UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

TESIS

EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO EN EL CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL ZUMO DE TUNA (*Opuntia - ficus indica)* EN TRES ECOTIPOS

PRESENTADO POR:

Yessica Rosalia Puma Eugenio

ASESOR: Dr. Elías Escobedo Pacheco

CO-ASESOR: Dr. Erick M. Saldaña Villa

MOQUEGUA – PERÙ

2023

Folio N° 11

ACTA DE SUSTENTACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA UNAM FEDATARIO

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación de la modalidad de titulación del bachiller:
Resolución de C.O. N° 0614-2020-UNAM

Fecha: 26-10-2020

III. Documento de aprobación para la sustentación:
Resolución de Facultad N° 054-2023-FACIA-UNAM

Fecha: 05-05-2023

IV. El Jurado ha dictaminado la (el) TESIS

TITULADO: EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO EN EL CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL ZUMO DE TUNA (Opuntia-ficus indica) EN TRES ECOTIPOS

Bachiller: YESSICA ROSALIA PUMA EUGENIO

Asesor Principal: Dr. ELÍAS ESCOBEDO PACHECO

Co-Asesor: Dr. ERICK MANUEL SALDAÑA VILLA

V. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: QUINCE (15) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de **INGENIERO AGROINDUSTRIAL.**

Siendo las 12:00 horas, del 16 de MAYO del año 2023 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
NILS LEANDER HUARCAYA CASTILLA
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
M.Sc. Lycet María Cáceres Bustinza
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
MSc. Karina Erika Eduardo Palomino
(Nombres y Apellidos)

Miembro Accesitario
BEATRIZ DAMIANO VASQUEZ
(Nombres y Apellidos)

Asesor Principal
Dr. Elías Escobedo Pacheco
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
Yessica Rosalia Puma Eugenio
(Nombres y Apellidos)

Co-Asesor
(Nombres y Apellidos)

DEDICATORIA

A mi padre por ser el pilar fundamental de toda mi educación y formación profesional, por su apoyo, sacrificio en todos estos años, por ser siempre mi motivación y poder lograr cada objetivo.

A mis hermanas que en el día a día me impulsaron para salir adelante, con su respaldo, su apoyo, además de saber que mis logros también son los suyos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por estar presente en cada momento, por haberme guiado a lo largo de mi carrera profesional, por darme salud, fuerza, perseverancia, para lograr cada objetivo y metas que me eh propuesto, y por haber puesto en mi camino a personas que aportaron en mi formación profesional.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Dr, Nils Leaner Huamán Castilla, por su apoyo, su tiempo y sus valiosos aportes durante el desarrollo y culminación de mi proyecto de investigación.

Al Dr. Elías Escobedo Pacheco por su asesoramiento, sus conocimientos en la ejecución de mi proyecto de investigación.

Al Dr. Erik M. Saldaña Villa por su interés, su apoyo en la ejecución del presente trabajo

Al Dr. Franz Zirena Vilca por darme la facilidad en el uso de laboratorio en la sede Ilo, en el cual fue muy importante para culminar el desarrollo de mi proyecto de investigación.

Agradecer a todas aquellas personas que colaboraron de alguna u otra manera en la ejecución de mi proyecto de investigación

REFERENCIAS DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

°C	: Grados centígrados
min	: Minutos
%	: Porcentaje
EAG	: Equivalente de ácido gálico
gbs	: Gramos en base seca
mg	: Miligramos
mL	: Mililitros
Tn	: Toneladas
UV	: Ultravioleta visible
pH	: pH-metro
TPC	: Contenido total de polifenoles
DPPH	: 1,1-difenil-2-picrihidracil
HPLC	: Cromatografía líquida de rendimiento untraalto
IC_{50}	: Concentración de Inhibición media
° Brix	: Grados brix
µg	: Microgramo
kg	: Kilogramo
AH	: Antioxidante
nm	: Nanómetro
µL	: Microlitros
p/v	: Peso por unidad de volumen
L	: Litros
mm	: Milímetro
µm	: Micrómetro
ANOVA	: Análisis de varianza
R^2	: Coeficiente de determinación
GRA	: Gerencia Regional de Agricultura

RESUMEN

La tuna (*opuntia ficus indica*) es una cactácea que tiene muchas alternativas de industrialización por ser un producto con gran diversidad de componentes bioactivos como compuestos fenólicos y antioxidantes naturales, sin embargo, estos compuestos son afectados por las condiciones de procesamiento. Por ello, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el efecto del tratamiento térmico sobre el contenido total de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y perfil de polifenoles específicos del zumo de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en dos ecotipos (blanca y morada). Para lo cual el zumo de tuna se sometió a un tratamiento térmico convencional a temperaturas de 65°C, 75°C y 85°C y tiempos de 10, 20 y 30 min. Luego los extractos se analizaron en su contenido de compuestos fenólicos por el método de Folin – Ciocalteu y la capacidad antioxidante mediante el método de inhibición del radical DPPH (1,1- difenil-2-picril-hidrazilo). El resultado de los análisis mostró una mayor estabilidad de compuestos fenólicos a temperatura de 65°C y un tiempo de 10 min, con una recuperación de 0.925 mg EAG/gbs en tuna morada y 0.897 mg EAG/gbs en tuna blanca. En las mismas condiciones el mayor contenido de capacidad antioxidante definida por el valor IC_{50} fue de 2.109 mg/ml para la tuna morada y 2.957 mg/ml para la tuna blanca. Así mismo las condiciones de tratamiento térmico a bajas (temperaturas y tiempo) permitió una mayor recuperación de polifenoles específicos.

Palabras claves: Compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, tuna, tratamiento térmico.

ABSTRACT

The prickly pear (*opuntia ficus indica*) is a cactus that has many industrialization alternatives because it is a product with a great diversity of bioactive compounds such as phenolic compounds and natural antioxidants; however, these compounds are affected by processing conditions. Therefore, the present research work aims to evaluate the effect of heat treatment on the total content of phenolic compounds, antioxidant capacity and profile of specific polyphenols of prickly pear juice (*Opuntia ficus-indica*) in two ecotypes (white and purple). For which the prickly pear juice was exposed to a conventional heat treatment at temperatures of 65 ° C, 75 ° C and 85 ° C and times of 10, 20 and 30 min. Then the extracts were analyzed in their content of phenolic compounds by the method of Folin – Ciocalteu and the antioxidant capacity by the method of inhibition of the radical DPPH (1,1-diphenyl-2-picril-hydrazyl). The result of the analysis showed a greater stability of phenolic compounds at a temperature of 65 ° C and a time of 10 min, with a recovery of 0.925 mg EAG/gbs in purple prickly pear and 0.897 mg EAG/gbs in white prickly pear. Under the same conditions, the highest antioxidant capacity content defined by the IC_{50} value was 2.109 mg/ml for purple prickly pear and 2.957 mg/ml for white prickly pear. Likewise, the heat treatment conditions at low temperatures and time allowed a greater recovery of specific polyphenols.

INDICE

I. Planteamiento del problema 16
1.1. Descripción y formulación del problema 16
1.2. Objetivos 17
1.2.1. Objetivo general 17
1.2.2. Objetivos específicos 17
1.3. Justificación e importancia 18
1.4. Hipótesis 18
1.4.1. Hipótesis general 18
1.4.2. Hipótesis específica 18
II. Marco Teórico 20
2.1. Antecedentes 20
2.2. Bases Teórico 24
2.2.1. Tuna 24
2.2.2. Taxonomía 24
2.2.3. Ecotipos de la tuna 25
2.2.4. Producción de la tuna en el Perú 26
2.2.5. Producción de tuna en la región Moquegua 27
2.2.6. Composición química 28
2.3. Compuestos bioactivos 28
2.3.1. Compuestos fenólicos 29
2.3.1.1. Clasificación de compuestos fenólicos 32
2.3.2. Polifenoles presentes en la tuna 33
2.3.3. Capacidad antioxidante 34
2.3.3.1. Estrés oxidativo 36
2.3.3.2. Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos 37
2.4. Tratamiento térmico 38
2.4.1. Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de compuestos bioactivos 39
2.4.2. Efecto del tratamiento térmico sobre los compuestos antioxidantes 39

2.5. Métodos de evaluación 40
2.5.1. Determinación de la capacidad antioxidante método DPPH 40
2.5.2. Determinación de fenoles totales por el método de folin 41
2.5.3. Técnicas cromatográficas 42
III. Metodología 45
3.1. Tipo y nivel de investigación 45
3.2. Ámbito temporal y espacial 45
3.3. Población y Muestra 45
3.4. Instrumentos para la recolección de datos 47
3.4.1. Materiales de vidrio 47
3.4.2. Insumos y reactivos 47
3.4.3. Equipos 48
3.4.4. Otros materiales 48
3.5. Procedimientos 50
3.5.1. Extracción del zumo de tuna 50
3.5.2. Metodología exponencial 52
3.6. Análisis de datos 56
3.6.1. Diseño experimental 56
3.7. Pruebas preliminares 58
IV. Resultados y discusiones 59
4.1. Efecto del tratamiento térmico en el contenido de compuestos fenólicos 59
4.2. Efecto del tratamiento térmico en el contenido de capacidad antioxidante 62
4.3. Evaluación de las cinéticas de deterioro de polifenoles presentes en los extractos 66
4.4. Estabilidad de polifenoles específicos presentes en zumo de pulpa de tuna 68
4.4.1. Ácido fenólicos (Ácido cafeico) 68
4.4.2. Flavanoles 68
4.4.3. Flavonoles 71
V. Conclusiones 73
VI. Recomendaciones 74

VII. Referencias 75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de la tuna..... 25
Tabla 2. Producción de la tuna en el Perú..... 26
Tabla 3. Producción de tuna en la región Moquegua..... 27
Tabla 4. Características químicas y tecnológicas de la pulpa de la tuna..... 28
Tabla 5. Distribución y contenido de fenoles en pulpa de Opuntia ficus- indica 34
Tabla 6. Determinación del contenido de polifenoles..... 59
Tabla 7. Capacidad antioxidante presente en zumo de tuna 63
Tabla 8. Polifenoles específicos cuantificados en los zumos obtenidos por UHPLC en tiempo de tratamiento a 30 minutos. 70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los compuestos fenólicos 29
Figura 2. Estructura química del fenol 30
Figura 3. Estructura química de las diferentes clases de flavonoides 31
Figura 4. Sistema de defensa antioxidante 33
Figura 5. Estructura química del radicas DPPH y su reaccion con un secuestrante indicado por AH 39
Figura 6. Mecanismo de acción del reactivo de Folin-Ciocalteu 40
Figura 7. Diagrama básico de un cromatógrafo líquido de alto rendimiento 42
Figura 8. Ubicación del Centro Poblado San Cristobal 46
Figura 9. Diagrama de elaboración de zumo de tuna (blanca, morada y anaranjada) 50
Figura 10. Proceso del tratamiento térmico 49
Figura 11. Contenido de compuestos fenólicos de la tuna ecotipo morada 59
Figura 12. Contenido de compuestos fenólicos de tuna ecotipo blanca 60
Figura 13. Contenido de capacidad antioxidante de tuna morada 65
Figura 14. Contenido de capacidad antioxidante de tuna blanca 65
Figura 15. Cinética de deterioro de compuestos fenólicos en tuna morada 66
Figura 16. Cinética de deterioro de compuestos fenólicos en tuna blanca 67
Figura 17. Estabilidad de polifenoles específicos a partir de zumos de tuna morada y tuna blanca 72

ÍNDICE FOTOGRÁFICO

Fotografía 1. Muestras de tuna blanca 88
Fotografía 2. Muestras de tuna morada 88
Fotografía 3. Muestras de tuna anaranjada 89
Fotografía 4. Zumo de tuna morada 89
Fotografía 5. Zumo de tuna blanca 90
Fotografía 6. Tratamiento térmico mediante el baño termostático 90
Fotografía 7. Envases conteniendo zumo de tuna para análisis 91
Fotografía 8. Dilución de la muestra 91
Fotografía 9. Análisis de compuestos fenólicos 92
Fotografía 10. Análisis de capacidad antioxidante por el método DPPH 92
Fotografía 11. Sistema de elución para perfil de polifenoles 93
Fotografía 12. Sistema de Cromatografía UHPLC 93

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfco..... 88
Anexo 2. Curva de calibración del método de Folin Ciocalteu 94
Anexo 3. Contenido de compuestos fenólicos en zumo de tuna anaranjada 95
Anexo 4. Análisis de varianza para compuestos fenólicos con respecto a la temperatura 96
Anexo 5. Pruebas de comparación 97
Anexo 6. Análisis de varianza para compuestos fenólicos respecto al tiempo 98
Anexo 7. Pruebas de comparación 99
Anexo 8. Análisis de varianza de capacidad antioxidante respecto a la temperatura 100
Anexo 9. Pruebas de comparación 101
Anexo 10. Análisis de Varianza de la capacidad antioxidante respecto al tiempo ... 102
Anexo 11. Pruebas de comparación 103
Anexo 12. Orden de reacción para tuna morada 104
Anexo 13. Orden de reacción para tuna blanca..... 105
Anexo 14. Regresión lineal y coeficiente de regresión de polifenoles específicos .. 106
Anexo 15. Cromatograma de polifenoles específicos..... 107
Anexo 16. Análisis de varianza para polifenol específico rutina..... 108
Anexo 17. Pruebas de comparación 109
Anexo 18. Análisis de varianza para polifenol especifico quercetina 110
Anexo 19. Pruebas de comparación 111
Anexo 20. Análisis de varianza para polifenol especifico kaempferol..... 112
Anexo 21. Pruebas de comparación 113
Anexo 22. Análisis de varianza para polifenol especifico catequina..... 114
Anexo 23. Pruebas de comparación 115
Anexo 24. Análisis de varianza para polifenol especifico epicatequina..... 116
Anexo 25. Pruebas de comparación 117
Anexo 26. Análisis de varianza para polifenol específico ac. Cafeico 118
Anexo 27. Pruebas de comparación 119

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe diversidad de alimentos funcionales que se presentan como una alternativa en la dieta alimentaria, una de ellas es la tuna *(Opuntia ficus-indica*) pertenece a la familia cactácea es una fruta que tiene muchas bondades nutricionales, nos ofrece grandes alternativas de industrialización, así mismo ha sido ampliamente utilizado en la medicina tradicional, en alimentos y en el campo farmacéutico y ha demostrado ser rico en compuestos antioxidantes, tales como polifenoles, betalaínas y vitamina C (Jorge & Troncoso, 2016). Sin embargo, es una fruta perecedera, por lo que se busca revalorar y realizar estudios que nos permita dar un adecuado valor agregado, en este caso se propuso identificar los compuestos bioactivos presentes en este fruto, como compuestos fenólicos, capacidades antioxidantes mediante un tratamiento térmico.

Estas sustancias bioactivas o también llamados metabolitos secundarios de origen vegetal se denominan también fitoquímicos o fitonutrientes, son aquellos compuestos esenciales y no esenciales que se producen en la naturaleza siendo parte de la cadena alimenticia, como los compuestos fenólicos que tienen funciones importantes en las frutas como el color, la protección antioxidante y la función microbiana; estos compuestos pueden actuar como antioxidantes (Martínez-Navarrete et al., 2008). La actividad antioxidante es importante ante el estrés oxidativo presente en el organismo humano, y es importante para la protección de diferentes enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo, también está asociado con la disminución del riesgo de padecer enfermedades crónicas como cáncer, problemas cardiovasculares, Alzheimer, derrames cerebrales (Cárdenas Baquero et al., 2016).

El procesamiento térmico en frutas es un método importante que permite la conservación y la prolongación de la vida útil, debido a la inactivación de microorganismos presentes en el producto, por otro lado, el tratamiento térmico tiene

un efecto en el contenido de los compuestos fenólicos, antioxidantes en frutas y verduras (Liaotrakoon et al., 2013).

En tal sentido, el presente trabajo propone evaluar el efecto de diferentes temperaturas y tiempo de tratamiento térmico en el contenido de compuesto fenólicos y capacidad antioxidante en tres ecotipos de tuna blanca, morada y anaranjada, ello permitirá la revalorización e industrialización. Los parámetros obtenidos servirán de base para realizar nuevos estudios y su posterior aplicación a nivel industrial.

I. Planteamiento del problema

1.1. Descripción y formulación del problema

El mayor productor de tuna de la región Moquegua es el distrito San Cristóbal con una producción anual de 1,570.1Tn (GRA, 2020), su comercialización se da mediante pequeños acopiadores hacia regiones vecinas (Puno, Tacna y Arequipa) y es el sustento de muchas familias dedicadas a este rubro; sin embargo, es un producto que no se tiene disponible para su consumo durante todo el año ya que solo se puede disfrutar durante su época de cosecha por ser un producto perecedero y que se abarata en la época de mayor producción (Martínez et al., 2010).

Si bien, diferentes estudios (López et al., 1997; Da silva et al., 2013;Chacón et al., 2020) han propuesto alternativas para su industrialización como néctares y zumos con la finalidad no solo de darle un valor agregado, sino también de incrementar su periodo de vida útil, la escasa información del efecto del tratamiento térmico sobre la concentración de sus compuestos antioxidantes (polifenoles y betalainas) limitan su posible industrialización y oferta en el mercado como un producto nutraceútico de alto valor agregado.

Por lo tanto, la industrialización de la tuna, se vuelve de gran necesidad e impulsa el interés de evaluar nuevas alternativas de dietas ricas en alimentos de origen vegetal como néctar o zumo, ya que diferentes estudios han demostrado que la tuna tiene gran potencialidad en concentración de compuesto antioxidantes tales como acido ascórbico, compuestos betalainicos y compuestos fenólicos, que aportan en la prevención de enfermedades crónicas degenerativas. El limitado estudio sobre el tratamiento térmico en la industrialización de la tuna con relación al contenido de sus componentes bioactivos, afectan en gran medida el interés de darle un valor agregado y prolongar su vida útil.

Por todo ello la finalidad del presente proyecto de investigación es evaluar el efecto del tratamiento térmico y tiempo en la estabilidad de sus componentes bioactivos como capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en tres ecotipos (blanca, morada y anaranjada) e incrementar su consumo, producción y comercialización.

Interrogante del problema:

¿Cuál es efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del zumo de tuna (*opuntia - ficus indica)* en tres ecotipos?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto del tratamiento térmico sobre el contenido total de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y perfil de polifenoles del zumo de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en tres ecotipos (blanca, morada, anaranjada).

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el contenido total de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del zumo de tuna sin tratamiento térmico en tres ecotipos (blanca, morada y anaranjada).
- Evaluar el efecto del tratamiento térmico a diferentes temperaturas (65, 75, 85°C) y tiempos (10, 20, 30 min), en el contenido total de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del zumo de tuna. (*Opuntia ficus-indica*) en tres ecotipos (blanca, morada y anaranjada).
- Evaluar el perfil de compuestos fenólicos del zumo sin tratamiento térmico y el zumo con mejor tratamiento térmico en cada ecotipo.

1.3. Justificación e importancia

El presente proyecto de investigación busca revalorar e identificar las propiedades bioactivas e incentivar su industrialización, de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) y mejorar el ingreso económico de los productores. ya que es un fruto que se consume en fresco.

Un tratamiento térmico y temperatura adecuado permitirá conservar en gran medida los compuestos bioactivos y ofrecer al mercado un producto con un mayor tiempo de vida útil, revalorando esta materia prima e incentivar el consumo de productos de origen vegetal con propiedades bioactivas como antioxidantes, compuestos fenólicos, que son beneficiosas para la salud. y fomentar la producción, comercialización.

Por lo tanto, se ha propuesto evaluar el efecto de diferente tratamiento térmico en el contenido compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del zumo de tuna (*Opuntia ficus - indica*) en tres ecotipos (blanca, morada y anaranjada).

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

- El tratamiento térmico tiene efecto en el contenido total de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del zumo de tuna (*Opuntia ficus - indica*) en tres ecotipos (blanca, morada y anaranjada).

1.4.2. Hipótesis específica

- El zumo de tuna sin tratamiento térmico en los tres ecotipos (blanca, morada y anaranjada) contienen altos contenidos de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante.
- El tratamiento térmico tiene efecto en la cantidad de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del zumo de tuna en los tres ecotipos (blanca, morada y anaranjada).

- Un tratamiento térmico adecuado permite conservar y/o mejorar el contenido total de compuestos fenólicos en el zumo de tuna en tres ecotipos (blanca, morada y anaranjada).

II. Marco Teórico

2.1. Antecedentes

Jaramillo *et al,* (2003) Evaluaron el efecto del tratamiento térmico sobre la actividad antioxidante, Contenido de carotenoides y compuestos fenólicos a partir de Cladodios de Nopal (*Opuntia ficus-indica*), combinados a diferente tratamiento térmico como temperaturas de 63, 68, 73, 78, 83 y 93ºC a un tiempo de 30 min. Los resultados mostraron que los tratamientos térmicos incrementaron la extractabilidad de estos pigmentos y la actividad antioxidante se relacionó con la concentración de carotenoides. El contenido de fenoles totales disminuyó después de los tratamientos térmicos; sin embargo, este resultado tuvo poco efecto sobre la actividad antioxidante.

