamiento del néctar de tuna roja.....	62
Figura 15. Gráfico de modelos cinéticos para Betacianinas durante el almacenamiento del néctar de tuna roja.....	63
Figura 16. Gráfico de modelos cinéticos para Betaxantinas durante el almacenamiento del néctar de tuna roja.....	64

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar la variación del contenido de fenoles totales y betalaínas durante el proceso productivo y de almacenamiento de néctar de tuna (*Opuntia ficus indica*). Se realizó una caracterización fisicoquímica de la materia prima (tuna roja) para ver su composición. Para este estudio se utilizó un diseño completamente al azar, para determinar la variación del contenido de fenoles totales y betalaínas, durante tres etapas del proceso productivo (pre-cocción, pasteurización y envasado) y almacenamiento de néctar de tuna. También se realizó el modelo cinético de mayor ajuste a la variación de fenoles totales y betalaínas durante almacenamiento por 6 días. Al final del estudio se obtuvo como resultado que la tuna roja obtuvo una humedad de 79.43%, proteínas 1.59%, lípidos 0.1%, carbohidratos 14.66%, fibra 3.75%, ceniza 0.5%, betacianinas 15.40 mg EB/100 mL de muestra, betaxantinas 25.60 mg EB/100 mL de muestra y fenoles totales 158.542 mg EAG/100 mL de muestra. Los mejores parámetros para la obtención de néctar de tuna son de 100°C en la pre-cocción, 85°C en la pasteurización y 85°C en el envasado. El modelo cinético de mayor ajuste a la variación de fenoles totales y betalaínas es el de primer orden, obteniéndose un 95%, la degradación de los fenoles totales, un 92% la degradación de betacianinas y en un 96% las betaxantinas del néctar de tuna durante su almacenamiento. Finalmente, el tiempo de vida media para fenoles totales, betacianinas y betaxantinas fue en promedio de 2; 1 y 2 respectivamente.

Palabras claves: tuna roja, fenoles totales, betalaínas.

ABSTRACT

The present investigation aims to determine the variation of the content of total phenols and betalains during the production process and storage of prickly pear nectar (*Opuntia ficus indica*). A physicochemical characterization of the raw material (red prickly pear) was carried out to see its composition. For this study, a completely randomized design was used to determine the variation in the content of total phenols and betalains, during three stages of the production process (pre-cooking, pasteurization and packaging) and storage of prickly pear nectar. The kinetic model of the best fit to the variation of total phenols and betalains during storage for 6 days was also carried out. At the end of the study, the result was that the red prickly pear obtained a humidity of 79.43%, proteins 1.59%, lipids 0.1%, carbohydrates 14.66%, fiber 3.75%, ash 0.5%, betacyanins 15.40 mg EB/100 mL of sample, betaxanthins 25.60 mg EB/100 mL of sample and total phenols 158.542 mg EAG/100 mL of sample. The best parameters for obtaining prickly pear nectar are 100°C in pre-cooking, 85°C in pasteurization and 85°C in packaging. The kinetic model with the best fit to the variation of total phenols and betalains is the first order, obtaining 95% degradation of total phenols, 92% degradation of betacyanins and 96% betaxanthins from prickly pear nectar. during storage. Finally, the half-life time for total phenols, betacyanins and betaxanthins was on average 2; 1 and 2 respectively.

Keywords: red prickly pear, total phenols, betalains.

INTRODUCCIÓN

Los compuestos fenólicos son muy importantes en la industria alimentaria como colorantes naturales y compuestos beneficiosos para la salud. Como colorantes representan una alternativa para los colorantes sintéticos, que muchas veces terminan siendo negativos para la salud. Sus beneficios están relacionados por su capacidad antioxidante, lo cual puede prevenir enfermedades como el cáncer, diabetes, problemas cardiovasculares, entre otros (Abarca y Petricevich, 2019; Cereceres et al., 2019).

Las betalaínas son compuestos fenólicos con potente poder antioxidante, presentes en pocos alimentos. Las betalaínas se utilizan en la industria alimentaria como aditivo, principalmente como colorante, estas se caracterizan por tener tonalidades rojos y amarillos (Flores et al., 2019).

La tuna púrpura representa una buena fuente de compuestos fenólicos, como las betalaínas (Agis et al., 2019). Se produce mayormente en la región de Ayacucho, también en Huancavelica y Apurímac, creciendo de forma silvestre en nuestra sierra peruana (Nayhua, 2017).

Uno de los problemas que se presenta en los compuestos fenólicos, como las betalaínas, es su escasa disponibilidad para el consumo. Asimismo, estos compuestos son muy susceptibles a degradarse durante el procesamiento del alimento que lo contiene y durante el almacenamiento, perdiendo los atributos de color y capacidad antioxidante (Flores et al., 2019).

Una solución a este problema puede ser industrializar la tuna roja, es decir utilizar esta materia prima para producir néctar de tuna. Sin embargo, el proceso incluye las etapas de pre-cocción, pasteurización y almacenamiento, las cuales implican condiciones de temperatura mayor a las del medio ambiente sobre todo en las dos primeras etapas antes mencionadas. Estas condiciones podrían representar un nuevo problema, ya que la teoría indica que los compuestos fenólicos son termolábiles. Por eso, en este trabajo se plantea experimentar con temperaturas de precocción y pasteurización menores a las comúnmente estandarizadas en un proceso de néctar.

Entonces por lo descrito en el párrafo anterior, surge un vacío de conocimiento respecto a si la variación es significativa de fenoles totales y betalaínas durante el proceso productivo experimental (tuna roja a néctar de tuna) y también durante el almacenamiento del producto final (néctar de tuna). En este sentido, surge como pregunta de investigación ¿Varía el contenido de fenoles totales y betalaínas durante el proceso productivo y de almacenamiento de néctar de tuna (*Opuntia ficus indica*)?

Para responder esta pregunta se planteó como objetivo general, determinar la variación del contenido de fenoles totales y betalaínas durante el proceso productivo y de almacenamiento de néctar de tuna (*Opuntia ficus indica*). Logrando plantear los siguientes objetivos específicos: a) Determinar el contenido de humedad, proteínas, lípidos, carbohidratos, fibra, fenoles totales y betalaínas en la tuna roja; b) Determinar el contenido de fenoles totales y betalaínas después de la pre-cocción, pasteurización y el envasado del proceso para obtener néctar de tuna; c) Determinar el contenido fenoles totales y betalaínas durante el almacenamiento del néctar de tuna; d) Determinar el modelo cinético de mayor ajuste a la variación de fenoles totales y betalaínas. Asimismo, el tiempo de vida media de estos compuestos.

I. ANTECEDENTES Y BASES TEÓRICAS

1.1. Antecedentes

Fabela et al. (2022), identificaron los compuestos bioactivos y caracterizaron fisicoquímicamente la harina de cladodios de *Nopalea cochenillifera* (L.), un tipo de nopal poco conocido. Esta harina presentó, una humedad de 4.6%, proteína 6.44%, lípidos 1.20%, carbohidratos 75.16%, ceniza 17.2%, pH de 5.1, 6.9°Brix, un alto contenido en fibra dietética de 18.41%, fenoles totales solubles 207.92 mg EAG/100g base seca y polifenoles hidrolizables 647.99 mg EAG/100 g base seca. De acuerdo a los resultados establecidos, esta harina es un recurso que proporciona gran cantidad de compuestos bioactivos, siendo útil como ingrediente funcional en la elaboración de otros alimentos.

Pesantes, Higinio, Reaño y Orellana (2022), establecieron parámetros adecuados para maximizar la retención de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos en la elaboración de néctar de pitahaya roja, evaluando previamente su pulpa (diluida en agua 1:3 pulpa/agua) y después de realizar cada fase del proceso como escaldado, en 3 tiempos, de 3; 5 y 7 min. 90°C y pasteurizado, en 3 tratamientos térmicos de 30.2 min por 85°C; 22.7 min. por 90°C y 14.9 min. por 95°C. Resultando que, con 7 minutos de escaldado por 90°C se obtiene un rendimiento de 75.5% en el pulpeado y con un pasteurizado de 14.9 min. por 95°C, se tuvieron los mayores valores promedios de capacidad antioxidante con 1808.58 $\mu\text{mol Trolox eq./g}$ y compuestos activos como fenoles totales con 1187.46 mg de EAG/100 g de muestra seca (m.s.), vitamina C con 9.73 mg de ácido ascórbico/100 g de m.s. y betalaínas totales con 337.24 mg de mg de betalaínas totales/100 g de m.s.

Lagua, Garzón, Domínguez y Alta (2020), elaboraron una bebida nutritiva a partir de nopal, enriquecida y saborizada con jugo de maracuyá. Se adicionaron pequeños cortes de hoja de nopal de 0.55g, jugo de maracuyá de 250 mL y azúcar refinada. Estableciendo 9 tratamientos por evaluación, teniendo como ganador sensorialmente al T6 con 15% de cortes de nopal y 85% de jugo de maracuyá endulzado con 12% de azúcar, teniendo un contenido de proteína de 1.29% y ceniza 0.5% y características microbiológicas de acuerdo a los límites permitidos. Los parámetros de pH (3- 4.9), °Brix y densidad, luego de 72 horas se mantuvieron estables, existiendo una ligera precipitación de los cortes finos de hojas de

nopal, por su densidad variable a la del jugo; concluyendo que, se elaboró una bebida de características nutricionales, sensoriales y microbiológicas, óptimas y aptas para el consumo humano.

Apaza (2017), en su investigación, determinaron la extracción de pigmentos de ayrampo (color guinda oscuro), una planta cactácea de zonas áridas, evaluando fenoles totales, betalainas totales y capacidad antioxidante. Las semillas de ayrampo, se secaron a 40°C por 1 día, luego se almacenaron en bolsas de polietileno, teniendo como características fisicoquímicas 1.5% de lípidos, 5.65% de proteínas, 2.86% de cenizas, 4.20% de humedad y 85.79% de carbohidratos; para el análisis de extracción de compuestos, se utilizó etanol de 96°, relación de 0:100 y 80:20 (etanol:agua), cada uno con pH de 3 y 5, a temperaturas de 40 y 80°C, por 10 y 30 minutos, evaluando posteriormente los compuestos activos. Para la determinación de polifenoles totales se estableció que, la temperatura, el porcentaje del solvente, pH y el tiempo de extracción influyen el contenido de fenoles totales variando de 27.79-61.46 mg GAE/g de ayrampo seco (a.s.), como también en betacianinas con valores de 1.40-6.94 mg/g de a.s. y capacidad antioxidante de 0.82-2.02 $\mu\text{mol Trolox/g}$ de a.s.

Rojas, Repo y Encina (2017), en su investigación, establecieron parámetros para la elaboración de néctar de tomate de árbol, reteniendo y evaluando la mayor capacidad de vitamina C (28.83 mg de ácido ascórbico/100g), fenoles totales (100.55 mg ácido gálico equivalente/100g), carotenoides (4.27 mg β -caroteno/100g) y actividad antioxidante (3.31 $\mu\text{mol Trolox/g}$, método DPPH y 4.65 $\mu\text{mol Trolox/g}$ método ABTS) de la pulpa. Resultando captar una mayor cantidad de los compuestos bioactivos y actividad antioxidante en el néctar, con valores promedios de pH 3.34, 13°Brix, 0.41% de acidez titulable, 0.24% de proteína, 0.12% de grasa, 0.23% de fibra bruta, 0.25% de ceniza, 9.71% de carbohidratos y 89.45% de humedad, con una dilución 1: 2.5 pulpa: agua y a una pasteurización de 99.5°C por 1 min.; presentando un contenido de 1.68 mg β -caroteno/100g de carotenoides totales, 11.45mg de ácido ascórbico/100g de vitamina C, 32.96 mg AGE/100g de fenoles totales y capacidad antioxidante por el método DPPH de 1.38 $\mu\text{mol Trolox/g}$ y por el método ABTS de 2 $\mu\text{mol Trolox/g}$.

Vidaurre, Díaz, Mendoza y Solano (2017), determinaron la capacidad antioxidante, fenoles totales, flavonoides y betalaínas, en dos variedades de quinua. Para este estudio se realizaron los análisis de estos compuestos inmediatamente después del proceso de lavado, secado y cocción. Al final del estudio se obtuvo como resultado pérdidas significativas de compuesto fenólicos totales después del proceso de lavado (variedad collana (v.c.) inicial de 142.3 mg EAG/ 100g base seca (b.s.), luego pérdida de 49% y en la variedad pasankalla (v.p.) inicial de 108.9 mg EAG/ 100g b.s, luego pérdida de 51%), pero se mantuvo estable durante el secado y cocción; los flavonoides se mantuvieron estables durante el lavado (v.c. con 60.34 mg EC/100g b.s y v.p. con 45.67 mg EC/100g b.s) pero con pérdidas de 80- 95% durante el secado y cocción; y las betalaínas (v.c. con 0.17 mg/100g y v.p. con 0.13 mg/100g), se mantuvieron estables durante el lavado y secado, pero no en la cocción, teniendo valores entre 0.04- 0.06 mg/100g de betalaínas. Las dos variedades de quinuas analizadas, por su capacidad antioxidante son excelentes fuentes de alimento.

