



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

**OPTIMIZACIÓN EN LA EXTRACCIÓN DE ANTIOXIDANTES DE LA CÁSCARA DE
TUNA MORADA (OPUNTIA FICUS – INDICA)**

Línea de investigación:

Botánica y productos naturales

Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias de los Alimentos

Autor

Castro Ramírez, Rafael Jaime

Asesora

Aguirre Vargas, Elza Berta

ORCID: 0000-0003-1659-9874

Jurado

Zambrano Cabanillas, Abel Walter

Marín Machuca, Olegario

Zamora Talaverano, Noé Sabino

Lima - Perú

2024

Document Information

Analyzed document	1A_CASTRO_RAMIREZ_RAFAEL_JAIME_DOCTORADO_2023.docx (D163570172)
Submitted	2023-04-10 23:44:00 UTC+02:00
Submitted by	Johnny
Submitter email	jastete@unfv.edu.pe
Similarity	6%
Analysis address	jastete.unfv@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	07_TESIS DE GRADO ACTUAL ANITA-JUANA - INDUSTRIAS AGROPECUARIAS.pdf Document 07_TESIS DE GRADO ACTUAL ANITA-JUANA - INDUSTRIAS AGROPECUARIAS.pdf (D149092186)		2
SA	arkund Lady Tillaguango - Karla Manriquez.docx Document arkund Lady Tillaguango - Karla Manriquez.docx (D97390620)		1
W	URL: https://docplayer.es/90685915-Universidad-nacional-del-centro-del-peru-facultad-de-ingenieria-en-industrias-alimentarias.html Fetched: 2021-08-09 00:40:29		2
SA	CARATULA-TESIS.pdf Document CARATULA-TESIS.pdf (D53189469)		4
SA	INFORME FINAL - TUNO INDIO.docx Document INFORME FINAL - TUNO INDIO.docx (D40423116)		1
SA	UNC_2023_Huamán-Luis_70212081.pdf Document UNC_2023_Huamán-Luis_70212081.pdf (D160350640)		1

Entire Document

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO
OPTIMIZACIÓN EN LA EXTRACCIÓN DE ANTIOXIDANTES DE LA CÁSCARA DE TUNA MORADA (Opuntia ficus – indica).
Línea de Investigación:
BOTÁNICA Y LÍNEAS NATURALES para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias de Alimentos
Autor Castro Ramírez Rafael Jaime Asesor Aguirre Vargas Elza Berta ORCID: 0000-0003-1659-9874
Jurado
Lima – Perú



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

OPTIMIZACIÓN EN LA EXTRACCIÓN DE ANTIOXIDANTES DE LA CÁSCARA DE TUNA MORADA (*OPUNTIA FICUS – INDICA*)

Línea de Investigación:

Botánica y productos naturales

Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias de los Alimentos

Autor:

Castro Ramírez, Rafael Jaime

Asesor:

Aguirre Vargas, Elza Berta

(ORCID: 0000-0003-1659-9874)

Jurado:

Zambrano Cabanillas, Abel Walter

Marín Machuca, Olegario

Zamora Talaverano, Noé Sabino

Lima – Perú

2024

Dedicatoria

A nuestro supremo divino hacedor,
las gracias infinitas por permitirme escalar
un peldaño más de mi formación profesional
en mi especialidad.

A mi familia, esposa e hijos por el apoyo moral
por ser la fuente de mi inspiración, sobre todo
en los momentos más difíciles, ellos me dan la
fuerza necesaria para sobrellevarlos.

Las gracias infinitas a mis progenitores
que gracias al amparo de Dios los tengo
en vida, gracias a ellos he adquirido el
significado de los valores de la
perseverancia y la resiliencia ante
cualquier reto de la vida y afrontarlos de la
mejor manera.

Agradecimiento

Mi más sincero agradecimiento a mi asesora de esta tesis del doctorado, Docente Principal de la Universidad Nacional del Santa de Chimbote. Dra. Elza Aguirre Vargas, fue quien me brindó su ayuda desinteresada desde la formulación del proyecto de tesis hasta la culminación de la misma. Así mismo me facilitó el acceso a las instalaciones de su complejo agroindustrial de su ciudad universitaria, lugar que desarrollé mi esquema experimental.

Hago extensivo el agradecimiento a su Vicerrector de Investigación de la misma Universidad. Dr. Gilbert Rodríguez Paucar, por permitirme la realización de mis pruebas analíticas en el Laboratorio de Control de Calidad.

Eternamente mi gratitud a las ingenieras de industrias alimentarias, responsables de los laboratorios: Korei Paredes Barrios, Janet Muñoz Ágreda y María de Fátima Arévalo Oliva por su colaboración y empeño.

Índice General

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Descripción del problema.....	2
1.3 Formulación del problema	4
1.3.1 Problema general	4
1.3.2 Problemas específicos.....	4
1.4 Antecedentes	4
1.5 Justificación de la investigación.....	6
1.5.1 Justificación teórica	6
1.5.2 Justificación práctica	7
1.5.3 Justificación metodológica	8
1.5.4 Justificación económica - social y ambiental	8
1.6 Limitaciones de la investigación.....	9
1.7 Objetivos de la investigación	9
1.8 Hipótesis.....	9
1.8.1 Hipótesis general	9
1.8.2 Hipótesis específicas.....	10
II. MARCO TEÓRICO	11
2.1 La tuna, características generales	11
2.2 Clasificación taxonómica	12

2.3 Características ecológicas	13
2.4 Características morfológicas	14
2.4.1 Tallo.....	14
2.4.2 Cladodios	14
2.4.3 Hojas.....	15
2.4.4 Fruto	15
2.4.5 Flores	17
2.5 Distribución en el mundo	17
2.6 Hábitat	18
2.7 Parámetros de calidad del fruto	19
2.8 Usos y aplicaciones de la tuna.....	20
2.9 Producción de tuna en el Perú.....	21
2.10 Valor nutricional de las tunas	22
2.11 Valor nutricional de la cáscara de tunas	24
2.12 Componentes bioactivos en los vegetales	25
2.13 Colorantes.....	26
2.13.1 Colorantes naturales	27
2.13.2 Colorantes sintéticos.....	28
2.14 Betalaínas	30
2.14.1 Extracción de betalaína.....	32
2.14.2 Extracción asistida por ultrasonido (US).....	32

2.15 Polifenoles	35
2.16 Ácido ascórbico	39
2.17 Fibra dietética	41
2.18 Factores que afectan a los antioxidantes.....	45
2.19 Factores que afectan a los polifenoles	46
2.20 Tecnologías no convencionales de extracción	49
2.19.1 Extracción asistida por ultrasonido	49
2.21 Marco filosófico	51
III. MÉTODO	54
3.1 Tipo de investigación	54
3.2 Población y muestra	54
3.3 Operacionalización de variables.....	54
3.4 Instrumentos	37
3.5 Procedimiento.....	37
3.5.1 Análisis morfológico	37
3.5.2 Preparación de la muestra.....	37
3.5.3 Análisis químico proximal	38
3.5.4 Determinación de betalainas.....	38
3.5.5 Determinación de polifenoles totales	39
3.5.6 Determinación de la actividad antioxidante	42
3.6 Análisis de datos.....	46

3.6.1 Optimización de los procesos de extracción por ultrasonido	46
3.7 Consideraciones éticas	47
IV. RESULTADOS	49
4.1 Análisis morfológicos	49
4.1.1 Peso.....	49
4.1.2 Medidas biométricas.....	49
4.2 Análisis físico químicos	50
4.3 Betalaínas	51
4.3.1 Comportamiento de las betalaínas frente a la temperatura.....	51
4.3.2 Comportamiento de las betalaínas frente al tiempo.....	53
4.3.3 Comportamiento de las betalaínas frente al pH.....	54
4.3.4 Comportamiento de las betalaínas frente a la interacción temperatura y tiempo	55
4.3.5 Comportamiento de las betalaínas frente a la interacción pH y temperatura	56
4.3.6 Análisis estadístico y superficie de respuesta de las betalaínas.....	57
4.4 Polifenoles totales	67
4.4.1 Comportamiento de los PT con la temperatura	69
4.4.2 Comportamiento de los PT con el tiempo	70
4.4.3 Comportamiento de los PT con el medio pH	71
4.4.4 Comportamiento de los PT frente a la interacción Temperatura – tiempo.....	72
4.4.5 Comportamiento de los PT frente a la interacción Temperatura – pH.....	73
4.4.6 Análisis estadístico y superficie de respuesta de los Polifenoles Totales	74
4.5 Actividad antioxidante	83

4.5.1 Comportamiento de la actividad antioxidante frente a la temperatura	84
4.5.2 Comportamiento de la actividad antioxidante frente al tiempo.....	85
4.5.3 Comportamiento de la actividad antioxidante frente al pH del medio	
4.5.4 Análisis estadístico y superficies de respuesta	88
4.6 Resultados del proceso de optimización	97
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	100
5.1 Discusión del análisis morfológico	100
5.2 Discusión de análisis físico químico	100
5.3 Discusión de las betalainas.....	101
5.4 Discusión de los polifenoles totales	102
5.5 Discusión de la actividad antioxidante.....	102
VI. CONCLUSIONES	104
VII. RECOMENDACIONES.....	106
VIII. REFERENCIAS	107
IX. ANEXOS.....	120
Anexo A.....	120

Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación científica de la tuna.....	12
Tabla 2 Clasificación de la fruta para la exportación	19
Tabla 3 Producción de tuna en el Perú.....	21
Tabla 4 Composición química en 100 g de tuna.....	23
Tabla 5 Composición química de la pulpa y cáscara de la tuna morada	24
Tabla 6 Pigmentos usados como colorantes en alimentos	27
Tabla 7 Principales colorantes sintéticos	28
Tabla 8 Contenido de vitamina C de diversas frutas	40
Tabla 9 Polisacáridos de la pared celular de las plantas	44
Tabla 10 Tipos de procesado que afectan a los antioxidantes y su estabilidad oxidativa	45
Tabla 11 Operacionalización de variables	55
Tabla 12 Concentraciones para curva de calibrado	43
Tabla 13 Curva de calibrado, blancos y muestras.....	45
Tabla 14 Esquema del diseño experimental.....	47
Tabla 15 Pesos de la fruta entera, pulpa y cáscara.....	49
Tabla 16 Medidas biométricas de tuna morada	50
Tabla 17 Análisis físico o químico cáscara de tuna.....	51
Tabla 18 Efectos estimados para la betalaína	57
Tabla 19 Análisis de varianza para la betalaína.....	59
Tabla 20 Datos de la curva de calibración	68
Tabla 21 Contenido de polifenoles totales.....	68
Tabla 22 Efectos estimados para polifenoles totales (mg GAE/100 g)	68

Tabla 23 Diagrama de Pareto estandarizada para polifenoles totales	768
Tabla 24 Análisis de Varianza para polifenoles totales	764
Tabla 25 Diagrama de Pareto estandarizada para polifenoles totales.....	76
Tabla 26 Análisis de varianza para polifenoles totales.....	76
Tabla 27 Efectos estimados para la actividad antioxidante DPPH $\mu\text{mol ET}/100\text{g}$	88
Tabla 28 Análisis de varianza para la actividad antioxidante.....	89
Tabla 29 Coeficientes de regresión para la actividad antioxidante.....	91
Tabla 30 Criterios de Optimización.....	98
Tabla 31 Valores de deseabilidad del proceso de optimización simultánea.....	99

Índice de figuras

Figura 1 Tuna Adulta. Tallo conjuntamente con los cladodios.	12
Figura 2 Mediciones morfológicas de los cladodios.....	15
Figura 3 Diferentes tonalidades de color de las pulpas de la tuna peruana.	16
Figura 4 Tonalidad amarillo y anaranjado de la flor de tuna.	17
Figura 5 Estructura general del ácido betalámico (a), betacianina (b) y betaxantina (c).....	31
Figura 6 Clasificación de los fenoles simples.....	37
Figura 7 Estructura de los fenoles complejos	38
Figura 8 Fórmula de la vitamina C o ácido ascórbico	40
Figura 9 Estructura de una inulina	43
Figura 10 Unidad de la estructura básica de la celulosa	43
Figura 11 Principales grupos de fenoles presentes en los alimentos	47
Figura 12 Ejemplo de Curva de calibración DPPH	46
Figura 13 Comportamiento de las betalaínas a diferentes temperaturas.....	52
Figura 14 Comportamiento de las betalaínas a diferentes tiempos.....	53
Figura 15 Comportamiento de betalaínas a diferentes pH.....	54
Figura 16 Interacción de la temperatura y el tiempo frente a las betalaínas.....	55
Figura 17 Interacción entre el pH y la temperatura frente a las betalaínas.....	56
Figura 18. Diagrama de Pareto estandarizada para la Betalaína.....	58
Figura 19 Efectos principales para la betalaína	60
Figura 20 Interacción para la betalaína.....	61
Figura 21 Superficie de respuesta de la betalaína frente al tiempo y la temperatura.....	63

Figura 22 Superficie de contorno. Betalaína, 3 niveles de factores. Tiempo y T°	64
Figura 23 Superficie de Respuesta de la betalaína. 3 factores. pH – T°	65
Figura 24 Superficie de contorno de la betalaína. 3 factores pH – T°	65
Figura 25 Superficie de respuesta. Betalaína 3 niveles factores. pH – Tiempo.....	66
Figura 26 Superficie de contorno. Betalaína. 3 factores. pH – tiempo	67
Figura 27 Curva de calibración para PT	68
Figura 28 Comportamiento de los PT cuando la temperatura del sonicador varía	70
Figura 29 Comportamiento de los PT a diferentes tiempos en el sonicador	71
Figura 30 Comportamiento de los PT en diferentes medios de pH	72
Figura 31 Comportamiento de los PT frente a la interacción entre Temperatura y tiempo.....	73
Figura 32 Comportamiento de los PT frente a la interacción Temperatura - pH	74
Figura 33 Efectos principales para polifenoles totales	78
Figura 34 Interacciones para Polifenoles Totales	79
Figura 35 Superficie de Respuesta. Polifenoles (mg GAE/100 g). Tiempo – T°	80
Figura 36 Superficie de contorno, Polifenoles (mg GAE/100 g); MS Residual 1.0836.....	80
Figura 37 Superficie de respuesta. Polifenoles (mg GAE/100 g) pH - T°.....	81
Figura 38 Superficie de contorno. Polifenoles (mg GAE/100 g).....	82
Figura 39 Superficie de Respuesta. Polifenoles (mg/GAE/100 g) pH – Tiempo	83
Figura 40 Actividad antioxidante de los tratamientos	84
Figura 41 Comportamiento de la actividad antioxidante frente a la temperatura.....	85
Figura 42 Comportamiento de la actividad antioxidante frente al tiempo	86
Figura 43 Comportamiento de la actividad antioxidante frente al pH.....	87