González *et al.* (2018) Evaluaron el efecto del tiempo y temperatura del asado y freído de los nopalitos, sobre su actividad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos. Los nopalitos fueron asados, freídos a tres temperaturas (75, 100 y 125 °C) y a diferentes tiempos (5, 10, 15, 20, 25 y 30 min). Los resultados indican que los compuestos fenólicos tienen mayor influencia sobre la actividad antioxidante de los NTTA (nopalitos tratados térmicamente asados) y NTTF (nopalitos tratados térmicamente freídos). La máxima actividad antioxidante se encontró en los NTTA a 125 °C por 30 min con 29.9% en NTTF y 12.1 en NTTE. El mayor contenido de compuestos fenólicos se obtuvo en los nopalitos asados a 75 °C por 20 min con 1650.1 0.1 $\mathrm{mg} \times \mathrm{g}^{-1}$. El asado y el freído modifican las características nutracéuticas de los nopalitos, concluyendo que el tipo, tiempo y temperatura del tratamiento térmico, influyen sobre la actividad antioxidante, contenido de compuestos fenólicos.

Chen *et al.* (2014) Evaluaron el efecto del tratamiento térmico sobre los polifenoles de manzana a seis temperaturas diferentes (70, 75, 80, 85, 90 y 95ºC) y diferentes tiempos de tratamiento (10, 20 y 30 min). Los resultados

mostraron que el contenido de polifenoles, después del tratamiento térmico, mantuvieron concentraciones similares en solución en comparación con el control. También, se investigó el efecto del pH sobre los polifenoles de la manzana a 11 niveles de pH diferentes y a 2 temperaturas diferentes. El pH óptimo de los polifenoles de manzana resultó ser 5,0. Cuando las muestras se trataron a un valor de pH de 3.0–5.0 y a una temperatura de 90 °C, las concentraciones de polifenoles de manzana de las muestras tratadas fueron similares. El tratamiento térmico, el contenido de polifenol de manzana se vieron afectados significativamente por el contenido de vitamina C; Los polifenoles de manzana poseían una buena estabilidad al calor y al pH y podrían prevenir la oxidación de la vitamina C.

Shourove *et al*. (2020) Evaluaron el efecto del tratamiento térmico sobre la estabilidad de compuestos bioactivos a partir de jugo de carambola, combinados a diferentes tratamientos térmicos (70°C, 80°C y 90°C) por un tiempo de, 20, 30 y 40 min por baño de agua a temperatura controlada. Los resultados mostraron un mayor cambio de color general (ΔE= 11.04±0.76) a una temperatura de a 90°C y un tiempo de 40 min. El contenido total de polifenoles (TPC) encontrado en jugo fresco es de (540.08±16.64 mg GAE/100 ml) y no cambió de manera regular con el cambio de temperatura. La actividad máxima de eliminación de DPPH se encontró en jugo fresco (60,19 ± 1,39 %) y disminuyó a (53,83 ± 1,43 %) cuando se aplicó una temperatura de 90 °C durante 40 min.

Kuti (2004) investigó el contenido de compuestos antioxidantes en extractos de cuatro variedades de frutas de cactus (especies de *Opuntia*). El estudio muestra que las frutas de piel roja contenían la mayor cantidad de ácido ascórbico (815 mg/g) y las frutas de piel amarilla la mayor cantidad de carotenoides (23,7 mg/g). Se evaluó que la actividad antioxidante de los extractos de frutas fue más fuerte en las de piel morada que en otras variedades. Este resultado fue consistente con el contenido total de flavonoides de las frutas

de piel púrpura. Por lo tanto, la capacidad antioxidante de los frutos de nopal aportar cantidades sustanciales de antioxidantes a la dieta. Los datos indican que los frutos de cactus son una rica fuente de compuestos bioactivos para los alimentos.

Tahar *et al.* (2019) Evaluaron los componentes bioactivos del jugo de higo chumbo (*opuntia ficus indica*) y cocteles con zumo de naranja. A un tratamiento térmico de 85°C y un tiempo de 10, 20, 30 min. Los resultados mostraron que el zumo de naranja es más sensible al calor que los del zumo de higo chumbo con una pérdida de hasta el 14 % para el zumo de naranja y el 10 % para el zumo de higo chumbo tratados durante 30 min, indicando que un tratamiento de estabilización por calor, afecta débilmente la tasa de polifenoles.

De Albuquerque *et al*. (2021) Estudiaron el uso del tratamiento con ultrasonido para mejorar los compuestos bioactivos y las propiedades de calidad de una bebida de nopal y se comparó con el tratamiento térmico. En el cual las muestras fueron acondicionadas a un control sin tratamiento (C0), bebida sometida a tratamiento térmico durante 10 min (HP10) y bebida sometida a tratamiento con ultrasonido durante 10 (US10), 20 (US20), y 40 (US40) min. Los resultados mostraron que la bebida US40 presentó presento una mejor actividad antioxidante y un 81,80 % más de compuestos fenólicos en comparación con el HP10. La US40 presentó mayor estabilidad para compuestos bioactivos, mientras que la muestra HP10 presentó resultados menores a los tratamientos antes mencionados. Por lo tanto, el tratamiento el tratamiento por ultrasonido representa una técnica prometedora para preservar o mejorar la calidad de este producto a diferencia de un tratamiento térmico HP10.

Zorenc *et al*. (2017) Evaluaron el impacto de diferentes temperaturas de tratamiento (4°C, temperatura ambiente, 50°C, 75°C y 100°C) sobre la estabilidad metabolitos secundarios en purés de arándanos de tres cultivares diferentes (“Bluecrop”, “Jersey” y “Earliblue”). Como resultado mostraron que

los purés de arándanos preparados a temperaturas más altas tuvieron una disminución del 11-32% del contenido fenólico total y menor contenido de todos los grupos fenólicos analizados. La disminución de antocianinas totales se ha relacionado con el color más oscuro de los purés, sometidos a temperaturas más altas. Por lo tanto, la pérdida de metabolitos secundarios fue específica del cultivar y las temperaturas más altas causaron una mayor disminución en los purés "Earliblue" y "Jersey" en comparación con el puré "Bluecrop".

Ghafoor *et al.* (2019) Investigaron el efecto del calentamiento a diferentes temperaturas (60, 80, 90, 110 y 130 °C) sobre el contenido fenólico total, la actividad antioxidante y los compuestos fenólicos específicos a partir de frutos de ciruela y mahaleb. Los resultados mostraron que el proceso de calentamiento provocó una reducción tanto en el contenido fenólico total como en la actividad antioxidante de la ciruela y el mahaleb. Mientras que (+)-catequina (92,62 mg/kg), 1,2-dihidroxibenceno (132,15 mg/kg), ácido gálico (107,01 mg/kg) y ácido 3,4-dihidroxibenzoico (74,59 mg/kg) son los compuestos fenólicos claves en ciruela fresca, (+)-catequina, ácido 3,4- dihidroxibenzoico, 1,2-dihidroxibenceno y ácidos siríngico y cafeico fueron los principales compuestos fenólicos de las frutas mahaleb. Por lo tanto, el contenido de polifenoles de las frutas y la clase de fenoles presentes se ven afectados significativamente por la temperatura de calentamiento.

Marszałek *et al.*.(2017) Evaluaron los cambios en la calidad del puré de fresa conservado por procesamiento de alta presión (HPP) y pasteurización térmica (TP) durante el almacenamiento en frío (6°C) y determinaron su período óptimo de almacenamiento. Como resultado mostraron el período de almacenamiento del puré de fresa tratado a 500 MPa, 50°C, 15 min basado en cambios microbiológicos fue de 12 semanas. En este período, el puré perdió el 32 % de los polifenoles, el 73 % de las antocianinas y toda la vitamina C. La calidad sensorial general disminuyó 3 puntos en una escala de 9 puntos. En

condiciones de almacenamiento similares, el puré conservado en TP perdió solo el 28 % de los polifenoles y el 54 % de las antocianinas y toda la vitamina C. concluyeron que los cambios de color fueron más visibles (dE = 7,21) en comparación con la muestra de HPP, mientras que la calidad sensorial general disminuyó solo en 2 puntos.

2.2. Bases Teórico

2.2.1. Tuna

La tuna es el fruto del nopal, una planta arbustiva que pertenece a la familia Cactácea, género *Opuntia*, que puede alcanzar de 3 a 5 m de altura, se adapta a climas áridos y semiáridos en regiones tropicales y semitropicales y en suelos arenosos, pedregoso y poco fértiles. Sin embargo, los suelos húmedos, altamente arcillosos no son apropiados para su cultivo (Sáenz et al., 2006).

En el mundo se conocen aproximadamente 300 especies, son originarias de México, y están presentes en todo el continente americano, desde el norte de Canadá hasta el sur de Chile, también en Sudáfrica y países de la cuenca del Mediterráneo. La especie más común es *Opuntia ficus-indica* que se caracteriza por tener frutos dulces, jugosos, de distintos ecotipos (púrpura, rojo, naranjo o amarillo), con abundante pulpa, con numerosas semillas y cáscara generalmente delgada, cubierta de pequeños grupos de espinas (Sáenz et al., 2006).

2.2.2. Taxonomía

El primer nombre español es Higo de las Indias, que alude su origen, las "Nuevas India" y de allí su primer nombre científico: *Cactus ficus – indica L.* El nombre *ficus-indica* había sido usada en "frases diagnosticadas" ya mucho antes de Linneo, para designar varias especies (Paucara, 2017).

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Caryophillales
Familia	: Cactaceae
Subfamilia	: *Opuntioideae*
Género: Opuntia Especie	: *ficus-indica*
Nombre binomial	: *O. ficus-indica* (L.)

2.2.3. Ecotipos de la tuna

Los ecotipos es una subpoblación genéticamente diferenciada que está restringida a un hábitat específico, un ambiente particular o un ecosistema definido, con unos límites de tolerancia a los factores ambientales. Los ecotipos de tuna existentes en el Perú, se diferencian por la coloración de fruto y por la presencia de espinas (Huaringa, 2015).

Tabla 1.

Características de la tuna

Ecotipo	Altura de planta	Diámetro	Flores	Fruto
Blanca	1.50 - 2.5 m	Grande y suculenta	Amarillo claro	Buena aceptación
Amarilla	2.00 - 3.00 m	Mediano y poco suculenta	Amarillo claro	Las más preferidas
Morada	2.00-3.00 m	Mediano y suculenta	Amarillo y violaceo	Poca aceptación
Colorada	1.80 - 2.50 m	Mediano	Amarillo y violaceo	Menor aceptación
Forrajera	1.50 - 2.50 m	Mediano y de forma redonda	Amarillo y violaceo	

Fuente: (Huaringa, 2015)

2.2.4. Producción de la tuna en el Perú

El cultivo de la Tuna en el Perú constituye una actividad importante en la región de la sierra, aunque en los últimos 20 años, se ha incrementado su cultivo en la costa. En la sierra, la mayor proporción de tunales permite obtener fruta y cochinilla, mientras que en la costa sólo se puede desarrollar un tipo de explotación: Fruta o cochinilla (Álvarez, 2002).

Tabla 2.

Producción de la tuna en el Perú

Región	Producción (Tn)
Ancash	2,162
Apurímac	6,002
Arequipa	3,080
Ayacucho	16,453
Cajamarca	295
Cuzco	9,590
Huancavelica	6,045
Huánuco	151
Ica	947
Junín	165
La Libertad	813
Lambayeque	5
Lima Metropolitana	773
Moquegua	2,455
Pasco	16
Tacna	1,411

Fuente: (Ministerio de desarrollo Agrario y Riego, 2021)

2.2.5. Producción de tuna en la región Moquegua

Tabla 3.

Producción de tuna en la región Moquegua

Región/Provincia/Distrito	**Producción (Tn)**
REGION MOQUEGUA	26,889
PROV. MARISCAL NIETO	1,853.70
DIST. MOQUEGUA	66.7
DIST. SAMEGUA	23.2
DIST. TORATA	92
DIST. CARUMAS	33
DIST. CUCHUMBAYA	68.8
DIST. SAN CRISTOBAL	1,570.10
PROV. GRAL. SANCHEZ CERRO	835.2
DIST. OMATE	125.4
DIST. COALAQUE	62.9
DIST. QUINISTAQUILLAS	42.4
DIST. PUQUINA	14.1
DIST. LA CAPILLA	11.8
DIST. UBINAS	148.2
DIST. MATALAQUE	93.3
DIST. CHOJATA	37.6
DIST. LLOQUE	189.6
DIST. YUNGA	109.9

Fuente**:** (GRA, 2020)

2.2.6. Composición química

La composición química de la *Opuntia ficus – indica* "tuna" consiste de 85 % de agua, 14 % de azúcares y de 1 % de proteína. En la pulpa los compuestos bioactivos encontrados en mayor cantidad son la vitamina C, vitamina E y polifenoles; algunos aminoácidos que se presentan en la pulpa son la prolina, la glutamina y en mayor cantidad la taurina. Además, tiene altas cantidades de minerales como calcio y magnesio (Martínez et al., 2010).

Tabla 4.

Características químicas y tecnológicas de la pulpa de la tuna

Parámetros	Tuna verde	Tuna morada	Tuna amarilla
pH	5.3-7.1	5.9-6.2	6.2-6.3
Acidez (% de ácido cítrico)	0.01-0.18	0.03-0.04	0.55-0.57
Solidos solubles (°Brix)	12-17	12.8-13.2	13.5-14.5
Vitamina C (mg 100 g^{-1})	4.6-41.0	20.0-31.5	24.1-28.0
β-caroteno (mg 100 g^{-1})	0.53	-	0.85-2.28
Luteína (µg g^{-1})	26	0.15	0.04
Betacianinas (mg 100 kg^{-1}	0.1-0.8	111.0-431.0	2.4-11.0
Betaxantinas (mg 100 kg^{-1})	0.4-3.1	89.4-195.8	16.0-76.3

Fuente: (Inglese et al., 2018)

2.3. Compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos son compuestos esenciales y no esenciales como (vitaminas o polifenoles) que se encuentran en la naturaleza, forman parte de la cadena alimentaria y se puede demostrar que tienen un efecto sobre la salud humana. Las sustancias bioactivas presentes como constituyentes naturales en los alimentos brindan beneficios para la salud más allá del valor nutricional básico del producto (Biesalski et al., 2009).

Los compuestos más estudiados son los antioxidantes, cuya mayor ingesta puede alterar el riesgo de enfermedades crónicas, como el cáncer y las enfermedades cardiovasculares (Biesalski et al., 2009). Estos efectos beneficiosos se han atribuido principalmente a su poder antioxidante y actividades de captación de radicales que pueden retrasar o inhibir la oxidación del ADN, proteínas y lípidos. De hecho, estos compuestos han demostrado efectos antimicrobianos, jugando un papel importante en la protección de las frutas frente a los agentes patógenos (Cárdenas et al., 2016).

Se ha establecido que frutas tropicales son ricas en diferentes compuestos bioactivos principalmente carotenoides, flavonoides, ácidos fenólicos, estilbenos y taninos con gran potencial antioxidante. Así mismo los últimos avances biotecnológicos sobre el desarrollo de nuevos productos ha sido la inclusión de diferentes ingredientes funcionales principalmente los compuestos bioactivos de origen vegetal en diferentes matrices alimentarias (Cárdenas et al., 2016).

Los jugos de frutos rojos contienen muchos compuestos bioactivos como vitaminas y sustancias fenólicas, que tienen propiedades antioxidantes (Manea, 2013).

2.3.1. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos tienen su origen en el mundo vegetal. Son metabolitos secundarios que están presentes principalmente en frutas, representados por flavonoides y ácidos fenólicos. El creciente interés por estas sustancias se debe principalmente a su potencial antioxidante y a la prevención de algunas enfermedades. Los beneficios para la salud de estos fitoquímicos están directamente relacionados con la ingesta regular y su biodisponibilidad. Los estudios han demostrado la importancia del consumo regular de frutas, especialmente para la prevención de enfermedades asociadas al estrés oxidativo (Haminiuk et al., 2012).

El contenido de compuestos fenólicos en las frutas depende principalmente del grado de madurez, variedad, composición del suelo, ubicación geográfica y condiciones de almacenamiento, entre otros factores. Se clasifican principalmente según el número de anillos fenólicos que contienen (ácidos fenólicos, estilbenos, flavonoides, lignanos y taninos). Todas estas sustancias tienen uno o más grupos hidroxilo directamente unidos a un anillo aromático que caracteriza así la estructura fenólica (Haminiuk et al., 2012).

La extracción de compuestos fenólicos está influenciada por varios parámetros, y el paso inicial de un experimento preliminar es seleccionar las condiciones y métodos de extracción más apropiadas. La preparación de la muestra juega un papel importante en la cuantificación de los fitoquímicos del material vegetal, y es el primer proceso y generalmente el más importante, que influye en gran medida en el proceso y precisión del análisis. (Haminiuk et al., 2012).

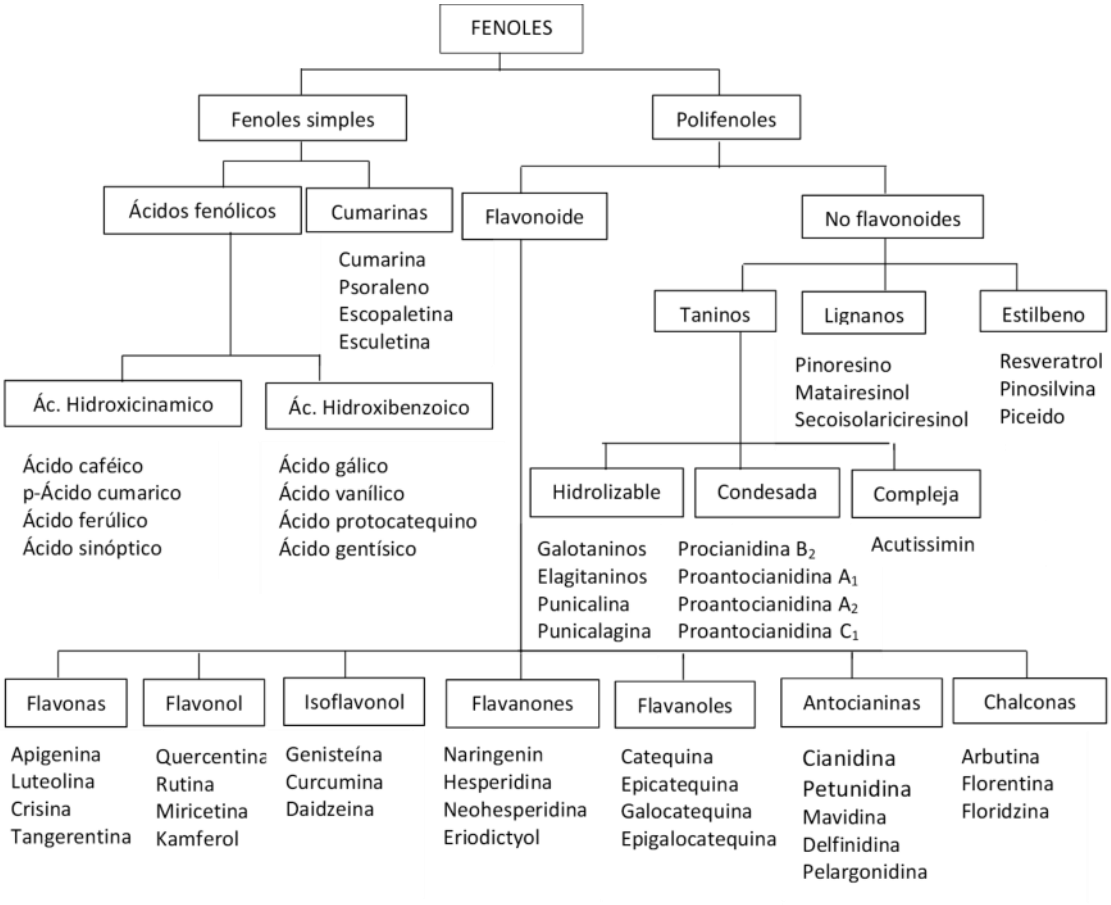


Figura 1. Clasificación de los compuestos fenólicos

Fuente: Vardhan & Shukla (2017)

El fenol estructuralmente está constituido por un anillo aromático (fenol), bencénico, con uno o más grupos hidroxilos (OH) incluyendo derivados funcionales. El anillo aromático juega un papel importante en las propiedades antioxidantes. Los compuestos fenólicos forman parte de un grupo muy heterogéneo; comprenden desde simples moléculas, como los ácidos fenólicos, hasta compuestos altamente polimerizados, como los taninos (Peñarrieta et al., 2014).