1.2. Base Teórica

1.2.1. Tuna

1.2.1.1. Descripción

Perteneciente a la familia *Cactaceae*, posee frutos comestibles y de sabor agradable, cuenta con una variedad de tamaños y colores entre ellos tenemos la tuna roja, verde, morada o púrpura y la de color amarillo-naranja, se ha demostrado que la tuna tiene propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, anticancerígenas, entre otras (Carmona, 2020).

1.2.1.2. Clasificación taxonómica

Opuntia ficus – indica Mill., nombre científico de la tuna, pertenece a la familia de los *Cactaceae*, a continuación, se presenta su clasificación taxonómica:

Tabla 1*Clasificación taxonómica*

REINO	<i>Plantae</i>
DIVISIÓN	<i>Magnoliophyta</i>
CLASE	<i>Magnoliopsida</i>
ORDEN	<i>Caryophyllales</i>
FAMILIA	<i>Cactaceae</i>
ESPECIE	<i>Opuntia ficus – indica Mill.</i>

Nota. Adaptado de Nayhua (2017).

1.2.1.3. Variedades

La tuna se caracteriza por tener unos frutos pulposos, grandes, dulces y con unas predominantes espinas que pueden ser muy molestas al momento de la cosecha, asimismo generan gran incomodidad si se llegara a incrustar en la piel puesto que son muy diminutas y poco perceptibles. Existen 4 variedades en la familia de las *Cactaceae* las cuales se diferencian según color de la cáscara (verde-amarillo; naranja- amarillo; roja- verde y morada) y pulpa (blanca; naranja; roja y morada), respectivamente (Nayhua, 2017; Carmona, 2020).

1.2.1.4. Tuna roja

La pulpa del fruto, posee un pH de $5,32 \pm 0,57$ y grados Brix que oscilan $12 \pm 1,00$ (Palmer, 2020). Estos son indicadores del grado de madurez de la fruta.

1.2.1.5. Composición de la tuna roja

En cuanto a la composición proximal de la tuna roja (g/100g fruta) se muestra en la siguiente Tabla 2:

Tabla 2*Composición proximal de la tuna roja (g/100g fruta)*

Componentes	%
Humedad	85-95
Cenizas	0.2-0.5

Proteína cruda	0.5-2
Fibra cruda	0.02-0.5
Grasa cruda	0.1-0.5
Carbohidratos	5-15

Nota. Adaptado de Nayhua (2017), Paucara (2017), Moreno (2019) y Palmer (2020).

1.2.2. Compuestos Fenólicos

1.2.2.1. Descripción

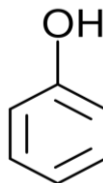
Los compuestos fenólicos se encuentran en gran cantidad y de forma natural tanto en frutas y vegetales, siendo de gran aporte a nuestra dieta diaria. Asimismo, muestra una relación con las características sensoriales de los alimentos, que son de gran interés nutricional a la salud humana (Cereceres et al., 2019).

1.2.2.2. Configuración molecular

Los compuestos fenólicos poseen un anillo fenol y un anillo aromático que tiene por lo menos un sustituyente hidroxilo, estos comprenden cerca de 8000 compuestos que se encuentran en la naturaleza ampliamente distribuidos en las especies vegetales (Martin, 2018).

Figura 1

Estructura básica de los compuestos fenólicos



Nota. Martin (2018)

1.2.2.3. Clasificación o Tipos

Los compuestos fenólicos abarcan desde moléculas simples hasta polímeros complejos. En la Tabla 3, se muestra la clasificación de los compuestos fenólicos:

Tabla 3

Clasificación de los compuestos fenólicos

Estructura química	Tipo	Ejemplo de polifenol
C_6	Fenólicos simples	Eugenol
C_6-C_1	Ácido fenólico	Ácido gálico
	Ácido benzoico	Ácido elágico
$(C_6-C_1)_n$	Ácido gálico	
C_6-C_2	Ácido fenil acético	
C_6-C_3	Ácido hidroxicinámico	Ácido cafeico
	Cumarinas	Ácido ferúlico
$(C_6-C_3)_2$	Lignanos	
$C_6-C_1-C_6$	Benzofenonas	
	Xantonas	
$C_6-C_2-C_6$	Estilbenos	Resveratrol
$C_6-C_3-C_6$	Flavonoides	Antocianinas
		Flavonoles
		Flavonas
		Flavanonas
		Isoflavonas
		Flavanoles
	Chalconas	
$(C_6-C_3-C_6)_n$	Proantocianinas (taninos $4 \leq n \leq 11$)	

Nota. Adaptado de García, Fernández y Fuentes (2012) y Lezama (2017).

1.2.2.4. Propiedades beneficiosas

Los compuestos fenólicos son antioxidantes naturales que lo podemos encontrar frecuentemente en frutas, verduras y algunos cereales, los cuales presentan propiedades muy óptimas para salud, previniendo el envejecimiento, patologías cardiovasculares, propiedades antiinflamatorias y determinados tipos de cáncer debido a que tiene la capacidad de neutralizar radicales libres (Melgarejo, 2018).

Los compuestos fenólicos tienen propiedades antioxidantes y poseen un color característico gracias a las betalaínas, desarrollando capacidades nutricionales y benéficas para la salud de los humanos, protegiéndolos de varias enfermedades como arteriosclerosis, cáncer, enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas (Flores et al., 2019; Abarca y Petricevich, 2019).

1.2.2.5. Usos en la industria alimentaria

Los fenoles tienen acción directa sobre la calidad de los alimentos, frescos y procesados. Además, su uso se potenciará gradualmente según se vayan realizando estudios sobre su vida útil, para ser utilizado como antioxidante, siendo incluido dentro de los alimentos funcionales y desempeñando un papel protector contra patologías cardiovasculares y cáncer (Yáñez, 2022).

1.2.2.6. Reacciones de los fenoles en presencia de altas temperaturas

La temperatura es un factor que afecta directamente el contenido de fenoles totales y puede impulsar la reducción de su capacidad como antioxidante al someter a los compuestos fenólicos a tratamientos térmicos de larga duración producen una alteración del ácido ascórbico y por ende las disminuciones de los compuestos fenólicos (Tovar, 2018).

1.2.3. Betalaínas

1.2.3.1. Descripción

Son pigmentos naturales que los encontramos de forma limitada en alimentos que poseen coloración rojo- violeta (betacianinas) y amarillo- naranja (betaxantinas), podemos encontrarlas en remolachas y frutos del género *Opuntia*, tienden a perder estabilidad en presencia de luz, oxígeno y elevadas temperaturas; conservándose a temperatura de 4°C (Robles, Jaramillo y Rojas, 2018; Flores et al., 2019).

1.2.3.2. Tipos

Las betalaínas son consideradas pigmentos naturales con gran potencial antioxidante. Su presencia es limitada en los vegetales, pudiendo encontrarlos en betarragas o remolachas,

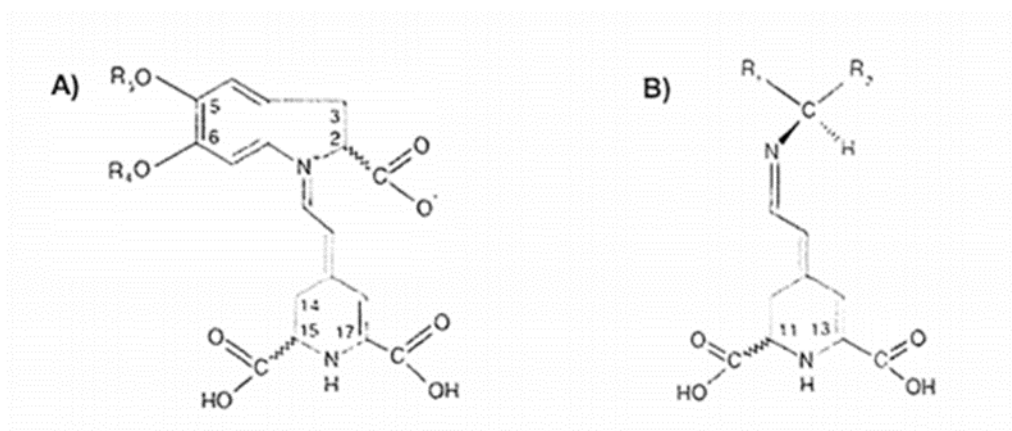
tunas púrpuras, pitahayas rojas, etc. Derivadas del ácido betalámico y subdividiéndose en dos grupos: betaxantinas (tonalidades amarillas a anaranjadas) y betacianinas (tonalidades rojo y violeta) (Flores et al., 2019).

1.2.3.3. Configuración molecular

Las betalaínas son pigmentos hidrosolubles, que derivan de la condensación de una amina primaria o una secundaria con el ácido betalámico; contienen a 10 familias de las cuales sólo las Cactaceae (*Opuntia ficus indica*) y las Chenopodiaceae (*Beta vulgaris*) son aceptadas para la aplicación en alimentos como colorantes naturales, pero de corta vida en anaquel. Las betalaínas se clasifican en: betacianinas cuya característica principal es la pigmentación rojo- púrpura y las betaxantinas que poseen el color amarillo (González y Guerrero, 2018).

Figura 2

Estructura básica de las betacianinas (A) y betaxantinas (B)



Nota. Flores et al. (2019).

1.2.3.4. Propiedades beneficiosas

Las betalaínas presentan propiedades anticarcinogénicas, antioxidantes, ayudan a combatir la arteriosclerosis, detienen la hemólisis oxidativa en glóbulos rojos, por ello la importancia de incluir alimentos que contengan betalaínas en nuestra dieta diaria (Robles, Jaramillo y Rojas, 2018).

1.2.3.5. Usos en la industria alimentarias

Las betalaínas son utilizadas hace algún tiempo en la industria alimentaria como colorante natural, debido a su característico color rojo, el betabel es el producto más utilizado para la extracción de betalaínas; los productos cárnicos y embutidos es una de las propuestas de aplicación del colorante natural debido a la cantidad de nitritos que contiene y la formación de nitrosaminas, por ello serían las betalaínas el sustituto ideal ya que no existe una alteración en las características organolépticas del producto. Las betalaínas debido a su baja estabilidad son aplicadas sólo a cierto tipo de productos, aquellos que tienen corto tiempo de almacenamiento como yogures, mermeladas o jaleas y poca exposición a luz, oxígeno y que no hayan tenido procesos con demasiada exposición a tratamientos térmicos (González y Guerrero, 2018).

1.2.3.6. Reacciones de betalaínas en presencia de altas temperaturas

La estabilidad de las betalaínas es afectada directamente por la luz, oxígeno y principalmente por la temperatura, estos factores dan como resultado la variación del color rojizo a un color marrón claro, las betalaínas tienen mayor estabilidad a temperaturas menores pues se ha demostrado que a 4°C de temperatura tienden a tener un mayor nivel de conservación de sus compuestos betalámicos, asimismo el ácido cítrico proporciona una mayor perdurabilidad a las betalaínas (Flores et al., 2019).

1.2.4. Néctar de tuna

1.2.4.1 Composición del néctar de tuna roja

Tabla 4

Composición bromatológica del néctar de tuna roja

Componentes	%
Humedad	80,86
Cenizas	0,49
Proteína	0,63
Fibra	0,09
Grasa	0,05
Carbohidratos	16,70
Acidez (Exp. en Ácido málico)	0,0335

Nota. Mendoza (2014).

1.2.4.2 Elaboración del néctar de tuna roja

A continuación, se detallan los pasos a seguir para la elaboración de un néctar:

Figura 3

Diagrama de flujo para la elaboración de néctar de tuna.

Procesamiento del néctar de tuna:



Nota. Tomado de “Caracterización bromatológica, microbiológica y sensorial del néctar de tuna (Opuntia ficus indica) edulcorado con stevia (Stevia rebaudiana Bertoni). Mendoza (2014) (Tesis de Pregrado).

- **Recepción.** La tuna roja, la cual debe tener ciertas características como el grado de madurez y factores de calidad de la fruta.
- **Selección.** Se seleccionó frutos que tengan un óptimo grado de madurez tomando en cuenta la coloración del fruto, separando frutos que tengan indicios de podredumbre, heridas abiertas, frutos que no han alcanzado la madurez y aquellos que presenten imperfecciones que puedan alterar el proceso productivo.
- **Pesado.** Se pesó la materia prima que ha sido previamente seleccionada. Se utilizó guantes con el fin de evitar las espinas de la tuna y posteriormente se realizó los cálculos necesarios para la obtención del néctar.
- **Lavado y Desinfección.** La fruta se sumergió en una solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm, para desinfectar las tunas seleccionadas.
- **Pelado.** En esta etapa se retiró la piel con la ayuda de cuchillos para la obtención de la pulpa.
- **Pre-cocción.** Se procederá a realizar la pre-cocción de la fruta, con tratamientos de 90°C y 100°C durante 1 minuto, ablandando la fruta, facilitando el despulpado y reduciendo la carga microbiana.
- **Despulpado.** En esta etapa se hace la separación de la semilla de la pulpa de tuna.
- **Estandarización.** Se procederá a la dilución de 1: 3 (pulpa de tuna: agua), agregando CMC, ácido cítrico y sorbato de potasio.
- **Pasteurización.** Se llevará a tratamientos térmicos de 80°C y 85°C durante 10 minutos con la finalidad de destruir enzimas y microorganismos para evitar la fermentación del néctar de tuna roja durante el almacenamiento.
- **Envasado.** Se realizó el envasado a temperaturas de 80°C y 85°C en envases de vidrio previamente esterilizados.
- **Sellado.** Luego del envasado rápidamente se realizó el sellado.
- **Enfriado.** Los envases del producto se sumergen en agua fría asegurando la formación del vacío.
- **Almacenamiento.** El néctar de tuna se almacenó a temperatura ambiente para sus posteriores análisis de vida útil.