Figura 44 Diagrama de Pareto estandarizada para la actividad antioxidante	89
Figura 45 Curvas de los efectos principales para la actividad antioxidante	91
Figura 46 Interacciones para la actividad antioxidante.....	92
Figura 47 Superficie de respuesta. DPPH ($\mu\text{Mol ET}/100\text{ g}$)	93
Figura 48 Superficie de contorno DPPH	94
Figura 49 Superficie de respuesta. DPPH ($\mu\text{MOL ET}/100\text{g}$).....	95
Figura 50 Superficie de contorno. DPPH. pH – T°	95
Figura 51 Superficie de respuesta. DPPH $\mu\text{Mol ET}/100\text{ g}$	96
Figura 52 Superficie de contorno. DPPH ($\mu\text{Mol ET}/100\text{ g}$).....	97

Resumen

El objetivo de la investigación fue determinar los parámetros óptimos de temperatura, tiempo y pH en el proceso de extracción de antioxidantes de cáscara de tuna morada de Carhuaz. Los métodos utilizados fueron: lavado y desinfectado con hipoclorito de sodio 100 ppm, pelado de la epidermis con un pelador doméstico, se cortó en tiras de dos centímetros y se refrigeró a 4° C. Para extraer los antioxidantes se utilizó baños de ultrasonido (Marca Branson modelo CPX 5800H-6) y se empleó temperaturas 30, 45 y 60°C, tiempo de sonicación 30, 45 y 60 min y pH 4,0 5,5 y 7,0. Se utilizó un diseño de superficie de respuesta Box Benkhem con 15 tratamientos, haciendo uso del software estadístico Statgraphics Centurion versión 18 y Desing Expert versión 7. Se realizó el análisis morfológico, químico proximal, determinación de betalaínas, polifenoles totales y actividad antioxidante. Los resultados mostraron que la temperatura influye significativamente sólo en el contenido de betalaínas. El pH es el factor de mayor incidencia y significancia ($\alpha=5\%$) para las 3 variables estudiadas: betalaínas, polifenoles totales y actividad antioxidante. Se obtuvieron los modelos matemáticos de optimización de dichas variables de manera individual y simultánea. El tratamiento óptimo de mayor deseabilidad fue a 33,38 °C, 60 min y 4,5 de pH, obteniéndose 37,7793 mg/100 g de betalaínas, 23,2919 GAE/100 g de polifenoles totales y 163,793 μ Mol ET/100 g de actividad antioxidante. Se recomienda el estudio de otros componentes de la betalaínas como: *betanina*, *vulgaxantina* y *betanidina* y comparar entre las otras variedades de tuna.

Palabras clave: Ultrasonido, extracción de betalaína, polifenoles totales y actividad antioxidante.

Abstract

The objective of the research to determine optimal parameters of temperature, time and pH in the process of extracting antioxidants from purple prickly pear peel from Carhuaz. The methods used were: washed and disinfected with 100 ppm sodium hypochlorite, peeled from the epidermis with a household peeler, cut into strips of two centimeters and refrigerated at 4° C. To extract the antioxidants, ultrasound baths were used (Brand Branson model CPX 5800H-6) and temperatures 30, 45 and 60°C, sonication time 30, 45 and 60 min and pH 4,0, 5,5 and 7,0 were used. A Box Benkhem response surface design was used with 15 treatments, using Statgraphics Centurion version 18 and Design Expert version 7 statistical software. Morphological and proximal chemical analysis, determination of betalains, total polyphenols and antioxidant activity were performed. The results showed that temperature significantly influences only the betalain content. pH is the factor with the highest incidence and significance ($\alpha=5\%$) for the 3 variables studied: betalains, total polyphenols and antioxidant activity. Mathematical models for the optimization of these variables were obtained individually and simultaneously. The optimal treatment with the greatest desirability was at 33,38 °C, 60 min and 4,5 pH. Obtaining 37,7793 mg/100 g of betalains, 23,2919 GAE/100 g of total polyphenols and 163,793 $\mu\text{Mol ET}/100\text{ g}$ of antioxidant activity. We recommend the study of other components of betalains such as: *betanin*, *vulgaxanthin* and *betanidin* and compare between the other varieties of prickly pear.

Keywords: Ultrasound, betalain extraction, total polyphenols and antioxidant activity.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2023) estima que anualmente se desechan al medio ambiente 1 300 toneladas métricas de desperdicios alimentarios ocasionando aproximadamente 1 600 millones de euros en costos ambientales y sociales. En la actualidad estas desperdicios contaminan el medio ambiente, generando los gases con efecto invernadero (GEI) (Campos et al., 2018).

A nivel mundial según la FAO (2023) el 17% de la producción total de alimentos se pierde entre la cosecha, la restauración y venta al menudeo, estos alimentos arrojados a los vertederos al generar emisiones (GEI) que desencadenan el fenómeno del cambio climático y problemas de inseguridad alimentaria, más aún por la creciente demanda mundial de alimentos en las zonas urbanas y por tanto mayor cantidad de residuos vegetales desde la recolección, transporte y acumulación en los vertederos.

En un trabajo de investigación presentado en la revista *Sustainability* de la FAO, en donde los investigadores Bedoya & Piran (2021) con respecto a la producción de alimentos en el Perú en el lapso: 2007 – 2017, las pérdidas de alimentos por desperdicios asciende a 12,8 millones de toneladas, que representa el 47,8% de la oferta alimentaria nacional. Se identificaron 5 etapas de la cadena alimentaria en donde ocurren las mermas desde la producción y en los hogares de los consumidores finales. Siendo el Perú el país de mayores pérdidas, comparativamente con otros países de la región, el 25% de las pérdidas ocurren en la producción agrícola y un 28% en el procesamiento y empaque. De dichas pérdidas, el 44% corresponden a frutas y vegetales, que a su vez representan 5,6 millones de toneladas al año. En el Perú las pérdidas por desperdicios de

alimentos per cápita alcanza 426,56 kg considerando toda la cadena alimentaria y en los hogares peruanos se desecha aproximadamente 67,34 kg de desperdicios alimentarios al año.

Por otro lado, los residuos alimentarios son fuentes de compuestos bioactivos de gran interés para la industria alimentaria, farmacológica y otros. Resulta una excelente alternativa para estos productos residuales, la formulación de nuevos alimentos con aditivos que contengan componentes bioactivos, proporcionando el carácter funcional a los alimentos. (Campos et al., 2018)

La extracción de componentes bioactivos o antioxidantes de los residuos alimentarios puede realizarse por medio del ultrasonido. Esta forma de extracción es conocida como una alternativa “*green processing*” que implica una optimización en procesos circulares de reutilización del solvente de extracción; la combinación óptima de factores maximiza la obtención de polifenoles totales y su actividad antioxidante. Además de ser una estrategia asequible desde una perspectiva económica y ambiental. (Silva, 2022; Arciniegas, 2020)

1.2 Descripción del problema

Si bien es cierto según Preciado et al. (2022) la producción de alimentos generan pérdidas post cosecha y toneladas de residuos vegetales o residuos alimentarios (RAL); constituido mayoritariamente por las cáscaras y semillas de los frutos. Estos residuos son una fuente de componentes bioactivos entre ellos: fibra dietaria, pectinas, compuestos fenólicos, antioxidantes de gran poder biológico y funcional. Estos se pueden convertir en sub productos de gran poder nutritivo utilizando tecnologías sustentables como las del *green processing*.

Los procesos de extracción de colorantes o compuestos bioactivos, incluyendo aceites requieren procesos de optimización, tomando en cuenta factores preponderantes, haciendo uso de técnicas amigables con el medio ambiente, permitiría el máximo aprovechamiento de las

moléculas bioactivas o que los procesos de obtención sean más eficientes, rápidas y reproducibles como la extracción asistida de ultrasonido. (Núñez, 2019)

Los compuestos naturales dentro de su composición tienen una gran cantidad de componentes que están siendo estudiados a profundidad como aditivos alimentarios, en reemplazo de los aditivos sintéticos, siendo la tendencia actual el consumo de productos lo más naturales posibles, esta tendencia está relacionada con el tema de la buena salud. Los alimentos naturales o de mínimo procesamiento guardan efectos benéficos para la salud y previenen enfermedades. Los métodos novedosos para la extracción verde de los componentes bioactivos, poseen ventajas medio ambientales y económicas. (Jaime, 2021)

Los métodos convencionales de extracción de antioxidantes a partir de frutas y vegetales, suelen utilizar tiempos prolongados y altas temperaturas, lo que afecta directamente al contenido de antioxidantes y poder antioxidante, por ende, se producen pérdidas significativas de sus propiedades nutricionales y terapéuticas (Jaime, 2021). La principal ventaja de la extracción asistida por ultrasonido es la reducción del consumo de energía y del solvente, así como disminuir el tiempo y temperaturas de extracción, tecnología amigable con el medio ambiente en comparación con los métodos convencionales. (Rojas et al., 2019)

Existen muchos factores causales que determinan la eficiencia del proceso en la obtención de los componentes bioactivos entre ellos podemos citar a la humedad de la muestra, tamaño de partícula, tipo de solvente, temperatura y tiempo de sonicación; aparte de existir pocos trabajos de investigación sobre extracción de antioxidantes por ultrasonido, se requiere para este caso la optimización del proceso. (Azmir et al., 2013)

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿Cuáles serán los valores óptimos de temperatura, tiempo y pH de la extracción de antioxidantes en la cáscara de tuna morada y cómo influyen en el contenido y capacidad antioxidante?

1.3.2 Problemas específicos

¿Cuál será la temperatura óptima de la extracción de antioxidantes en la cáscara de tuna morada y cómo influye en el contenido y capacidad antioxidante?

¿Cuál será el tiempo óptimo de extracción de antioxidantes en la cáscara de tuna morada y cómo influye en el contenido y capacidad antioxidante?

¿Cuál será el pH óptimo de extracción de antioxidantes en la cáscara de tuna morada y cómo influye en el contenido y capacidad antioxidante?

1.4 Antecedentes

Rosillo (2016) en su investigación cuantificó los principios activos presentes en la cáscara de tuna (roja) procedente de la región Lima - Huarochirí, utilizando métodos de la Official methods of análisis (AOAC), obtuvo: 0,99 de cenizas; 0,22 de fibra cruda; 2,40 de azúcares reductores. Betalaínas (378 mg/L de betaxantinas y 637 mg/L de betacianinas), 132,89 mg% de polifenoles totales (PT), por el método de Folin-Ciocalteu. Para la capacidad antioxidante utilizó el método del 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) obteniendo 0,901µg/mL expresados en Trolox. Obtuvo un colorante natural color rojo a pH entre 5-6, de buena estabilidad en alimentos ácidos.

Apaza (2017) en su investigación analizó el impacto de los parámetros físico químicos en la extracción de pigmentos de una cactácea ayrampo, determinó polifenoles totales y

betacianinas, previamente secadas a 40°C por 24 horas, extracción por solvente utilizando como solvente etanol al 96°. Llevadas a temperaturas de 40 a 80°C. pH de 3-5 y tiempo de 10 a 30 minutos. Como resultados obtuvo altas concentraciones de etanol promueve la degradación de compuestos, el efecto del pH es inversamente proporcional al contenido de fenoles y a la capacidad antioxidante.

Vargas et al. (2019) analizó el contenido bromatológico de las cáscaras de frutas como la berenjena, secadas, molidas, se extrajo y cuantificó carotenos, polifenoles, flavonoides, antocianina y evaluó su capacidad antioxidante. Las cáscaras de papaya y berenjena presentaron las mejores características bromatológicas. Obteniendo cenizas (10,45 y 9,2%), fibra (0,643 y 1,88%) y capacidad antioxidante (99,63 y 97,90%) respectivamente.

Flores et al. (2019) sintetizó los avances alcanzados sobre la estabilidad de las betalaínas velando el interés de la industria alimentaria por sustituir el uso de los colorantes sintéticos por pigmentos naturales como la betalaína, frente a factores físico químicos: temperatura, pH, presencia de oxígeno, metales, etc. Luego de realizar una descripción detallada de la estructura de las betalaínas.

Caldas et al. (2015) investigó extractos de semilla de ayrampo de la zona andina de Perú, determinó betacianinas, polifenoles totales y capacidad antioxidante. Evaluó la estabilidad de la betacianina a 80°C hasta 90 minutos, pH de 3 a 5, durante almacenamiento a 4 y 25°C en yogur y las comparó con los extractos de remolacha roja las vidas medias fueron similares a 80°C, pero en almacenamiento a 4 y 25°C las vidas medias se aumentó de 2 a 3 veces con respecto a la remolacha. La retención de los colores de los yogures teñidos no tuvo influencia con el contenido de grasa, y la semilla de ayrampo mantuvo el color durante al almacenamiento aproximadamente 95%.

1.5 Justificación de la investigación

1.5.1 Justificación teórica

La tuna es el fruto del nopal o penca, especie arbustiva del género *Opuntia* de la familia *cactácea*, por sus características de cultivo despierta interés a nivel mundial, arbusto poco exigente en agua y por sus propiedades nutritivas y sensoriales (aroma y sabor) propias de esta especie (Ministerio de Agricultura y Riego [MIDAGRI] y Sierra Exportadora, 2022). Crece en lugares donde escasea el agua y suelos pobres. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022) el cultivo del nopal frena la desertificación e impide la erosión del suelo. La tuna es una baya carnosa simple, en nuestro país se ha masificado el consumo mínimamente procesado por su facilidad en el consumo directo y en México es una costumbre el consumo aparte de la fruta, los cladodios o nopalitos como hortaliza.