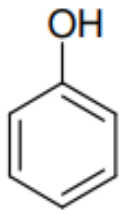


Figura 2. Estructura química del fenol

2.3.1.1. Clasificación de compuestos fenólicos

Laguerre *et al*. (2007) Los compuestos fenólicos se pueden dividir en dos grandes grupos.

a. Compuestos flavonoides:

Son aquellos compuestos de bajo peso molecular que comparten un esqueleto común de difenilpiranos (C6-C3-C6) Están formados por dos ciclos bencénicos (A y B) ligados a través de un anillo C de pirano (heterocíclico). La actividad de los flavonoides como antioxidantes depende de las propiedades redox de sus grupos hidroxifenólicos y de la relación estructural entre las diferentes partes de la estructura química (Laguerre et al.,2007).

La clasificación de estos compuestos se hace en función del estado de oxidación del anillo heterocíclico (anillo C) y de la posición del anillo B. En cada familia existen una gran variedad de compuestos, que se diferencian entre sí por el número y la posición de los grupos hidroxilos, y por los distintos grupos funcionales que pueden presentar (metilos, azúcares, ácidos orgánicos) (Martínez-Flórez et al., 2002).

Entre los principales familias de compuestos flavonoides se tiene a las flavonas, flavonoles, flavanonas, flavanonoles, flavanoles e isoflavonas como se muestra la figura 3 (Maestro Durán & Borja Padilla, 1993).

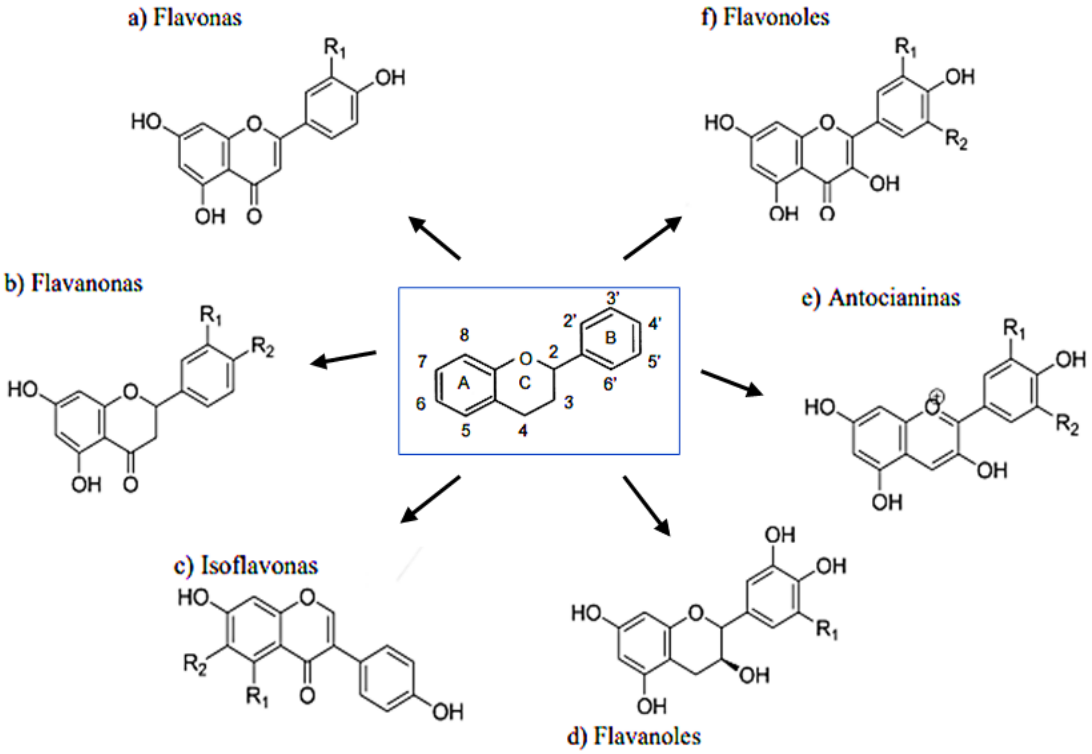


Figura 3. Estructura química de las diferentes clases de flavonoides

Fuente: (Cortés, 2019)

b. Compuestos no flavonoides:

Incluyen los ácidos hidroxibenzoicose hidroxicinámicos, estilbenos, etc.

2.3.2. Polifenoles presentes en la tuna

El grupo fenólico está formado por diferentes compuestos, en particular ácidos fenólicos (ácidos hidroxicinámicos y ácidos hidroxibenzoicos), flavonoides, ligninas y estilbenos. Abdel *et al*. (2014) analizaron la presencia de compuestos fenólicos e identificaron ácido gálico, catequina, quercetina-3-glucosa-(1-6)-ácido gálico en cultivares de pigmentación (rojo) en pulpa y cáscara de tuna.

Esta planta presenta altas cantidades de compuestos inusuales similares a los flavonoides como nicotiflorina (146.5 mg / 100 g) y narcisina (137.1 mg / 100 g), junto con altos valores de contenido encontrados para isoquercetina y ácido ferúlico: 39.67 y 34.77 mg. / 100 g; El ecotipo, el medio ambiente, el tipo de suelo y el clima de los cladodios podrían explicar las variaciones en el contenido de polifenoles (El-Mostafa et al., 2014).

Tabla 5.

Distribución y contenido de fenoles en pulpa de Opuntia ficus- indica

Tejido vegetal	Componentes principales identificados	Contenido en mg/100g
pulpa	Ácido fenólico total	218,8
	Quercetina	9
	Isorhamnetin	4,94
	Kaempferol	0,78
	Luteolina	0,84
	glucósidos de isorhamnetina	50,6

Fuente: (El-Mostafa et al., 2014)

2.3.3. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante es una sustancia capaz de neutralizar o retardar la acción oxidante de los radicales libres, los cuales, al ser átomos o grupos de átomos con un electrón desapareado, son muy reactivos ya que tienden a captar un electrón de moléculas estables con el fin de alcanzar su estabilidad electroquímica y prevenir la oxidación de otras moléculas (Avello & Suwalsky, 2006).

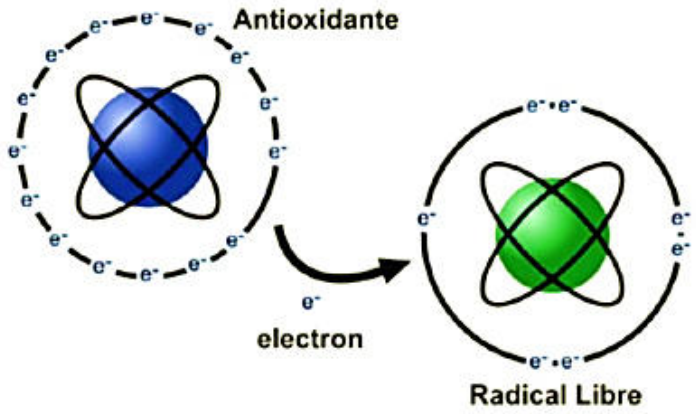


Figura 4. Sistema de defensa antioxidante

Fuente:(Trujillo, 2019)

Un antioxidante también se puede definir como cualquier sustancia que, cuando está presente en bajas concentraciones comparadas con un substrato oxidable, previene o retarda significativamente la oxidación de ese substrato (Halliwell et al., 1995).

La capacidad antioxidante de un alimento depende de la naturaleza y concentración de los antioxidantes naturales presentes en él. La mayoría de los compuestos antioxidantes de las frutas y verduras se deben a ciertos compuestos como los compuestos fenólicos (flavones, isoflavones, flavonones, antocianinas, catequinas e isocatequinas), estos últimos son frecuentes de la dieta humana y han demostrado tener una alta capacidad antioxidante (Carrasco & Zelada, 2008)

Los dos principales mecanismos a través de los cuales los antioxidantes pueden desempeñar su función protectora son por transferencia de un átomo de H (ecuación 1) y/o la transferencia de un electrón (ecuación 2) (Leopoldini et al., 2011).

En el primer mecanismo, el antioxidante fenólico ArOH reacciona con el radical libre R* por transferencia del átomo de H a través de una ruptura homolítica del enlace O-H.

$$ArOH + R^{\bullet} \rightarrow ArO^{\bullet +} RH \qquad \text{(Ec 1)}$$

$ArO^{\bullet}$ es capaz de estabilizarse por deslocalización del electrón en la molécula, de tal forma que los productos de esta reacción (RH y $ArO^{\bullet}$) se consideran inofensivos ya que son menos reactivos con respecto a $R^{\bullet}$.

En el segundo mecanismo ocurre la donación de un electrón del radical R^{o} según la siguiente ecuación:

$$ArOH + R^{\bullet} \rightarrow ArOH^{\bullet +} + R^{-} \qquad \text{(Ec 2)}$$

Donde el anión R^{-} es una especie estable, mientras que el catión $ArOH^{\bullet +}$ es también en este caso, menos reactivo que la especie radical $R^{\bullet}$. En particular los productos $ArO^{\bullet}$ y ArOH son estructuras aromáticas en que el electrón impar, originado por las reacciones con el radical libre, tiene la posibilidad de extenderse por toda la molécula pudiendo estabilizarse por resonancia (Wright et al., 2001; Leopoldini et al., 2011).

2.3.3.1. Estrés oxidativo

El estrés oxidativo, es el resultado de una generación excesiva de oxígeno reactivo, también el desequilibrio entre substancias oxidantes y los antioxidantes, favoreciendo a los oxidantes, provocando el daño de todos los biocompuestos esenciales de las proteínas, el ADN y los lípidos de la membrana, y puede dar lugar a la muerte celular. Por el cual el estrés oxidante (oxidativo) se entiende como la producción de una excesiva cantidad de especie reactiva de oxígeno (ROS) y especie reactiva de nitrógeno (RNS) en el

organismo, que es el producto de un desbalance entre la generación y la destrucción de ROS/RNS (Galina et al., 2006).

Desde el punto de vista químico el radical libre se define como una especie química, que tiene en su estructura uno o más electrones desapareados, por lo que se convierte en un compuesto muy inestable, altamente reactivo con gran capacidad de formar otros radicales libres y dañar estructuras celulares (Terrado et al.,2003).

Estos compuestos buscan aparear los electrones desapareados con el fin de estabilizarse cuando la molécula que ha sido atacada y ha perdido un electrón, se convierte en un radical libre, generándose así una reacción en cadena en la cual se forman otras sustancias tóxicas o radicales libres. Debido a su potencial para dañar a los sistemas biológicos principales, se considera que los radicales libres son factores importantes que contribuyen al desarrollo de ciertas enfermedades crónicas como la enfermedad cardiovascular y el cáncer, entre otras, en las que el estrés oxidativo se presenta como un fenómeno secundario que puede agravar el curso de las mismas (Terrado et al.,2003).

2.3.3.2. Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos

Durante la última década el interés en los polifenoles, se ha incrementado considerablemente debido a su capacidad antioxidante, y los beneficios que brinda para la prevención de enfermedades cardiovasculares, y de cáncer, por lo que es considerable el consumo de frutas y verduras que permite combatir estas enfermedades degenerativas. Los compuestos fenólicos intervienen como antioxidantes naturales de los alimentos, por lo que la obtención y preparación de alimentos con un alto contenido en estos compuestos supone una reducción en la utilización de aditivos antioxidantes, este comportamiento parece estar relacionado con su capacidad de quelar metales, inhibir la lipoxigenasa y captar radicales libres (Proteggente et al., 2002).

Los compuestos fenólicos poseen gran capacidad antioxidante, dentro de esta gran familia se muestran tres grupos principales: los ácidos fenólicos, los polifenoles y los flavonoides, siendo estos compuestos los más comunes, cuya finalidad de estos compuestos es captar los radicales libres que se pueden generar en las células del cuerpo humano y que son resultado de la combinación de muchos factores ambientales. Estos radicales actúan sobre el colesterol, ácidos grasos polisaturados. ADN y lípidos siendo estos últimos los más susceptibles a la sustracción de un electrón por parte del radical que lo requiere para alcanzar su estabilidad electroquímica.(Echavarría et al., 2009).

2.4. Tratamiento térmico

El procesado térmico es una técnica de conservación de alimentos más empleada por la industria, implica el uso controlado de calor para aumentar o disminuir, la velocidad de las reacciones en los alimentos, los cambios provocados sobre el valor nutritivo. Las operaciones de procesamiento térmico inactivarán las enzimas, coagularán las proteínas y, hasta cierto punto, también destruirán los microorganismos, el objetivo principal de la conservación térmica es lograr la destrucción de los microorganismos para asegurar una vida útil prolongada de los productos (Deak, 2014).

Existen diversos procesos de tratamiento con calor, siendo la pasteurización y la esterilización los dos más utilizados para el procesamiento térmico de conservas. Hay una multitud de beneficios, reducción de la carga microbiana de los alimentos, el control de la descomposición, el mantenimiento de la calidad del producto. Sin embargo, la desviación de los límites críticos del régimen de temperatura-tiempo puede resultar en daño y deterioro del tejido, también desnaturaliza algunas proteínas, vitaminas. Por lo tanto, cada producto debe tratarse por separado para el tratamiento térmico. Por lo que es importante

la elección de un método u otro ya que depende de las características del producto (Pongener et al., 2018).

2.4.1. Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de compuestos bioactivos

Zhang *et al*. (2011) menciona que el tratamiento térmico desnaturaliza las polifenoloxidasas evitando la descomposición de los compuestos fenólicos. Por otro lado, cuando las muestras se someten a un tratamiento de hervido, los compuestos fenólicos disminuyen debido a un proceso de lixiviación; derivado de la destrucción de las paredes celulares y los compartimentos subcelulares (vacuolas y apoplastos) durante la ebullición facilitando la migración de sustancias hidrosolubles hacia el espacio extracelular y de allí al agua de procesamiento, la cual se puede enriquecer de estos compuestos bioactivos (Fogliano et al., 2008; Volden et al., 2009).

El procesamiento térmico, particularmente en condiciones severas, puede provocar e inducir a varios cambios químicos y físicos que deterioran las propiedades organolépticas y pueden reducir el contenido o la biodisponibilidad de algunos compuestos bioactivos (Rawson et al., 2011).

2.4.2. Efecto del tratamiento térmico sobre los compuestos antioxidantes

El tratamiento térmico se utiliza a menudo en la industria alimentaria para garantizar la seguridad y la conservación. En el cual el tratamiento térmico no siempre provoca la destrucción de los compuestos bioactivo, ya que en otros casos puede conducir a la formación de otros compuestos y a su vez mejorar sus propiedades antioxidantes. Generalmente los productos de la reacción de Maillard que se forman durante el tratamiento térmico o a un almacenamiento prolongado, adquieren fuertes propiedades antioxidantes, siendo más duraderas cuando el procesamiento se produce a una baja temperatura en comparación con altas temperaturas. En las primeras etapas de esta reaccion,

se pueden formar radicales altamente reactivos. Proporcionando propiedades inductoras del proceso de oxidación. Por lo tanto, la formación de estas sustancias depende en gran medida de la intensidad como la duración del tratamiento térmico.(Harakotr et al., 2014; Murador et al., 2018).

El tratamiento térmico también puede conducir a pérdidas significativas de compuestos biológicamente activos y, por lo tanto, a diminución en la actividad antioxidante por descomposición térmica. Para minimizar la degradación debida a un calentamiento prolongado es necesario alcanzar la temperatura de evaporación, trabajar a condiciones de vacío (Rosa et al., 2014).

2.5. Métodos de evaluación

2.5.1. Determinación de la capacidad antioxidante método DPPH

El método DPPH es uno de los métodos más utilizados con mayor frecuencia que permite evaluar la capacidad de los compuestos para actuar como donantes de hidrogeno o captadores de radicales libres, y evaluar la capacidad antioxidante de los alimentos (Pyrzynska & Pękal, 2013). Existen diversas técnicas para la determinación de la concentración de compuestos antioxidante tanto en plantas como en alimentos, siendo una de ella la técnica que utiliza el radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo conocido comúnmente por las siglas DPPH, consiste en que este radical tiene un electrón desapareado y es de color violeta oscuro, decolorándose hacia amarillo pálido por la reacción de la presencia de una sustancia antioxidante, siendo medida espectrofotométricamente a 517 nm (Alam et al., 2013).

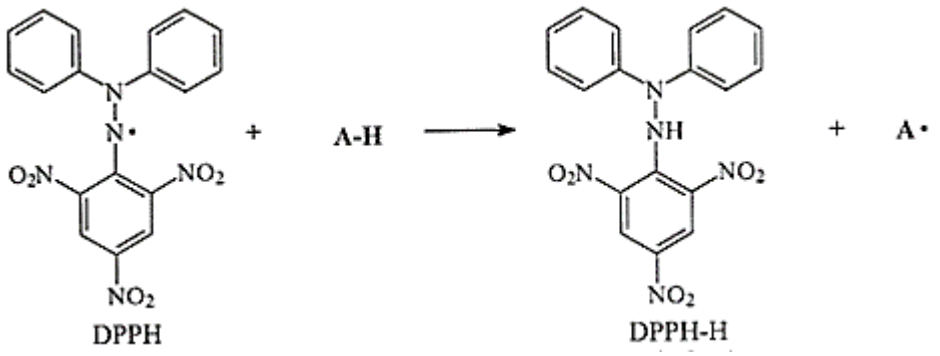


Figura 5. Estructura química del radicas DPPH y su reaccion con un secuestrante indicado por AH

Fuente: Deng et al. (2011)

La expresión de los resultados del ensayo del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) se presenta de diferentes formas, el más común es el valor IC_{50} (concentración inhibitoria media máxima). Este valor muestra la cantidad de antioxidantes que se necesitan para disminuir la concentración inicial del radical DPPH al 50% y el valor se calcula en una gráfica donde se muestra la concentración del extracto frente el porcentaje de inhibición (Brand-Williams et al., 1995; Deng et al., 2011).

2.5.2. Determinación de fenoles totales por el método de folin

El método de Folin-Ciocalteu es utilizada para la evaluación de contenido de compuestos fenólicos totales presentes en productos vegetales. Este método consiste en la reaccion de los compuestos fenólicos con el reactivo de Folin-Ciocalteu, a pH básico, en cual presenta una coloración azul susceptible de ser determinada espectrofotométricamente a 765 nm. Este reactivo está compuesto por una mezcla de wolframato sódico y molibdato sódico en ácido fosfórico en el cual reacciona con los compuestos fenólicos presentes en los extractos. El ácido fosfomolibdotúngstico (formado por las dos sales en el medio ácido), de color amarillo, la reaccion con los grupos fenólicos muestra un color azul

intenso, cuya intensidad permite evaluar el contenido en polifenoles (García et al., 2015).

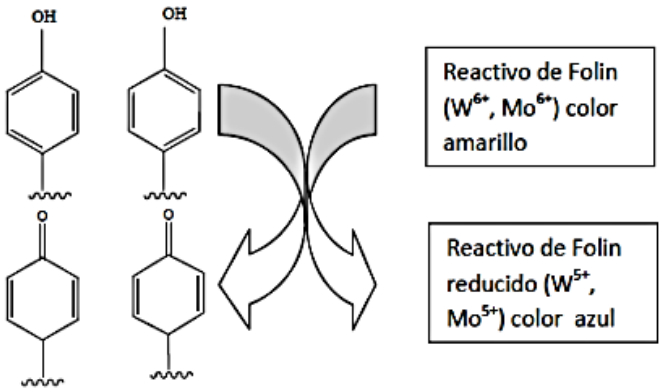


Figura 6. Mecanismo de acción del reactivo de Folin-Ciocalteu

Fuente: García *et al.* (2015)

La reaccion de la oxidación de los polifenoles presentes en el extracto, da lugar a la coloración azulada que presenta un máximo de absorción a 765 nm, se cuantifica por espectrofotometría en mediante una recta patrón de ácido gálico. Se debe considerar la concentración del reactivo, el volumen de la muestra que se va analizar y el tiempo de reaccion ya que puede padecer numerosas variaciones ya que es un método preciso y sensible (García et al., 2015).

2.5.3. Técnicas cromatográficas

a. Cromatografía liquida (CL)

Las técnicas cromatográficas permiten separar los distintos compuestos químicos presentes en una matriz, que facilita la identificación y cuantificación de cada uno de los componentes (Rubiano & Zuluaga Domínguez, 2012).

- **HPLC (Cromatografía Líquida de Alta Resolución)**

La cromatografía líquida de alto rendimiento (en inglés high performance liquid chromatography o HPLC) se encuadra dentro de la cromatografía de elución. Es una técnica física de separación en la que los componentes de una muestra se distribuyen entre dos fases: una fase estacionaria y una fase móvil en contacto con ella en una dirección definida, estas deben ser la polaridad opuesta, todos los solutos serán de igual polaridad a la fase móvil, todos solutos que entra en la columna ha de salir de ella (propagación) y como objetivo los solutos se separan entre si (migración diferencial) (Rubiano & Zuluaga Domínguez, 2012).

- **UHPLC (Cromatografía Líquida de ultra alto rendimiento)**

El término UHPLC significa Cromatografía líquida de ultra alto rendimiento, es una variación de HPLC, pero el método de funcionamiento es el mismo. Sin embargo, a diferencia de la HPLC, este método permite analizar partículas muy pequeñas que conduce a un menos tiempo de análisis, mayor eficacia de pico y mayor resolución (Wilson et al., 2005).