1.2.5. Cinética aplicada en los alimentos

1.2.5.1. Descripción

La cinética química es la ciencia que estudia la velocidad de reacción y el comportamiento de los cambios en la materia, ello se expresa en ecuaciones matemáticas mediante constantes de velocidad ayudando a determinar el tiempo de vida útil (Sánchez y Cortez, 2014), durante el almacenamiento y distribución de los alimentos estos pueden verse afectados por diversas condiciones como temperatura, humedad, luz y oxígeno que pueden alterar el color, sabor y condiciones poco favorables al producto siendo poco atractivo y generando desconfianza en los consumidores (Vidaurre, 2016).

Para brindar buenas condiciones de almacenamiento y predecir la vida en anaquel de un determinado producto debemos tener en cuenta condiciones como los mecanismos de reacción y la cuantificación de velocidad (Sánchez y Cortez, 2014).

1.2.5.2. Mecanismos de degradación de los alimentos (Deterioro químico, físico y microbiológico)

Para poder entender las alteraciones de los factores físicos, químicos y microbiológicos que se pueden dar durante el proceso productivo y de almacenamiento en un determinado producto, se debe realizar estudios de vida útil, los cuales deben ser monitoreados en el tiempo, con el fin de obtener estudios de la cinética de deterioro de los alimentos. Según Sánchez y Cortez, (2014), existen 3 tipos de deterioro en alimentos (químico, físico y microbiológicos) los cuales se explican a continuación:

En lo que respecta a los cambios químicos se puede producir por diversas reacciones, como la intervención de los lípidos en alimentos, por ejemplo, en las carnes tienden a presentar una oxidación lipídica, si no, ha sido acondicionada o almacenada correctamente afectando la calidad de estas. Por otra parte, tenemos el pardeamiento no enzimático o reacción de Maillard que da el color característico en las costras de algunos postres y panes debido a la reacción de azúcar y proteínas.

Los cambios físicos suelen ser visibles y alteran notablemente la calidad de un determinado producto. Se presenta mayormente por la migración del agua hacia la superficie

de los alimentos, creando una especie de ampolla o quemadura, mientras han sido almacenados durante un tiempo determinado a ciertas condiciones de temperatura. Otro claro ejemplo de pérdida de calidad debido a cambio físicos, son las galletas o cereales que al ser despojadas, o tener alguna laceración en su empaque, presentaría pérdida de crocantes y absorción de humedad.

Los cambios microbiológicos, pueden ser detectables a simple vista, como la aparición de mohos, también pueden ser imperceptibles como el caso de la *Salmonella* sp. y *Listeria monocytogenes*, las cuales no presentan algún signo deterioro o alteración en sus características organolépticas, las condiciones de almacenamiento y de las características del producto. También desempeñan un rol importante la humedad, actividad de agua, la adición de conservantes y buenas prácticas durante el proceso, ya que todo ello dará lugar a un producto inocuo o a un producto ideal para el cultivo de microorganismos.

1.2.5.3. Modelos Cinéticos

Para evaluar la variación o degradación de compuestos como los fenoles totales y betalainas, es necesario utilizar ecuaciones o modelos cinéticos (Sánchez, Cortez, Solano y Vidaurre, 2015).

1.2.5.3.1. Modelo cinético de orden cero

En este modelo cinético de orden 0, la velocidad no influye directamente de la concentración, lo cual se produce utilizando dos métodos distintos:

1. Cuando la velocidad de reacción no dependa de la concentración del reactante
2. Cuando la concentración del reactante es mucho mayor, haciendo que la velocidad de reacción no dependa de sus concentraciones.

Si $n = 0$; la ecuación 1 se expresará de la siguiente manera, teniendo en cuenta que representaría la cinética de pérdida de factor de calidad deseable $[A]$:

$$\frac{-d[A]}{dt} = K [A]^0 \dots\dots\dots (\text{Ec. 1})$$

$$\int_A^{A_0} d[A] = -k \int_0^t dt \dots\dots\dots (\text{Ec. 2})$$

$$A - A_0 = -kt \dots\dots\dots (\text{Ec. 3})$$

$$A = A_0 - kt \dots\dots\dots (\text{Ec. 4})$$

Si $n = 0$; la ecuación 5 se expresará de la siguiente manera, teniendo en cuenta que representaría la cinética de formación de factores no deseables [B]:

$$\frac{-d[B]}{dt} = K [B]^0 \dots\dots\dots (\text{Ec. 5})$$

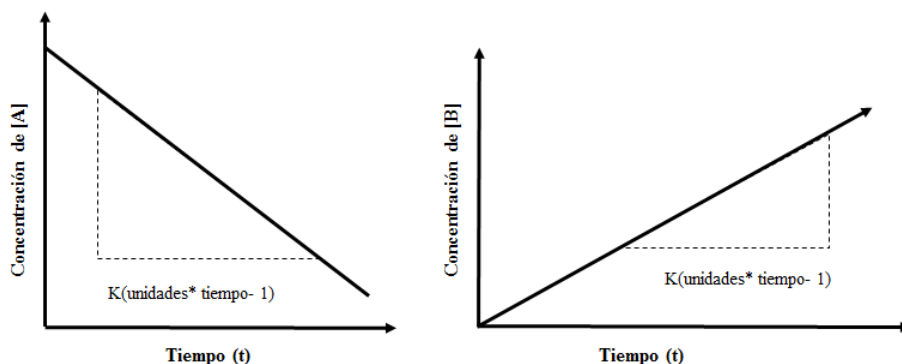
$$\int_B^{B_0} d[B] = -k \int_0^t dt \dots\dots\dots (\text{Ec. 6})$$

$$B - B_0 = kt \dots\dots\dots (\text{Ec. 7})$$

$$B = B_0 + kt \dots\dots\dots (\text{Ec. 8})$$

Figura 4

Representación gráfica de la pérdida de factor de calidad deseable [A] y la formación de factores no deseables [B], ni $n=0$



Nota. Sánchez y Cortez (2014).

1.2.5.3.2. Modelo cinético de primer orden

Las reacciones que se den en el transcurso del procesamiento y almacenamiento de los productos alimenticios van a seguir una cinética de orden 1 ($n = 1$), citando algunos ejemplos como la desnaturalización de vitaminas, que repercute en la pérdida de la composición nutricional del producto alimenticio, otro ejemplo es la inestabilidad de

antocianinas en el periodo de almacenaje, resultando la pérdida de coloración en los alimentos.

Si $n=1$; la ecuación 9 se expresará de la siguiente manera, teniendo en cuenta que representaría la cinética de pérdida de factor de calidad deseable $[A]$:

$$\frac{-d[A]}{dt} = K [A]^1 \dots\dots\dots (\text{Ec. 9})$$

$$\int_A^{A_0} \frac{d[A]}{[A]} = -k \int_0^t dt \dots\dots\dots (\text{Ec. 10})$$

$$\ln \frac{[A]}{[A_0]} = -kt \dots\dots\dots (\text{Ec. 11})$$

$$[A] = [A_0] e^{-kt} \dots\dots\dots (\text{Ec. 12})$$

$$\ln[A] = \ln[A_0] - kt \dots\dots\dots (\text{Ec. 13})$$

Si $n=1$; la ecuación 8 se expresará de la siguiente manera, teniendo en cuenta que representaría la cinética de formación de factores no deseables $[B]$:

$$\frac{-d[B]}{dt} = K [B]^1 \dots\dots\dots (\text{Ec. 14})$$

$$\int_A^{A_0} \frac{d[B]}{[B]} = -k \int_0^t dt \dots\dots\dots (\text{Ec. 15})$$

$$\ln \frac{[B]}{[B_0]} = -kt \dots\dots\dots (\text{Ec. 16})$$

$$[B] = [B_0] e^{-kt} \dots\dots\dots (\text{Ec. 17})$$

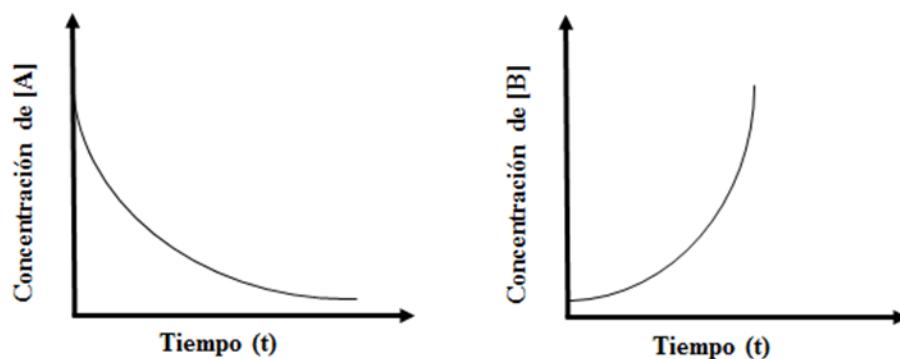
$$\ln[B] = \ln[B_0] - kt \dots\dots\dots (\text{Ec. 18})$$

Sabiendo que A_0 y B_0 , la concentración inicial en el tiempo cero de la cualidad medida. Las reacciones de 1er orden presentan un cambio logarítmico en la concentración de la cualidad medida vs tiempo.

Las reacciones de 1er orden son netamente exponenciales como podemos ver en la Figura 4, pero para precisar la cinética de 1er orden debemos despejar las ecuaciones 17 y 22 se aplica el logaritmo neperiano, quedando expresado en las ecuaciones 18 y 23.

Figura 5

Representación gráfica de la pérdida de factor de calidad deseable [A] y la formación de factores no deseables [B], si $n=1$

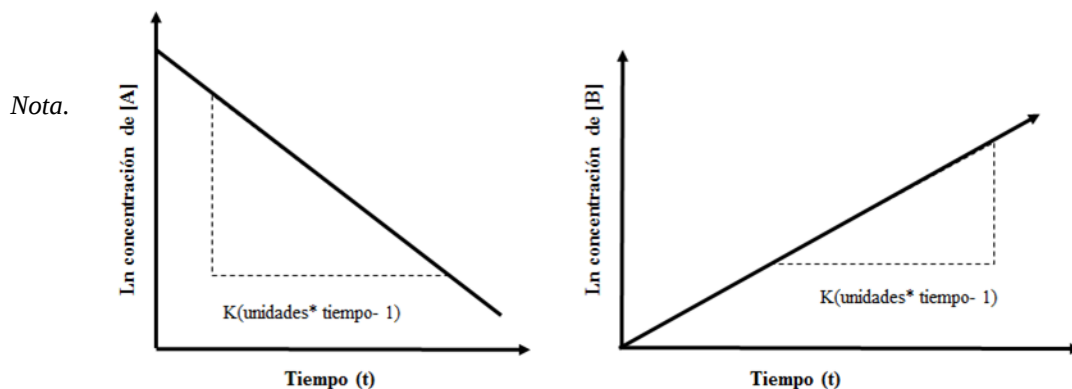


Nota. Sánchez y Cortez (2014).

Para determinar la cinética de 1er orden, expresando la concentración de la cualidad es necesario graficar el logaritmo natural ($\ln(A)$ o $\ln(B)$) respecto al tiempo como se muestra en la figura 5 y por medio de un análisis de regresión lineal simple, obtendremos la adaptación de los datos.

Figura 6

Representación gráfica de la pérdida de factor de calidad deseable [A] y la formación de factores no deseables [B], expresado de manera lineal $n=1$



Sánchez y Cortez (2014).

1.2.5.3.3. Modelo cinético de segundo orden

Según Sánchez y Cortez (2014) Las reacciones de 2do orden son poco comunes en temas alimentarios, por acción de la naturaleza bimolecular de las reacciones. Debido a esto

demuestra que la cinética de forma experimental no se desarrolla mayormente en un mecanismo real.

Hay 2 modelos de cinética de reacción de 2do orden las cuales son unimoleculares o bimoleculares, como se demuestra en las ecuaciones (Ec. 19 y Ec. 20). Suponiendo que $n=2$, para las reacciones unimoleculares, la Ec. 16 que demuestra la cinética de pérdida de factor de calidad deseable $[A]$ se puede determinar del siguiente modo:



$$\frac{-d[A]}{dt} = k[A]^2 \quad \text{..... (Ec. 20)}$$

$$\int_A^{A_0} \frac{d[A]}{[A]^2} = -k \int_0^t dt \quad \text{..... (Ec. 21)}$$

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A_0} + kt \quad \text{..... (Ec. 22)}$$

En las reacciones unimoleculares de 2do orden se distingue una función hiperbólica entre la concentración del reactante y el tiempo. Si esta se representaría como una función inversa, daría como resultado una función lineal.