De la tuna se deriva otros productos procesados como jugos, néctares, mermeladas, licores, etc. Últimamente se han realizado muchos estudios de investigación de los componentes bioactivos y sus beneficios con respecto a la salud. Se han encontrado betalaínas (betacianinas y betaxantinas) en mayor proporción en las variedades moradas y amarillo pardas, polifenoles, fibras, ácido ascórbico y presencia de minerales como potasio y calcio (MIDAGRI y Sierra Exportadora, 2022). Dentro de sus usos podemos citar a los hidrocoloides, caucho sintético, mucílagos, adherentes, anticorrosivos, gomas y otros.

Tanto en México como en el Perú existen diversos ecotipos de tunas, con variada coloración, blanco de cáscara verde, pardos, rojo y púrpura. La coloración del fruto responde a la presencia de diferentes pigmentos entre los cuales se encuentran las betalaínas. Las betalaínas son pigmentos solubles en agua e incluyen a las *betacianinas* de color rojo-violeta y las *betaxantinas* de color amarillo; por lo tanto, el color del fruto depende de la concentración y el

tipo de betalainas que se encuentren presentes. Estos compuestos presentan alto poder de tinción comparable con colorantes sintéticos. (Flores et al., 2019)

En la tuna y el ayrampo se han encontrado altas concentraciones de vitamina C, polifenoles totales y una mayor capacidad antioxidante favorable a la segunda especie (Jorge y Troncoso, 2016); teniendo la tuna una mayor correlación entre la capacidad antioxidante y polifenoles totales.

Así, el bagazo de frutos utilizados para jugos, representa del 15-30 % de los residuos generado por la industria del jugo (Mahato et al., 2020), es una fuente rica de compuestos fenólicos y betalainas, cuando se extrae utilizando etanol al 50 % y ultrasonido. El extracto de bagazo muestra de 3-14 veces más actividad que el BHT, un antioxidante sintético, y restablece *in vivo* la actividad de enzimas antioxidantes en un modelo de estrés oxidativo inducido por tetracloruro de carbono. Investigaciones anteriores reportan que el contenido de compuestos de antioxidantes disminuye desde la cáscara hacia la parte comestible y hay pocos estudios relacionados al proceso de valorización integral de productos con alto valor añadido. (Vargas et al., 2019)

1.5.2 Justificación práctica

Considerando el potencial que puede tener la cáscara de la tuna como fuente de compuestos bioactivos, es necesario optimizar procesos de fácil obtención y sostenibles para la recuperación de antioxidantes: polifenoles, betalainas, adicionalmente se puede obtener fibra dietética a partir de estos residuos e hidrocoloides. Finalmente, es imperante valorar el potencial de estos productos como aditivos e ingredientes funcionales en alimentos.

A raíz de la creciente preocupación por posibles efectos tóxicos de los colorantes sintéticos, se prevé reemplazar estos por pigmentos naturales al igual que la mayoría de los

aditivos alimentarios, los colorantes son en general de origen sintético. La EFSA Agencia de Seguridad Alimentaria de la Unión Europea (2011) ha recomendado minimizar el agregado de aditivos en general, utilizándolos solamente cuando haya una necesidad real vinculada con la preservación, sabor o estabilidad de los alimentos. Indudablemente, la tendencia creciente es buscar cambiar los colorantes sintéticos por naturales.

1.5.3 Justificación metodológica

El presente estudio pretende utilizar una innovadora metodología utilizando la extracción asistida por ultrasonido para encontrar la combinación óptima de factores de variación que permita un mayor rendimiento y disponibilidad de los componentes fotoquímicos de la cáscara de tuna.

1.5.4 Justificación económica - social y ambiental

La tendencia mundial por el uso de productos naturales –como es el caso del carmín, o ácido carmínico, bixina y las betalaínas– se ha incrementado de manera significativa, por lo cual la industria alimenticia requiere colorantes naturales. Esto puede explicar el crecimiento de la demanda de cochinilla en 15, 71% anual en valor exportable; así para el 2016 se registró un ingreso por exportación de cochinilla de US\$ 152 millones de dólares (Lizárraga, 2019). Lo mismo puede ocurrir con la betalaína, compuestos fenólicos totales o antocianinas, componentes bioactivos que existen en variedades de tunas pigmentadas.

A fin de hacer frente al problema que representan los residuos alimentarios industriales RAL, se ha desarrollado como estrategia en esta investigación la producción sostenible de tecnologías limpias que no agreden el medio ambiente, que implica el uso de procesos optimizados para reducir la generación de RAL para lo cual se utilizan materiales no nocivos para el ambiente y/o etapas de separación que permitan el posterior uso de los desechos industriales.

1.6 Limitaciones de la investigación

Dentro de las limitaciones para desarrollar esta investigación es el alto costo que se asume en la adquisición de los reactivos de la parte experimental. Y el traslado a otra ciudad para la ejecución de las mismas.

En cuanto a la disponibilidad del fruto, está supeditado a la época de cosecha abundante de tuna en el Callejón de Huaylas de diciembre a marzo. Si existiendo la variedad morada comparativamente que en otras regiones del país.

1.7 Objetivos de la investigación

1.7.1 Objetivo General

Determinar los valores óptimos de temperatura, tiempo y pH de la extracción de antioxidantes en la cáscara de tuna morada y su influencia en el contenido y capacidad antioxidante

1.7.2 Objetivos Específicos

Determinar la temperatura óptima en la extracción de antioxidantes en la cáscara de tuna morada y su influencia en el contenido y capacidad antioxidante

Determinar el tiempo óptimo para la extracción de antioxidantes en la cáscara de tuna morada y su influencia en el contenido y capacidad antioxidante

Determinar el pH óptimo para la extracción de antioxidantes en la cáscara de tuna morada y su influencia en el contenido y capacidad antioxidante

1.8 Hipótesis

1.8.1 Hipótesis general

Los valores óptimos de temperatura, tiempo y pH se encuentran en los rangos establecidos e influyen en el contenido de antioxidantes y capacidad antioxidante en la cáscara de tuna morada.

1.8.2 Hipótesis específicas

El valor óptimo de temperatura se encuentra en el rango establecido de 30 a 60°C e influye en el contenido de antioxidantes y capacidad antioxidante en la cáscara de tuna morada.

El valor óptimo del tiempo se encuentra en el rango establecido de 30 a 60 minutos e influye en el contenido de antioxidantes y capacidad antioxidante en la cáscara de tuna morada.

El valor óptimo de pH se encuentra en el rango establecido de 4,0 a 7,0 e influye en el contenido de antioxidantes y capacidad antioxidante en la cáscara de tuna morada.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 La tuna, características generales

La tuna o el arbusto es una planta suculenta que presenta innumerables tallos modificados o paletas o cladodios de 30 a 60 cms (figura 1), estas pencas verdes opacas o brillantes, bajo la forma de areolas poseen espinas amarillas, la planta puede llegar a medir 5 metros. (La tuna, 2021). Hay fuentes que refieren que esta planta es oriunda de México y del Perú. Comúnmente se le conoce como tuna, nopal o higo de las indias. Han sido diseminados en varios países del mundo en los 5 continentes (Organización de la Naciones Unidas FAO e Centro Internacional de Investigación Agrícola en las Zonas Secas [ICARDA], 2018).

Según Blanco (2023) la tuna se desarrolla en ambientes xerofíticos (ausencia o poca agua), razón por lo que esta cactácea es la de mayor difusión a nivel mundial y por sus propiedades de rendir en zonas áridas y semiáridas. Se viene incrementando su producción y consumo en todo el mundo y esto obedece adicionalmente a las características nutricionales y sensoriales de esta especie, además de sus propiedades antioxidantes, que poseen su fruto y el cladodio.

Según la Gerencia Regional Agraria (GRA) La Libertad (2022) en nuestro país se cultivan en los valles interandinos a partir de 800 a 2 500 msnm. especialmente en nuestro país pueden prosperar su cultivo por su topografía más predominante de nuestro país.

Figura 1

Tuna Adulta. Tallo conjuntamente con los cladodios.



Nota. Cultivo de tuna del Callejón de Huaylas (2022).

2.2 Clasificación Taxonómica

Tabla 1

Clasificación científica de la tuna

Orden	Centrospermae
Familia	Cactacea
Sub Familia	Opuntioideae
Género	Opuntia
Subgénero	Platyopuntia
Especie	<i>Opuntia ficus - indica</i>

Nota. Extraído y resumido de Blanco (2023). Lifeder.

2.3 Características ecológicas

La siembra de tuna presenta una serie de ventajas desde el punto de vista ecológico, dado que permite recuperar y regenerar suelos, preservación de biodiversidad de zonas desérticas y semidesérticas, en donde habitan: víboras, zorrillos, conejos, liebres y diversidad de aves, como halcones, águilas, búhos, entre otros. (GRA La Libertad, 2022)

Es una alternativa ideal para contrarrestar cambios climáticos globales y la desertificación. Según el informe de la Organización para la Agricultura y Alimentación (FAO, 2021), indica el empeoramiento de los recursos más preciados: agua, suelo y tierra y las serias dificultades en materia de seguridad alimentaria, el hecho que se derivan del incremento de la población a 10 mil millones de habitantes para el año 2050. Por lo tanto, resulta un imperativo la explotación de esta especie, tolerante a las sequías. Otros beneficios provenientes de *Opuntia* son la conservación del suelo y el agua, así como la protección de la fauna local en zonas áridas y semiáridas; según López (s.f.) 30 millones de hectáreas en la costa y sierra peruana que padecen en diferentes grados el fenómeno de desertificación, producto de las actividades humanas: agrícola, minera, pesquera y urbanísticas. Debido a que la tuna puede crecer y habituarse en tierras severamente degradadas, su uso es importante para aquellas áreas donde muy pocos cultivos pueden prosperar. (GRA La Libertad, 2022)

Como prácticas agroforestales el mucílago, que se obtiene del prensado de las pencas asociados con otros especies agrícolas y forrajeras a manera de cercos vivos. Los tunales consumen grandes cantidades de anhídrido carbónico en las noches, por lo que descontamina el medio ambiente. (GRA La Libertad, 2022)

2.4 Características morfológicas

2.4.1 Tallo

El tallo o tronco es muy ramificado, puede llegar alcanzar los 5 m de altura y un diámetro de la copa de 3 a 4 m. El propio tallo leñosos puede medir hasta 50 cm. (Proyectos peruanos, 2020).

2.4.2 Cladodios

Estructura que forma las pencas, pseudo tallo suculento de forma oblonga o espatulada, usualmente de 30 a 40 cm de largo y de 18 a 25 cm de ancho. (FAO e ICARDA, 2018). Si le practicamos un corte transversal encontramos: epidermis, córtex, tejido vascular organizado en vasos vasculares. Es la fuente de forraje más importantes en algunos países como Brasil que tiene una extensión de 400 mil has de tuna destinado para este propósito.

El cladodio formado por un tronco con ramas aplanadas en forma de paletas, tienen espinas, cumplen la función fotosintética y se caracterizan por acumular grandes reservas de aguas en las células vegetales, precisamente en las vacuolas pudiendo alcanzar un 95% en peso de agua), circunstancias que las hacen resistentes a las sequías prolongadas y su capacidad de sintetizar el ácido crasuláceo. (Nobel mencionado por FAO e ICARDA, 2018).

Figura 2

Mediciones morfológicas de los cladodios.



Nota. Cladodios del Callejón de Huaylas (2022).

2.4.3 Hojas

Solamente aparecen hojas en los cladodios tiernos, éstas se transforman en espinas de 4 a 5 mm de largo, brotan de una estructura denominada areola, que se ubica a 2 mm de la epidermis. (GRA La Libertad, 2022).

2.4.4 Fruto

Según La tuna (2022) el fruto del nopal llamado tuna es una baya polisperma, de forma ovoide, fruto comestible, agradable, dulce, de pulpa gelatinosa con innumerables semillas tiene espinas finas en su cáscara.

Blanco (2023) la tuna es una baya ovalada, cuya pulpa contienen numerosas semillas de cáscara semi dura con espinas, el fruto puede ser amarillo del mismo color de su cáscara. generalmente al arbusto se le denomina nopal y al fruto: tuna, es jugosa, dulce y gelatinosa al paladar.

Según Balarezo (mencionado por Proyectos Peruanos, 2020). Tanto el fruto como la cáscara pueden tener varias tonalidades de color en el momento de la maduración, que van desde verde, amarillo naranja, rojo púrpura, morado, etc. Pueden lograr alcanzar 15 cms de largo, y 150 g de peso, el peso de la pulpa 55% y cáscara 45%, y pueden contener de 80 a 250 semillas.

Figura 3

Diferentes tonalidades de color de las pulpas de la tuna peruana.



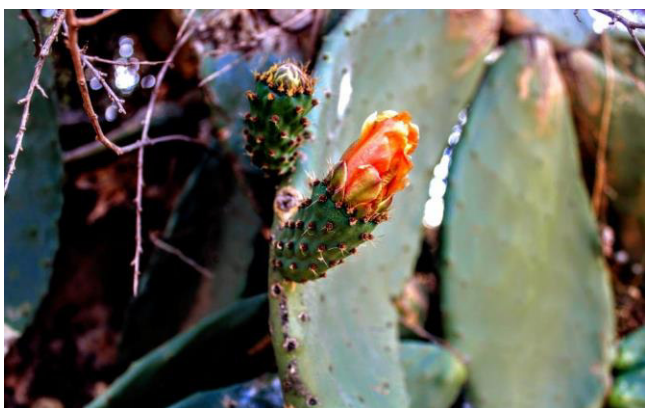
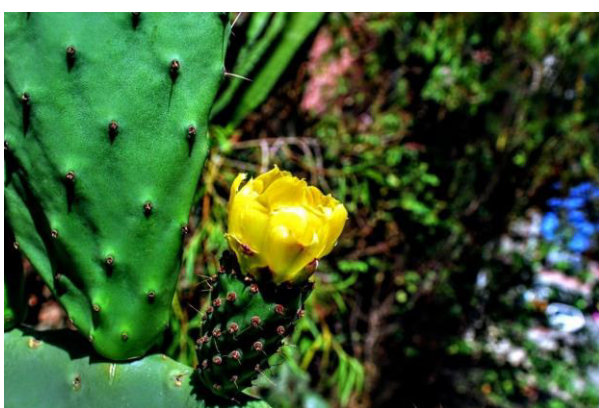
Nota. Ejemplares de tunas de Carhuaz (2022).