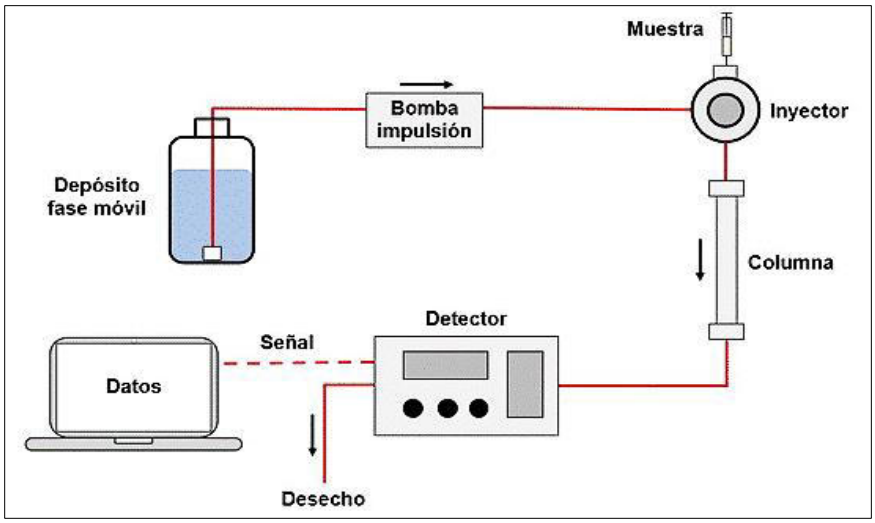


Figura 7. Diagrama básico de un cromatógrafo líquido de alto rendimiento
Fuentes: (Suarez & Morales, 2018)

b. Espectrofotometría de masas

La espectrometría de masas es una técnica microanalítica que permite estudiar compuestos (orgánicos, inorgánicos o biológicos), presentes en una muestra, midiendo la relación masa/carga y la abundancia de iones en fase gaseosa.(Gutiérrez & Droguet, 2002)

El sistema de ionización más frecuente es el de impacto electrónico que bombardea las moléculas con electrones de una cierta energía, capaces de provocar la emisión estimulada de un electrón de las moléculas y así ionizarlas, Además de moléculas ionizadas o iones moleculares (M^+) también se forman iones fragmento debido a la descomposición de los iones moleculares con exceso de energía. .(Gutiérrez & Droguet, 2002)

La espectrometría de masas (MS) es una técnica analítica muy potente, que acoplada a GC o LC puede ser utilizada para identificar compuestos desconocidos, cuantificar materiales conocidos y elucidar la estructura química de las moléculas (Javier & Conte, 2017).

III. Metodología

3.1. Tipo y nivel de investigación

Tipo de Investigación

El presente trabajo de investigación fue de tipo experimental, con el cual se evaluó el efecto de tres factores estudio tales como ecotipo (morada, blanca y anaranjada), temperatura (65°C, 75°C, 85°C) y tiempo de tratamiento (10 min, 20 min, 30 min) sobre diferentes variables de respuesta (contenido compuesto fenólicos, capacidad antioxidante y perfil de polifenoles) en zumo de tuna.

Nivel de investigación

El presente trabajo de investigación es de nivel aplicada y experimental

3.2. Ámbito temporal y espacial

La extracción del zumo, la determinación de compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante se desarrolló en los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Moquegua y el perfil de compuestos fenólicos se realizó en el laboratorio de contaminantes orgánicos y ambiente de la Escuela Profesional de Ingeniería ambiental sede Ilo.

3.3. Muestra

Se utilizó 24 kilogramo de tuna por cada ecotipo (morada, blanca y anaranjada) fueron adquiridas del Centro Poblado San Cristóbal, Distrito San Cristóbal - Departamento Moquegua. las muestras fueron colocadas en envases de plástico para su transporte y almacenamiento hasta su posterior acondicionamiento y análisis.

a. Ubicación geográfica

Coordenadas:

- Latitud: 16°44"29" S
- Longitud: 70 °43'15° W



Figura 8. Ubicación del Centro Poblado San Cristobal

Fuente: (Google Earth, 2019)

3.4. Instrumentos para la recolección de datos

3.4.1. Materiales de vidrio

- 06 matraz Erlenmeyer con tapa rosca de 250 ml
- 06 vasos precipitados de 100 ml
- 01 vaso precipitado de 50ml
- 12 vasos precipitados de 10 ml
- 02 varillas de vidrio de 3cm
- 02 fiola de 25 ml
- 02 fiola de 1000ml
- 01 fiola de 5 ml
- 02 fiola 50 ml
- 02 fiola de color ámbar de 10 ml
- 02 fiola de 100 ml
- 01 probeta de vidrio de 50 ml
- 01 pipeta graduada de vidrio de 10 ml

3.4.2. Insumos y reactivos

- Carbonato de sodio al 10%
- Reactivo Folin – Ciocalteu (1N)
- Estándar de ácido gálico
- Metanol grado HPLC
- Agua destilada
- Reactivo DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazilo)
- Ácido fórmico
- Acetonitrilo
- Agua purificada
- Estándar de ácido cafeico (≥99%)

- Estándar de rutina (≥98%)
- Estándar de kaempferol (≥98%)
- Estándar de quercetina (≥97%)
- Estándar de catequina (≥98%)
- Estándar de epicatequina (≥98%)

3.4.3. Equipos

- Centrifuga modelo PRO ANLIYT. C2004, Marca Centurión Scientific
- Baño termostático marca RAYPA modelo BOR-6
- Termómetro digital marca BOECO, rango de medición de -10 a 150 ºC
- Lector de microplacas Multidetectores Synergy™ HTX, Alemania
- UHPLC (Agilent 1290 Infinity II, USA) con detector de arreglo de diodos (DAD).
- Licuadora Thomas TH-880 Kook 2L
- Balanza analítica marca SARTORIUS, capacidad máxima 220g con una precisión de 0.01mg
- Refrigerador marca LG
- Micropipetas marca BOECO, rango de medición de 0.5 a 10µL
- Micropipetas marca BOECO, rango de medición de 10 a 100 µL
- Micropipetas marca ADVANCE, rango de medición de 100 a 1000 µL

3.4.4. Otros materiales

- 01 Jara de plástico de 500ml
- 60 botellas de plástico de color ámbar 200 ml
- 01 colador de plástico
- 03 malla de tela
- 01 paquete de puntas de micropipetas de 5 - 200µL
- 01 paquete de puntas de micropipetas de 0.5-20 µL

- 01 paquete de puntas de micropipetas de 50-1000 µL
- 01 paquete de crioviales de 2 ml ependor x 100 Und.
- 01 cuchillo
- 04 rollos de papel tohalla
- 01 rollo de papel aluminio
- 01 piceta de 50ml
- 08 tubos de centrifuga
- 40 Cartuchos C18

3.5. Procedimientos

3.5.1. Extracción del zumo de tuna

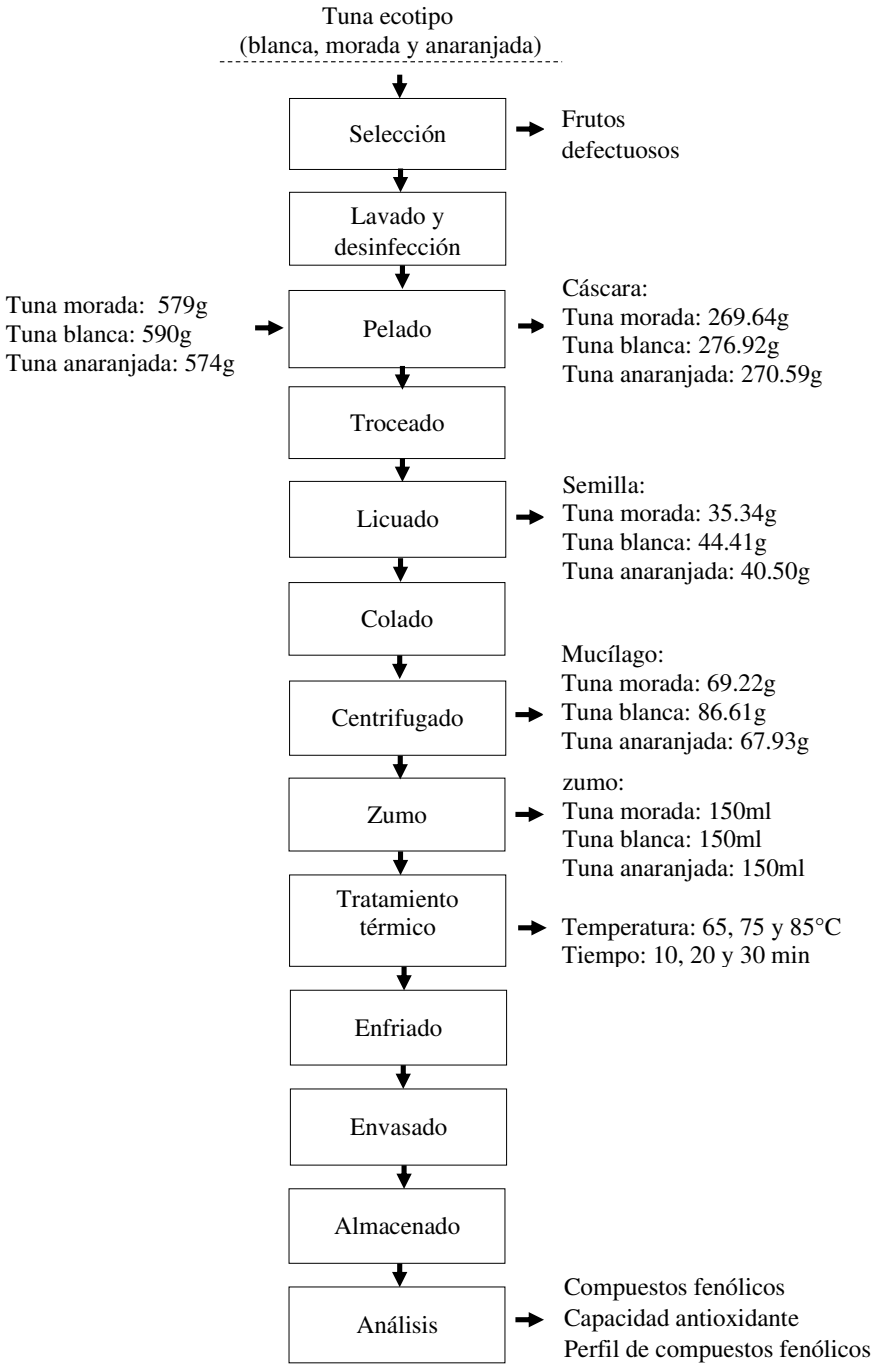


Figura 9. Diagrama de elaboración de zumo de tuna (blanca, morada y anaranjada)

Fuente: Elaboración propia

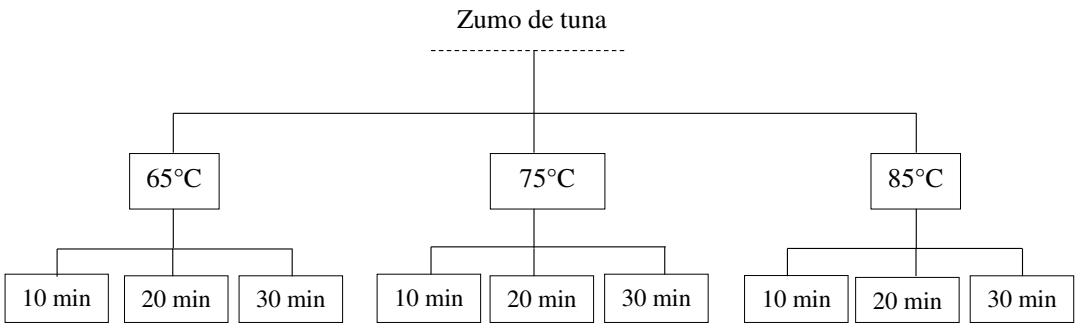


Figura 10. Proceso del tratamiento térmico

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento para la extracción del zumo de tuna, (Figura 9), cuyo detalle es el siguiendo:

a) Recepción: 24 kg de cada ecotipo (blanca, morada y anaranjada) fueron adquiridos y recepcionados en envases de plástico. Luego, las muestras fueron clasificadas de acuerdo a su estado maduro y fresco, color característico, tamaño y forma aceptable, posteriormente se llevó a almacenamiento a 4°C.

b) Selección: Se consideró los frutos sin presencia de hongos, pudrición, quemaduras, ni presencia de suciedad.

c) Lavado: Con abundante agua limpia se quitó las espinillas propias del fruto.

d) Pelado: Se realizó un pelado manual con el fin desprender la cascará de la pulpa.

e) Troceado: Se realizó con la finalidad de reducir el tamaño del fruto y así mejorar la operación del licuado.

f) Licuado: El proceso de licuado se realizó por un tiempo de 10 segundos con el fin de desprender la semilla de la pulpa y su vez se evitó la ruptura de las mismas.

g) Colado: Se realizó por filtrado para obtener un zumo libre de materias sólida

h) **Centrifugado:** Se centrifugo a 400 rpm durante 15 minutos, con el fin de separar el mucílago del zumo.

i) **Tratamiento térmico:** El proceso de tratamiento térmico se realizó en Baño termostático marca RAYPA modelo BOR-6 a temperaturas de 65, 75 y 85°C por un tiempo de 10, 20 y 30 minutos, Figura 10, con la finalidad de reducir la carga microbiana y asegurar la inocuidad del producto.

j) **Enfriado:** El proceso de enfriado se realizó con bloques de hielo y agua fría hasta una temperatura de 10°C, para crear un choque térmico en el zumo y eliminar de esta forma los microorganismos termorresistentes residuales.

k) **Envasado:** Se envasó 150 ml de zumo por cada tratamiento en botellas de plástico de 200ml de color ámbar.

l) **Almacenamiento:** Los zumos se almacenaron en congelación a -18°C, mientras dura el proceso de análisis de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y perfil de compuestos fenólicos.

3.5.2. Metodología exponencial

El presente trabajo de investigación, evaluó el efecto del tratamiento térmico a diferentes temperaturas 65, 75 y 85 ºC combinando con diferentes tiempos 10, 20 y 30 min sobre el contenido de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y perfil de compuestos fenólicos de acuerdo a los siguientes métodos:

a. Determinación de los compuestos fenólicos

El contenido de compuestos fenólicos presentes en el zumo tratados térmicamente a partir de pulpa de tuna fueron determinados mediante el ensayo de Folin-Ciocalteu propuesto por Singleton y Rossi (1965) modificado. Un volumen de 150 µL de agua destilada, 20 µL de muestra de zumo de tuna y 10µL de reactivo Folin-Ciocalteu (1N) se mezclarán con 20µL de una solución de carbonato de sodio (10% p/v). Luego, las muestras fueron protegidas de la luz y se dejaron por un tiempo de reacción de 1 hora

a temperatura ambiente. Después, la absorbancia de las muestras se determinó a 765 nm en un Lector de Microplacas BioTek Synergy HTX. Paralelamente, bajo las mismas condiciones y el mismo procedimiento se realizó un blanco (sin muestra de zumo), el mismo que contendrá 20µL agua destilada en reemplazo de la muestra original de zumo de tuna.

Previamente, una curva estándar fue realizada usando acido gálico como polifenol mayoritario presente en el zumo de tuna, cuyas concentraciones fueron entre 0,01mg/L a 0,1 mg/L (Anexo 2). La ecuación de la recta obtenida a partir de la curva estándar permitió determinar el contenido total de polifenoles. Finalmente, los resultados fueron expresados como mg de equivalente de ácido gálico (EAG) por gramo de sólido seco.

b. Análisis de capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de los zumos con y sin tratamiento térmico de pulpa de tuna se determinó mediante el método propuesto por Brand-Willams *et al.* (1995). En resumen, primero se preparó 0,05 L de solución metanólica de DPPH (1.9716 mg en 50mL) protegida de la luz y fue almacenado bajo refrigeración. Previo a los análisis de absorbancia de la solución fue avaluada a 517 nm. Esta solución debe ser fresca, pudiendo utilizar solo si su Absorbancia es mayor a 0,5.

Tres diferentes diluciones de las muestras de tuna, fueron preparadas utilizando metanol como medio de dilución (01:2. 01:4, 01:8). Luego 5µL de cada dilución fue agregada un tubo éppendorf junto a 195µL de la solución metanólica de DPPH. Luego las soluciones se mezclaron en un vórtex durante 10s y se incubaron a temperatura ambiente bajo oscuridad por un periodo de 30 min. Paralelamente se prepararon en un tuno una alícuota de 195 µL de metanol (blanco de la dilución) y 195 µL de solución metanólica de DPPH (control negativo). Finalmente, se midió la

absorbancia a una longitud de ondas de 517 nm en el lector de microplacas multidetectores Synergy™ HTX

El porcentaje de inhibición (capacidad secuestrada de radicales libres) para cada concentración de muestra, se determina empleando la siguiente formula:

$$\%Inhibición = \left(1 - \frac{Ac}{Ab}\right) x100$$

Donde:

Ac= Absorbancia de las muestras (promedio del triplicado) a 517 nm
Ab= Absorbancia del control negativo a 517 nm

Con el porcentaje de inhibición obtenida para cada concentración de muestra se realizó una regresión lineal, donde la variable independiente es la concentración de muestra y la dependiente el % de inhibición de DPPH, obteniendo la siguiente ecuación:

$$\% \ inhibición = mC + n$$

Donde: el % de inhibición a la concentración "C" de muestra, y "m" y "n" son los coeficientes determinados en la regresión lineal.

Con la ecuación anterior, se determinó el factor IC_{50} cantidad de antioxidante necesarias para reducción en un 50% la actividad radical DPPH:

$$IC_{50} = \frac{50-n}{m}$$

La actividad antirradical se define como la cantidad de antioxidante necesario para reducción la concentración inicial del radical DPPH en un 50%.

c. Cuantificación de polifenoles específicos

Según la metodología propuesta por Maldonado *et al*. (2022), con algunas modificaciones.

Se realizo mediante diferentes etapas: i) Extracción en fase sólida (SPE), en el cual las muestras fueron previamente purificadas en un sistema SPE, para ello se utilizó una bomba peristáltica que proporcionará un flujo constante durante la etapa del experimento, junto a una bomba de vacío. Se utilizo cartuchos de SPE SiliaPrep C18 5 ml, 500 mg (Silicycle, Québec, Cánada), que fueron previamente lavados con 10 mL de metanol (grado HPLC) y 10 mL de agua MiliQ sin la bomba de vacío (flujo gravedad). Seguidamente, 25 mL del extracto fueron pasados a través del cartucho C18 con una presión al vacío moderada, después 5mL de metanol (grado HPLC) fue usado para eluir los polifenoles absorbidos por el cartucho. ii) Dilución de muestra: se tomaron 40µL de la muestra recaudada, lo cual fue diluida (1/25) con metanol (grado HPLC), luego las muestras fueron filtradas a través de un filtro tipo jeringa a 0.22µm y finamente fueron almacenadas en viales ámbar para su análisis. iii) Condiciones en el Cromatógrafo (UHPLC-DAD): En esta etapa se inyectaron 2µL de muestra filtrada en un sistema de cromatografía liquida de ultra performance (Agilent 1290II, Agilgent, EE.UU.), el cual está equipado con una columna de fase reversa Poroshell EC-C18 (2.1 mm x 150 x 1.9 µm) y detector de arreglo de diodos (DAD). La separación cromatografía fue realizada a 30°C con un flujo de 0.3 mL/min bajo el siguiente gradiente (A:0.1% acido fórmico en agua y B: 0,1% en acetonitrilo): 95% A-5% B por 15 min. Luego, 60% A-40% B por 3 min. Finalmente, 95% A-5% B con tiempo cromatográfico de 20min. iv) Soluciones estándares: Las curvas de calibración fueron obtenidas calculando el área bajo la curva de 6 estándares, cuyas concentraciones fueron: 0,3, 1, 3, 6, 10 y 20 µg/mL. v) Identificación y cuantificación de polifenoles en extractos: Finalmente los polifenoles fueron identificados y

cuantificados comparando el tiempo de retención y el área bajo la curva de diferentes estándares de polifenoles (λ: 270 nm Epicatequina, Catequina; λ: 324 nm, Ácido Cafeico y λ: 373 nm, Kaempferol, Quercitrina, Rutina) (Anexo 15). Los resultados se expresaron en µg del polifenol especifico por gramo en base seca.

3.6. Análisis de datos

3.6.1. Diseño experimental

El diseño experimental fue conducido mediante un arreglo factorial múltiple de 2 x 3 x 4 con dos repeticiones con un total de 48 observaciones, se evaluó el efecto de tres (03) factores de estudio tales como ecotipo de tuna, temperatura y tiempo de tratamiento térmico sobre las variables de respuesta (compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y perfil de polifenoles), que fueron analizadas mediante el programa Statgraphics centurión XVI.I con un análisis de varianza ANOVA multifactorial y las diferencias significativas fueron establecidas mediante una prueba de Tukey ($p\text{-valor} < 0,05$).