En cuanto a una reacción bimolecular de 2do orden ($n=2$), la Ec. 23 que demuestra la cinética de pérdida de factor de calidad deseable $[A]$ se puede determinar del siguiente modo:



$$\frac{-d[B]}{dt} = k[A][B] \quad \text{..... (Ec. 24)}$$

$$\frac{d[A]}{[A]} = -k[B]dt \quad \text{..... (Ec. 25)}$$

$$\int_A^{A_0} \frac{d[A]}{[A]^2} = -k \int_0^t dt \quad \text{..... (Ec. 26)}$$

$$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A_0]} - k't \quad \text{..... (Ec. 27)}$$

Sabiendo que $[A]$ y $[B]$ representan a los reactantes. Para mantener $[B]$ constante se debe integrar la Ec. 24, modificándose en: $k' = [B]$, resultando una constante de velocidad de una supuesta función de 1er orden.

1.2.5.3.4. *Modelo de Arrhenius*

El prototipo de Arrhenius es el que mejor se adapta de manera experimental y describe la velocidad de una reacción en relación a las variaciones de temperatura.

Este modelo describe una función lineal que manifiesta el comportamiento del factor temperatura en función de la constante de velocidad (k) en diversas reacciones en el rubro alimenticio, como se denota en la ecuación:

$$K = k_0 \cdot \exp(-E_a / RT)$$

Dónde:

k = es la constante de velocidad de reacción

k₀ = es el factor pre-exponencial

E_a = es la energía de activación

R = es la constante universal de los gases (1,987 cal/Kmol)

T = es la temperatura absoluta en grados kelvin (K)

Para determinar el prototipo de Arrhenius se requiere únicamente de los parámetros como el factor pre exponencial (k₀) y la energía de activación (E_a), puesto que es independiente de la temperatura, por ello la importancia de una evaluación precisa en pruebas aceleradas al ser sometidas a temperaturas elevadas.

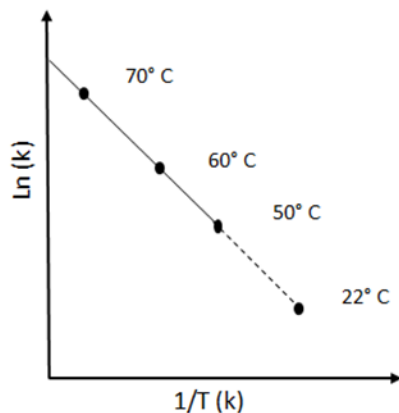
La ecuación describe la reacción se debe estimar solamente cuando el calor alcanza activar sus moléculas. La energía de activación (E_a) representa la menor cuantía en lo respecta a energía que deberían presentar con antelación la reacción de las moléculas y el término exponencial expresa la cantidad de moléculas que tiene la energía mínima. Al aplicar el logaritmo a la ecuación anterior obtendremos:

$$\ln k = \ln k_0 - (E_a / RT) \cdot (1/T)$$

En la Figura 7 se muestra una relación lineal entre el logaritmo de la constante de velocidad y la inversa de la temperatura absoluta.

Figura 7

Representación gráfica del modelo de Arrhenius donde el eje de las abscisas (x) se encuentra la inversa de la temperatura (k) y en el eje de las ordenadas (y) se encuentra $\ln(k)$



Nota. Sánchez y Cortez (2014).

1.2.5.3.5. Modelo Q_{10}

Para pronosticar el tiempo de vida útil, este modelo es usado frecuentemente, teniendo en cuenta la temperatura, el factor adimensional Q_{10} es utilizado para precipitar las reacciones en los alimentos, el cual se expresa como la diferencia en la velocidad de reacción por cada 10°C :

Q_{10} = tiempo de vida a la temperatura T / tiempo de vida a la temperatura $T+10$

$$Q_{10} = k(T-10)/kT$$

Dónde:

T = es la temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

k = es la constante de velocidad de reacción

Si la velocidad de reacción se redobla con una variación de temperatura de 10°C , Q_{10} presentará un valor de 2. Lo mismo pasará con las reacciones de desnaturalización de colorantes naturales, tasa de crecimiento microbiano, degradación de enzimas y el pardeamiento no enzimático, que también tendrán alrededor de 2 el Q_{10} , si se acorta 10°C del producto en almacenamiento.

II. MÉTODO Y MATERIALES

2.1. Marco Metodológico

2.1.1. Operacionalización de variables

Tabla 5

Operacionalización de variables

Variables	Dimensión	Niveles	Indicador
Independientes	Pre-cocción	90, 100	Grados Centígrados (°C)
		1	Minutos
	Pasteurización	80, 85	Grados Centígrados (°C)
		10	Minutos
	Envasado	80, 85	Grados Centígrados (°C)
		0, 1, 2, 3, 4, 5, 6	Días
Dependientes	Almacenamiento de néctar de tuna	Temperatura ambiente	Grados Centígrados (°C)
	Contenido de fenoles totales	-	mg EAG/100 mL
	Contenido de betalaínas	Contenido de betacianinas	mg EB/100 mL
		Contenido de betaxantinas	

Nota. Elaboración propia (2022).

2.1.2. Diseño de contrastación de la hipótesis

Para contrastar la hipótesis del objetivo específico N° 2 planteada en esta investigación, se utilizó un Diseño Completamente al Azar, el cual tiene el siguiente modelo estadístico lineal:

$$Y_{ij} = u + \tau_i + E_{ij}$$

Donde:

u : parámetro de escala común a todos los tratamientos, llamado media global.

τ_i : parámetro que mide el efecto del tratamiento i .

E_{ij} : Error de medición.

Se expresó el contenido de fenoles y betalaínas después de la etapa de pre-cocción, pasteurización y envasado del proceso productivo de néctar de tuna, tal como se indica en los siguientes DCA:

Tabla 6

DCA para determinar el contenido de fenoles totales y betalaínas después del proceso de pre-cocción para obtener néctar de tuna

Temperaturas de pre cocción por diez minutos	Mediciones		
90°C (T ₁)	Y _{1,1}	Y _{1,2}	Y _{1,3}
100°C (T ₂)	Y _{2,1}	Y _{2,2}	Y _{2,3}

Nota. Elaboración propia (2022).

T: Tratamiento. Y: contenido de fenoles totales y betalainas

Tabla 7

DCA para determinar el contenido de fenoles totales y betalaínas después del proceso de pasteurización para obtener néctar de tuna

Temperaturas de pasteurización por diez minutos	Mediciones		
80°C (T ₁)	Y _{1,1}	Y _{1,2}	Y _{1,3}
85°C (T ₂)	Y _{2,1}	Y _{2,2}	Y _{2,3}

Nota. Elaboración propia (2022).

T: Tratamiento. Y: contenido de fenoles totales y betalainas

Tabla 8

DCA para determinar el contenido de fenoles totales y betalaínas después del proceso de envasado para obtener néctar de tuna

Temperaturas para envasado	Mediciones		
80°C (T ₁)	Y _{1,1}	Y _{1,2}	Y _{1,3}
85°C (T ₂)	Y _{2,1}	Y _{2,2}	Y _{2,3}

Nota. Elaboración propia (2022).

T: Tratamiento. Y: contenido de fenoles totales y betalainas

Se determinó el contenido fenoles totales y betalaínas durante el almacenamiento del néctar de tuna en la cual se utilizó el siguiente DCA.

Tabla 9

DCA para determinar el contenido fenoles totales y betalaínas durante el almacenamiento del néctar de tuna a temperatura ambiente

Tiempo de almacenamiento (días)	Mediciones		
T ₁ : 0	Y _{1,1}	Y _{1,2}	Y _{1,3}
T ₂ : 1	Y _{2,1}	Y _{2,2}	Y _{2,3}
T ₃ : 2	Y _{3,1}	Y _{3,2}	Y _{3,3}
T ₄ : 3	Y _{4,1}	Y _{4,2}	Y _{4,3}
T ₅ : 4	Y _{5,1}	Y _{5,2}	Y _{5,3}
T ₆ : 5	Y _{6,1}	Y _{6,2}	Y _{6,3}
T ₇ : 6	Y _{7,1}	Y _{7,2}	Y _{7,3}

Nota. Elaboración propia (2022).

T: Tratamiento. Y: contenido de fenoles totales y betalainas

2.1.3. Población y muestra

2.1.3.1. Población

Estará constituido por tuna roja procedente del Mercado Modelo de Chiclayo.

2.1.3.2. Muestra

La tuna roja estará conformada por 4 Kg, extraída al azar en el mercado.

2.1.4. Materiales, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

2.1.4.1. Materiales de vidrio

- Agitador de vidrio 10x375 mm
- Embudo de vidrio
- Piceta.

- Pipetas volumétricas graduadas de 1; 5 y 10 ml
- Probeta graduada, marca Pyrex 250 mL
- Termómetro de alcohol (-10 °C a 110 °C). Marca: EuroLab.
- Tubos de ensayo.
- Vasos de precipitación de 250 mL
- Viales de 10 mL y 20 mL

2.1.4.2. Insumos

- Ácido cítrico para el proceso.
- Agua destilada
- Azúcar blanca
- Conservantes.
- Estabilizador CMC (Carboxi Metil Celulosa).
- Fruta “Tuna roja”

2.1.4.3. Equipos

- Balanza analítica digital. Marca: ADAM. Modelo: PW-254 (cap. máx. 200 g; sensibilidad 0,001 g)
- Cocina eléctrica 1 hornilla Whiteline
- Espectrofotómetro UV-Vis, 4 nm, 220V Incluye Software /Unico SQ2800E
- Licuadora marca Oster 3 velocidades
- pH-metro modelo MW-151 marca MILWAUKEE
- Brix Refractómetro con ATC, Brix 0-32
- Refrigerador. Marca: INDURAMA. Modelo: RI-530 (369 L)

2.1.4.4. Reactivos

- Agua destilada
- Carbonato de sodio anhidro al 20%
- Reactivo Folin-Ciocalteu
- Di-sodio hidrogenofosfato

- Solución patrón de ácido gálico.

2.1.4.5. Métodos de análisis

– Caracterización de la tuna roja

En la caracterización fisicoquímica de la tuna roja, se ejecutó el siguiente procedimiento para los diferentes análisis fisicoquímicos:

Determinación de humedad (AOAC 50.46).

Determinación de proteínas (AOAC 981.10).

Determinación de lípidos (AOAC 960.39).

Determinación de carbohidratos (Cálculo por diferencia, según Collazos (1993).

Determinación de fibra (AOAC 962.09).

Determinación de fenoles totales (Método de Folin-Ciocalteu / Espectrofotometría).

Determinación de Betalaínas (Campos et al. (2006) / Espectrofotometría).

– Determinación de fenoles totales y Betalaínas durante el proceso productivo de néctar de tuna roja

Descripción. Para la determinación de fenoles totales y betalaínas, se realizó durante las tres etapas donde aplicamos tratamiento térmico: pre-cocción a temperaturas de 90°C y 100°C por espacio de un minuto, pasteurización de 80°C y 85°C durante 10 minutos y envasado a temperaturas de 80°C y 85°C.

– Determinación del contenido de fenoles totales y betalaínas durante el almacenamiento

Descripción. Luego de haber determinado el contenido de fenoles totales y betalaínas en el proceso productivo se realizó el análisis de 3 muestras diarias en el almacenamiento durante 7 días con el objetivo de medir los pigmentos naturales del néctar de tuna roja.

– **Determinación del modelo cinético de mayor ajuste a la variación de fenoles totales y betaláinas y el tiempo de vida media**

En este último objetivo específico, se identificó el modelo cinético con mayor ajuste por la variación de fenoles totales y betaláinas, así como el tiempo de vida media de los compuestos, en donde se efectuó un análisis de regresión lineal simple, cuyo modelo se detalla a continuación:

$$Y = f(x)$$

Donde, se puede ver si dado un valor de la variable independiente x , es posible pronosticar el valor promedio Y ., cabe mencionar que se tendrá en cuenta las ecuaciones cinéticas detalladas en la teoría (Ecuación 1, 2, 3 y 6).

2.1.5. Análisis estadístico

Para estudiar los datos de cada objetivo específico planteado en este estudio se usará el Análisis de Varianza (ANOVA) para los DCA establecidos, lo cual permitirá saber si al menos un par de tratamiento tiene diferencias significativas. De haber diferencias, se aplicará pruebas de comparaciones múltiples, como la prueba de Tukey.

Tabla 10

ANOVA con un nivel de significancia ($\alpha=5\%$)

Fuente de variación (F.V)	Suma de cuadros	Grados de libertad	Media cuadrática	F
Tratamientos	SST	$k - 1$	$SST/(k-1) = MST$	MST/MSE
Error	SSE	$n - k$	$SSE/(n-1) = MSE$	
Total	SS Total	$n - 1$		

Nota. Elaboración propia (2022).

Donde:

SST = Suma de cuadrados de Tratamientos *k = Número de tratamientos*
SSE = Suma de cuadrados de error *n = Número de observaciones*
MST = Media cuadrática de tratamientos
MSE = Media cuadrática de error

Prueba de diferencia significativa de Tukey (HSD)

Se calcula HSD, la diferencia mínima significativa a un cierto nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), con la siguiente ecuación:

$$HSD = q(t_{glee}, \alpha) \times \sqrt{\frac{CMee}{r}}$$

Donde:

q = amplitud total estudentizada.