2.4.5 Flores

Se ubican en la parte superior de cuyos pétalos son de colores atractivos: amarillo, rojo y rosado, anaranjado. Igualmente, sus sépales son coloreados. Cada aréola produce una flor, que comienzan a aparecer luego de transcurrir de 35 a 40 días después del brote. (GRA La Libertad, 2022)

Figura 4

Tonalidad amarillo y anaranjado de la flor de tuna.



Nota. Flores de tunas del Callejón de Huaylas (2022).

2.5 Distribución en el mundo

La tuna se cultiva desde Canadá hasta la Patagonia, Argentina, Chile, Perú, Bolivia y Brasil (FAO e ICARDA, 2018); los españoles lo diseminaron por todo el mundo, existe tuna en los cinco continentes. Casas y Barbera mencionado por FAO e ICARDA (2018). Acompañan en

la economía global de esta especie: Italia, el norte de África, España. EE.UU) Según (Tv Pacifico, 2019) la producción mundial de tuna bordea los 800 mil tm, siendo México es el mayor país productor de tunas a nivel mundial, con 53 876 hectáreas de cultivo con un volumen de producción anual de 428 763 tm. actualmente, según Gallegos (mencionado por la FAO e ICARDA, 2018), junto con el maíz y el agave forman parte de la economía tradicional de la civilización azteca. Los últimos 20 años México ha incrementado su tecnología y fija su interés en la exportación que alcanza éste el 10% de su producción.

Existen 934,4 has de tuna, manteniéndose estable la producción en la última década. (FAO e ICARDA, 2018), tienen doble producción al año, sin técnicas de intervención moderna. Y su consumo es básicamente en fresco. Ochoa (como se citó en FAO e ICARDA, 2018) nos menciona que la producción en Argentina es de 1 650 has, la variedad más importante es la amarilla sin espinas se han incrementado la superficie de nopal para forraje.

Para el caso de Italia, tiene instalado una industria moderna de tuna, desde el año 1975 (FAO e ICARDA, 2018), su producción de tuna es exitosa, el 90% de su producción se localiza en la isla Sicilia, unas 3 500 has, la cosecha de invierno (agosto-noviembre) representa el 90% de la producción y es de mejor calidad. Exporta a los demás países de Europa.

En diferentes partes del mundo sobre todo países tropicales se cultiva la tuna, éstas se han naturalizado en su mayoría *O. ficus-indica*, como producto de su domesticación éstas han sufrido una serie de variaciones genotípicas y fenotípicas a las que los agricultores distinguen y dan nombres. (GRA La Libertad, 2022)

2.6 Hábitat

Según Reyes y Lavín (2022) el *Opuntia ficus* prospera adecuadamente en climas áridos y semi áridos, soportan un amplio margen de temperaturas, 18 – 25°C bajo requerimiento en agua

y con una precipitación pluvial de 400 a 750 mm a más, pero cantidades mayores de humedad provocan enfermedades fúngicas. Se adaptan a diversas texturas de suelo y composición, preferentemente en suelos sueltos y arenosos. Su pH óptimo es el neutro y ligeramente alcalino y se le encuentra a una altitud de 800 a 2 500 msnm. Todas las cactáceas han desarrollado características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas sui generis adaptadas a estas condiciones extremas y en condiciones de resiliencia, comparativamente a otros cultivos que no pueden competir. (Becaro et al., 2015)

Con relación a su forma de propagación más frecuente en nuestro país es la vegetativa (Foods, 2022) con ella se logra mantener sus características genotípicas y las plantaciones comerciales tienen una vida productiva de 5 a 7 años. (GRA La Libertad, 2022)

2.7 Parámetros de calidad del fruto

Según la GRA La Libertad (2022) el tamaño del fruto debe pesar mínimo 120 g. Y se clasifica de acuerdo a:

Tabla 2

Clasificación de la fruta para la exportación

Clasificación	Rango de peso
Fruto extra grande	Mayor a 160 g
Frutos primera clase	120 – 160 g
Frutos segunda clase	80 – 100 g
Fruto de tercera	Menor a 80 g

Nota. Tomado de Cultivo de la tuna (GRA La Libertad, 2022)

El fruto más apropiado para el mercado internacional es el amarillo - naranja, las otras variedades como el blanco y morado, son comercializados en los mercados locales, debido a problemas de conservación en almacenamiento. (GRA La Libertad, 2022)

2.8 Usos y aplicaciones de la tuna

De la tuna se aprovecha el mucílago o pectina, la cáscara, la pulpa y de las semillas aceites comestibles, poseen componentes bioactivos tales como: Polifenoles, colorantes naturales como las betalainas, y una serie de antioxidantes. Su pulpa se emplea también en la elaboración de bebidas fermentadas, licores, o zumos de "tuna", miel de tuna tipo maple (que los conquistadores llamaron "melcocha"), queso de tuna (dulce tradicional de la tuna roja), mermeladas, jaleas, deshidratados para dulces de alto valor energético. Su pulpa se utiliza en la elaboración de yogur frutado, y repostería, barras de cereales, se ha extraído alcohol industrial en el proceso fermentativo, vinagres, aromatizantes, pasta y harina forrajera. (La tuna, 2022)

La *Opuntia ficus indica*, también es utilizada con fines medicinales: astringente, antiinflamatorio, antipirético, analgésico, tonificante, afrodisíaco y laxante, entre otros usos es fuente de energía para la producción de gas metano, producción de biomasa y enzimas, producción de pectina a partir de la penca y extracción de colorantes a partir del mismo cultivo mediante la infesta del insecto Carmín de la Cochinilla. (GRA La Libertad, 2022)

Otros usos alternativos los agricultores utilizan como cercos protectores, vivientes, el mucílago se utiliza como aditivo adherente en las construcciones rústicas, la lignina del nopal se utiliza como combustible en las zonas desérticas, la planta de la tuna es fuente forrajera útil por su contenido de agua y nutrientes. (FAO e ICARDA, 2018)

Según el GRA La Libertad (2022) considera que la tuna está considerado como un fruto ecológico, permite la recuperación y regeneración de los suelos, en el hábitat de los tunales

preserva las especies de la flora y fauna de las zonas áridas y semi áridas, que según López (sf) mencionado por dicha publicación, existen más de 30 millones de hectáreas en tal condición en nuestro país, en casi toda la costa y parte de la sierra peruana, constituye una alternativa viable para el fenómeno del cambio climático, en la cual el Perú no es ajeno, uno de los países de América Latina el más afectado.

2.9 Producción de tuna en el Perú

Según MIDAGRI y Sierra Exportadora (2021) Las zonas productoras en el Perú, son los valles interandinos: Ayacucho, Lima (Huarochiri), La Libertad, Apurímac, Huancavelica, Huánuco, Ica, Ancash. Según la producción de tunas alcanza las 62 000 Tm cubriendo 12 000 hectáreas, cuyo rendimiento promedio es de: 5,3 Tm/Ha.

Tabla 3

Producción de tuna en el Perú

Departamento	Producción (Tm)		Particip. mercado 2020
	2019	2020	
Ayacucho	27 220	20 207	32,6
Cusco	13 205	14 170	22,8
Huancavelica	6 810	6 189	9,9
Apurímac	6 072	6 134	9,9
Lima	12 036	3 631	5,8
Arequipa	4 388	3 258	5,2
Moquegua	2 713	2 689	4,3
Ancash	1 893	1 944	3,1
Tacna	1 370	1 397	2,2
La Libertad	1 082	928	1,5
Ica	939	927	1,5

Cajamarca	458	340	0,5
Huánuco	157	152	0,2
Junín	168	170	0,3
Pasco	11	18	0,0
Total	78 523	62 607	100,0

Nota. MIDAGRI y Sierra Exportadora (2021)

Según Rosillo (2016) Las zonas productoras de tuna de Lima son las que poseen la mejor tecnología, lográndose altos rendimientos especialmente en la variedad tuna blanca y se exporta principalmente a países como: España, Inglaterra, Dinamarca y Suiza.

Según MIDAGRI y Sierra Exportadora (2021) Ayacucho es el departamento que cuenta con un banco de germoplasma de tuna proveniente de distintas regiones del país, con 179 accesiones a cargo de la INIA, entidad que evalúa los mejores ecotipos.

2.10 Valor nutricional de las tunas

De acuerdo a los estudios del valor nutricional de la tuna, ésta se destaca por su alto contenido de humedad de 90 – 92,5%, por su contenido de carbohidratos, azúcares reductores, proteínas, antioxidantes, minerales tales como: calcio (en 100 g de pulpa encontramos 80 mg de este mineral), fósforo y fierro, entre las vitaminas se destaca al ácido ascórbico. Así mismo; esta fuente menciona otros micro nutrientes como: Vitaminas del complejo B, carotenos, tiamina y riboflavina. El fruto como los cladodios son fuente de compuestos funcionales, destacan el mucílago, que es un hidrocoloide, los pigmentos naturales como betalaínas, carotenoides, polifenoles. (Giga reportado por GRA La Libertad, 2022).

Tanto la pulpa como la cáscara aporta un alto contenido en fibra (según la tabla de 0,1 a 3,1%), en la *Opuntia ficus indica* es mayor que el encontrado en otras frutas; una taza de tuna

contiene 5g de fibra, 20% más de la cantidad recomendada para el consumo diario, 6% de hierro, 6% de calcio y 7% de potasio. (Rosillo, 2016). Sus carbohidratos se componen de glucosa o fructosa. Una porción de 40g de *Opuntia ficus indica* sustituye el consumo de una fruta. Diversos autores como Mella (1989), Collazos et al. (1993), INCAP (1989) y CORFO (1993), presentan el análisis químico proximal de la pulpa de tuna, en la siguiente tabla.

Tabla 4

Composición química en 100 g de tuna

Análisis	(1)	(2)	(3)	(4)
Calorías	55,6	57	-	47,3
Proximal (g%)				
Humedad	81,4	82,3	83,4	85,1
Proteínas	1,05	0,8	1,3	0,8
Grasa	0,43	0	0,3	0,7
Fibra	3,1	3,8	2,6	0,1
Cenizas	0,52	1,6	0,3	0,1
Carbohidratos	13,4	15,4	14,7	12,9
Vitaminas (mg%)				
Caroteno (A)	-	0,01	-	-
Niacina (B)	0,26	0,36	0,34	-
Tiamina (B1)	0,01	0,01	0,01	-
Rivoflavina (B2)	0,02	0,04	0,03	-
Ácido ascórbico (C)	18,4	19,5	17,6	22
Calcio	57,3	16	14	24,2

Fósforo	32	26	21	28,2
Hierro	1,23	0,3	0,3	-

Nota. (1) citado por Rosillo (2016)

2.11 Valor nutricional de la cáscara de tunas

En nuestro país existen pocos estudios referentes propiedades nutricionales de la cáscara de la tuna; de los estudios que se encuentra figura de (Rosillo, 2016), quien ha realizado un análisis bromatológico y un *screnning* de la cáscara de tuna morada procedentes de Huarochiri, Encontrándose un alto contenido de carbohidratos 9,28%, una cantidad considerable de cenizas 0,995 y fibra 0,22%, Adicionalmente, se han encontrado importante dotación de betalaína, bajo la forma de betacianina y betaxantina.

De acuerdo a la tabla 04 la pulpa de la tuna es una fuente importante de calcio y de fósforo en minerales, así mismo contribuye a la ingesta de fibra, cuyo requerimiento diario según los expertos es de 25 a 30 g.

Las investigaciones realizadas como por ejemplo (Montilla et al., 2020) y otras anteriores dan cuenta que la cáscara de la tuna contiene importantes cantidades de pectina, y por las características nutricionales de este fruto, es adecuado para cualquier dieta, ya sea esta baja en sodio, alta en fibra, ideal para la pérdida de peso y para tratar diabetes.

En la cáscara del fruto se concentran los componentes nutricionales del fruto, como lo demuestra la siguiente tabla

Tabla 5

Composición química de la pulpa y cáscara de la tuna morada

Componente	Parte del fruto	Contenido (%)
Humedad	Zumo	85,98

	Cáscara	83,84
Carbohidratos	Zumo	13,25
	Cáscara	13,20
Ceniza	Zumo	0,32
	Cáscara	1,17
Proteína	Zumo	0,38
	Cáscara	2,22
Fibra	Zumo	0,69
	Cáscara	3,24
Grasas	Zumo	1,20
	Cáscara	2,80

Nota. Citado por Rosillo (2016)

2.12 Componentes bioactivos en los vegetales

Pérez et al. (2022) definen a los compuestos bioactivos como fitoquímicos de origen vegetal que se encuentran en las frutas, hortalizas, cereales o derivados de ellos, son metabolitos secundarios de las plantas, tienen efectos benéficas para la salud, o para reducir riesgos de enfermedades y de gran aceptabilidad por sus atributos sensoriales, terapéuticos.

Sin embargo, Camacho et al. (2020) menciona que estos productos son el resultado de la síntesis bioquímica del metabolismo primario de los vegetales con funciones específicas que dependen de la matriz celular que les dio origen.

Pérez et al. (2022) presenta una clasificación de estos compuestos bioactivos de origen vegetal en 4 grupos: 1. Los fenoles; en los que destacan ácido fenólico, flavonoides y taninos (Bruce, 2022). Un segundo grupo de los terpenos; donde destacan: *monoterpenos*,

sesquiterpenos, cafetol, tetraterpenos, triterpeno, carotenos. (Fitforbeach, 2022). Un tercer grupo lo compone los glucósidos; los que destacan : saponinas, glucósidos cianogénicos y glucocianolatos y un cuarto grupo Otros compuestos que agrupa a los ácidos: fítico, oxálico, tartárico y quínico. (Egbuna et al., 2019)

2.13 Colorantes

Según Fennema-Owen (2019) define colorante como aquella sustancia química ya sea natural o sintética que proporciona color. Los alimentos tienen color, debido a su capacidad de emitir y reflejar la luz a diferentes longitudes de onda percibidas por el ojo humano, el color es el atributo más apreciado de los alimentos.