Factores estudio			Variables respuesta		
Ecotipo de tuna	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Polifenoles totales	Capacidad antioxidante	Perfil de polifenoles*
Blanca	65	0			
		10			
		20			
		30			
	75	0			
		10			
		20			
		30			
	85	0			
		10			
		20			
		30			
Morada	65	0			
		10			
		20			
		30			
	75	0			
		10			
		20			
		30			
	85	0			
		10			
		20			
		30			
Anaranjada	65	0			
		10			
		20			
		30			
	75	0			
		10			
		20			
		30			
	85	0			
		10			
		20			
		30			

Nota: El tratamiento de sumo sin tratamiento térmico es representado por el tiempo a los 0 minutos.

3.7. Pruebas preliminares

Si bien inicialmente el proyecto contemplo el uso de 3 ecotipos de tuna (blanca, morada y anaranjada), cuando la tuna de ecotipo color anaranjada fue evaluada bajo tratamiento térmico presento un comportamiento anómalo en el contenido de polifenoles (Anexo 3). Este comportamiento, no permitió poder relacionar los resultados con la capacidad antioxidante ni con el perfil de polifenoles. Por ello, se procedió con el estudio de dos ecotipos (blanca y morada).

IV. Resultados y discusiones

4.1. Efecto del tratamiento térmico en el contenido de compuestos fenólicos

Las temperaturas moderadas entre 65ºC y 85ºC con tiempos de 0 a 30 min permiten obtener extractos ricos en polifenoles a partir de tuna morada (0.71 - 1.16 mg EAG/gbs) y tuna blanca (0.79 - 0.98 mg EAG/gbs) (Tabla 6).

Tabla 6.

Determinación del contenido de polifenoles

Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Tuna morada		Tuna blanca	
		Polifenoles (mgEAG/gbs)		Polifenoles (mgEAG/gbs)	
		$\bar{X}$	CV	$\bar{X}$	CV
65	0	1.160^{Aa}	0.01	0.987^{Ba}	0.01
	10	0.925^{Ab}	0.03	0.898^{Bb}	0.01
	20	0.881^{Ab}	0.00	0.870^{Bb}	0.02
	30	0.863^{Ab}	0.03	0.861^{Bb}	0.02
75	10	0.897^{Ab}	0.02	0.887^{Bb}	0.01
	20	0.872^{Ab}	0.01	0.865^{Bb}	0.02
	30	0.825^{Ab}	0.09	0.856^{Bb}	0.02
85	10	0.891^{Ac}	0.00	0.860^{Bc}	0.01
	20	0.756^{Ac}	0.01	0.816^{Bc}	0.01
	30	0.714^{Ac}	0.01	0.798^{Bc}	0.01

Los resultados se expresan como media y CV (coeficiente de variación). Diferentes letras mayúsculas indican diferencia significativa ($p<0.05$) entre los ecotipos (morada y blanca). Las letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa ($p<0.05$) entre temperaturas de tratamiento.

.

El efecto negativo del tiempo sobre los polifenoles en ambos ecotipos de tuna se muestra en la Figura 11 y 12. Por ejemplo, para tuna morada, un incremento en el tiempo de proceso de extracción de 0 a 30min reduce el contenido de polifenoles en 25,6%, 28,9% y 38.4% para 65ºC, 75ºC y 85ºC, respectivamente; mientras para tuna blanca, un incremento en el tiempo de proceso de extracción de 0 a 30min reduce el contenido de polifenoles de 12,8%, 13,3% y 19,1% para 65ºC, 75ºC y 85ºC. A respecto, Tahar *et al*. (2019) reportaron un comportamiento similar en higo chumbo donde los tiempos prolongados de proceso de 10 a 30 min reducen el contenido de polifenoles en 11.8%; comportamiento similar también fue observado por Jaramillo-Flores *et al*. (2003) quienes reportaron un descenso de 68% en la liberación de compuestos fenólicos cuando los cladodios de nopal fueron sometidos a 93ºC por un tiempo de 30 min. Entonces, independiente de la temperatura de proceso, los prolongados tiempos de exposición provocan la hidrolisis y oxidación de los polifenoles, consecuentemente los grupos hidroxilo y/o funcionales de estos compuestos se pierden (Wojdyło et al., 2009). Por ello, es recomendable considerar tiempos de proceso relativamente cortos (~10min) con la finalidad de evitar la exposición y degradación de los compuestos fenólicos.

Con respecto a la temperatura, a los 30min de exposición un incremento de temperatura de 65ºC a 75ºC reduce en 4.4% y 1% el contenido de compuestos fenólicos en tuna morada y blanca respectivamente (Figura 11 y 12); mientras un incremento de temperatura de 65ºC a 85ºC reduce un 17.3% y 7.3% en el contenido de compuestos fenólicos en tuna morada y tuna blanca, respectivamente (Figura 11 y 12). Este comportamiento de la temperatura también fue reportado por Jaramillo *et al.* (2003) quienes observaron un descenso de 68% en el contenido de compuestos fenólicos cuando los cladodios de tuna fueron sometidos a rangos de temperatura de 63ºC a 93ºC por un tiempo de 30 min. Si bien el proceso térmico descrito en este trabajo permitiría inactivar la microflora y las enzimas no deseadas (como el polifenol

oxidasa). la temperatura tendría un efecto oxidante sobre los compuestos. fenólicos (Laslo et al., 2017). Así mismo, Yahia & Sáenz, (2011), El Gharras et al. (2008) menciona que los tratamientos térmicos tienen diferentes efectos sobre las pulpas verdes en comparación con los diferentes ecotipos (morada), debido a varios factores como pigmentación (betalainas), pH, oxigeno, la luz, etc., que están relacionados con el contenido de compuestos fenólicos. Por otro lado Albano *et al.* (2015) mencionaron que los frutos rojos (tuna morada) tiene mayor contenido de compuestos fenólicos.

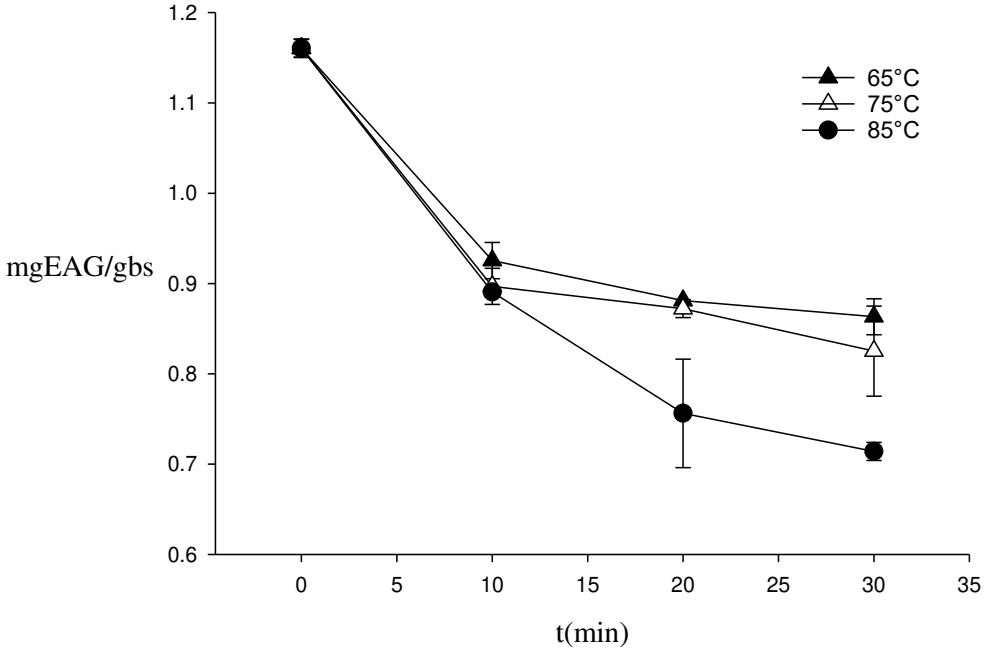


Figura 11. Contenido de compuestos fenólicos de la tuna ecotipo morada

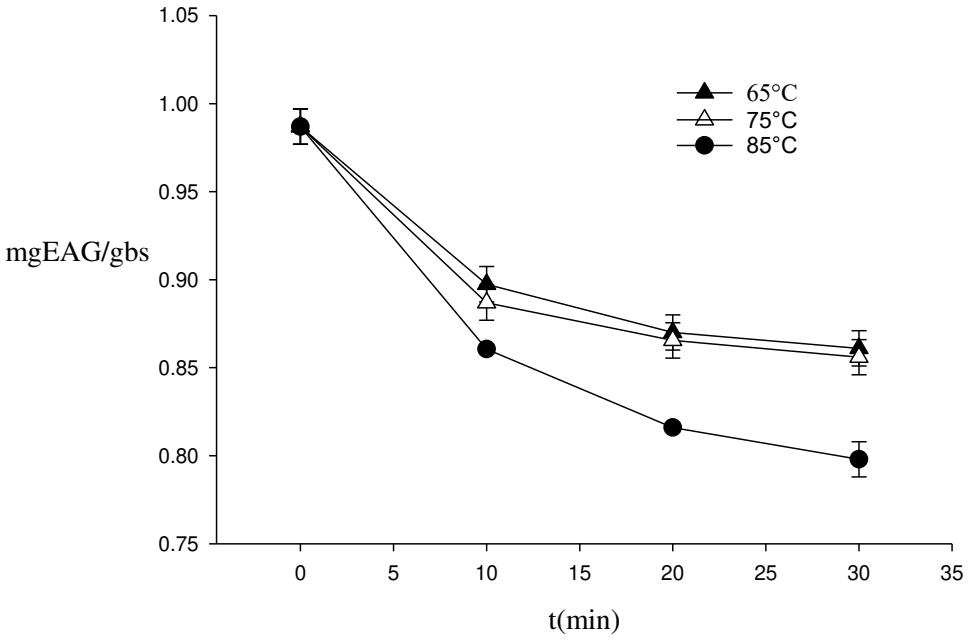


Figura 12. Contenido de compuestos fenólicos de tuna ecotipo blanca

4.2. Efecto del tratamiento térmico en el contenido de capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante medida, mediante la reducción del radical DPPH nos permite establecer el valor IC_{50}, que es una medida de la cantidad de extracto necesario para inhibir el 50% de dicho radical presente en 1mL de solución DPPH. Por ello, cuanto menor es el valor IC_{50}, mayor es la capacidad antioxidante del extracto.

De acuerdo con los resultados, el uso de temperatura moderadas de 65ºC a 85ºC combinados con tiempos de 0 a 30min permitió obtener valores de IC_{5O} entre 1,57 y 2,93 mg/ml para tuna morada y entre 2,51 y 3,66 mg/ml para la tuna blanca (Tabla 7).

Tabla 7.

Capacidad antioxidante presente en zumo de tuna

Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Tuna morada		Tuna blanca	
		IC_{50}		IC_{50}	
		$\bar{X}$	CV	$\bar{X}$	CV
65	0	1.577^{Aa}	0.00	2.517^{Bb}	0.00
	10	2.109^{Aa}	0.01	2.957^{Bb}	0.03
	20	2.393^{Aa}	0.01	3.101^{Bb}	0.05
	30	2.423^{Aa}	0.02	3.186^{Bb}	0.00
75	10	2.225^{Aa}	0.05	3.000^{Bb}	0.00
	20	2.556^{Aa}	0.00	3.154^{Bb}	0.02
	30	2.579^{Aa}	0.05	3.239^{Bb}	0.05
85	10	2.264^{Ac}	0.01	2.999^{Bb}	0.00
	20	2.904^{Ac}	0.00	3.353^{Bb}	0.02
	30	2.939^{Ac}	0.03	3.665^{Bb}	0.03

Los resultados se expresan como media y CV (coeficiente de variación). Diferentes letras mayúsculas indican diferencia significativa ($p<0.05$) entre los ecotipos (morada y blanca). Las letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa ($p<0.05$) entre temperaturas de tratamiento.

Para ambos ecotipos el tiempo de tratamiento térmico de 0 a 30min tiene un efecto negativo sobre la capacidad antioxidante de los extractos. Por ejemplo, para tuna morada el valor IC_{50} presenta incrementos de 53.6%, 63.5% y 86.36% conforme se incrementa la temperatura 65ºC, 75ºC y 85ºC respectivamente (Figura 13), mientras que para la tuna blanca el valor IC_{50} incrementa en 26.7%, 28.7% y 45.6% para 65ºC, 75ºC y 85% respectivamente (Figura 14). Shourove *et al*. (2020) reportaron resultados similares donde la variación del tiempo de tratamiento térmico de 10 a 40min reduce el contenido de la capacidad antioxidante en un 11,8% a partir de jugo de carambola. Gomez, (2022) también reporto una reducción de capacidad antioxidante en 6,5%

expresado en IC_{50} cuando el tiempo de tratamiento térmico (100°C) se prolongó por 10 min en néctar de mora de la india. Probablemente, tiempos prologados de exposición durante el tratamiento térmico favorecen la degradación de estos analitos de forma irreversible.

Por otro lado, independiente del tiempo de exposición, el valor de IC_{50} incrementa con la temperatura (Figura 13). Por ejemplo, a los 30 min de exposición un incremento de temperatura de 65ºC a 85ºC reduce en 21.3% y 15% el valor de IC_{50} para tuna morada y blanca respectivamente (Figura 14). Al respecto, Shourove *et al.* (2020) reportaron que un cambio de temperaturas de 70ºC a 90ºC reduce la actividad antioxidante en 11,8% en jugo de carambola; mientras que Gomez, (2022) reporto que las altas temperaturas (100°C) incrementó en 6,5% el valor IC_{50}. Esto puede atribuirse al aumento de la energía cinética que acelera las moléculas del solvente, los cuales pueden llegar a alterar la estructura del polifenol y posterior degradación. Por otro lado Sumaya-Martínez *et al*. (2011) mencionó que los cultivares rojos y morados muestran mayor actividad antioxidante con respecto a los cultivares blancos y amarillos.

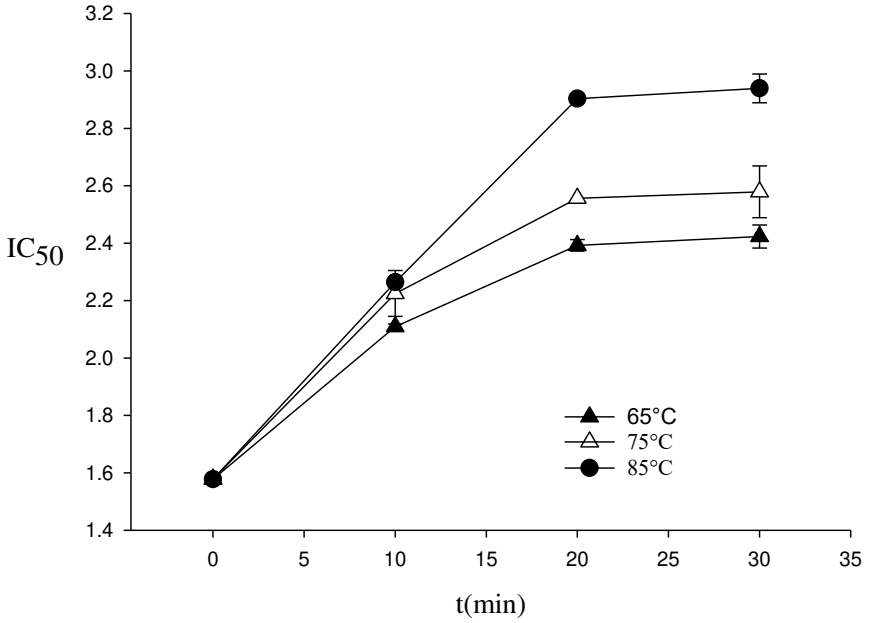


Figura 13. Contenido de capacidad antioxidante de tuna morada

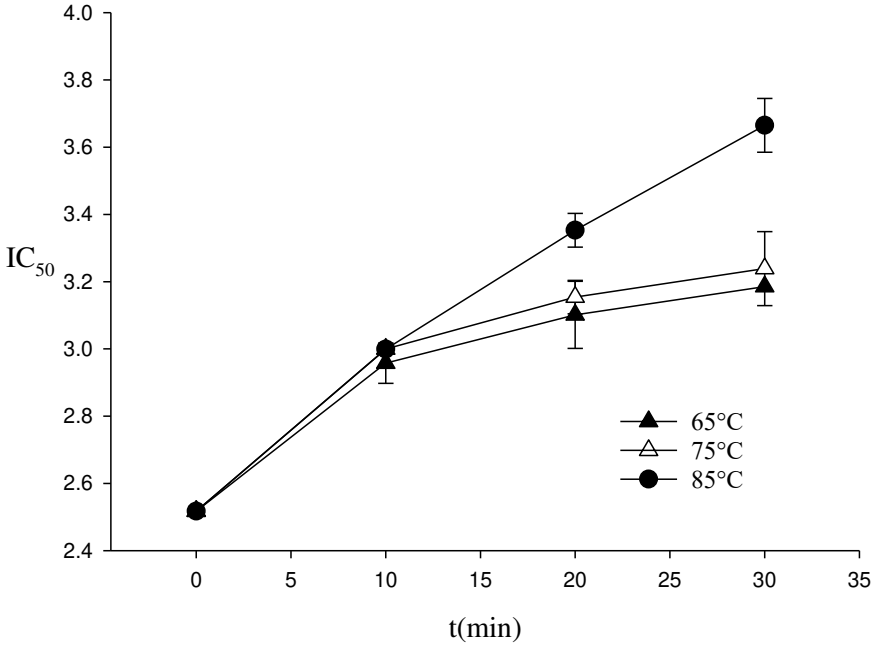


Figura 14. Contenido de capacidad antioxidante de tuna blanca

4.3. Evaluación de las cinéticas de deterioro de polifenoles presentes en los extractos

Con la finalidad de establecer el comportamiento en la degradación de polifenoles mediante un modelo matemático, es necesario realizar una correlación entre los factores estudio y la variable respuesta (polifenoles). De acuerdo con nuestros resultados, la cinética de deterioro de los polifenoles presentes en tuna morada y blanca tienen un comportamiento exponencial (figura 15 y 16).

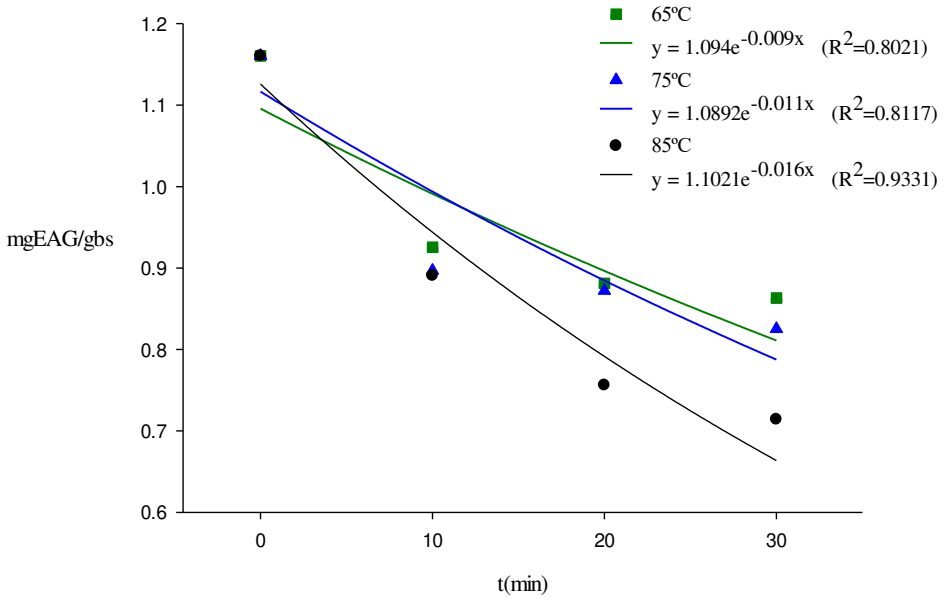


Figura 15. Cinética de deterioro de compuestos fenólicos en tuna morada

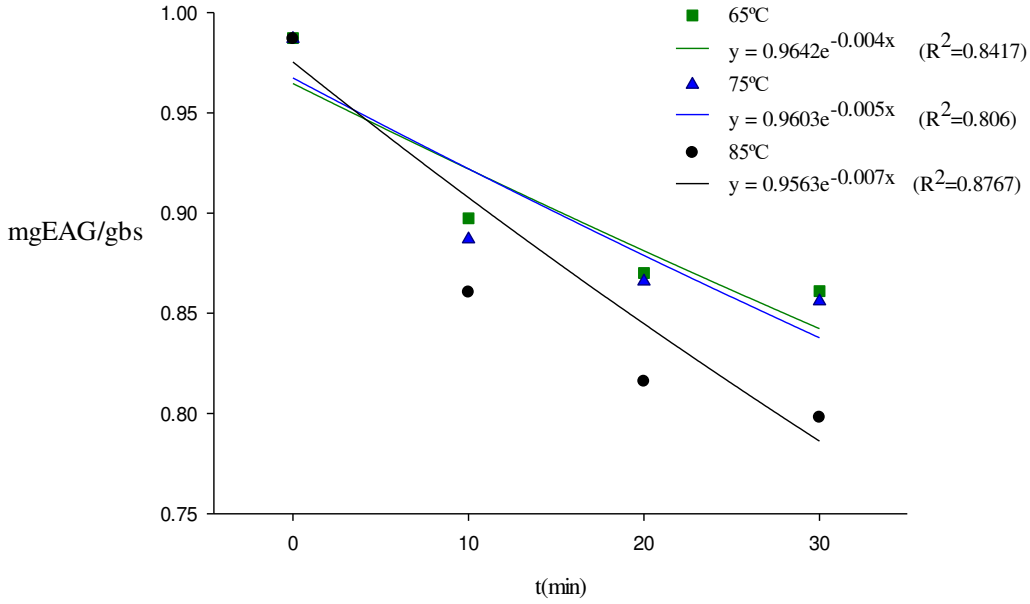


Figura 16. Cinética de deterioro de compuestos fenólicos en tuna blanca

La cinética de degradación de los compuestos fenólicos a partir de la tuna morada a un tratamiento térmico de 65ºC, 75ºC y 85ºC responde a un ajuste de primer orden (Anexo 12 y 13), con pendientes de 0.009, 0.011 y 0.016 mgEAG/gbs por min de exposición respectivamente (Figura 15), mientras para tuna blanca los tratamientos de 65ºC, 75ºC y 85ºC responde a un ajuste de primer orden (Anexo 12 y 13), con pendientes de 0.004, 0.005 y 0.007 mgEAG/gbs por min de exposición respectivamente (Figura 16). Estos resultados, considerando el valor de las pendientes muestran que las altas temperaturas de 85°C degradan 2 veces más rápido el contenido de polifenoles en comparación con bajas temperaturas (65°C). Hoang *et al.* (2022) reportaron resultados similares donde cambios de 70ºC a 90ºC incrementan la cinética de degradación de los compuestos fenólicos en 2 veces a partir de zumo de guanábana. Por otro lado, Özşen & Erge, (2013), también reporto que un cambio de 60ºC a 90ºC incrementa 2 veces la cinética de degradación de los compuestos fenólicos a partir de pulpa de fresa silvestre. Entonces, los

tratamientos térmicos severos favorecen una degradación oxidativa en la estructura química del polifenol (Laslo et al., 2017).