Valor encontrado en la tabla y en función de:

α = nivel de significancia

t = número de tratamientos

tglee = grados de libertad del error experimental

CMee = cuadrado medio del error experimental

r = número de repeticiones en los tratamientos

Criterios de decisión

Existe diferencia significativa, cuando:

$$d_{ij} = |Y_i - Y_j| \geq HSD$$

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización de la tuna roja

La determinación fisicoquímica de tuna roja, se presenta en la Tabla 11, haciendo tres repeticiones para cada componente, a partir de ello podemos tener una referencia de la materia prima antes de ser procesada.

Tabla 11

Caracterización fisicoquímica de la tuna roja

Componentes	R1	R2	R3	PROMEDIO	DS
Humedad (%)	79.6	79.3	79.4	79.43	0.153
Proteínas	1.6	1.59	1.59	1.593	0.006
Lípidos	0.1	0.1	0.1	0.1	0.000
Carbohidratos	14.67	14.65	14.65	14.66	0.012
Fibra	3.77	3.74	3.75	3.75	0.015
Ceniza	0.6	0.4	0.5	0.5	0.100
Betacianinas (536 nm)	15.237	15.237	15.728	15.400	0.284
Betaxantinas (476 nm)	25.461	25.461	25.872	25.598	0.237
Fenoles totales	136.8750	139.6875	199.0625	158.5417	35.1202

Nota. Elaboración propia (2022).

R: Repetición 1; Ds: Desviación estándar

3.2. Contenido de fenoles totales y betalaínas durante el proceso productivo de néctar de tuna roja

Fenoles Totales

En esta Tabla 12 se muestran los datos obtenidos del promedio y desviación estándar del contenido de fenoles totales durante el proceso productivo de néctar de tuna roja.

Tabla 12

Resultados promedios y desviación estándar de Fenoles totales durante el proceso productivo de néctar de tuna roja

Proceso	Parámetros	Promedio	Desviación Estándar
Pre-cocción	90°C * 1 min	22.917	1.804
	100°C * 1 min	27.083	4.774
Pasteurización	80°C * 10min	9.375	0.000
	85°C * 10min	10.417	1.804
Envasado	80°C	9.375	0.000
	85°C	10.417	1.804

Nota. Elaboración propia (2022).

Según el análisis de varianza que se muestra en la Tabla 13; puesto que el valor p es menor a 0.05, al menos un par de tratamiento ensayadas presentan diferencias significativas respecto al contenido de fenoles totales, a un nivel de significancia del 95%. Para saber qué pares de formulaciones ensayadas presentan diferencias significativas se efectuó una prueba de Tukey, cuyos datos obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 13

ANOVA para Fenoles totales por proceso

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	941.285	5	188.257	34.81	0.0000
Intra grupos	64.9	12	5.40833		
Total (Corr.)	1006.18	17			

Nota. Elaboración propia (2022).

Como se puede observar en la prueba de Tukey en la Tabla 14, el asterisco que se encuentra al lado de los 3 procesos productivos, indica diferencias significativas a un nivel de significancia de 95%.

En la Tabla 14 se muestran los tratamientos que tienen diferencia significativa durante el proceso productivo del néctar de tuna roja.

Tabla 14

Resultados de la prueba Tukey en el contenido de Fenoles totales durante el proceso productivo de néctar de tuna roja

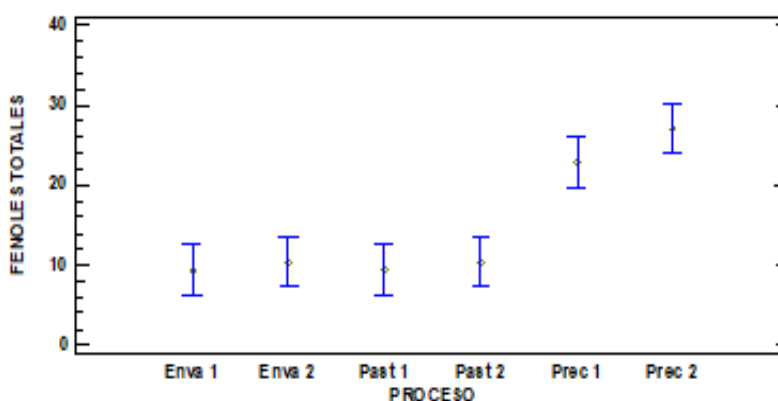
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Envasado 1 - envasado 2		-1.03333	6.37888
Envasado 1 - pasteurización 1		0	6.37888
Envasado 1 - pasteurización 2		-1.03333	6.37888
Envasado 1 - precocción 1	*	-13.5333	6.37888
Envasado 1 - precocción 2	*	-17.7	6.37888
Envasado 2 - pasteurización 1		1.03333	6.37888
Envasado 2 - pasteurización 2		0	6.37888
Envasado 2 - precocción 1	*	-12.5	6.37888
Envasado 2 - precocción 2	*	-16.6667	6.37888
Pasteurización 1 - pasteurización 2		-1.03333	6.37888
Pasteurización 1 - precocción 1	*	-13.5333	6.37888
Pasteurización 1 - precocción 2	*	-17.7	6.37888
Pasteurización 2 - precocción 1	*	-12.5	6.37888
Pasteurización 2 - precocción 2	*	-16.6667	6.37888
Precocción 1 - precocción 2		-4.16667	6.37888

Nota. Elaboración propia (2022).

* Indica una diferencia significativa.

Figura 8

Gráfico de medias para Fenoles totales durante el proceso productivo del néctar de tuna roja



En el gráfico de medias, se puede observar diferencias en los pares de tratamiento ensayados, la estrategia de interpretación consiste en que las cajas formadas con los datos obtenidos del contenido de fenoles totales en cada proceso ensayado, de par en par se observe si se logran sobreponer moviendo ambas partes en sentido contrario en el eje horizontal. Si

aplicamos esta interpretación a los procesos de pre-cocción 1 con el envasado 1, entonces se observa de manera ilustrativa que presentan diferencias significativas en comparación del contenido de fenoles totales.

Con esta figura se puede afirmar que durante el proceso si el tratamiento térmico es mayor, no necesariamente la degradación de los compuestos fenólicos es mayor. En este caso los resultados indican que sería mejor si se produce el néctar de tuna con el tratamiento 1, es decir; envasado 1, pasteurización 1 y pre-cocción 1.

Betalainas

a. Betacianinas

En esta Tabla 15 presenta los resultados del promedio y desviación estándar durante 3 etapas del proceso de elaboración de néctar de tuna roja, en donde se estudió el comportamiento de betacianinas a diferentes temperaturas.

Tabla 15

Resultados promedios y desviación estándar de Betacianinas

Proceso	Parámetros	Promedio	Desviación Estándar
Pre-cocción	90 °C*1 min	3.4	0.5
	100 °C*1 min	3.1	0.8
Pasteurización	80 °C*10min	3.4	0.5
	85°C*10min	3.1	0.8
Envasado	80 °C	2.0	0.5
	85°C	1.6	0.3

Nota. Elaboración propia (2022).

Según el análisis de varianza que se muestra en la Tabla 16; puesto que el valor p es menor a 0.05; al menos un par de tratamiento ensayadas presentan diferencias significativas respecto al contenido de betacianinas, a un nivel de significancia del 95%. Para saber qué pares de formulaciones ensayadas presentan diferencias significativas se realizó una prueba de Tukey.

Tabla 16*ANOVA para Betacianinas por proceso*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	9.18598	5	1.8372	5.71	0.0063
Intra grupos	3.85807	12	0.321506		
Total (Corr.)	13.0441	17			

Nota. Elaboración propia (2022).**Tabla 17***Resultados de la prueba Tukey en el contenido de Betacianinas durante el proceso productivo de néctar de tuna roja*

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Envasado 1 - envasado 2		0.33	1.55527
Envasado 1 - pasteurización 1		-1.47333	1.55527
Envasado 1 - pasteurización 2		-1.14667	1.55527
Envasado 1 - precocción 1		-1.47333	1.55527
Envasado 1 - precocción 2		-1.14667	1.55527
Envasado 2 - pasteurización 1	*	-1.80333	1.55527
Envasado 2 - pasteurización 2		-1.47667	1.55527
Envasado 2 - precocción 1	*	-1.80333	1.55527
Envasado 2 - precocción 2		-1.47667	1.55527
Pasteurización 1 - pasteurización 2		0.326667	1.55527
Pasteurización 1 - precocción 1		0	1.55527
Pasteurización 1 - precocción 2		0.326667	1.55527
Pasteurización 2 - precocción 1		-0.326667	1.55527
Pasteurización 2 - precocción 2		0	1.55527
Precocción 1 - precocción 2		0.326667	1.55527

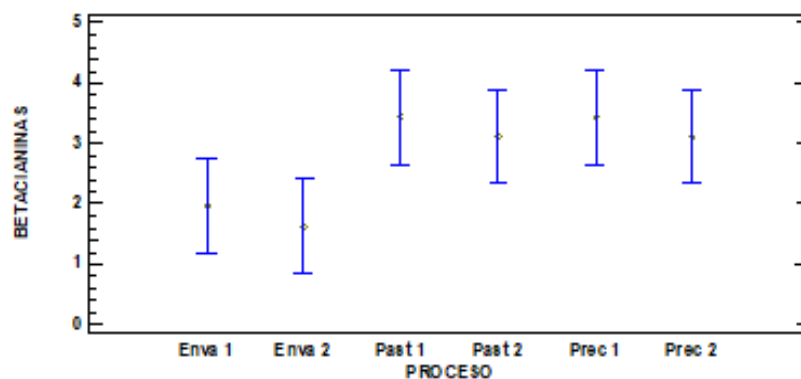
Nota. Elaboración propia (2022).

* Indica una diferencia significativa.

En la prueba de Tukey se puede observar que existe diferencia significativa en el caso de envasado 2- pasteurización 1 y en el proceso del envasado 2 – pre-cocción 1.

Figura 9

Gráfico de medias para Betacianinas durante el proceso productivo del néctar de tuna roja



En el gráfico de medias, se puede observar que existe diferencia significativa en el contenido de betacianinas en el envasado 2 con la pasteurización y pre-cocción 1.

b. Betaxantinas

En la Tabla 18 presenta los resultados del promedio y desviación estándar durante 3 etapas del proceso de elaboración de néctar de tuna roja, en donde se estudió el comportamiento de betaxantinas a diferentes temperaturas.

Tabla 18

Resultados promedios y desviación estándar de Betaxantinas

Proceso	Parámetros	Promedio	DS
Pre-cocción	90 °C*1 min	2.9	0.41
	100 °C*1 min	3.1	0.85
Pasteurización	80 °C*10min	2.9	0.41
	85°C*10min	3.1	0.85
Envasado	80 °C	1.9	0.63
	85°C	2.2	0.47

Nota. Elaboración propia (2022).

Según el análisis de varianza que se muestra en la Tabla 19; puesto que el valor p es mayor a 0.05, por tanto, el tratamiento ensayado no presenta diferencia significativa.

Tabla 19

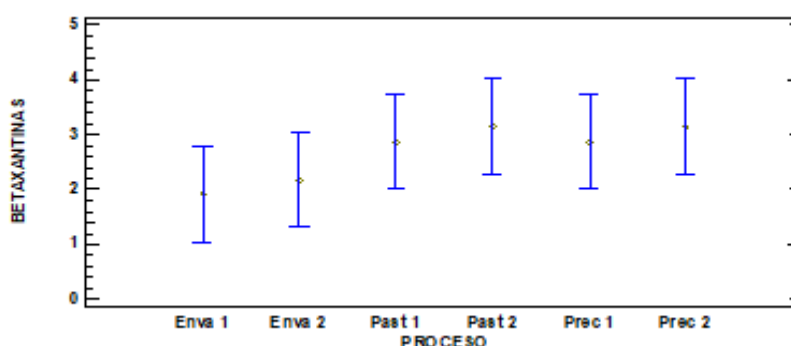
ANOVA para Betaxantinas por proceso

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4.0259	5	0.80518	1.99	0.1530
Intra grupos	4.86199	12	0.405166		
Total (Corr.)	8.88789	17			

Nota. Elaboración propia (2022).

Figura 10

Gráfico de medias para Betaxantinas durante el proceso productivo del néctar de tuna roja



En el gráfico de medias, se puede evidenciar que no existe diferencia significativa en el contenido de betaxantinas durante el proceso de elaboración de néctar de tuna roja. Se puede visualizar que a medida que se realizan la pre-cocción, pasteurización y envasado disminuye el contenido de betaxantinas.

3.3. Contenido de fenoles totales y betalaínas durante el almacenamiento de néctar de tuna roja

En la Tabla 20 presenta los datos obtenidos del promedio y desviación estándar del contenido de fenoles totales y betalaínas durante el almacenamiento de néctar de tuna roja.