La luz visible comprende longitudes de onda que va desde 380 a 770 nm, los pigmentos son sustancias propias de los tejidos de las plantas y animales que confieren color y se denomina colorantes, aquellas sustancias que otorgan color a los materiales, telas en la industria textil por ejemplo. Se usan también en la industria farmacéutica y cosméticos. (Fennema-Owen, 2019).

Colorante es para la *Food and Drug Administration* (FDA) mencionado por Fennema-Owen (2019), aquella sustancia que posee pureza de grado alimentario, es soluble y este organismo lo certifica en los Estados Unidos de América.

Suele asociarse en el consumidor el color de las frutas con el grado de madurez de ésta, influye en la percepción del sabor y en determinadas ocasiones les confiere a los alimentos atraktividad e impulso de compra. El color es un atributo importante para el consumidor, y determinante en la opción de compra, la homogeneidad del color de los productos durante todo el año es un aspecto que aprecia el público, un cambio de color es un motivo de desconfianza, en el mercado existen dos agentes para colorear: los naturales y los sintéticos. (Badui, 2012)

2.13.1 Colorantes naturales

Gómez (2016) afirma que los colorantes son aditivos que una vez añadidos a los alimentos, dan color a los mismos de forma natural dado que carecen de él, aportan un aspecto uniforme a los colores naturales, aumentan el atractivo visual y a su vez mantienen las cualidades organolépticas sobre todo en el color que pueden verse alterados durante el procesamiento. La industria de alimentos a nivel mundial 3 de cada 10 productos nuevos contienen algún tipo de colorantes y cada vez más se usan colorantes naturales o ingredientes naturales o alimentos colorantes como aditivos.

Para Gómez (2016) aquellas tecnologías que involucran procesos de extracción mediante disolventes orgánicos, por arrastre de vapor y sobre todo, tecnologías de extracción con CO₂ supercrítico, están permitiendo una mayor demanda de colorantes naturales, por ser una opción viable técnica, medioambiental y económica libres de impurezas.

Tabla 6

Pigmentos usados como colorantes en alimentos

Fuente	Nombre científico	Agente activo
Achiote, anato	<i>Bixa Orellano</i>	Bixina (carotenoide)
Azafrán	<i>Crocuss sativus</i>	Crocetina (carotenoide)
Batabel	<i>Beta vulgaricus</i>	Batalaínas
Cúrcuma	<i>Cúrcuma longa</i>	Cúrcumina
Cochinilla	<i>Dactylopyus coccus</i>	Acido carmínico
Pimiento Rojo, <i>Annum</i>	<i>Capsicum</i>	Capsantina (carotenoide)
Enocianina		Polímeros de antocianinas
Zanahoria,	<i>Daucus carota</i>	B-caroteno (carotenoide)

Cempasúchil	<i>Tagetes erecta</i>	Luteína (carotenoide)
Plantas verdes		Clorofila

Nota. Extraído de Química de los alimentos. (Badui, 2012).

En el cuadro precedente, se muestran las materias primas pigmentadas, considerada colorantes naturales Badui (2012), con el correspondiente pigmento que lo representa, la materia prima se presenta seca y molida, por ejemplo Betabel de la remolacha, ésta contiene betalaínas, el pimiento rojo: *capxantina* y zanahoria el *betacaroteno*. Comercialmente éstas productos se deshidratan, se muelen y se usan para colorear. Lo mismo ocurre con el azafrán, la cúrcuma y el achiote. Este mismo autor hace referencia que la extracción del pigmento betalaína es costosa.

2.13.2 Colorantes sintéticos

Badui (2012) define a los colorantes sintéticos como los obtenidos por la síntesis de un proceso químico industrial, en las legislaciones europeas están consideradas como aditivos, y no hay consenso entre los países en relación a la toxicidad o inocuidad de cada uno de los aditivos, A continuación, se presenta una lista de los principales colorantes sintéticos comerciales en el mundo.

Tabla 7

Principales colorantes sintéticos

Nombre comercial	Nombre químico	Clasificación FDA	Características
Azul No 1	1-(2,5-dimetoxifenilazo)-2-naftol	Blue No 1	Polvo púrpura café, higroscópico, estabilidad a la luz y ácidos
Rojo crítico No 2	1-(2,5-dimetoxifenilazo)-2-naftol	No 2	Cristales rojos, para colorear cítricos

Rojo No 4	Sal sódica del ácido 3-[2,4 dimetil-5-sulfofenil]-4-dihidroxil-naftalensulfónico	No 4	Cristales rojos, soluble en agua y poco en etanol
Rojo No 40	-, -		Polvo rojo oscuro, estable a pH ácidos, soluble en agua y en etanol al 50%
Amaranto (Rojo No 2)	Sal trisódica del ácido	Red No 2	Polvo rojo café, soluble en agua y poco en etanol, No estable a la luz
Amarillo No 6	Sal sódica del ácido 1-sulfofenilazo-2-naftol-6-sulfónico	Yellow No 6	Polvo naranja inodoro, higroscópico, sensible a agentes reductores
Eritrocina	Sal sódica o potásica de la tetra yodofluoresceína	Rojo No 3	Polvo rojo café, inestable en presencia de ácidos, luz y cobre
Verde No 3	-, -	Verde No 3	Polvo verde oscuro, estable a ácidos y soluble en agua,

Nota. Extraído de Química de los alimentos (Badui, 2012)

Según Salazar e Hidalgo (2022) debido a la presión de la población y por cuestiones de seguridad alimentaria, han obligado a las empresas a reducir el uso de estos colorantes y sustituirlos por colorantes naturales. Los colorantes artificiales también tienen problemas de uso, sobre todo cuando está presente el ácido ascórbico, llegando a decolorarse. Estos colorantes se usan mediante el uso de sales potasio y de sodio, y otras sales de la forma insoluble formando lacas. En algunos países están prohibidos y en otros no. En España está permitido el uso de colorantes artificiales de 100 a 300 mg/Kg si el alimento es sólido y a 70 mg/l si el alimento es líquido.

Según Gallego (2016) los colorantes sintéticos que actualmente están permitidos en el campo alimentario son: BHA (butil hidroxi anisol), BHT (butil hidroxi tolueno), PG (galato de propilo), TBHQ (ter butil quinona) y OG (galato de octilo). La necesidad de comprobar su toxicidad y su efecto carcinogénico con los constituyentes de los alimentos y de sus formas oxidadas, han limitado su utilización y demanda mundial.

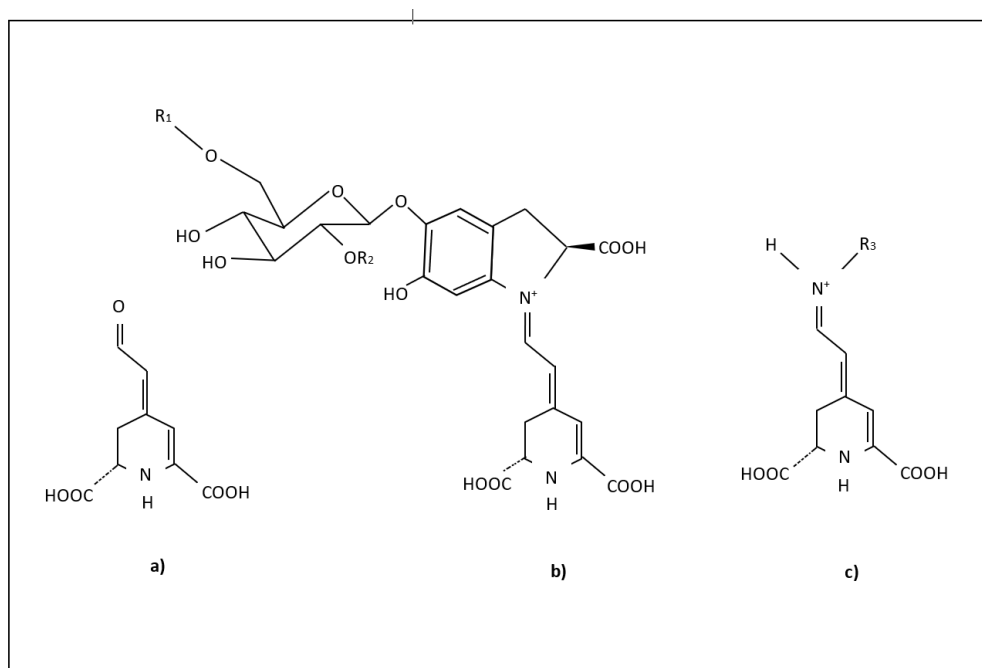
2.14 Betalaínas

Según Fennema - Owen (2019) son metabolitos secundarios de algunas especies vegetales como la betarraga, pitaya o pitajaya, tunas y ayrampo, también encontramos en las acelgas, higos chumbos, yerba carmín, en algunas flores como las buganvillas y el amaranto.

Según Gonzales y Guerrero (2018) las betalaínas son sustancias nitrogenadas hidrosolubles, imparten colores desde amarillo a rojo, se encuentran de manera limitada en las especies vegetales, restringida a la orden *Cariophyllales*. Son ubicuas por encontrarse en las hojas, semillas, cáscaras, tallos etc. La beterraga constituye la mayor fuente de betalaínas del reino vegetal. Destaca a su vez por sus propiedades terapéuticas, capacidades tintóreas y alta actividad antioxidante. La extracción más utilizada actualmente en la industria alimentaria, proviene de esta raíz, bajo la forma de extractos condensados y liofilizados en reemplazo a los colorantes sintéticos, que son muy cuestionados por los consumidores.

Figura 5

Estructura general del ácido betalámico (a), betacianina (b) y betaxantina (c)



Nota: Extraído de Gonzales y Guerrero (2018)

En el caso de las tunas moradas la betalaína presente son derivados del ácido betalámico, hay 2 compuestos presentes en ella: betacianina (b) responsable del color púrpura y betaxantina (c) responsable del color amarillo – naranja.

Para Vergara (2013) las betacianinas, químicamente se identifica al ácido betalámico unido al grupo 3,4- dihidroxifenilalanina (DOPA), que puede estar o no glicosilado, mientras que en las betaxantinas se encuentra unido con aminoácidos o derivados aminos.

La betanina o betalaína la fuente comercial es la *beta bulgaris* o comúnmente conocida por remolacha, comercialmente conocido como *rojo de remolacha*, en la legislación estadounidense como el aditivo E-162, y en caso de la FDA se la identifica con el código numérico, que básicamente se utiliza para brindar color a aquellos alimentos no tratados térmicamente, llámese: yogur, helados y jarabes. (Orellana, 2015)

Los vegetales que producen productos betaláinicos, la síntesis se encuentra restringida para los órganos reproductores como estructuras vegetativas (Gengatharán, Dikes y Sim, 2015). En la familia *amaranthaceae* las betalainas se encuentran en hojas y flores del género *Opuntia* (tunas moradas o rojas) en el fruto. Actualmente la única fuente explotada como colorante natural es la *betabel* para la industria alimentaria. (Gonzales y Guerrero, 2018)

2.14.1 Extracción de betalaina

Uno de las técnicas más frecuentemente utilizada para la extracción de betalainas es por la vía espectroscópica con uv-vis visible, que consiste en medir la intensidad del color a una longitud de onda determinada, se utiliza la ley de BEER para una misma especie absorbente. Con ayuda del espectrofotómetro se mide la absorbancia, que es directamente proporcional a la concentración del pigmento (Nayhua, 2017). Otros métodos que permiten identificar y cuantificar las betalainas figura: La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), técnica de análisis que permite la separación de los componentes de la mezcla tintórea. También existe el método es la espectroscopia de resonancia nuclear (RMN). (Nayhua, 2017)

2.14.2 Extracción asistida por ultrasonido (US)

Según López (2020) existe una creciente demanda del público por los productos bioactivos provenientes de los sectores de alimentos funcionales, nutraceuticos y la industria farmacopea. Existe la tendencia del consumidor por adquirir productos naturales envés de los sintéticos. Hernández et al. (2023) y Naranjo (2016) mencionan que diferentes componentes bioactivos de la matriz vegetal se han extraído por medio de métodos tradicionales que incluye el uso del equipo Soxhlet, la hidrodestilación, arrastre por vapor, maceración etc. Estos métodos tienen la desventaja de utilizar altas temperaturas, tiempos prolongados, solventes que son incompatibles con la característica termolábil de los componentes bioactivos.

A fin superar estas inconvenientes existen nuevas alternativas de extracción, conocidas no convencionales, o “*green processing*”, que han sido desarrolladas (Azmir et al., 2013). Entre las tecnologías no convencionales más promisorias cabe mencionar las siguientes: 1) Extracción asistida por ultrasonido EAU; 2) Extracción asistida por enzimas EAE; 3) Extracción asistida por microondas EAMO; 4) Extracción asistida por campos eléctricos pulsado EACE; 5) Extracción con fluidos supercríticos EAFS y 6) Extracción mediante líquido presurizado ELP. Algunas de estas tecnologías han sido consideradas como “*Green Techniques*” por la EPA (Agencia Americana de protección medio ambiental. (Azmir et al., 2013; Wijngaard et al., 2012; Wong et al., 2020).

La técnica de la extracción asistida por ultrasonido, se fundamenta en la propagación de ondas de energía elásticas, a través de un fluido que burbujea, generando el fenómeno de cavitación, que ocurre cuando un líquido es sometido a alta presión, éste se comprime y se expande produciendo las burbujas de cavitación; y según Diaz et al. (2022) el uso de ultrasonidos en alimentos se clasifica por el uso de la intensidad alta y baja.