4.4. Estabilidad de polifenoles específicos presentes en zumo de pulpa de tuna

Dependiendo de las condiciones de las condiciones de proceso los polifenoles presentan cierta estabilidad en soluciones alimentarias. Por ello, cuando se hace un tratamiento térmico a un zumo en particular es necesario no solo cuantificar el contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante, sino también es importante evaluar que sucede con la composición de polifenoles específicos. Esto permitiría recomendar un tratamiento térmico en particular considerando preservar un tipo especifico de polifenoles con la finalidad de desarrollar alimentos nutraceuticos específicos a futuro.

4.4.1. Ácido fenólicos (Ácido cafeico)

El contenido de ácido cafeico varia de 0,222 a 0,464µg/gbs para tuna morada y entre 0,131 a 0,430 µg/gbs para tuna blanca. No obstante, los extractos de tuna morada presentaron las mayores concentraciones de ácido cafeico (0,464 µg/gbs) a (65°C) (Tabla 8 y Figura 17). Lo Scalzo *et al.* (2004) mostraron un incremento de 11.9% de ácido cafeico cuando trabajaron a altas temperaturas (80°C) a partir de jugo de naranja. Comportamiento similar fue reportado por (Cao et al., 2011) quienes mostraron un incremento de 11.6% en el contenido de ácido cafeico a temperaturas de 70°C a partir de pulpas de fresa.

4.4.2. Flavanoles

El contenido de flavanoles varía de 7,276 µg/gbs a 9,203 µg/gbs en tuna morada y entre 1,610 µg/gbs a 8,242 µg/gbs en tuna blanca, contrario comportamiento de los ácidos fenólicos, las bajas temperaturas (65°C) favorecen la estabilidad de estos compuestos (Tabla 8 y Figura 17). De albuquerque *et al.* (2021), encontró una degradación de 2,2 veces en el

contenido de flavanoles expresado en Catequina a temperaturas mayores de 80°C a partir de bebidas de nopal. Comportamiento similar fue reportado por Olivares *et al.* (2017) quienes mostraron, que temperaturas mayores a 80°C degradan el contenido de (catequina y epicatequina) en aguaymanto o uchuva. De igual manera Ursache *et al.* (2017) observaron un descenso de 77,9%, 79,46% y 81,52% en el contenido de catequina sometido a temperaturas de 60°C, 70°C y 80°C a partir de bayas de espino amarillo. La degradación de la catequina y epicatequina se pueden atribuir a la reaccion de epimerización que ocurren a temperaturas altas (Olivares et al. 2017).

Tabla 8.

Polifenoles específicos cuantificados en los zumos obtenidos por UHPLC en tiempo de tratamiento a 30 minutos.

Descripción	Tuna morada				Tuna blanca			
	Temperatura (ºC)				Temperatura (ºC)			
	0°C	**65°C**	**75°C**	**85°C**	**0°C**	**65°C**	**75°C**	**85°C**
Ac. Fenólico	X̄	X̄	X̄	X̄	X̄	X̄	X̄	X̄
	CV	**CV**	**CV**	**CV**	**CV**	**CV**	**CV**	**CV**
Ac. Cafeico	0.222^{Aa}	0.464^{Aa}	0.428^{Aa}	0.317^{Aa}	0.131^{Bb}	0.430^{Ba}	0.348^{Bb}	0.159^{Bb}
	0.04	0.05	0.05	0.08	0.01	0.05	0.04	0.09
Flavanoles								
Catequina	8.039^{Aa}	9.006^{Aa}	7.673^{Aa}	6.401^{Aa}	0.680^{Bb}	7.677^{Bb}	6.568^{Bb}	4.785B[a]
	0.09	0.04	0.02	0.02	0.07	0.05	0.05	0.05
Epicatequina	1.165^{Aa}	0.863^{Aa}	0.872^{Aa}	0.875^{Aa}	0.931^{Bb}	0.569^{Bb}	0.763^{Bb}	0.711^{Bb}
	0.05	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.02
Σ:	**9.203^{Aa}**	**9.868^{Aa}**	**8.545^{Aa}**	**7.276^{Aa}**	**1.610^{Bb}**	**8.242^{Bb}**	**7.331^{Bb}**	**5.496^{Bb}**
Flavonoles								
Rutina	9.553^{Aa}	9.098^{Aa}	4.928^{Aa}	1.040^{Aa}	ND	1.547^{Bb}	1.453^{Bb}	0.154^{Ba}
	0.06	0.04	0.09	0.10	-	0.06	0.07	0.03
Quercitrina	1.737^{Aa}	1.416^{Aa}	1.030^{Aa}	1.126^{Aa}	1.483^{Bb}	0.666^{Bb}	0.305^{Bb}	0.697^{Bb}
	0.08	0.01	0.01	0.05	0.03	0.00	0.09	0.06
Kaempferol	ND	0.398^{A}	0.409^{Aa}	0.399^{Aa}	ND	ND	0.405^{Ba}	0.397^{Ba}
	-	0.01	0.04	0.00	-	-	0.03	0.00
Σ:	**11.291^{Aa}**	**10.912^{Aa}**	**6.367^{Aa}**	**2.566^{Aa}**	**1.483^{Bb}**	**2.213^{Bb}**	**2.162^{Bb}**	**0.852^{Bb}**

Los resultados se expresan como media y CV (coeficiente de variación). Diferentes letras mayúsculas indican diferencia significativa ($p<0.05$) entre los ecotipos (morada y blanca). Las letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa ($p<0.05$) entre temperaturas de tratamiento.

4.4.3. Flavonoles

El contenido de flavonoles varía de 2,566 µg/gbs a 10,912 µg/gbs en tuna morada y entre 1,483 µg/gbs a 2,213 µg/gbs en tuna blanca, cuyo rendimiento máximo fue 10,912 µg/gbs y 2,213 µg/gbs a la temperatura más baja (65°C) en tuna morada y blanca respectivamente (Tabla 8 y Figura 17).

Se cuantificaron 3 flavonoles (rutina, quercetina y kaempferol) donde rutina fue el polifenol más abundante con una variación de 1,040 µg/gbs a 9,098 µg/gbs en tuna morada, a diferencia de la tuna blanca que presento una variación de 0,154 µg/gbs a 1,547 µg/gbs. Interesantemente, las bajas temperaturas (65°C) favorecen la estabilidad de este compuesto en ambos ecotipos (Tabla 8 y Figura 17). Abdel-Hameed *et a*l. (2014) menciona que uno de los principales compuestos predominantes en cultivares de pulpa de tuna es la rutina. Por otro lado, De Albuquerque *et al.* (2021) observaron una degradación de 1.4 veces en el contenido de flavonoles con cambios de temperaturas de 60°C a 80°C a partir de bebidas de nopal. De igual manera Ghafoor *et al.* (2019) mostro la degradación de 62% y 7% en el contenido de polifenol especifico quercetina y kaempferol a temperaturas de 80°C a partir de ciruela. Esto indicaría que la temperatura de calentamiento afecta significativamente el contenido de polifenoles y a su vez diferentes efectos según la clase de polifenol presente. Por otro lado Abdel-Hameed *et al.* (2014) indica que la pulpa del nopal rojo tiene mayor contenido de flavonoides y flavonoles totales en comparación con otros ecotipos.

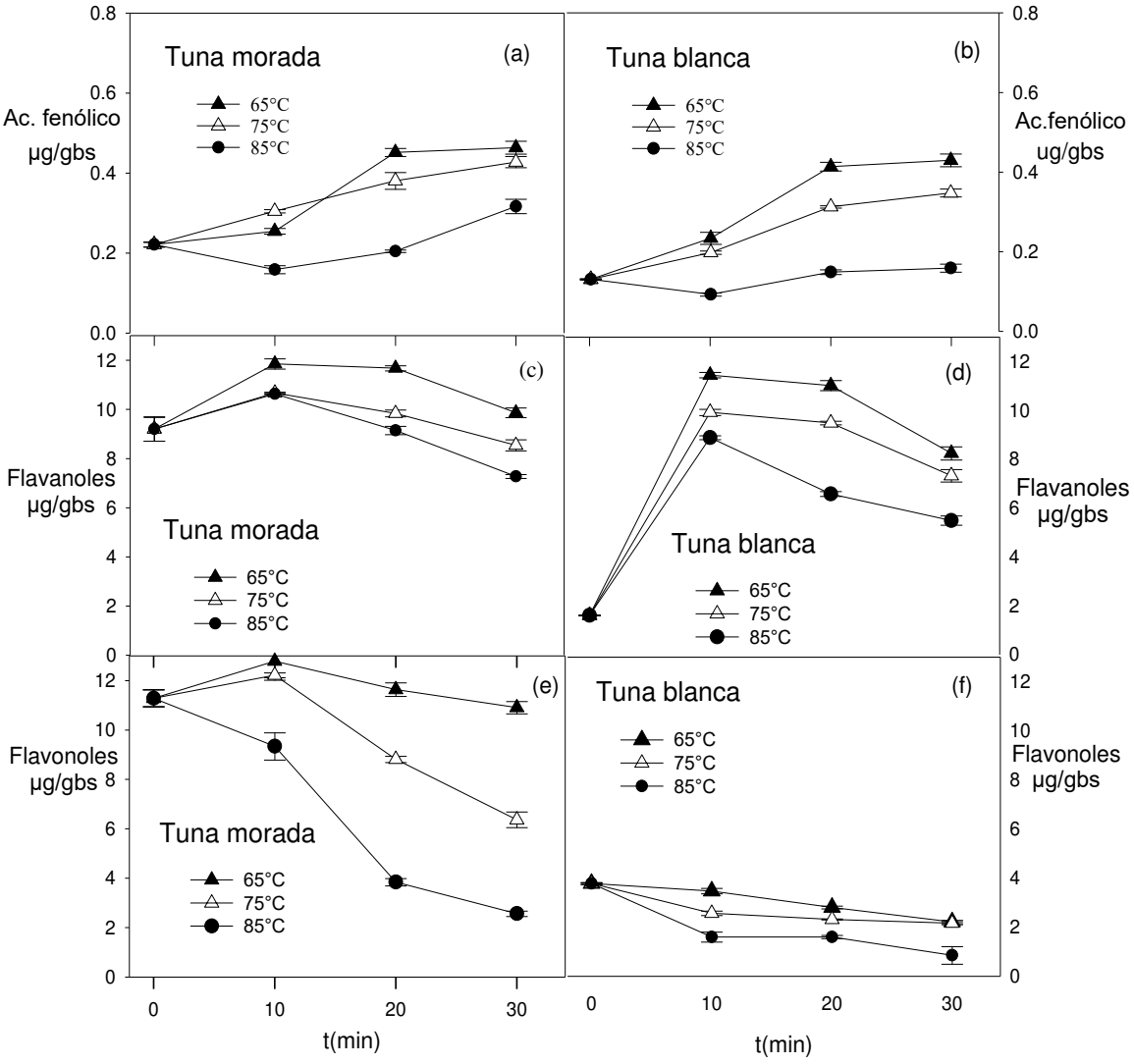


Figura 17. Estabilidad de polifenoles específicos a partir de zumos de tuna morada y tuna blanca

V. Conclusiones

- Dentro de ambos ecotipos estudiados sin tiramiento térmico, la tuna morada presento mayor contenido de compuestos fenólicos y capacidad con 1.60 mgEAG/gbs y 1.577mg/mL respectivamente.
- Las condiciones de tratamiento térmico como temperatura y tiempo afectan significativamente la degradación de los compuestos fenólicos, obteniéndose la mejor condición para la estabilidad de compuestos fenólicos a 65°C en un tiempo de 10 minutos. Esto permitió que los extractos de zumo presenten un contenido de 0,925 mgEAG/gbs en tuna morada y 0,897 mg EAG/ gbs en tuna blanca.
- De manera similar el tratamiento térmico (temperatura y tiempo) muestra un efecto negativo en el contenido de capacidad antioxidante, obteniéndose una mayor inhibición de radical DPPH a 65°C a un tiempo de 10 minutos. En el cual permitió obtener valores de IC_{50} de 2,109 mg/mL en tuna morada y 2,957 mg/mL en tuna blanca.
- La mayor estabilidad en polifenoles específicos fue a una temperatura menor (65°C). en el cual se muestra valores de polifenoles por cada familia (Ácido fenólico: 0,464µg/gbs, flavanoles: 9,868 µg/gbs, flavonoles: 10,912 µg/gbs) en tuna morada y en tuna blanca (acido fenólico: 0.430 µg/gbs, flavanoles: 8,242 µg/gbs, flavonoles: 2,213 µg/gbs).

VI. Recomendaciones

- En importante evaluar otros ecotipos de tuna, como la tuna anaranjada
- Estudiar las diferentes partes del fruto como la cascara, semilla; ya que también tienen presencia compuestos bioactivos; esto nos permitiría aprovechar en su totalidad los residuos sólidos del producto y a su vez evitar la contaminación ambiental.
- Evaluar otras condiciones de tratamiento térmico, para ver la estabilidad de los compuestos fenólicos y evitar su degradación.
- Comparar el contenido de capacidad antioxidante mediante otros métodos como ORAC, ABTS, FRAP y poder aportar información en el sector agroindustrial.
- Evaluar la vida útil y evaluación sensorial de los diferentes ecotipos de tuna

VII. Referencias

Abdel-Hameed, E. S. S., Nagaty, M. A., Salman, M. S., & Bazaid, S. A. (2014). Phytochemicals, nutritionals and antioxidant properties of two prickly pear cactus cultivars (Opuntia ficus indica Mill.) growing in Taif, KSA. *Food Chemistry*, *160*, 31–38. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.060

Alam, M. N., Bristi, N. J., & Rafiquzzaman, M. (2013). Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal*, *21*(2), 143–152. https://doi.org/10.1016/j.jsps.2012.05.002

Albano, C., Negro, C., Tommasi, N., Gerardi, C., Mita, G., Miceli, A., de Bellis, L., & Blando, F. (2015). Betalains, phenols and antioxidant capacity in cactus pear [opuntia ficus-indica (L.) mill.] fruits from Apulia (South Italy) genotypes. *Antioxidants*, *4*(2), 269–280. https://doi.org/10.3390/antiox4020269

Álvarez, J. L. (2002). Cultivo De La Tuna Y Crianza De La Cochinilla. *Inia*, 29–50. http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/987

Avello, M., & Suwalsky, M. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea (Concepción)*, *494*, 161–172. https://doi.org/10.4067/s0718-04622006000200010

Biesalski, H. K., Dragsted, L. O., Elmadfa, I., Grossklaus, R., Müller, M., Schrenk, D., Walter, P., & Weber, P. (2009). Bioactive compounds: Definition and assessment of activity. *Nutrition*, *25*(11–12), 1202–1205. https://doi.org/10.1016/j.nut.2009.04.023

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, *28*(1), 25–30. https://doi.org/10.1016/S0023-

6438(95)80008-5

Cao, X., Zhang, Y., Zhang, F., Wang, Y., Yi, J., & Liao, X. (2011). Effects of high hydrostatic pressure on enzymes, phenolic compounds, anthocyanins, polymeric color and color of strawberry pulps. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *91*(5), 877–885. https://doi.org/10.1002/jsfa.4260

Cárdenas Baquero, G. D., Arrazola Paternina, G., & Villalba Cadavid, M. (2016). Frutas tropicales: fuente de compuestos bioactivos naturales en la industria de alimentos. *Ingenium Revista de La Facultad de Ingeniería*, *17*(33), 29. https://doi.org/10.21500/01247492.2152

Carrasco, R. R. de, & Zelada, C. R. E. (2008). Determinación De La Capacidad Antioxidante YCompuestos Bioactivos De Frutas Nativas Peruanas. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, *2*, 108–124. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371937609004

Chacón-Garza, L. E., Hernández-Cervantes, D., Ventura-Sobrevilla, J. M., & Aguirre-Joya, J. A. (2020). Sensory analysis of jelly from prickly pear cactus fruit (Opuntia ficus indica). *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, *8*(44), 1–11.

Chen, J., Sun, H., Wang, Y., Wang, S., Tao, X., & Sun, A. (2014). Stability of apple polyphenols as a function of temperature and pH. *International Journal of Food Properties*, *17*(8), 1742–1749. https://doi.org/10.1080/10942912.2012.678531

Cortés, C. (2019). *Determinación del efecto del procesamiento sobre el contenido de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante (ORAC) y el perfil de compuestos polifenólicos del jugo de huiscoyol (Bactris guineensis)*. 63–74.

Da Silva Júnior, J. J., Cardoso, R. L., de Oliveira Fonseca, A. A., & Soares Machado, E. (2013). Elaboration and sensorial evaluation of jelly and fruit crystallized cactus pear (Opuntia ficus-indica Mill). *Idesia (Arica)*, *31*(3), 59–64. https://doi.org/10.4067/s0718-34292013000300008

De Albuquerque, J. G., Escalona-Buendía, H. B., de Magalhães Cordeiro, A. M. T., dos Santos Lima, M., de Souza Aquino, J., & da Silva Vasconcelos, M. A. (2021). Ultrasound treatment for improving the bioactive compounds and quality properties of a Brazilian nopal (Opuntia ficus-indica) beverage during shelf-life. *Lwt*, *149*(December 2020). https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111814

Deak, T. (2014). Thermal Treatment. *Food Safety Management: A Practical Guide for the Food Industry*, 423–442. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381504-0.00017-2

Deng, J., Cheng, W., & Yang, G. (2011). A novel antioxidant activity index (AAU) for natural products using the DPPH assay. *Food Chemistry*, *125*(4), 1430–1435. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.10.031

Echavarría, B. Z., Franco, A. S., & Martínez, A. M. (2009). Evaluación de la actividad antioxidante y determinación del contenido de compuestos fenólicos en extractos de macroalgas del Caribe Colombiano. *Vitae*, *16*, 126–131.

El-Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El Kebbaj, M. S., Latruffe, N., Lizard, G., Nasser, B., & Cherkaoui-Malki, M. (2014). Nopal cactus (Opuntia ficus-indica) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. *Molecules*, *19*(9), 14879–14901. https://doi.org/10.3390/molecules190914879

El Gharras, H., Hasib, A., Jaouad, A., El-Bouadili, A., & Schoefs, B. (2008). Stability of vacuolar betaxanthin pigments in juices from Moroccan

yellow Opuntia ficus indica fruits. *International Journal of Food Science and Technology*, *43*(2), 351–356. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01536.x

Fogliano, V., Pellegrini, N., Miglio, C., Chiavaro, E., & Visconti, A. (2008). Effects of Different Cooking Methods on Nutritional and Physicochemical Characteristics of Selected Vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*(1), 139–147.

Galina, H., Ortiz, R., & Guerrero, C. (2006). Estrés oxidativo y antioxidantes. *Avances En Investigación Agropecuaria*, *Vol.22*(1), 47-61 pp.