Tabla 20

Promedio y desviación estándar del contenido de Fenoles totales y Betalaínas durante el almacenamiento de néctar de tuna roja

TIEMPO	FENOLES TOTALES		BETACIANINAS		BETAXANTINAS	
	Promedio	D.S	Promedio	D.S	Promedio	D.S
0	10.2	0.015	2.079	0.002	2.272	0.003
1	5.7	0.010	1.088	0.005	1.539	0.001
2	4.8	0.006	0.778	0.001	0.939	0.001
3	3.1	0.012	0.608	0.004	0.757	0.001
4	2.0	0.012	0.512	0.006	0.520	0.001
5	0.6	0.012	0.116	0.001	0.192	0.001
6	0.4	0.004	0.109	0.001	0.110	0.001

Nota. Elaboración propia (2022).

Según el análisis de varianza que se detalla en la Tabla 21; puesto que el valor P es menor a 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa en el contenido de fenoles totales durante almacenamiento con un nivel de significancia del 95%. Para saber las diferencias significativas se realizó prueba de Tukey.

FENOLES TOTALES

Tabla 21

ANOVA para Fenoles totales por tiempo de almacenamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	212.765	6	35.4608	37233.83	0.0000
Intra grupos	0.0133333	14	0.000952381		
Total (Corr.)	212.778	20			

Nota. Elaboración propia (2022).

Tabla 22

Pruebas de múltiples rangos para Fenoles totales por tiempo de almacenamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	4.5	0.0860878
0 - 2	*	5.46667	0.0860878
0 - 3	*	7.06667	0.0860878
0 - 4	*	8.2	0.0860878
0 - 5	*	9.6	0.0860878
0 - 6	*	9.8	0.0860878
1 - 2	*	0.966667	0.0860878
1 - 3	*	2.56667	0.0860878
1 - 4	*	3.7	0.0860878
1 - 5	*	5.1	0.0860878
1 - 6	*	5.3	0.0860878
2 - 3	*	1.6	0.0860878
2 - 4	*	2.73333	0.0860878
2 - 5	*	4.13333	0.0860878
2 - 6	*	4.33333	0.0860878
3 - 4	*	1.13333	0.0860878
3 - 5	*	2.53333	0.0860878
3 - 6	*	2.73333	0.0860878
4 - 5	*	1.4	0.0860878
4 - 6	*	1.6	0.0860878
5 - 6	*	0.2	0.0860878

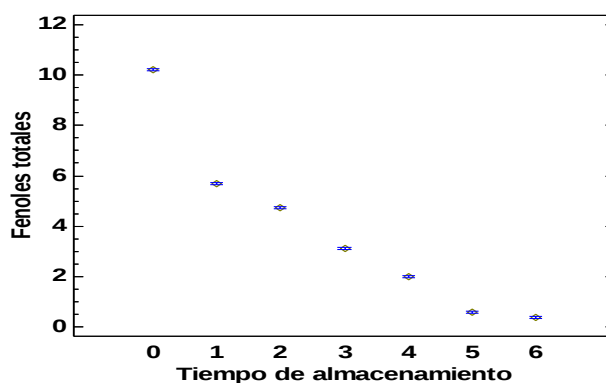
Nota. Elaboración propia (2022).

* Indica una diferencia significativa.

Como se puede observar en la prueba de Tukey en la Tabla 22, existen diferencias significativas en el contenido de fenoles totales durante el tiempo de almacenamiento, desde el día 0 hasta el día 6.

Figura 11

Gráfico de medias para Fenoles totales durante el almacenamiento del néctar de tuna roja



En el gráfico de medias, la cual se indica en la Figura 11, se visualiza que a medida que pasa el tiempo el contenido de fenoles totales disminuye.

BETACIANINAS

Según el análisis de varianza que se señala en la Tabla 23; puesto que el valor P es menor a 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa en el contenido de betacianinas durante almacenamiento con un nivel de significancia del 95%. Para saber las diferencias significativas se realizó prueba de Tukey.

Tabla 23

ANOVA para Betacianinas por tiempo de almacenamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8.31411	6	1.38569	117336.28	0.0000
Intra grupos	0.000165333	14	0.0000118095		
Total (Corr.)	8.31428	20			

Nota. Elaboración propia (2022).

Como se puede observar en la prueba de Tukey en la Tabla 24, existen diferencias significativas en el contenido de betacianinas durante el tiempo de almacenamiento, desde el día 0 hasta el día 6.

Tabla 24

Pruebas de múltiples rangos para Betacianinas por tiempo de almacenamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

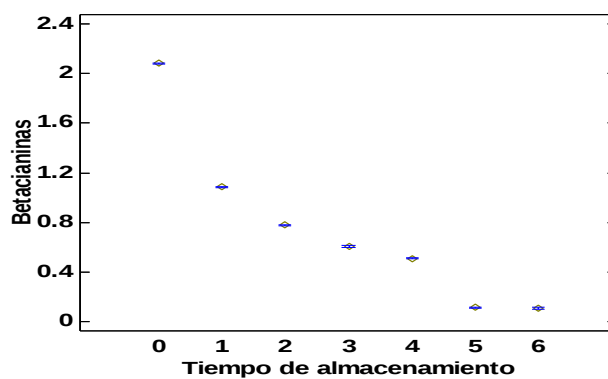
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	0.992	0.00958633
0 - 2	*	1.30167	0.00958633
0 - 3	*	1.47167	0.00958633
0 - 4	*	1.56767	0.00958633
0 - 5	*	1.96333	0.00958633
0 - 6	*	1.97033	0.00958633
1 - 2	*	0.309667	0.00958633
1 - 3	*	0.479667	0.00958633
1 - 4	*	0.575667	0.00958633
1 - 5	*	0.971333	0.00958633
1 - 6	*	0.978333	0.00958633
2 - 3	*	0.17	0.00958633
2 - 4	*	0.266	0.00958633
2 - 5	*	0.661667	0.00958633
2 - 6	*	0.668667	0.00958633
3 - 4	*	0.096	0.00958633
3 - 5	*	0.491667	0.00958633
3 - 6	*	0.498667	0.00958633
4 - 5	*	0.395667	0.00958633
4 - 6	*	0.402667	0.00958633
5 - 6		0.007	0.00958633

Nota. Elaboración propia (2022).

* Indica una diferencia significativa.

Figura 12

Gráfico de medias para Betacianinas durante el almacenamiento del néctar de tuna roja



En el gráfico de medias, la cual se presenta en la Figura 12, se puede observar que a medida que pasa el tiempo el contenido de betacianinas disminuye.

BETAXANTINAS

Según el análisis de varianza que se indica en la Tabla 25; puesto que el valor P es menor a 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa en el contenido de betaxantinas durante almacenamiento con un nivel de significancia del 95%. Para saber las diferencias significativas se realizó prueba de Tukey.

Tabla 25

ANOVA para Betaxantinas por tiempo de almacenamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	10.7532	6	1.7922	752725.79	0.0000
Intra grupos	0.0000333333	14	0.00000238095		
Total (Corr.)	10.7533	20			

Nota. Elaboración propia (2022).

Como se puede observar en la prueba de Tukey en la Tabla 26, existen diferencias significativas en el contenido de betaxantinas durante el tiempo de almacenamiento, desde el día 0 hasta el día 6.

Tabla 26

Pruebas de múltiples rangos para Betaxantinas por tiempo de almacenamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

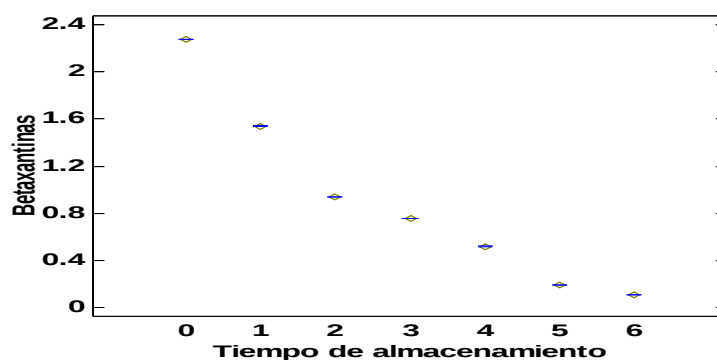
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	0.733333	0.00430439
0 - 2	*	1.33367	0.00430439
0 - 3	*	1.516	0.00430439
0 - 4	*	1.75233	0.00430439
0 - 5	*	2.08067	0.00430439
0 - 6	*	2.16267	0.00430439
1 - 2	*	0.600333	0.00430439
1 - 3	*	0.782667	0.00430439
1 - 4	*	1.019	0.00430439
1 - 5	*	1.34733	0.00430439
1 - 6	*	1.42933	0.00430439
2 - 3	*	0.182333	0.00430439
2 - 4	*	0.418667	0.00430439
2 - 5	*	0.747	0.00430439
2 - 6	*	0.829	0.00430439
3 - 4	*	0.236333	0.00430439
3 - 5	*	0.564667	0.00430439
3 - 6	*	0.646667	0.00430439
4 - 5	*	0.328333	0.00430439
4 - 6	*	0.410333	0.00430439
5 - 6	*	0.082	0.00430439

Nota. Elaboración propia (2022).

* Indica una diferencia significativa.

Figura 13

Gráfico de medias para Betaxantinas durante el almacenamiento del néctar de tuna roja



En el gráfico de medias, la cual se visualiza en la figura 13, se puede observar que a medida que pasa el tiempo el contenido de betaxantinas disminuye.

3.4. Modelamiento cinético del contenido de fenoles totales y betalaínas durante el proceso productivo de néctar de tuna roja y su almacenamiento

Figura 14

Gráfico de modelos cinéticos para Fenoles totales durante el almacenamiento del néctar de tuna roja

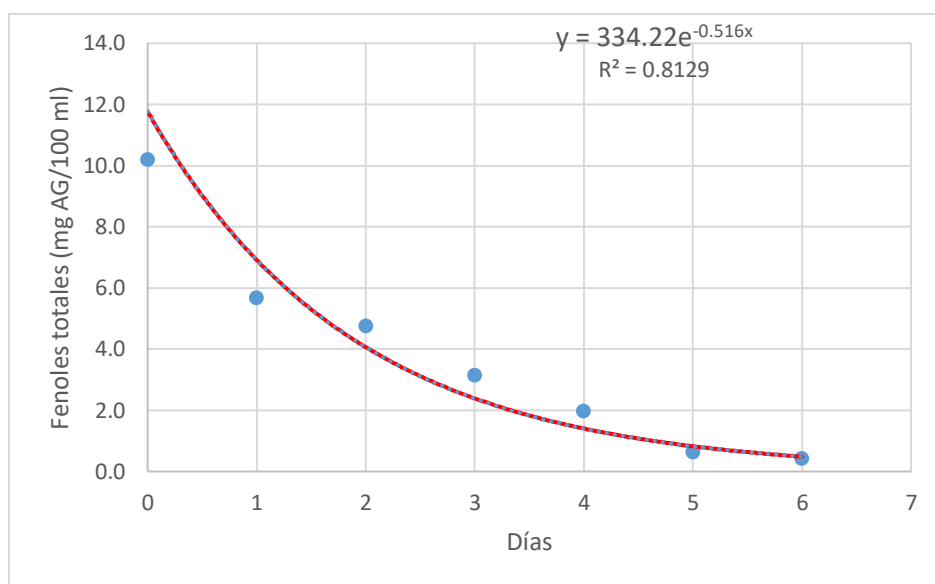


Tabla 27

Parámetros de modelos cinéticos para fenoles totales

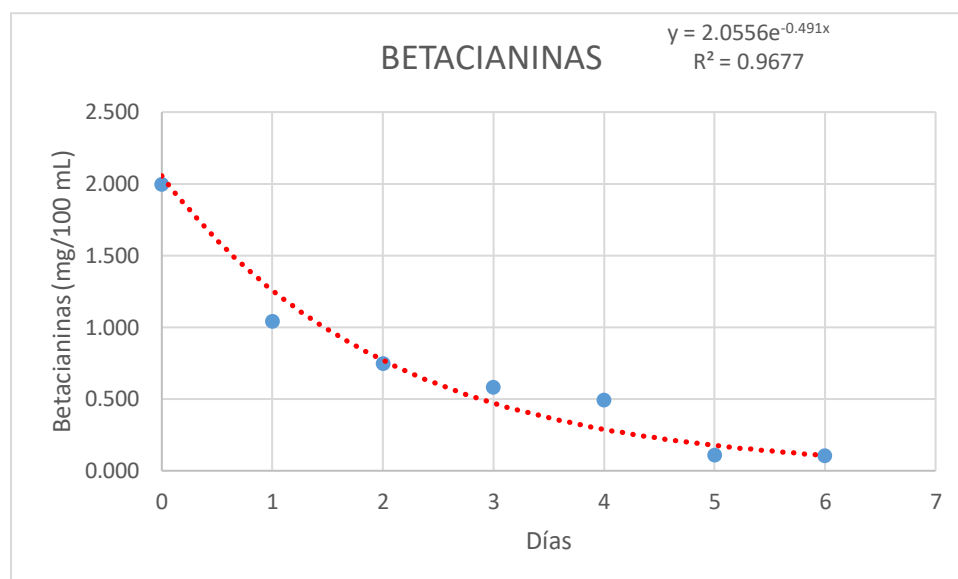
	R2	ECM	A0	K
M. orden 0	0.90	1.75	8.35	-1.51
M. orden 1	0.95	1.35	2.47	-0.53
M. orden 2	0.76	135.66	-0.32	0.36

Nota. Elaboración propia (2022).