El ultrasonido es un tipo especial de onda sonora que no puede ser detectada por el oído humano, usualmente de entre 20 – 100 Hz, que al pasar a través de un medio líquido o semi líquido conteniendo sólidos produce un fenómeno denominado *cavitación* y constituye la base de la extracción asistida por ultrasonido (EAU) (Azmir et al., 2013; Awad et al., 2012). Cuando las burbujas alcanzan un momento crítico, éstas explotan y provocan un calor intenso en las inmediaciones de la cavitación, esta energía erosiona la superficie del sólido facilitando la extracción de componentes bioactivos al producirse simultáneamente la descamación y permeabilidad de la pared celular. (Torres et al., 2020)

Entre las variables que afectan la EAU están el contenido de humedad de la muestra, el tamaño de partícula, el tipo de solvente, la temperatura, la frecuencia y el tiempo de sonicación. (Azmir et al., 2013)

Las principales ventajas de la EAU es que permite reducir el consumo de energía y solventes así como disminuir significativamente el tiempo y la temperatura de extracción; siendo por tanto, compatible con compuestos termolábiles (Orphanides et al., 2014; Esparza et al., 2016). La EAU ha sido exitosamente aplicada en la extracción de compuestos bioactivos a partir de residuos vegetales, requiriéndose en todos los casos la optimización del proceso específico. Así por ejemplo, López (2020) de manera similar, obtuvo péptidos bioactivos a partir de la hidrólisis enzimática de la leche, se evaluaron las condiciones óptimas en tiempo, temperatura y relación enzima – proteína. Asimismo, diferentes estudios tratan de recuperar los polifenólicos de la hojas de oliva (*Olea europaea*), éstas eficientemente son extraídas por EAU, los que además demostraron poseer una significativa actividad antioxidante frente a radicales DPPH, optimizando procesos, cuyas variables fueron: mezclas de agua y glicerol, y uso de temperaturas moderadas. (Ramos, 2020)

Covarrubias (2018) evaluó las condiciones de extracción y encapsulación de compuestos polifenólicos a partir de las cáscaras de naranja agria y estevia. Obtuvo esteviósidos para su posterior aplicación en la industria alimentaria, dicha extracción fue con la asistencia del ultrasonido y la estrategia experimental fue de optimización.

Se extrajo pectina de pomarroja mediante hidrólisis ácida como agente gelificante, a través de un modelo factorial, evaluándose el estado de madurez del fruto, tipo de ácidos y 3 niveles de pH. (Patiño, 2021)

La EAU representa una técnica no convencional interesante de ser explorado en la obtención de productos con alto valor agregado a partir de los desechos de beterraga y en la tuna morada. Dado que las betalainas, uno de los principales compuestos bioactivos, han demostrado ser un compuesto sensible a las altas temperaturas, niveles de pH, la luz, el oxígeno, etc. (Castromonte et al., 2020)

2.15 Polifenoles

Badui (2012) menciona que los polifenoles son sustancias con uno o más anillos aromáticos al menos portan un grupo hidroxilo (OH^-) y se clasifican en dos grandes grupos: los ácidos fenólicos (benzoico y cinámico) y los flavonoides (antocianinas y taninos) se diferencian que los primeros tienen un solo anillo y los flavonoides dos anillos enlazados con un anillo heterocíclico. Para Shahidi y Ambigaipalan (2015) los polifenoles comprende: a los ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos, cumarinas, lignanos, taninos entre otros más.

Según Camacho et al. (2020) los define como metabolitos secundarios de los vegetales, que intervienen en el proceso de crecimiento y desarrollo de la planta así como agente defensivo contra todo agente patógeno. Ha despertado un inusitado interés por los investigadores por sus funciones biológicas en favor del mantenimiento de la salud y su capacidad antioxidante. Esta función está relacionada a su capacidad de atrapar radicales libres, quelar metales e inhibe la acción de la enzima lipooxigenasa.

Martín (2017) considera a los polifenoles como productos secundarios sintetizados por las plantas, pueden llamarse polifenoles o compuestos fenólicos, todas derivan del fenol, que contiene un anillo aromático con un grupo hidroxilo. Grupo muy diverso de compuestos que abarcan desde lo más sencillo los ácidos fenólicos hasta los más complejos como los taninos.

Dentro de estos compuestos están los flavonoides, que son alrededor de 3 mil compuestos fenólicos, forman parte de la mayoría de frutas, verduras y hierbas aromáticas.

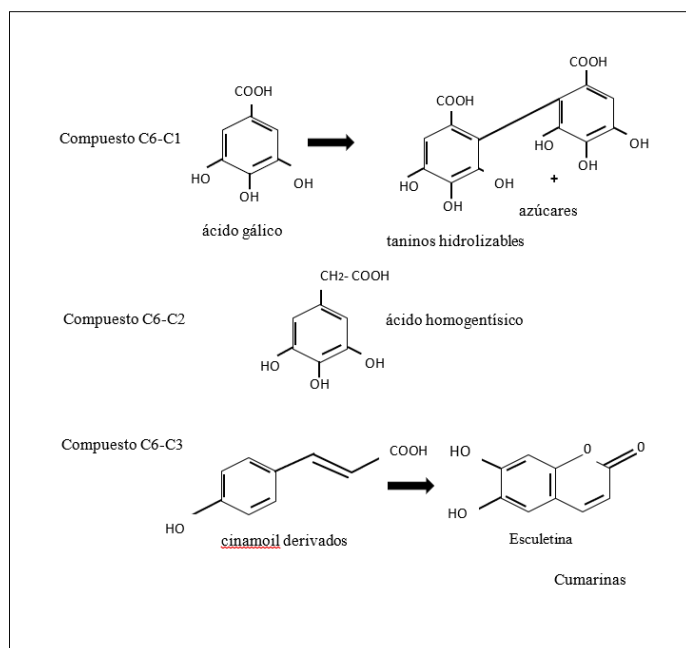
Pokorny (2005) menciona que las plantas producen una variedad de productos secundarios, que contienen grupos fenoles, puede ser un grupo hidroxilo unido a un anillo aromático. Son sustancias heterogéneas: fenoles, flavonoides, ligninas y taninos. Y son innumerables, el grupo de los flavonoides se han encontrado 4 mil sustancias de las cuales 900 forman parte de la dieta humana.

Casares (2010) define a los polifenoles como aquellas moléculas que comparten el grupo bencénico con radical OH, los flavonoides es el polifenol más estudiado en la dieta humana, y éstas son vitales para el desarrollo y supervivencia de las plantas por su efecto protector contra las plagas y el estrés ambiental, que pueden ser la exposición de los rayos ultravioleta y a altas temperaturas.

Así mismo Casares (2010) hace referencia que la absorción en el organismo humano es a nivel del íleon, en sí no son nutrientes, y muchos de ellos tienen propiedades anti mutagénicas, anti inflamatorias y beneficiosas en prevenir enfermedades.

Según Salazar et al. (2011) los polifenoles protegen al organismo humano a nivel de lesión celular del efecto nocivo de las toxinas y bloquean las rutas metabólicas productoras de cáncer.

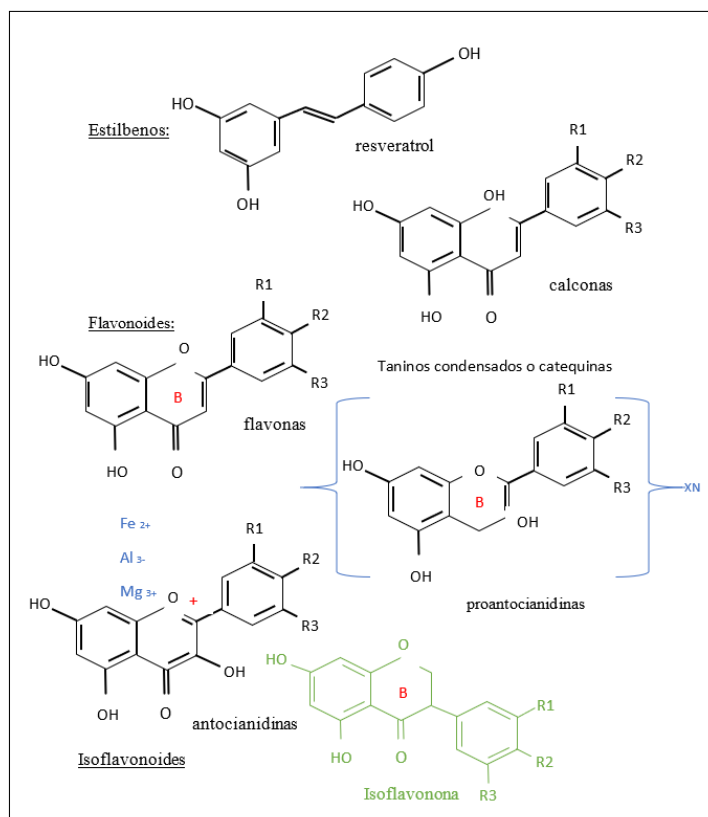
Según Casares (2010) los fenoles se clasifican en función del número de átomos de carbono de la cadena alifática que reemplazan al núcleo bencénico; como los compuestos de tipo C6-C1, derivados del ácido benzoico. Los polímeros del ácido gálico, compuestos que en general se hallan unidos a azúcares y se denominan: taninos hidrolizables, como podemos observar en la siguiente figura:

Figura 6*Clasificación de los fenoles simples*

Nota. Presentado por (Casares, 2010)

Así mismo para Casares (2010) el grupo de fenoles simples más extenso es el C6-C3, que constituyen los cinamoil derivados, estos compuestos, junto con los de tipo C6-C1 y C6-C2, suelen acumularse en estructuras periféricas del vegetal, son componentes de los aceites esenciales. Dentro de este grupo, los C6-C3, se encuentran también las cumarinas que son compuestos de tipo bicíclico y están ampliamente distribuidas en el reino vegetal, de las que se han aislado más de 1000 estructuras diferentes.

Fenoles complejos son también los flavonoides e isoflavonoides, grupo que consta de más de 4 000 estructuras químicas ampliamente encontradas en la mayoría de plantas superiores (figura 7). Estos compuestos, están principalmente unidos a azúcares, aunque también se pueden encontrar sus formas libres. Fácilmente detectables en la pigmentación de flores y frutos. (Casares, 2010)

Figura 7*Estructura de los fenoles complejos**Nota.* Presentado por (Casares, 2010)

Según Navarro et al. (2017) en común todos los polifenoles tienen en su estructura grupos funcionales por ejemplo: ésteres, metil ésteres, glicósidos, etc. La función biológica de los PT va a depender del grupo al que se conjuga: glucosa, galactosa, ácido carboxílico, aminas, lípidos, etc. Cerca de 8 mil compuestos fenólicos se conocen hasta la fecha, entre ellos: flavonoles, flavanonas, flavonoles, flavonas, isoflavonoides, antocianinas y el grupo de los no flavonoides.

En el aspecto nutricional Navarro et al. (2017) hacen mención de las propiedades biológicas de los PT se debe a su propiedad antioxidante, vasodilatador y vaso protector, antitrombótico, antilipémico, antiateroesclerótico y detoxificador. Disminuye el LDL oxidándolo

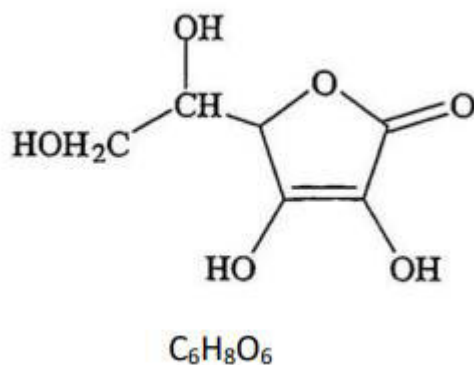
y favorece el aumento de HDL de la sangre, produce un efecto cardioprotector al disminuir la inflamación cardiovascular.

Así mismo Casares (2010) menciona que los polifenoles son poderosos antioxidantes, inhibe al LDL del daño oxidativo, la gama de polifenoles tienen especificidad para cada grupo de sustancia oxidante que se generan en el organismo humano y atrapadores de radicales libres. Y en forma indirecta actúan como agentes quelantes de iones de transición.

Los efectos beneficios para la salud dependen de la cantidad consumida y su biodisponibilidad. Y debido a su variedad tan extensa, condiciones genéticas, las condiciones agronómicas, procesamiento y otros factores intrínsecos hacen muy difícil determinar la ingesta diaria de polifenoles (Navarro, 2017). Sin embargo, Zamora et al. (2013) brinda un parámetro referencia para polifenoles reportado en una revista científica de nutrición, esta ingesta es de 600 mg/día per cápita.

2.16 Ácido ascórbico

Químicamente el ácido ascórbico es una cetona cíclica cuya forma enólica es 3-ceto-1gulofuranolactona, contiene el grupo *enol* entre sus carbonos que le confiere ese gran poder reductor que lo caracteriza, agente ácido que hace que se oxide muy fácilmente. (Badui, 2012)

Figura 8*Fórmula de la vitamina C o ácido ascórbico**Nota.* Autoría de (RACIM, 2020)

La encontramos principalmente en alimentos de origen vegetal y generalmente el consumo de frutas y hortalizas aporta el contenido de ácido ascórbico que requiere el organismo. Siendo el requerimiento mínimo diario de 45 mg/día según la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Tabla 8*Contenido de vitamina C de diversas frutas*

Frutos o hortaliza	Contenido de vitamina C mg/100 g
Durazno	4
Manzana	10
Plátano	10
Mandarina	25
Piña	25
Jitomate	25

Papa	30
Toronja	40
Naranja	50
Limón	50
Col	60
Chile	120
Gayaba	300
Brócoli	300

Nota. Extraído de Química de alimentos de Badui (1996)

Según la literatura revisado en trabajos de investigación la tuna peruana tiene un contenido que varía de 18 a 22 mg/100 g de vitamina C.

Otra especie amazónica que es líder en la cantidad de ácido ascórbico del reino vegetal, representa el camu camu, obteniendo cifras que van desde 1 410 a 2 780 mg/100 g de pulpa. (Arellano et al., 2016)

Según Frei y Anderson citados por Londoño (2012) mencionan el ácido ascórbico es un potente antioxidante previene la oxidación de las lipo proteínas de baja densidad (LDL), participan en la movilización de ácidos grasos al interior de las mitocondrias, por la que son vitales para la generación de energía en el cuerpo. Facilita la absorción intestinal del fierro dentro de las múltiples funciones asignadas a este antioxidante.