García, E., Fernández, I., & Fuentes, A. (2015). Determinación de polifenoles totales por el método de Folin- Ciocalteu. *Etsiamn*, 9. https://riunet.upv.es/handle/10251/52056

Ghafoor, K., Ahmed, I. A. M., Doğu, S., Uslu, N., Gbemisola Jamiu, F., Al Juhaimi, F., Babiker, E. E., & Özcan, M. M. (2019). The Effect of Heating Temperature on Total Phenolic Content, Antioxidant Activity, and Phenolic Compounds of Plum and Mahaleb Fruits. *International Journal of Food Engineering*, 1–11. https://doi.org/10.1515/ijfe-2017-0302

Gomez, S. (2022). *Indian blackberry (Syzigium cumini L .) nectar processed without chemical preservatives - changes in physico - chemical properties and bioactive constituents during storage*. 468–478. https://doi.org/10.25177/JFST.7.2.RA.10810

González-Cruz, L., Hernández-Castillo, J. B. E., Juárez-Goiz, J. M. S., Flores-Martínez, N. L., & Bernardino-Nicanor, A. (2018). Effect of traditional thermal treatment on the antioxidant activity and carotenoids content of nopalitos. *Revista Mexicana de Ingeniera Quimica*, *17*(3), 823–833. https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2018v17n3/Gonzalez

Google Earth. (2019). *Centro poblado de san cristóbal*. https://earth.google.com/web/@-16.74680743,-70.7069344,2745.8212201a,16896.43136575d,35y,-0.00000002h,2.88263009t,-0r

GRA. (2020). *ANUARIO ESTADÍSTICO AGROPECUARIO*. https://agromoquegua.gob.pe/doc/anuarios/Anuario_Estadistico_Agropecuario_2020_Moquegua.pdf

Gutiérrez, M. C., & Droguet, M. (2002). La cromatografía de gases y la espectrometría de masas: Identificación de compuestos causantes de mal olor. *Boletin Intexter Del Instituto de Investigacion Textil y de Cooperacion Industrial*, *122*, 35–41.

Halliwell, B., Aeschbach, R., Löliger, J., & Aruoma, O. I. (1995). The characterization of antioxidants. *Food and Chemical Toxicology*, *33*(7), 601–617. https://doi.org/10.1016/0278-6915(95)00024-V

Haminiuk, C. W. I., Maciel, G. M., Plata-Oviedo, M. S. V., & Peralta, R. M. (2012). Phenolic compounds in fruits - an overview. *International Journal of Food Science and Technology*, *47*(10), 2023–2044. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03067.x

Harakotr, B., Suriharn, B., Tangwongchai, R., Scott, M. P., & Lertrat, K. (2014). Anthocyanin, phenolics and antioxidant activity changes in purple waxy corn as affected by traditional cooking. *Food Chemistry*, *164*, 510–517. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.069

Hoang, Q. B., Duong, T. N. D., & Ho, T. T. L. (2022). Physicochemical, antioxidant and microbiological behavior of soursop purees during thermal treatment. *Can Tho University Journal of Science*, *14*(1), 81–90. https://doi.org/10.22144/ctu.jen.2022.009

Huaringa, B. (2015). *Evaluación de betaninas y actividad antioxidante en la pulpa concentrada de tuna (Opuntia ficus indica) ecotipo morado*. 143.

Inglese Paolo, Mondragon, J. C., Ali, N., & Carmen, S. (2018). *Ecologia del cultivo manejo y usos del Nopal*. https://books.google.com.pe/books?id=z3dhDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Jaramillo-Flores, M. E., González-Cruz, L., Cornejo-Mazón, M., Dorantes-álvarez, L., Gutiérrez-López, G. F., & Hernández-Sánchez, H. (2003). Effect of Thermal Treatment on the Antioxidant Activity and Content of Carotenoids and Phenolic Compounds of Cactus Pear Cladodes (Opuntia ficus-indica). *Food Science and Technology International*, *9*(4), 271–278. https://doi.org/10.1177/108201303036093

Javier, F., & Conte, S. (2017). Distribución de pesticidas en sistemas de abejas, polen, cera y miel. Análisis por LC-MS/MS. *Grado En Quimica*, *5*, 1–35.

Jorge, P., & Troncoso, L. (2016). Capacidad antioxidante del fruto de la Opuntia apurimacensis (ayrampo) y de la Opuntia ficus-indica (tuna) TT - Antioxidant properties of the fruits Opuntia apurimacensis (ayrampo) and Opuntia ficus-indica (cactus pear). *Anales de La Facultad de Medicina*, *77*(2), 105–109. /scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832016000200002&lang=pt

Kuti, J. O. (2004). Antioxidant compounds from four Opuntia cactus pear fruit varieties. *Food Chemistry*, *85*(4), 527–533. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00184-5

Laguerre, M., Lecomte, J., & Villeneuve, P. (2007). Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges. *Progress in Lipid Research*, *46*(5), 244–282.

https://doi.org/10.1016/j.plipres.2007.05.002

Laslo, V., Teusdea, A. C., Socaci, S. A., Mierlita, D., & Vicas, S. I. (2017). Influence of pasteurization on total phenols content and antioxidant capacity of Prunus persica L. juices. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *45*(2), 553–560. https://doi.org/10.15835/nbha45210699

Leopoldini, M., Russo, N., & Toscano, M. (2011). The molecular basis of working mechanism of natural polyphenolic antioxidants. *Food Chemistry*, *125*(2), 288–306. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.012

Liaotrakoon, W., de Clercq, N., van Hoed, V., van de Walle, D., Lewille, B., & Dewettinck, K. (2013). Impact of Thermal Treatment on Physicochemical, Antioxidative and Rheological Properties of White-Flesh and Red-Flesh Dragon Fruit (Hylocereus spp.) Purees. *Food and Bioprocess Technology*, *6*(2), 416–430. https://doi.org/10.1007/s11947-011-0722-4

Lo Scalzo, R., Iannoccari, T., Summa, C., Morelli, R., & Rapisarda, P. (2004). Effect of thermal treatments on antioxidant and antiradical activity of blood orange juice. *Food Chemistry*, *85*(1), 41–47. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.05.005

López González, J. J., Fuentes Rodríguez, J. M., & Rodríguez Gámez, A. (1997). Industrializacion De La Tuna Cardona (Opuntia streptacantha). *J. Pacd*, 169–175.

Maestro Durán, R., & Borja Padilla, R. (1993). Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos. *Grasas y Aceites*, *44*(2), 101–106. https://doi.org/10.3989/gya.1993.v44.i2.1105

Maldonado, I., Vega Quispe, A. P., Merma Chacca, D., & Zirena Vilca, F. (2022). Optimization of the elimination of antibiotics by Lemna gibba and Azolla filiculoides using response surface methodology (RSM). *Frontiers in Environmental Science*, *10*(August), 1–13. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.940971

Manea, I. (2013). Evolution of bioactive compounds in fruit juices during preservation by refrigeration. *Revue Roumaine de Chimie*, *58*(7–8), 619–622.

Marszałek, K., Woźniak, Ł., Skąpska, S., & Mitek, M. (2017). High pressure processing and thermal pasteurization of strawberry purée: quality parameters and shelf life evaluation during cold storage. *Journal of Food Science and Technology*, *54*(3), 832–841. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2529-4

Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., Culebras, J. M., & Tuñón, M. J. (2002). Los flavonoides: Propiedades y acciones antioxidantes. *Nutricion Hospitalaria*, *17*(6), 271–278.

Martínez-Navarrete, N., del Mar Camacho Vidal, M., & José Martínez Lahuerta, J. (2008). Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Actividad Dietetica*, *12*(2), 64–68. https://doi.org/10.1016/S1138-0322(08)75623-2

Martínez, M. T. S., Diéguez, T. S., Cansino, N. D. S. C., García, E. A., & Sampedro, J. G. (2010). Innovation of high added value products using Mexican prickly pears. *Quinta Epoca*, *27*, 435–441. http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/93913/2/12.ArticuloTuna_Mex_HGO-Corregido.pdf

Ministerio de desarrollo Agrario y Riego. (2021). *Boletin estadístico mesual "El Agro en Cifras."*

https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2861470/Boletín Mensual %22El Agro en Cifras%22 - Diciembre 2021.pdf?v=1646143060

Murador, D., Braga, A. R., Da Cunha, D., & De Rosso, V. (2018). Alterations in phenolic compound levels and antioxidant activity in response to cooking technique effects: A meta-analytic investigation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *58*(2), 169–177. https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1140121

Olivares-Tenorio, M. L., Verkerk, R., van Boekel, M. A. J. S., & Dekker, M. (2017). Thermal stability of phytochemicals, HMF and antioxidant activity in cape gooseberry (Physalis peruviana L.). *Journal of Functional Foods*, *32*, 46–57. https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.02.021

Özşen, D., & Erge, H. S. (2013). Degradation Kinetics of Bioactive Compounds and Change in the Antioxidant Activity of Wild Strawberry (Fragaria vesca) Pulp During Heating. *Food and Bioprocess Technology*, *6*(9), 2261–2267. https://doi.org/10.1007/s11947-012-0910-x

Paucara Condori, C. M. (2017). *Caracterización Física Y Química De La Tuna (Opuntia Ficus Indica) En El Municipio De Luribay Provincia Loayza Del Departamento De La Paz*. 112. https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/13345/T-2427.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Peñarrieta, J. M., Tejeda, L., Mollinedo, P., Vila, J. L., & Bravo, J. A. (2014). Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos. *Revista Boliviana de Química*, *31*(2), 68–81.

Pongener, A., Sharma, S., & Purbey, S. K. (2018). Heat Treatment of Fruits and Vegetables. In *Postharvest Disinfection of Fruits and Vegetables*. Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812698-1.00009-1

Proteggente, A. R., Pannala, A. S., Paganga, G., Van Buren, L., Wagner, E., Wiseman, S., Van De Put, F., Dacombe, C., & Rice-Evans, C. A. (2002). The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition. *Free Radical Research*, *36*(2), 217–233. https://doi.org/10.1080/10715760290006484

Pyrzynska, K., & Pękal, A. (2013). Application of free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) to estimate the antioxidant capacity of food samples. *Analytical Methods*, *5*(17), 4288–4295. https://doi.org/10.1039/c3ay40367j

Rawson, A., Patras, A., Tiwari, B. K., Noci, F., Koutchma, T., & Brunton, N. (2011). Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances. *Food Research International*, *44*(7), 1875–1887. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.053

Rosa, B., Meza, M., Para, S., El, O., Profesional, T., Del, E., De, E., Temperatura, L. A., & Concentracion En, D. E. (2014). *TESIS PRESENTADA POR: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ DE TUNA ANARANJADA (Opuntia spp.)*. http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1234/MEZA SOSA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rubiano, J. A., & Zuluaga Domínguez, C. M. (2012). Determinación y Estandarización de un Método para Cafeína en el Proceso de Torrefacción por Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (Hplc). *Publicaciones e Investigación*, *6*, 37. https://doi.org/10.22490/25394088.1105

Sáenz, C., Horst, B., Joel, G., Ljubica, G., García, de C. V., Higuera, I., Candelario, M., Rodríguez Félix, A., Elena, S., & María, V. (2006). Utilización agroindustrial del nopal. In *FAO*. https://repo.mel.cgiar.org/handle/20.500.11766/67792 .

Shourove, J. H., Zzaman, W., Chowdhury, R. S., & Hoque, M. M. (2020). Effect of Thermal Treatment on Physicochemical Stability and Antioxidant Properties of Locally Available Underutilized Star Fruit Juice. *Asian Food Science Journal*, *March*, 41–53. https://doi.org/10.9734/afsj/2020/v14i330133

Singleton, J. A. R. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, *16* no *3*.

Suarez Ospina, D., & Morales Hernández, Y. (2018). Principios Básicos De La Cromatografía Líquida De Alto Rendimiento Para La Separación Y Análisis De Mezclas. *América Revista Semilleros: Formación Investigativa*, *4*, 8–10. https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7731/1/6131978-2018-1-IQ.pdf

Sumaya-Martínez, M. T., Cruz-Jaime, S., Madrigal-Santillán, E., García-Paredes, J. D., Cariño-Cortés, R., Cruz-Cansino, N., Valadez-Vega, C., Martinez-Cardenas, L., & Alanís-García, E. (2011). Betalain, acid ascorbic, phenolic contents and antioxidant properties of purple, red, yellow and white cactus pears. *International Journal of Molecular Sciences*, *12*(10), 6452–6468. https://doi.org/10.3390/ijms12106452

Tahar, H. S., Hamid, G., Rachid, H. B., & Souad, H. (2019). Evolution of Bioactive Components of Prickly Pear Juice (Opuntia ficus indica) and Cocktails with Orange juice. *Nature & Technology*, *20*, 45–53. https://www.proquest.com/scholarly-journals/evolution-bioactive-components-prickly-pear-juice/docview/2250950515/se-2?accountid=50656

Terrado Quevedo, S., Barthelemy Vidaillet, A., Valls Alvarez, M., & Armand Loire, O. (2003). Radicales Libres Y Defensas Antioxidantes. *Revista*

Información Científica, *37*.

Trujillo Hernández, C. (2019). *Estudio de la actividad antioxidante de Hierbas Y Frutos*. 76. http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Ctrujillo/Trujillo_Hernandez_Cristina_TFM.pdf

Ursache, F. M., Ghinea, I. O., Turturică, M., Aprodu, I., Râpeanu, G., & Stănciuc, N. (2017). Phytochemicals content and antioxidant properties of sea buckthorn (Hippophae rhamnoides L.) as affected by heat treatment – Quantitative spectroscopic and kinetic approaches. *Food Chemistry*, *233*, 442–449. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.107

Vardhan, P. V., & Shukla, L. I. (2017). Gamma irradiation of medicinally important plants and the enhancement of secondary metabolite production. *International Journal of Radiation Biology*, *93*(9), 967–979. https://doi.org/10.1080/09553002.2017.1344788

Volden, J., Borge, G. I. A., Hansen, M., Wicklund, T., & Bengtsson, G. B. (2009). Processing (blanching, boiling, steaming) effects on the content of glucosinolates and antioxidant-related parameters in cauliflower (Brassica oleracea L. ssp. botrytis). *Lwt*, *42*(1), 63–73. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.05.018

Wilson, I. D., Nicholson, J. K., Castro-Perez, J., Granger, J. H., Johnson, K. A., Smith, B. W., & Plumb, R. S. (2005). High resolution "ultra performance" liquid chromatography coupled to oa-TOF mass spectrometry as a tool for differential metabolic pathway profiling in functional genomic studies. *Journal of Proteome Research*, *4*(2), 591–598. https://doi.org/10.1021/pr049769r

Wojdyło, A., Figiel, A., & Oszmiański, J. (2009). Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. *Journal of Agricultural*

and Food Chemistry, *57*(4), 1337–1343. https://doi.org/10.1021/jf802507j

Wright, J. S., Johnson, E. R., & DiLabio, G. A. (2001). Predicting the activity of phenolic antioxidants: Theoretical method, analysis of substituent effects, and application to major families of antioxidants. *Journal of the American Chemical Society*, *123*(6), 1173–1183. https://doi.org/10.1021/ja002455u

Yahia, E. M., & Sáenz, C. (2011). Cactus pear (Opuntia species). In *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. Woodhead Publishing Limited. https://doi.org/10.1533/9780857092762.290

Zhang, J. J., Ji, R., Hu, Y. Q., Chen, J. C., & Ye, X. Q. (2011). Effect of three cooking methods on nutrient components and antioxidant capacities of bamboo shoot (Phyllostachys praecox C.D. Chu et C.S. Chao). *Journal of Zhejiang University: Science B*, *12*(9), 752–759. https://doi.org/10.1631/jzus.B1000251

Zorenc, Z., Veberic, R., Stampar, F., Koron, D., & Mikulic-Petkovsek, M. (2017). Thermal stability of primary and secondary metabolites in highbush blueberry (Vaccinium corymbosum L.) purees. *Lwt*, *76*, 79–86. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.048

Anexos

Anexo 1

Panel fotográfco

Fotografía 1.

Muestras de tuna blanca



Fotografía 2.

Muestras de tuna morada



Fotografía 3 .

Muestras de tuna anaranjada



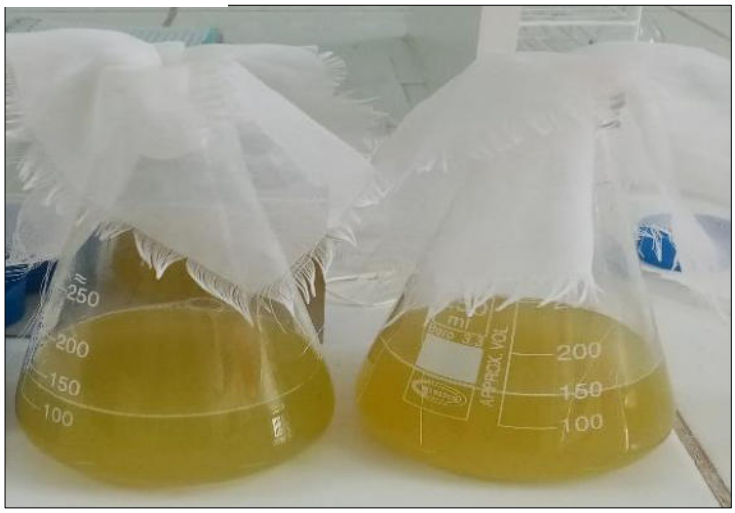
Fotografía 4.

Zumo de tuna morada



Fotografía 5.

Zumo de tuna blanca



Fotografía 6.

Tratamiento térmico mediante el baño termostático



Fotografía 7.

Envases conteniendo zumo de tuna para análisis



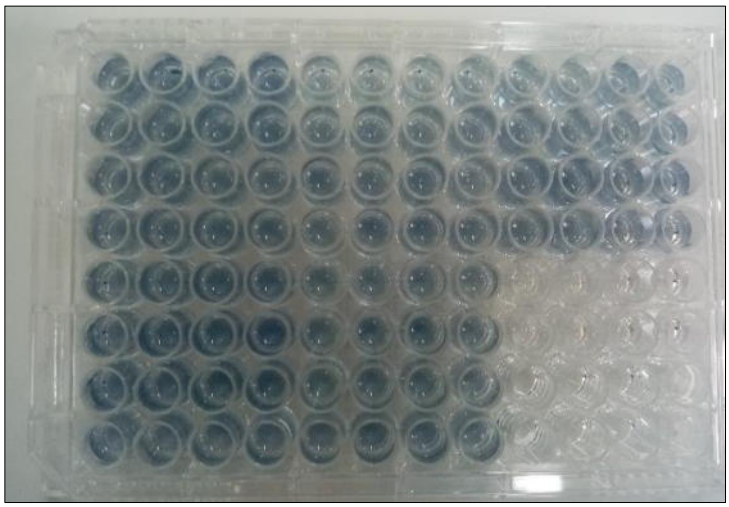
Fotografía 8.

Dilución de la muestra



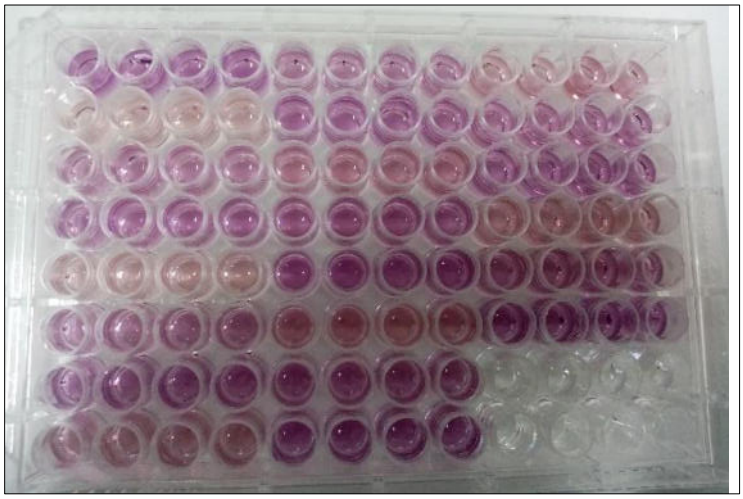
Fotografía 9.

Análisis de compuestos fenólicos



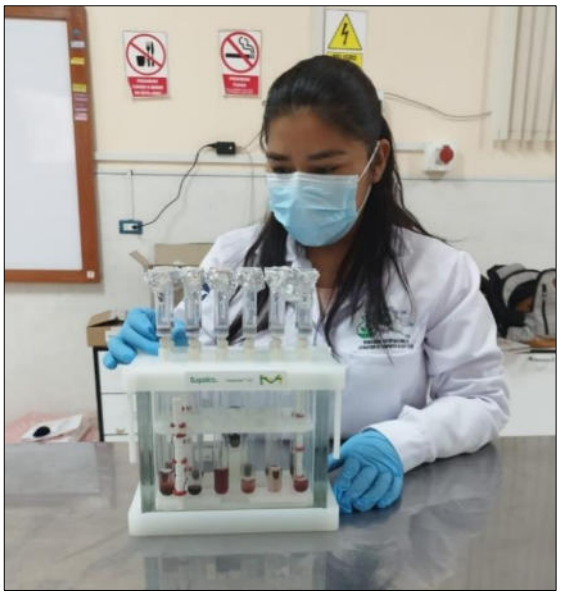
Fotografía 10.