En la Tabla 27 y Figura 14, el modelo cinético de orden 1, se ajusta más a los datos experimentales obtenidos de fenoles totales durante el tiempo de almacenamiento en el néctar de tuna elaborado. Específicamente en la Tabla 26 se observa un $R^2=0.95$, lo que significa que el modelo cinético de orden 1, predice en un 95% la degradación de fenoles totales en el néctar de tuna, además con el menor error comparando con el modelo de orden 0 y el modelo de orden 2. Teniendo en cuenta este modelo cinético el tiempo de vida media para los fenoles totales durante en el néctar durante su almacenamiento es de 2 días aproximadamente, teniendo en cuenta que es un estimado para el almacenamiento de temperatura ambiente.

Figura 15

Gráfico de modelos cinéticos para Betacianinas durante el almacenamiento del néctar de tuna roja

**Tabla 28**

Parámetros de modelos cinéticos para betacianinas

	R2	ECM	A0	K
M. orden 0	0.85	1.75	1.56	-0.28
M. orden 1	0.92	36.43	0.72	-0.49
M. orden 2	0.75	145.41	-1.12	1.57

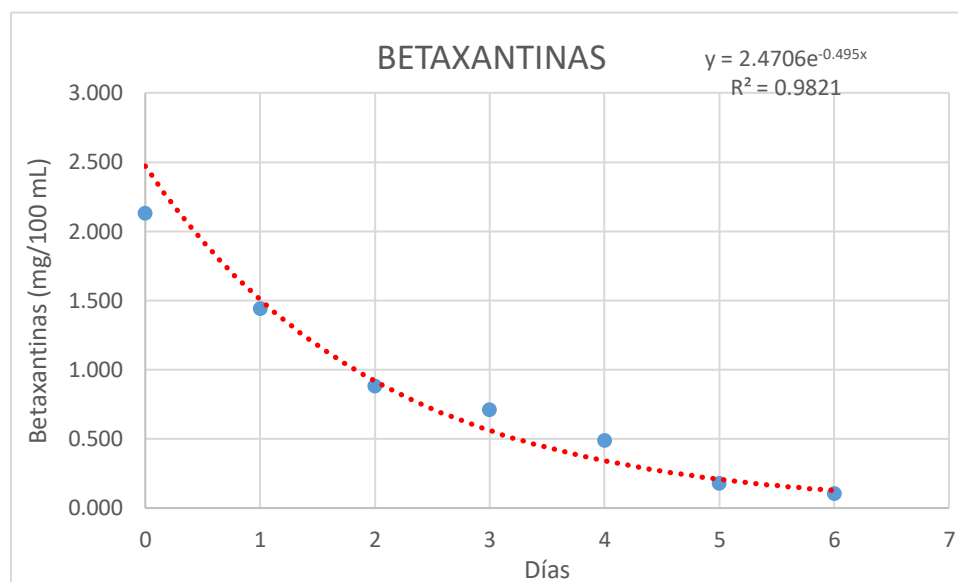
Nota. Elaboración propia (2022).

En la Tabla 28 y Figura 15, el modelo cinético de orden 1, se ajusta más a los datos experimentales obtenidos de betacianinas durante el tiempo de almacenamiento en el néctar de tuna elaborado. Específicamente en la Tabla 27 se observa un $R^2=0.92$, lo que significa que el modelo cinético de orden 1, predice en un 92% la degradación de fenoles totales en el néctar de tuna, además con el menor error comparando con el modelo de orden 0 y el modelo de orden 2.

Teniendo en cuenta este modelo cinético el tiempo de vida media para las betacianinas durante en el néctar durante su almacenamiento es de 1 día aproximadamente, teniendo en cuenta que es un estimado para el almacenamiento de temperatura ambiente.

Figura 16

Gráfico de modelos cinéticos para Betaxantinas durante el almacenamiento del néctar de tuna roja

**Tabla 29**

Parámetros de modelos cinéticos para Betaxantinas

	R2	ECM	A0	K
M. orden 0	0.92	1.75	1.81	-0.32
M. orden 1	0.96	34.29	0.90	-0.49
M. orden 2	0.75	140.95	-1.11	1.37

Nota. Elaboración propia (2022).

En la Tabla 29 y Figura 16, el modelo cinético de orden 1, se ajusta más a los datos experimentales obtenidos de betaxantinas durante el tiempo de almacenamiento en el néctar de tuna elaborado. Específicamente en la Tabla 28 se observa un $R^2=0.96$, lo que significa que el modelo cinético de orden 1, predice en un 96% la degradación de fenoles totales en el néctar de tuna, además con el menor error comparando con el modelo de orden 0 y el modelo de orden 2.

Teniendo en cuenta este modelo cinético el tiempo de vida media para las betaxantinas durante en el néctar durante su almacenamiento es de 2 días aproximadamente, teniendo en cuenta que es un estimado para el almacenamiento de temperatura ambiente.

IV. DISCUSIONES

En esta investigación, se caracterizó fisicoquímicamente a la tuna roja, teniendo como resultados: humedad 79.43%, proteínas 1.59%, lípidos 0.1%, carbohidratos 14.66%, fibra 3.75%, ceniza 0.5%, betacianinas 15.4 mg EB/100 mL de muestra, betaxantinas 25.60 mg EB/100 mL de muestra y fenoles totales 158.542 mg EAG/100 mL de muestra.

Los resultados fisicoquímicos de humedad, proteína, lípidos, carbohidratos, fibra y ceniza de la tuna roja en la presente investigación, coinciden aproximadamente con los resultados proporcionados por Paucara (2017), reportando los valores de 79.08% de humedad, 0.66% de proteínas, 0.22% de lípidos, 10.40% de carbohidratos, 4.97% de fibra y 0.38% de ceniza; diferenciándose mínimamente con algunos valores de su composición, por la procedencia del fruto cultivado.

Los resultados de betacianinas y betaxantinas de esta investigación, se encuentran cercanos a los valores proporcionados por Torres et al. (2017), de los cuales reportan un contenido total de 22,5 mg EB/100 mL de betacianinas y 19,8 mg EB/100 mL de betaxantinas en la pulpa de *Opuntia ficus indica*, una especie de nopal o tuna de color rojo intenso; estos valores proporcionados, pueden verse relacionados con la edad fisiológica de la tuna.

Los resultados reportados por Ortiz (2018) en fenoles totales, evaluando a tres variedades de *Opuntia ficus indica*, fueron, 18.53 ± 0.38 mg EAG/100 g de muestra en v. amarilla, 16.33 ± 0.16 mg EAG/100 g de muestra en v. roja y 16 ± 0.26 mg EAG/100 g de muestra en v. verde; por su parte Monroy et al. (2018), manifestaron los siguientes resultados en fenoles totales, evaluando tuna roja de especie rojo pelón con 30.32 mg EAG/100 g y liso forrajero 6.36 mg EAG/100 g; estos resultados proporcionados difieren en menor composición, a diferencia de los datos obtenidos en la presente investigación (158.542 mg EAG/100 mL), la versatilidad de los compuestos podría tener relación con factores como grado de madurez del fruto en la cosecha, exposición climáticas, conformación de los componentes del suelo, entre otras.

Respecto a los fenoles totales durante el procesamiento para la obtención de néctar de tuna roja, se observó que, si el tratamiento térmico es mayor, no necesariamente la degradación de los compuestos fenólicos es mayor. En esta investigación, los resultados

indicaron que la producción de néctar de tuna, es mejor si se envasa a 85°C, la pasteurización a 85°C por 10 min. y la pre-cocción a 100°C por 1 min. Esta situación puede explicarse como lo señalan Esparza et al. (2016), quienes observaron que el contenido de fenoles totales no disminuye al aumentar la temperatura, por el contrario, tiende a incrementarse. Una posible explicación de las diferencias podría ser por el lugar de cultivo y la producción del fruto.

Sepúlveda y Zapata (2019), afirman que los compuestos fenólicos, pueden mostrar comportamiento de aumento o disminución dependiendo de la temperatura y de los sólidos solubles ya sea durante el procesamiento o almacenamiento. Como en este proyecto de investigación se tiene que a elevadas temperaturas se logra incrementar la estabilidad de los fenoles desde las etapas de pre-cocción (100°C), pasteurización (85°C) y envasado (85°C).

Respecto a las betacianinas durante el procesamiento de la tuna roja para obtener néctar, se observó que, si el tratamiento térmico es menor, la degradación de los compuestos fenólicos es menor, puesto que los resultados indicaron que sería mejor si se produce el néctar de tuna con el envasado 80°C, la pasteurización a 80°C por 10 min. y la pre-cocción a 90°C por 1 min. Seijas (2019), en su estudio realizado a betalaínas indica que la degradación de esos compuestos es causada por factores como luz y temperatura ya que al ser sometidos a dichos factores se rompe la resonancia de la estructura del pigmento, obteniendo máxima estabilidad. Asimismo, Flores et al. (2019), en su estudio realizado, sugiere bajas temperaturas para la conservación de los pigmentos betalámicos, ya que, al ser sometidos a temperaturas elevadas se expone a la reducción del color rojo característico a un marrón claro producidos por el pardeamiento.

En lo que refiere a las betaxantinas durante el procesamiento del néctar de tuna roja, se observó que, si el tratamiento térmico es mayor, no necesariamente la degradación de los compuestos fenólicos será mayor, ya que, según los resultados, sería mejor si se produce el néctar de tuna con un envasado a 85°C, la pasteurización a 85°C por 10 min. y la pre-cocción a 100°C por 1 min. Sánchez et al. (2015), plasma en su investigación la estabilidad de las betaxantinas sobre las betacianinas ya que estas últimas presentan comportamientos inestables a elevadas temperaturas.

Se determinó que los resultados experimentales de fenoles totales, betacianinas y betaxantinas, para el néctar de tuna durante almacenamiento, se ajustan mejor al modelo cinético de orden 1. Estos resultados concuerdan con los siguientes autores:

Según Díaz y Mendoza (2017), estudiaron la cinética de degradación de fenoles y betalaínas durante la cocción de las variedades de quinua pasankalla y collana, donde pudo observar que dicha degradación en el tiempo, siguió un primer orden cinético, hallando para la primera variedad un $R^2=0.93$ y para la segunda, un $R^2=0.94$. Los valores de la investigación, coinciden con los valores del artículo mencionado, mantenido un primer orden cinético, por su comportamiento exponencial ($R^2=0.95$).

La degradación de las betalaínas en el tiempo también siguió una cinética primer orden, cuyos valores de los coeficientes fueron para la primera variedad (pasankalla) $R^2=0.97$, mientras que para la segunda variedad (collana) $R^2=0.95$. Se observó que la primera variedad se degrada más rápido, con un valor de velocidad de degradación de $(-0.064 \text{ min}^{-1})$, mientras que la quinua negra fue de $(-0.058 \text{ min}^{-1})$ a diferentes tiempos de cocción.

Según Pareja (2018), en su investigación, se visualizó un decrecimiento en el contenido de fenoles totales debido al efecto de la temperatura, cuya degradación siguió una cinética de orden 1, donde la temperatura a 100°C causó la menor degradación de estos compuestos en los granos tostados de cacao variedad chuncho. Estos resultados coinciden con la degradación de los fenoles totales y betalaínas de la presente investigación, siguiendo una cinética de orden 1 ($R^2=0.95$).

Flores y Flores (2018), estudiaron en una bebida a base de maíz morado y uña de gato, la estabilidad de las antocianinas, fenoles totales y capacidad antioxidante, determinando que las antocianinas se degradan más a temperatura ambiente, que, en refrigeración, siguiendo una cinética de orden 1.