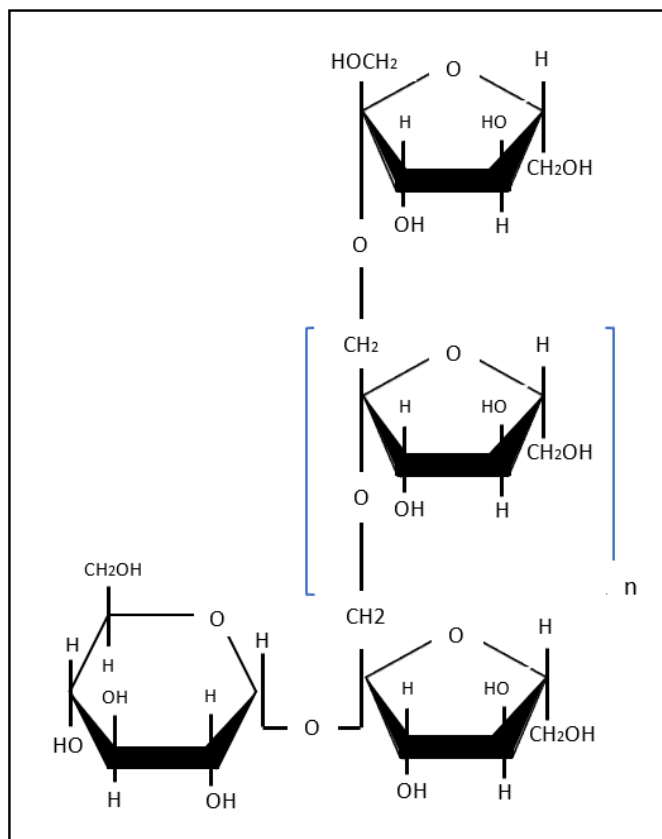
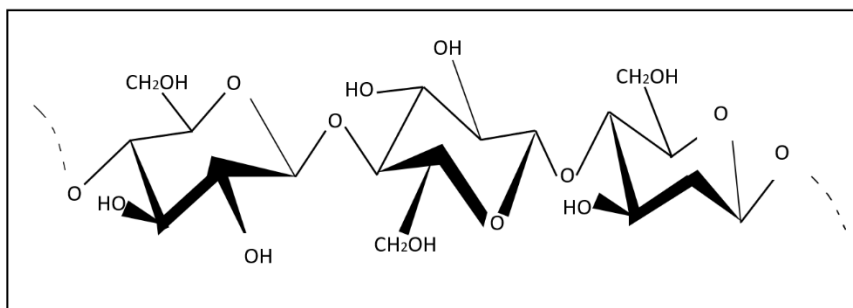
2.17 Fibra dietética

La fibra dietética representa una fracción de la pared celular de las plantas, generalmente son lignina y polisacáridos no almidónicos como: celulosa, pectinas, gomas y mucílago resistentes a la hidrólisis de las enzimas digestivas del ser humano. Se suelen clasificar en base a

su solubilidad en agua como fibra soluble e insoluble. La fibra soluble contiene mayoritariamente pectinas, gomas y algunas hemicelulosas (Arabinoxilanos y Arabinogalactanos) y la fibra insoluble contiene celulosa, lignina y algunas hemicelulosas (Arabinoxilanos y Arabinogalactanos). (Cummings, citado por Matos y Chambilla, 2010)

Según Matos y Chambilla (2010) la fibra dietética presenta propiedades funcionales tecnológicas que, como la capacidad de retención de agua y aceite, tienen efectos benéficos en los productos alimentarios y efectos fisiológicos en el organismo del ser humano. Su consumo previene distintas enfermedades como el cáncer al colon, diabetes, enfermedades cardiovasculares, ayuda a la disminución del colesterol, etc. El contenido de fibra dietética se encuentra mayormente en las frutas y hortalizas, así como en sus subproductos, como las cáscaras y hojas, las cuales pueden ser aprovechadas mediante procesos tecnológicos para la obtención de fibra dietética.

Escudero citado por Matos y Chambilla (2010) incorpora el término de fibra funcional, que incluye a los carbohidratos resistentes a la digestión como la inulina y oligosacáridos como fructooligosacáridos, galactooligosacáridos y xilooligosacáridos y la lactulosa. Así mismo define a la fibra total a la suma de fibra dietética y la fibra funcional.

Figura 9*Estructura de una inulina**Nota. Molina y Paz (2007)***Figura 10***Unidad de la estructura básica de la celulosa**Nota. Citado por Matos y Chamorro (2010)*

En la tabla 9 se muestran los diferentes constituyentes que forman parte de la fibra dietaria de los tejidos vegetales,

Tabla 9

Polisacáridos de la pared celular de las plantas

Categoría general	Clasificación estructural
Celulosa	B-D-glucanos (uniones en C4)
Sustancia pécticas	Galacturonas y ramnogalacturonas Arabinanos Galactanas y arabinogalactanas
Hemicelulosas	Xilanos (incluyen arabinoxalanos y cadenas con grupos 4-0-metil) y glucuronaxilanos B D glucanos (uniones en C3 y C4)
Otros polisacáridos	Arabinogalactanas glucoronas

Nota. Aspinal citado por Matos y Chambilla (2010), (1) Arabinogalactanas del tipo I son esencialmente lineales y contienen cadenas de β -D-galactanas con uniones en C4, mientras que las de tipo II contienen cadenas ramificadas de β -D-galactanas con uniones en C3 y C6,

Muñoz (2010) ha cuantificado fibra dietaria en *Opuntia ficus indica* tanto en: pulpa, cáscara y en los cladodios, las muestras contienen alto contenido de fibra dietaria de 33,6 hasta 55,8 g/100 g materia seca, en variedades amarilla y blanca.

El cladodio de la tuna posee 65,53% de fibra dietética y el mucílago del cladodio presenta alta capacidad de retención de agua, ésta cuantificación convierte a este recurso en una fuente potencial de fibra dietaria. (Hamdi, 2006; Mayela et al., 2017; Pérez, 2000, citado por Muñoz, 2010)

Mayela et al. (2007) y Muñoz (2010) mucílagos de la tuna está presente en 3,8 a 8,6%, pectinas 5,3 a 13,2% y excelente fuente de fibra dietaria con 65,53%.

2.18 Factores que afectan a los antioxidantes

Según Pokorny et al. (2005) el interés por los antioxidantes ha ido en aumento en las últimas décadas en vista que se han detectado problemas en los productos sintéticos por su capacidad de inhibir los lípidos y existe una tendencia en minimizar el uso de aditivos alimentarios. La desventaja de los antioxidantes naturales se encuentra: la escasa resistencia al oxígeno y especialmente cuando están expuestos a la luz, temperaturas elevadas, secado y almacenamiento.

Tabla 10

Tipos de procesado que afectan a los antioxidantes y su estabilidad oxidativa

Temperatura	Tipos de proceso	Ejemplos
Temperatura elevada	Agua como método de transferencia de calor	Pasteurización
		Esterilización
		Blanqueado
		Evaporación
		Extrusión
	Aire como método de transferencia de calor	Desecación
		Asado, horneado

Temperatura ambiente	Energía en forma de ondas	Fritura
		Calentamiento por microondas
		Calentamiento por infrarrojo
	Efecto de las enzimas	Fermentación
	Efecto de los productos químicos	Curado, ahumado
	Efecto del tiempo	Almacenaje (con refrigeración y congelación)

Nota. Pokorny et al. (2005)

Diversos estudios demuestran la afectación de la capacidad antioxidante, contenido de compuestos fenólicos totales y de vitaminas el procesamiento en la elaboración de derivados como el néctar, específicamente en las operaciones de: pulpeado, estandarizado, homogenizado y pasteurizado en el. (Valencia y Guevara, 2013)

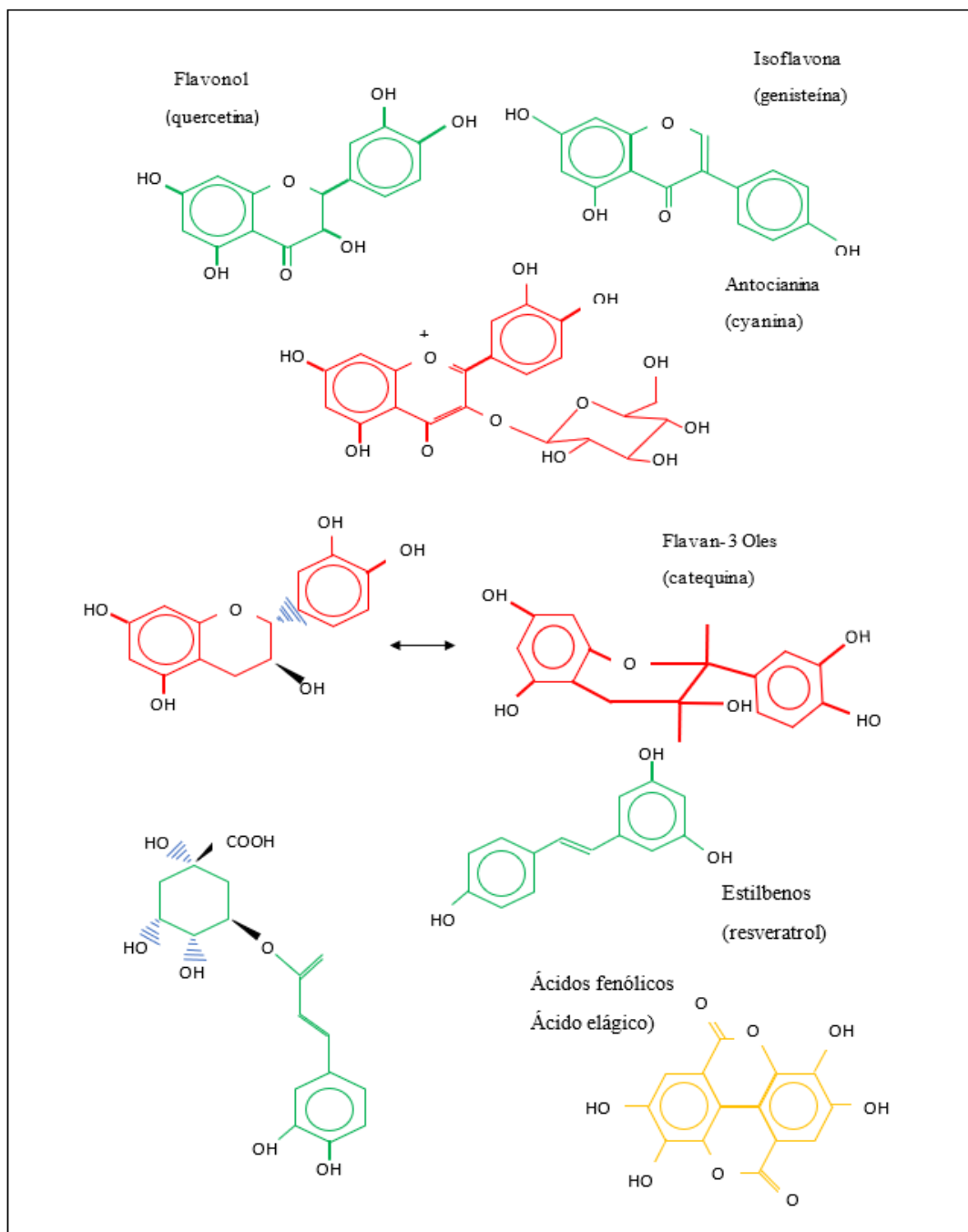
2.19 Factores que afectan a los polifenoles

Muchos trabajos de investigación dan cuenta de la existencia de beneficiosos desde el punto de vista de la salud de los consumidores otorgados por los alimentos de origen vegetal relacionados con enfermedades crónicas relacionados con los procesos oxidativos. (Tomas-Barberán, 2003). Por otro lado, los procesos tecnológicos y los hábitos alimenticios afectan la ingesta y su biodisponibilidad.

Las sustancias fenólicas o polifenoles constituyen un grupo numeroso de sustancias, éstas se presentan en la siguiente figura:

Figura 11

Principales grupos de fenoles presentes en los alimentos



Nota. Tomas - Barberán (2003)

Existen factores intrínsecos de origen genético propio de los vegetales que hace variar la composición de los fenoles entre no sólo en distintos géneros y especies, sino entre variedades (Tomas-Barberán, 2003). Esta variación puede deberse a la función de las enzimas oxidantes presentes en las variedades que pueden actuar sobre las sustancias fenólicas.

Por otro lado la composición de las sustancias fenólicas está influida por factores extrínsecos como por ejemplo la presencia o ausencia de determinados nutrientes en el suelo, el déficit o exceso de riego puede afectar la composición fitoquímica. (Tomas-Barberán, 2003)

Se sabe también que el contenido de calcio, boro y sustancias nitrogenadas en el suelo tienen efecto decisivo en dicha composición, influyen en la degradación de las enzimas oxidativas (polifenoloxidasas). El grado de iluminación, irradiación y temperatura de cultivo influye en el contenido de las sustancias polifenólicas. El contenido de PT en granadas por ejemplo es superior de aquellas provenientes de temperaturas más cálidas (nocturnas) que las frutas en temperaturas más bajas. Mayor tasa de insolación favorece el mayor cúmulo de dichas sustancias. (Tomas-Barberán, 2003)

Durante la conservación tras la recolección, las bajas temperaturas suelen inducir a las enzimas responsables de la biosíntesis de los PT. La técnica del MAP (atmósferas controladas) a parte de prolongar la vida útil del alimento (frutas y hortalizas) también poseen efectos marcados en el contenido de sustancias fitoquímicas. Los tratamientos pos cosecha con ozono, irradiaciones con luz UV y gamma tienen efectos favorables en el incremento de sustancias polifenólicas.

Sepúlveda y Zapata (2019) han demostrado la degradación de los FT se ve afectada por la temperatura y los sólidos soluble, tanto en condiciones de procesamiento y almacenamiento,

y la actividad antioxidante de estos compuestos se ve afectada por la temperatura y sólidos solubles.