Análisis de capacidad antioxidante por el método DPPH



Fotografía 11.

Sistema de elución para perfil de polifenoles



Fotografía 12.

Sistema de Cromatografía UHPLC



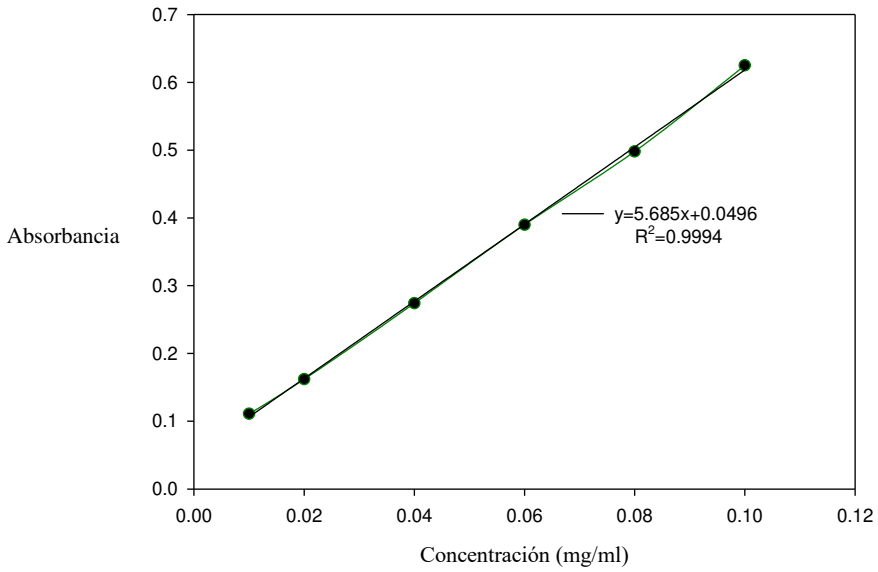
Anexo 2

Curva de calibración del método de Folin Ciocalteu

Para el proceso de análisis de compuestos fenólicos se realiza mediante una curva de calibración del ácido gálico el cual es usado como patrón de referencia para la determinación de compuestos fenólicos, el cual es expresado como mg de ácido gálico equivalente/ gramos de muestra.

A continuación, se muestra la curva de calibración de ácido gálico

Nº	CONCENTRACIÓN (mg/ml)	ABSORBANCIA
1	0.01	0.111
2	0.02	0.162
3	0.04	0.274
4	0.06	0.390
5	0.08	0.498
6	0.1	0.625



Anexo 3

Contenido de compuestos fenólicos en zumo de tuna anaranjada

Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Polifenoles (mgEAG/gbs)	
		$\bar{X}$	CV
65	0	1.097	0.11
	10	0.997	0.02
	20	0.947	0.00
	30	1.008	0.01
75	10	1.049	0.00
	20	1.165	0.10
	30	1.094	0.03
85	10	1.062	0.03
	20	1.097	0.02
	30	1.112	0.02

Anexo 4

Análisis de varianza para compuestos fenólicos respecto a la temperatura

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Ecotipo	0.0105367	1	0.0105367	5.16	0.0300
B: Temperatura	0.217078	3	0.0723594	35.44	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.0342619	3	0.0114206	5.59	0.0034
RESIDUOS	0.0653305	32	0.00204158		
TOTAL (CORREGIDO)	0.317454	39			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Anexo 5

Pruebas de comparación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
85	12	0.80575	0.0130434	X
75	12	0.867083	0.0130434	X
65	12	0.883167	0.0130434	X
0	4	1.07375	0.0225919	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 65	*	0.190583	0.0706902
0 - 75	*	0.206667	0.0706902
0 - 85	*	0.268	0.0706902
65 - 75		0.0160833	0.0499855
65 - 85	*	0.0774167	0.0499855
75 - 85	*	0.0613333	0.0499855

* Indica una diferencia significativa.

Anexo 6

Análisis de varianza para compuestos fenólicos respecto al tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Ecotipo	0.0104883	1	0.0104883	4.76	0.0365
B: Tiempo	0.210519	3	0.0701729	31.87	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.0356473	3	0.0118824	5.40	0.0040
RESIDUOS	0.0704615	32	0.00220192		
TOTAL (CORREGIDO)	0.317393	39			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Anexo 7

Pruebas de comparación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
30	12	0.819667	0.013546	X
20	12	0.8435	0.013546	XX
10	12	0.893	0.013546	X
0	4	1.07375	0.0234623	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
0 - 10	*	0.18075	0.0734137
0 - 20	*	0.23025	0.0734137
0 - 30	*	0.254083	0.0734137
10 - 20		0.0495	0.0519113
10 - 30	*	0.0733333	0.0519113
20 - 30		0.0238333	0.0519113

* indica una diferencia significativa.

Anexo 8

Análisis de varianza de capacidad antioxidantes respecto a la temperatura

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Ecotipo	4.31152	1	4.31152	89.99	0.0000
B: Temperatura	1.00166	3	0.333886	6.97	0.0010
INTERACCIONES					
AB	0.0506432	3	0.0168811	0.35	0.7877
RESIDUOS	1.53321	32	0.0479129		
TOTAL (CORREGIDO)	7.64286	39			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Anexo 9

Pruebas de comparación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	4	2.533	0.109445	X
65	12	2.69483	0.0631882	X
75	12	2.79225	0.0631882	XX
85	12	3.02067	0.0631882	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 65		-0.161833	0.342454
0 - 75		-0.25925	0.342454
0 - 85	*	-0.487667	0.342454
65 - 75		-0.0974167	0.242152
65 - 85	*	-0.325833	0.242152
75 - 85		-0.228417	0.242152

* Indica una diferencia significativa.

Anexo 10

Análisis de varianza de la capacidad antioxidante respecto al tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Ecotipo	4.31152	1	4.31152	131.56	0.0000
B: Tiempo	1.45339	3	0.484464	14.78	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.0834452	3	0.0278151	0.85	0.4775
RESIDUOS	1.04868	32	0.0327711		
TOTAL (CORREGIDO)	7.64286	39			

Anexo 11

Pruebas de comparación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	4	2.533	0.090514	X
10	12	2.59225	0.0522583	X
20	12	2.91017	0.0522583	X
30	12	3.00533	0.0522583	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 10		-0.05925	0.283219
0 - 20	*	-0.377167	0.283219
0 - 30	*	-0.472333	0.283219
10 - 20	*	-0.317917	0.200266
10 - 30	*	-0.413083	0.200266
20 - 30		-0.0951667	0.200266

* indica una diferencia significativa.

Anexo 12

Orden de reacción para tuna morada

T°C	t(min)	Orden 0	R^2	Primer orden	R^2	Segundo orden	R^2
65	0	1.160	0.8021	0.149	0.0352	0.862	0.7785
	10	0.925		0.077		1.081	
	20	0.881		0.126		1.135	
	30	0.863		0.147		1.158	
75	0	1.160	0.8117	0.149	0.3882	0.862	0.7977
	10	0.897		0.109		1.115	
	20	0.872		0.137		1.147	
	30	0.825		0.192		1.212	
85	0	1.160	0.9331	0.149	0.8404	0.862	0.915
	10	0.891		0.116		1.123	
	20	0.756		0.280		1.323	
	30	0.714		0.337		1.400	

Anexo 13

Orden de reacción para tuna blanca

T°C	t(min)	Orden 0	R^2	Primer orden	R^2	Segundo orden	R^2
0	0	0.98700		0.013		1.013	
65	10	0.89750	0.8406	0.108	0.5752	1.114	0.8335
65	20	0.87000		0.139		1.149	
65	30	0.86100		0.150		1.161	
0	0	0.98700		0.013		1.013	
75	10	0.88700	0.806	0.120	0.5329	1.127	0.7956
75	20	0.86500		0.145		1.156	
65	30	0.85600		0.155		1.168	
0	0	0.98700		0.013		1.013	
65	10	0.86000	0.8767	0.151	0.584	1.163	0.8684
65	20	0.81600		0.203		1.225	
65	30	0.79800		0.226		1.253	

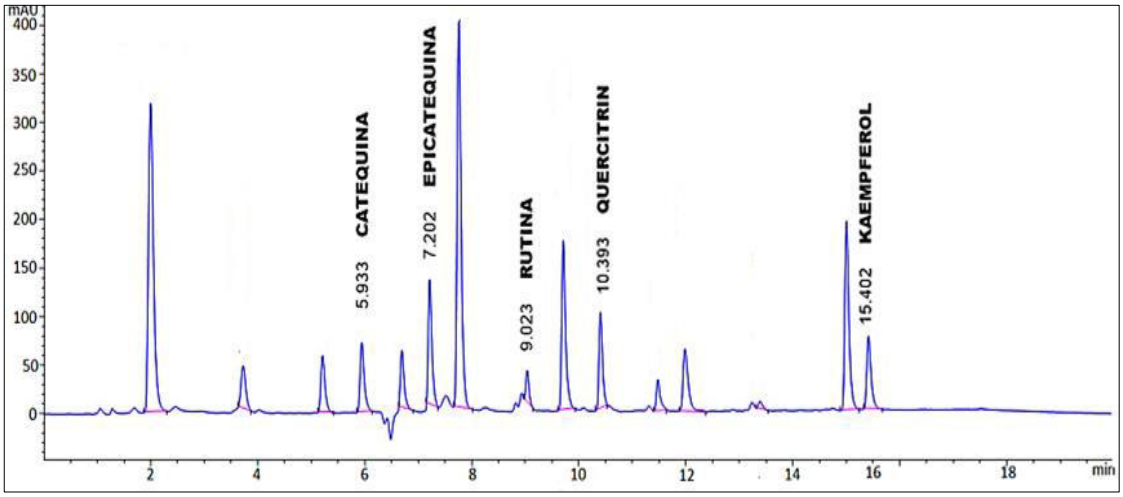
Anexo 14

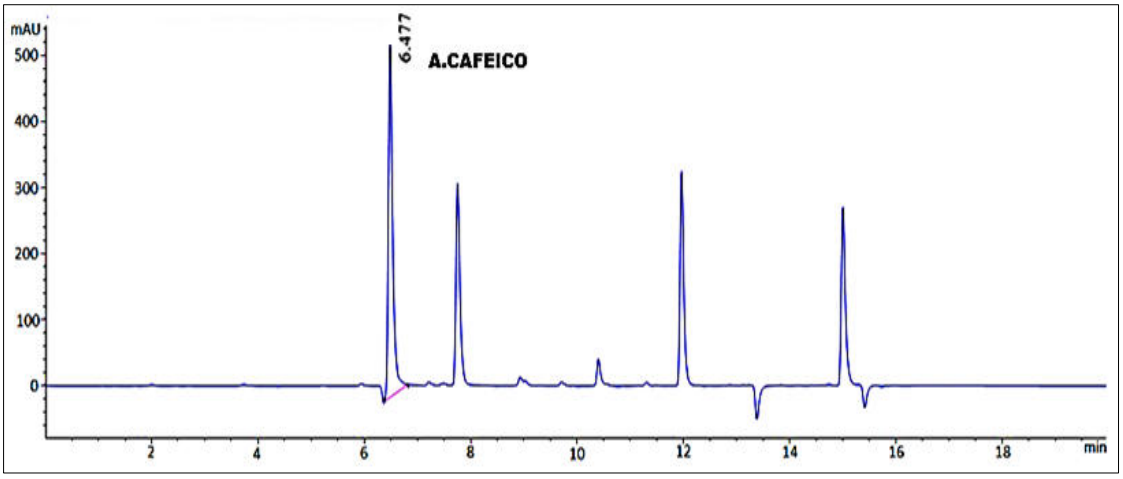
Regresión lineal y coeficiente de regresión de polifenoles específicos

Polifenol	Límite de detección	Regresión lineal	R^2
Rutina	9.03	Y = 6.6151462X+1.7802541	0.99922
Quercitrina	10.39	Y = 24.4618691X+2.2829876	0.99971
Catequina	5.9	Y = 25.251136X-0.5309875	0.99994
Epicatequina	7.1	Y = 43.3950296X-2.1554659	0.99985
Ácido Cafeico	6.4	Y = 149.119813X+0.9753017	0.9998
Kaempferol	15.34	Y = 38.0226353X-1.5363721	0.99971

Anexo 15

Cromatograma de polifenoles específicos





Anexo 16

Análisis de varianza para polifenol específico rutina

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Ecotipo	115.19	1	115.19	1218.56	0.0000
B: Temperatura	53.8762	3	17.9587	189.98	0.0000
INTERACCIONES					
AB	45.9534	3	15.3178	162.04	0.0000
RESIDUOS	0.756241	8	0.0945302		
TOTAL (CORREGIDO)	215.776	15			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Anexo 17

Pruebas de comparación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
85	4	0.597312	0.153729	X
75	4	3.1902	0.153729	X
0	4	4.77673	0.153729	X
65	4	5.32227	0.153729	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 65		-0.545542	0.69596
0 - 75	*	1.58653	0.69596
0 - 85	*	4.17941	0.69596
65 - 75	*	2.13207	0.69596
65 - 85	*	4.72496	0.69596
75 - 85	*	2.59289	0.69596

* Indica una diferencia significativa.

Anexo 18

Análisis de varianza para polifenol especifico quercetina

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Ecotipo	1.1642	1	1.1642	353.53	0.0000
B: Temperatura	1.91538	3	0.638461	193.88	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.172467	3	0.0574889	17.46	0.0007
RESIDUOS	0.0263444	8	0.00329305		
TOTAL (CORREGIDO)	3.2784	15			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Anexo 19

Pruebas de comparación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
75	4	0.667653	0.0286925	X
85	4	0.911778	0.0286925	X
65	4	1.04137	0.0286925	X
0	4	1.6101	0.0286925	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 65	*	0.568738	0.129897
0 - 75	*	0.94245	0.129897
0 - 85	*	0.698325	0.129897
65 - 75	*	0.373712	0.129897
65 - 85		0.129587	0.129897
75 - 85	*	-0.244125	0.129897

* Indica una diferencia significativa.

Anexo 20

Análisis de varianza para polifenol especifico kaempferol

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Ecotipo	0.0409759	1	0.0409759	711.68	0.0000
B: Temperatura	0.446638	3	0.148879	2585.76	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.117197	3	0.0390658	678.5	0.0000
RESIDUOS	0.00046061	8	5.7577E-05		
TOTAL (CORREGIDO)	0.605272	15			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Anexo 21

Pruebas de comparación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	4	0	0.00379396	X
65	4	0.198838	0.00379396	X
85	4	0.398056	0.00379396	X
75	4	0.406923	0.00379396	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 65	*	-0.198838	0.017176
0 - 75	*	-0.406923	0.017176
0 - 85	*	-0.398056	0.017176
65 - 75	*	-0.208085	0.017176
65 - 85	*	-0.199219	0.017176
75 - 85		0.00886619	0.017176

* Indica una diferencia significativa.

Anexo 22

Análisis de varianza para polifenol especifico catequina

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Ecotipo	32.5415	1	32.5415	225.85	0.0000
B: Temperatura	36.3824	3	12.1275	84.17	0.0000
INTERACCIONES					
AB	27.2115	3	9.07049	62.95	0.0000
RESIDUOS	1.15266	8	0.144083		
TOTAL (CORREGIDO)	97.288	15			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Anexo 23

Pruebas de comparación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	4	4.35909	0.189791	X
85	4	5.59313	0.189791	X
75	4	7.12088	0.189791	X
65	4	8.34119	0.189791	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 65	*	-3.9821	0.859222
0 - 75	*	-2.76179	0.859222
0 - 85	*	-1.23404	0.859222
65 - 75	*	1.2203	0.859222
65 - 85	*	2.74806	0.859222
75 - 85	*	1.52775	0.859222

* Indica una diferencia significativa.

Anexo 24

Análisis de varianza para polifenol especifico epicatequina

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Ecotipo	0.159909	1	0.159909	133	0.0000
B: Temperatura	0.244721	3	0.0815736	67.85	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.0194611	3	0.00648705	5.4	0.0252
RESIDUOS	0.0096184	8	0.0012023		
TOTAL (CORREGIDO)	0.433709	15			

Anexo 25

Pruebas de comparación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
65	4	0.716088	0.0173371	X
85	4	0.793193	0.0173371	XX
75	4	0.817249	0.0173371	X
0	4	1.04777	0.0173371	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 65	*	0.331683	0.0784884
0 - 75	*	0.230522	0.0784884
0 - 85	*	0.254578	0.0784884
65 - 75	*	-0.101161	0.0784884
65 - 85		-0.0771052	0.0784884
75 - 85		0.024056	0.0784884

* Indica una diferencia significativa.

Anexo 26

Análisis de varianza para polifenol específico ac. Cafeico

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Ecotipo	0.0267439	1	0.0267439	82.46	0.0000
B: Temperatura	0.185879	3	0.0619597	191.05	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.00847924	3	0.00282641	8.71	0.0067
RESIDUOS	0.00259454	8	0.00032432		
TOTAL (CORREGIDO)	0.223697	15			

Anexo 27

Pruebas de comparación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	4	0.18612	0.00900441	X
85	4	0.238105	0.00900441	X
75	4	0.395577	0.00900441	X
65	4	0.44716	0.00900441	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 65	*	-0.26104	0.0407647
0 - 75	*	-0.209457	0.0407647
0 - 85	*	-0.0519853	0.0407647
65 - 75	*	0.0515832	0.0407647
65 - 85	*	0.209055	0.0407647
75 - 85	*	0.157472	0.0407647

* Indica una diferencia significativa.

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos	: Yessica Rosalía Puma Eugenio
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N°	: DNI 47186036
Correo electrónico	: jessy_rous_92@hotmail.com
Teléfono/Celular	: 931102307

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis (X)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO EN EL CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL ZUMO DE TUNA (*Opuntia- ficus indica*) EN TRES ECOTIPOS
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 2.11.02
c) Fecha de publicación : 16 de mayo del 2023

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos: Elías Escobedo Pacheco
b) DNI/Pasaporte/Cédula: DNI: 29703472
c) ORCID : https://orcid.org/ 0000-0002-8256-2546

7. DATOS DEL CO-ASESOR

a) Nombres y Apellidos: Erik Manuel Salda
b) DNI/Pasaporte/Cédula: 45469129
c) ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-4018-2852

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : DNI 47186036
NOMBRES Y APELLIDOS : Yessica Rosalia Puma Eugenio

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : DNI 47186036
NOMBRES Y APELLIDOS : Yessica Rosalía Puma Eugenio
FECHA : 13 de junio del 2023

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, Yessica Rosalía Puma Eugenio ,
bachiller de la Escuela Profesional de: Ingeniería Agroindustrial ,
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI Nº 47186036 autor (a) del

Trabajo de Tesis , denominado:

EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO EN EL CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL ZUMO DE TUNA (Opuntia-ficus indica) EN TRES ECOTIPOS

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que, el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 13 de junio 2023



Huella digital

Nombres y Apellidos: Yessica Rosalia Puma Eugenio
DNI: 47186036

Srta: Yessica Rimay

Ouriginal by Turnitin

Document Information

Analyzed document	INFORME FINAL. YPE 2023 16mayo para OURIGINAL.docx (D171165983)
Submitted	6/23/2023 2:19:00 AM
Submitted by	Elias
Submitter email	eescobedop@unam.edu.pe
Similarity	2%
Analysis address	eescobedop.unampe@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	**CAPITULO IV PARA URKUND MARAÑON AQD.docx** Document CAPITULO IV PARA URKUND MARAÑON AQD.docx (D64920522)	1
SA	**tesis 2015 última versión.doc** Document tesis 2015 última versión.doc (D16188146)	2
SA	**RAIZ ARTHROSTEMMA CILIATUM GUERRERO PICO.docx** Document RAIZ ARTHROSTEMMA CILIATUM GUERRERO PICO.docx (D64546509)	1
SA	**Jimmy M.docx** Document Jimmy M.docx (D25487814)	1
SA	**DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENOLICOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LARITACO.docx** Document DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENOLICOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LARITACO.docx (D26237611)	1
SA	**CHURCO- CASTILLO Y VINUEZA.docx** Document CHURCO- CASTILLO Y VINUEZA.docx (D54748819)	2
SA	**TESIS FINAL_LISSETH.docx** Document TESIS FINAL_LISSETH.docx (D30225754)	2

Entire Document

RESUMEN

La tuna (opuntia ficus indica) es una cactácea que tiene muchas alternativas de industrialización por ser un producto con gran diversidad de componentes bioactivos como compuestos fenólicos y antioxidantes naturales, sin embargo, estos compuestos son afectados por las condiciones de procesamiento. Por ello, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo

evaluar el efecto del tratamiento térmico sobre el contenido total de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y perfil de polifenoles específicos del zumo de tuna (Opuntia ficus-indica) en dos ecotipos (blanca