V. CONCLUSIONES

- ✓ Se logró caracterizar fisicoquímicamente a la tuna roja teniendo los siguientes resultados: humedad 79.43%, proteínas 1.59%, lípidos 0.1%, carbohidratos 14.66%, fibra 3.75%, ceniza 0.5%, betacianinas 15.4 mg AG/100 mL de muestra, betaxantinas 25.60 mg AG/100 mL de muestra y fenoles totales 1 585.42 mg AG/100 mL.
- ✓ Se determinó el contenido de fenoles totales y betalaínas después de la pre-cocción, pasteurización y el envasado del proceso para obtener néctar de tuna; siendo los parámetros ganadores 100°C, 85°C y 85°C respectivamente y los resultados mostraron 27.083; 10.417 y 10.417 mg AG/100 mL de fenoles totales; 3.1; 3.1 y 1.6 mg /100 mL de betacianinas y 3.1; 3.1 y 2.2 mg /100 mL de betaxantinas
- ✓ Se determinó el contenido fenoles totales y betalaínas durante el almacenamiento del néctar de tuna, encontrándose en el día cero hasta el día 6, los siguiente los resultados 10.2 y 0.4 mg AG/100 mL de fenoles totales; 2.079 y 0.109 mg/ 100 ml de betacianinas; 2.272 y 0.110 mg/100 ml de betaxantinas.
- ✓ Se determinó el modelo cinético de mayor ajuste a la variación de fenoles totales y betalaínas el cual fue el de primer orden. Asimismo, el tiempo de vida media de estos compuestos. Se observó que el modelo cinético de primer orden ajusta en un 95%, la degradación de los fenoles totales del néctar de tuna durante su almacenamiento, en un 92% la degradación de betacianinas y en un 96% las betaxantinas. Se determinó un promedio de 2;1 y 2 días de tiempo de vida media para fenoles totales, betacianinas y betaxantinas respectivamente.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para futuras investigaciones evaluar la dependencia de la degradación de fenoles totales, betacianinas y betaxantinas en el néctar de tuna respecto a la temperatura.
- Se recomienda también proponer soluciones sostenibles para prolongar el tiempo de vida media tanto de fenoles totales, betacianinas y betaxantinas en el néctar de tuna durante su almacenamiento en temperatura ambiente.
- También se podría evaluar nuevas alternativas de tratamiento para la obtención de néctar de tuna, con foco en minimizar los compuestos evaluados en esta investigación.
- Es importante tener en cuenta los parámetros en la elaboración del néctar, ya que esto ayudaría a conservar sus nutrientes, como es el caso del néctar de tuna, ya que este producto es rico en fenoles y betalaínas, los cuales durante su proceso productivo se van degradando, de allí la finalidad de esta investigación.
- Debido a que los resultados en este trabajo muestra que los parámetros de temperatura y tiempo experimentados, de todas maneras se pierde fenoles totales y betalaínas específicamente, se recomienda para futuras investigaciones experimentar con otras tecnologías como por ejemplo el uso del ultrasonido combinado con una temperatura mas baja del tratamiento térmico.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, R. y Petricevich, V. (2019). Importancia biológica de los compuestos fenólicos. *Ciencia y Tecnología*, 14(34), 39-43. <http://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/111/60>
- Agis, J., Cruz, N., Calderón, Z., Omaña, A. y Ariza, J. (29-31 de mayo de 2019). *Elaboración de gelatina con cáscara de tuna púrpura: evaluación de betalaínas y su actividad antioxidante*. XVI Encuentro, Participación de la Mujer en la Ciencia. Centro de Investigaciones en Óptica A.C., León, Guanajuato, México. http://congresos.cio.mx/16_enc_mujer/cd_congreso/archivos/resumenes/S1/S1-BYQ27.pdf
- Apaza, A. (2017) *Influencia de parámetros fisicoquímicos en la extracción de pigmentos de ayrampo (Opuntia soehrensii B.), sobre el contenido de fenoles totales, betacianinas totales y capacidad antioxidante* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Moquegua, Perú. <https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/57>
- Campos, D., Noratto, G., Chirinos, R., Arbizu, R., Roca, W. y Cisneros, L. (2006). Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: native potato (*Solanum* sp.), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavon), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 1481-1488. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2529>
- Carmona, J. (2020) *Micropartículas de pulpa de tuna anaranjada Opuntia ficus-indica con mucílago de nopal y su aplicación como colorante en alimentos* (Tesis doctoral). Universidad de Chile, Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/178413>
- Cereceres, A., Rodrigo, J., Álvarez, E. y Rodríguez, A. (2019). Ingestión de compuestos fenólicos en población adulta mayor. *Nutrición Hospitalaria*, 36(2), 470-478. <http://dx.doi.org/10.20960/nh.2171>

- Díaz, G. y Mendoza, E. (2017) *Cinética de la degradación de betalaínas y fenoles totales durante la cocción de la quinua (Chenopodium quinoa Willd)* (Tesis de pregrado). Universidad Señor de Sipán, Perú.
<https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/3183>
- Esparza, F., Miranda, R. y Guzmán, S. (2016) Efecto de la temperatura sobre los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en el residuo de la producción de jugo de mandarina (*Citrus reticulata* Satsuma). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 843- 850.
- Fabela, H., Castro, M., Montalvo, E., Anaya, L., Vargas, A., Betanzos, G. y Hernández, J. (2022). Identificación de compuestos bioactivos y características fisicoquímicas de la harina de cladodios de *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck. *Biotecnia*, 24(1), 46-54. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i1.1519>
- Flores, A. y Flores, R. (2018). Estabilidad de Antocianinas, Fenoles totales y Capacidad Antioxidante de Bebidas de Maíz Morado (*Zea mays* L.) y Uña de Gato (*Uncaria tomentosa* sp). *Información tecnológica*, 29(2), 175-184.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000200175>
- Flores, M., Rentería, A., Sánchez, R. y Chávez, A. (2019). Estructura y estabilidad de las betalaínas. *Interciencia*, 44(6), 318- 325. <https://www.interciencia.net/volumen-44-2019/volumen-44-numero-06/>
- García, E., Fernández, I. y Fuentes, A. (2012). *Determinación de polifenoles totales por el método de Folin Ciocalteu*.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52056/Garcia%20Mart%C3%ADnez%20et%20al.pdf?sequence=1>
- González, A. y Guerrero, J. (2018). Betalaínas: importancia, presencia en vegetales y sus aplicaciones en la industria alimentaria. *Revista Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos de la UDLAP*, 13-21. <https://tsia.udlap.mx/tag/betalainas/>
- Lagua, H., Garzón, J., Domínguez, V. y Alta, A. (2020). Elaboración de una bebida nutritiva

- a base de pulpa de *Opuntia ficus indica* (nopal) enriquecida y saborizada con jugó de *Passiflora edulis*, (maracuyá). *Ciencia Digital*, 4(4.1), 6-17
<https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i4.1.1447>
- Lezama, K. (2017) *Determinación de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del aceite de uva (Vitis vinifera) obtenido con y sin tratamiento enzimático* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3005>
- Martin, D. (2018). Los compuestos fenólicos, un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 81-104.
<https://doi.org/10.22490/21456453.1968>
- Melgarejo, S. (2018) *Uso de residuos sólidos de la industrialización del camu camu (Myrciaria dubia H.B.K. Mc Vaugh) para la extracción de compuestos fenólicos* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3154>
- Mendoza, M. (2014) *Caracterización bromatológica, microbiológica y sensorial del néctar de tuna (Opuntia ficus indica) edulcorado con stevia (Stevia rebaudiana Bertoni)* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica, Perú.
<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/109>
- Monroy, T., Martínez, M., Barrientos, A., Gallegos, C., Cruz, O. y Vargas, H. (2018). Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en frutos de xocotuna, tuna y xoconostle (*Opuntia* spp.). *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 33(3), 263-272. <https://revistas.udec.cl/index.php/chjaas/article/view/484>
- Moreno, F. (2019) *Características físicas y químicas del nopal (Opuntia ficus indica) Copena, Pelón Blanco y Pelón Rojo* (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.
<http://salinas.uaslp.mx/Documents/Tesis/TESIS%20FLOR%20MARGARITA%20MORENO%20OVALLE.pdf>

- Nayhua, C. (2017) *Obtención de colorante natural a partir de la cáscara de tuna púrpura (Opuntia ficus-indica) por el método de extracción sólido-líquido para su aplicación en la industria de alimentos, fruto proveniente del Distrito de San Cristóbal-Moquegua* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Perú.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6391>
- Ortiz, P. (2018) *Compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante in vitro del extracto etanólico en tres variedades de Opuntia ficus-indica* (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Perú.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25600>
- Palmer, K. (2020) *Propiedades físicas, capacidad antioxidante y contenido de betalaínas en pulpa de tuna roja (Opuntia ficus-indica) encapsulada por liofilización* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
<https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/17559>
- Pareja, A. (2018) *Estudio de la cinética de degradación de la actividad antioxidante y fenoles en el tostado de cacao (Theobroma cacao L.) variedad chuncho* (Tesis de pregrado). Universidad Peruana Unión, Perú.
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/107>
- Paucara, C. (2017) *Caracterización física y química de la tuna (Opuntia ficus indica) en el municipio de Luribay provincia Loayza del departamento de la Paz* (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.
<https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/13345>
- Pesantes, G., Higinio, V., Reaño, J. y Orellana, G. (2022). Efecto del blanqueo y la pasteurización sobre la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de la pitahaya roja (*Hylocereus monacanthus*). *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(1), 295-307. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n1-026>
- Robles, M., Jaramillo, C. y Rojas, L. (2018). Contenido de betalaínas y actividad antioxidante en brácteas de *Bougainvillea glabra* Choisy. *Revista Cubana de Farmacia*, 51(2).

<http://www.revfarmacia.sld.cu/index.php/far/article/view/226>

- Rojas, D., Repo, R. y Encina, C. (2017). Determinación de la máxima retención de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en el néctar de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(2), 174-186. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v83i2.195>
- Sánchez, W., Cortez, J., Solano, M. y Vidaurre, J. (2015). Cinética de degradación térmica de betacianinas, betaxantinas y vitamina C en una bebida a base de jugo de remolacha (*Beta vulgaris* L.) y miel de abeja. *Scientia Agropecuaria*, 6(2), 111-118. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.02.03>
- Sánchez, W. y Cortez, J. (2014) *Determinación de la vida útil de la bebida a base de jugo de remolacha y miel de abeja elaborada por la empresa vida saludable del Perú E.I.R.L.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/144>
- Sepúlveda, C. y Zapata, J. (2019). Efecto de la temperatura, el pH y el contenido en sólidos sobre los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante del extracto de *Bixa orellana* L. *Información Tecnológica*, 30(5), 57-66. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500057>
- Torres, A., García, O., Miranda, R. y Cardador, A. (2017). Evaluación de la capacidad antioxidante, características fisicoquímicas y perfil sensorial de *Opuntia robusta* y *O. ficus-indica*. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 67(4), 291-299. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2017/4/art-6/>
- Tovar, S. (2018) *Efecto de la temperatura de secado en los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante del níspero (Mespilus germanica L.)* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4787>
- Vidaurre, J. (2016). *Principios básicos para determinar la vida útil de los alimentos*. Método ASLT (Accelerated Shelf Life Test) (1º Ed.).

- Vidaurre, J., Días, G., Mendoza, E. y Solano, M. (2017). Variación del contenido de betalaínas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante durante el procesamiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* W.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(3), 319-330. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v83i3.116>
- Yáñez, L. (2022) *Compuestos fenólicos en plantas del Ecuador, revisión de propiedades y beneficios medicinales* (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/26414>

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Resultados del contenido de fenoles totales, betacianinas y betaxantinas durante almacenamiento.

Tiempo de almacenamiento	Fenoles totales	Betacianinas	Betaxantinas
0	10.2	2.082	2.276
0	10.2	2.078	2.269
0	10.2	2.078	2.272
1	5.7	1.089	1.540
1	5.7	1.082	1.539
1	5.7	1.091	1.538
2	4.8	0.778	0.940
2	4.7	0.776	0.938
2	4.7	0.779	0.938
3	3.2	0.605	0.756
3	3.1	0.612	0.756
3	3.1	0.606	0.757
4	2.0	0.511	0.521
4	2.0	0.506	0.519
4	2.0	0.518	0.520
5	0.6	0.116	0.192
5	0.6	0.115	0.191
5	0.6	0.117	0.192
6	0.4	0.109	0.110
6	0.4	0.108	0.109
6	0.4	0.110	0.110

Anexo 2: *Caracterización de la materia prima*



Figura 17. *Determinación de humedad*
Nota. Elaboración Propia (2022)



Figura 18. *Determinación de Proteína*
Nota. Elaboración Propia (2022)



Figura 19. *Determinación de lípidos*
Nota. Elaboración Propia (2022)



Figura 20. *Determinación de fibra*
Nota. Elaboración Propia (2022)



Figura 21. *Determinación de ceniza*
 Nota. Elaboración Propia (2022)



Figura 22. *Determinación de fenoles totales*
 Nota. Elaboración Propia (2022)



Figura 23. *Determinación de betacianinas*
 Nota. Elaboración Propia (2022)

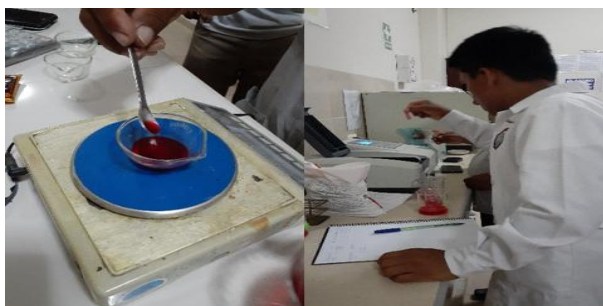


Figura 24. *Determinación de betaxantinas*
 Nota. Elaboración Propia (2022)

Anexo 3: Elaboración de néctar de tuna roja



Figura 25. Pesado de materia prima
Nota. Elaboración propia (2022).



Figura 26. Lavado de materia prima
Nota. Elaboración propia (2022).



Figura 27. Pelado de materia prima
Nota. Elaboración propia (2022).



Figura 28. Pre-cocción
Nota. Elaboración propia (2022).



Figura 29. Despulpado de materia prima
Nota. Elaboración propia (2022).



Figura 30. Refinado de la pulpa
Nota. Elaboración propia (2022).



Figura 31.
Pasteurización
Nota. Elaboración propia
(2022).



Figura 32. Envasado y sellado
Nota. Elaboración propia (2022).