2.20 Tecnologías no convencionales de extracción

Los métodos convencionales de extracción de compuestos bioactivos a partir de recursos vegetales suelen requerir tiempos prolongados, el uso de solventes orgánicos y altas temperaturas, incompatibles con compuestos bioactivos termolábiles (Azmir *et al.*, 2013; Galanakis, 2012). A fin superar estas desventajas recientemente nuevas tecnologías de extracción, conocidas no convencionales, han sido desarrolladas (Azmir *et al.*, 2013). Entre las tecnologías no convencionales más promisorias cabe mencionar las siguientes:

- Extracción asistida por ultrasonido
- Extracción asistida por enzimas;
- Extracción asistida por microondas;
- Extracción asistida por campos eléctricos pulsado;
- Extracción con fluidos supercríticos y
- Extracción mediante líquido presurizado

Algunas de estas tecnologías han sido consideradas como “*Green Techniques*” por la EPA (Agencia Americana de protección medio ambiental) (Wijngaard *et al.*, 2012).

2.20.1 Extracción asistida por ultrasonido

El ultrasonido (US) son ondas acústicas inaudibles por el oído humano a una frecuencia superior de 20 KHz, cuando el US pasa por un medio líquido interactúan las ondas del US con el líquido y el gas disuelto conduce a un fenómeno que se conoce como cavitación acústica producto de ello se generan micro burbujas en el medio líquido (Ulloa *et al.*, 2013).

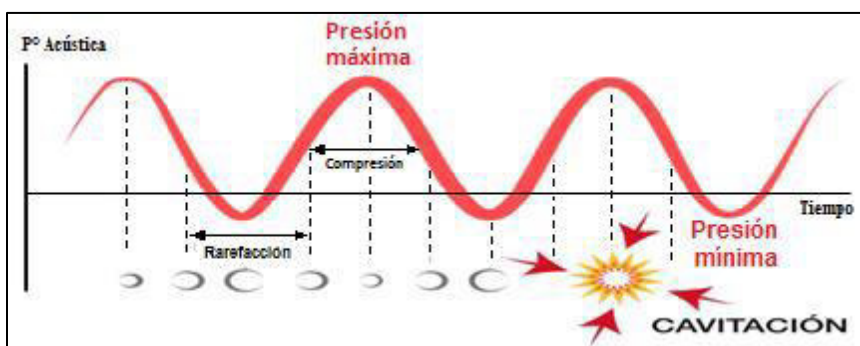
Las técnicas ultrasónicas son de mucha utilidad en la industria alimentaria se utilizan tanto para el procesamiento como en la conservación de alimentos, éste último con el propósito de incrementar la seguridad en los productos alimenticios. Se usan las ondas US de alta potencia y baja frecuencia de (20 – 100 KHz). El efecto de cavitación afecta las estructuras celulares matrices vegetales (Kapturowska et al., 2011).

El ultrasonido consiste en la propagación de ondas mecánicas conformada por un conjunto de ciclos, combinan altas y bajas presiones, denominadas compresiones (presiones altas) y rarefacciones (presiones bajas), respectivamente (Awad et al., 2012; Musielak et al., 2016). Estas presiones provocan la formación de burbujas como consecuencia de los cambios de temperatura y de presión (Medina, 2017). Las principales características de la onda de ultrasonidos son (Tippens, 2011).

- Longitud: distancia entre dos puntos de compresión o rarefacción
- Amplitud: altura máxima de una onda
- Frecuencia (Hz): número de ciclos por unidad de tiempo
- Velocidad (m/s): producto de la frecuencia por la longitud de onda
- Potencia (W): cociente entre la energía transportada y el tiempo considerado
- Intensidad (W/cm^2): cociente de una unidad de potencia a través de una unidad de área.

Figura 12

Comportamiento de las burbujas durante la cavitación



Nota. Ponce (2019)

2.21 Marco filosófico

La investigación científica es el proceso que tiene por objeto descubrir o develar la verdad, o al menos aproximarnos a ella, por el carácter de provisionalidad que caracteriza a las ciencias al menos a las experimentales. En ese sentido la investigación científica se apoya en disciplinas que pertenecen a la filosofía tales como la ontología, la gnoseología la lógica, la epistemología y la metodología.

Este estudio se basa en los postulados en que se cimienta el paradigma positivista, (neopositivista o empirismo lógico). La esbozada por el círculo de Viena, recordada cumbre de científicos sociales, matemáticos, filósofos de diversos países de más alto nivel, que compartían un interés común por la filosofía de la ciencia). Este paradigma sostiene que el conocimiento científico debe ser construido sobre la base de la experiencia empírica u observacional. A partir de estos hechos singulares se debe ordenar y sistematizar para inferir tendencias o regularidades a manera de hipótesis y luego verificarlas mediante la observación de nuevos hechos que lo corroboren.

Los postulados de este paradigma en la que se sustenta esta investigación son: El mundo físico está gobernada por leyes (hay un grado de uniformidad y orden). El conocimiento que se genera

en ella es objetiva, fáctica, transformadora, universal, que utiliza la vía hipotético deductiva, recurriendo a la evidencia empírica, para la contrastación de la hipótesis formulada y así responder con base científica los problemas planteados en la investigación.

Mediante la hipótesis explicamos y predecimos los fenómenos u eventos, incluso contralamos por ser éste una investigación experimental. Verificamos las teorías, aplicando el método hipotético - deductivo, deducimos de un caso general (la teoría – las leyes) en un caso particular. Para lo cual tenemos dos posibles vías: la corroboración de la ciencia o de una ley en particular o su refutación.

El conocimiento en general del ser, la ontología, que no es otra cosa que el estudio de la realidad, tiene que ver con la filosofía y la ciencia.

El presente estudio de investigación forma parte de ese conjunto de investigaciones que se enmarcan dentro de la problemática mundial del cambio climático, ya se explicó en la parte del planteamiento del problema, los residuos agrícolas al no ser tratados en procesos de recirculación, continúan emitiendo gases con efecto invernadero, es decir el CO₂, (por el intercambio gaseoso respiratorio), una mejor forma de aprovechar valiosamente el uso de estos residuos es en la formulación de nuevos productos con valor añadido, productos funcionales y nutracéutico. Como diría Hipócrates de Coz (460-470 a.C.) (antiguo médico de la Grecia antigua) *“Deja que tu comida sea tu alimento y tu alimento sea tu medicina”*, expresión que hace alusión a la nutrición sana, saludable, equilibrada y preventiva de enfermedades mortales como el cáncer, arterioesclerosis, trombosis, etc. La materia prima de esta nueva industria de productos funcionales y nutracéuticos son las cáscaras, tallos en suma restos agrícolas, que representan una fuente valiosa de componentes bioactivos subutilizados en la actualidad.

A si mismo pretendo invitar a la reflexión, para que los demás investigadores, formulen trabajos de investigación que tengan directa repercusión en la problemática local, nacional e internacional y sean tomadas en cuenta en la formulación de políticas preventivas de salud, combate eficaz del cambio climático a través de la reducción de las emisiones de gas carbónico y desarrollo de nuevos productos con valor añadido. Repercusión que, de darse a nivel mundial, podrían llegar a sensibilizar a aquellos países mayores contaminadores en el mundo con la emisión de gases con efecto invernadero (GEI), el acuerdo internacional del protocolo de Kioto. O al menos cumplir con el objetivo del milenio referente a la sostenibilidad del medio ambiente.

Del mismo modo tenemos los investigadores la tarea de utilizar las tecnologías verdes, no agresoras con el medio ambiente, reduciendo al máximo los efectos contaminantes que pueden dar a lugar. Los conocimientos nuevos que se generan producto de la actividad indagatoria científica, con el propósito de conocer el mundo en que vivimos, tratar de dar una explicación a un hecho, problema u evento que despierta interés, interés colectivo para resolver los grandes problemas que aquejan a la humanidad, para satisfacer plenamente sus necesidades.

III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

El presente estudio es de naturaleza aplicada y experimental. Correlativa con causa y efecto.

3.2 Población y muestra

Tuna (*Opuntia ficus indica* L, *mil*,) variedad morada, procedente del Callejón de Huaylas de la provincia de Carhuaz.

La unidad de análisis fue la tuna morada, recolectadas de la zona provincia de Carhuaz. Se llegaron a obtener 10 kg.

3.3 Operacionalización de variables

La operacionalización de variable se presentó en la siguiente Tabla 11 Operacionalización de variables

Tabla 11

Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operativa	Indicador	Unidad	Fuente instrumento	o
Independiente	Temperatura de extracción Factor extrínseco de mayor incidencia en la extracción de antioxidante en vegetales	Temperatura de extracción. Es la temperatura a la que se va a someter la cáscara de tuna morada en el proceso de extracción de antioxidantes	Temperatura de concentración (30-45-60°C)	°C	Equipo ultrasonido Branson	
	Tiempo de extracción Tiempo que se requerirá para extraer las sustancias bioactivas del fruto en permanencia con el solvente a una T° y pH dados	Tiempo de extracción Factor extrínseco asociado a la temperatura que inciden en la extracción de antioxidantes en los vegetales	Tiempo de extracción (30-45-60) minutos	minutos	Cronómetro	
	pH del medio. Escala de medida de acidez o alcalinidad de una sustancia acuosa	pH del medio Escala numérica que mide el potencial de Hidrogeno en las sustancias, se mide a través del potenciómetro o phmetro	pH (4-5,5-7)	pH	Phímetro	
Dependiente: Antioxidantes y capacidad antioxidante	Betalaina Pigmento natural soluble en medios acuosos de amplia variabilidad de colores,	Betalaina Grupo de pigmentos de color rojo púrpura solubles en las vacuolas, se aprovecha su solubilidad para su determinación espectrofotométrica,	Concentración de betalainas	Betanina +betaxantina Mg/100 g	Espectrofotómetro Marca Sinergy, Lector microplaca modelo V-670	
	Polifenoles totales Grupo de sustancias no energéticas presente en los vegetales, pueden	Polifenoles Totales El ácido fosfomolibdotúngstico del reactivo Folin Ciocalteau es reducido por los restos fenólicos determinado espectrofotométricamente	Concentración de PT	Equivalente ácido gálico (mg GAE/100g)	Espectrofotómetro Marca Biotek, Lector microplaca modelo V-670	

mejorar la
salud

Capacidad antioxidante	Capacidad antioxidante	Porcentaje de inhibición	μmol ET/100 g	Espectrofotómetro Marca Biotek, Lector microplaca modelo V-670
Capacidad para disminuir la presencia de las especies reactivas de oxígeno antes del ataque de varios sustratos.	Medida de la estabilización del DPPH (radical inestable) el cual reacciona con el sustrato antioxidante observándose un cambio de color azul violeta a amarillo o incoloro y se determina espectrofotométricamente			

3.4 Instrumentos

Los datos experimentales del presente trabajo de investigación fueron recopilados a través de instrumentos analíticos y sistemas computarizados; que incluyen entre otros, un espectrofotómetro UV/VIS con celdas de cuarzo, rango fotométrico 0,3-3.

3.5 Procedimiento

3.5.1 Análisis morfológico

10 kg de tuna (*Opuntia ficus indica*) fueron recolectadas de las zonas de producción en la región del Callejón de Huaylas de la variedad “morada”. Las muestras de tuna fueron caracterizadas morfológicamente haciendo uso de un vernier, se retiraron las cáscaras para obtener la pulpa, se midió su rendimiento de pulpa y cáscara. Posteriormente se procedió a realizar el análisis de análisis de humedad por el método de AOAC.

3.5.2 Preparación de la muestra

Las muestras serán transportadas al laboratorio a 4°C para acondicionamiento para el estudio de extracción por ultrasonido. Las tunas serán lavadas en una solución de hipoclorito de sodio (3%) para su desinfección, escobilladas para remover las espinas, escurridas y secadas a temperatura ambiente. Se separaron efectuando un corte en los extremos del fruto, la pulpa de la cáscara, haciendo uso de un pelador doméstico. Se cortaron en finas tiritas de dos centímetros de grosor aproximadamente y se congelaron a 4° C para su uso posterior.

3.5.3 Análisis químico proximal

3.5.3.1 Humedad. Se determinó por pérdida de peso del producto sometido a desecación por medio de la estufa a peso constante (AOAC. 930.04)

3.5.3.2 Proteína. Método semi micro Kjendahl, utilizando el factor 6,25 para convertir el nitrógeno a proteína total (AOAC. 978.04)

3.5.3.3 Ceniza. Se determinó por calcinación de la muestra usando una mufla a 600°C por 6 horas (AOAC. 930.05)

3.5.3.4 Grasa. Se determinó por método Gerber, mediante el principio de la fuerza centrífuga y diferencia de densidades AOAC 930.09

3.5.3.5 Carbohidratos. Se obtuvo por diferencia (Collazos, 1993)

3.5.3.6 Fibra dietaria. Método enzimático gravimétrico 985.29

3.5.3.7 Fibra cruda. NTP 205,0031980 (revisada al 2011)

3.5.3.8 Vitamina C. AOAC 967.21 (2019)

3.5.3.9 Kcal de carbohidrato, grasa y proteína descrito por Collazos (1993)

3.5.4 Determinación de betalainas

Se utilizó el método descrito por García et al. (2010) cuyo procedimiento fue el siguiente:

- Se pesó 10 g de muestra (cáscara de tuna) por triplicado
- Se demolió usando mortero y mezclando con una solución de etanol – agua al 80%. Las mezclas se realizaron en tubos de centrifuga de 50 ml. (los 15 tratamientos por triplicado) acondicionado la temperatura, tiempo de sonicación y su pH de acuerdo a la tabla 14 del esquema experimental
- Se filtró con papel Whatman y se protegen las muestras con papel aluminio contra la luz

- Se tomó una alícuota de 1 ml. y se afora a 5 ml con alcohol al 80%
- Se leyeron las absorbancias haciendo uso del espectrofotómetro Marca Sinergy H1. Lector microplaca. Para el caso de las *betacianinas* se utilizó 538 nm y para las *betaxantinas* 476 nm.
- Se realizaron los cálculos en base a la siguiente fórmula: expresada en g de pigmento (*betacianina* o *betaxantina*) por cada 100 g de muestra en base húmeda:

$$\frac{mg \text{ pigmento}}{100 \text{ g mta bh}} = \frac{A.FD.PM}{E}$$

Donde:

A: Absorbancia a 476 nm *betaxantinas* y 538 nm para *betacianinas*

FD: Factor de dilución, en este caso 0,25

PM: Peso molecular del pigmento. *Betacianinas* (550,0 g/mol) y *betaxantinas* (339,3 g/mol)

E: Coeficiente de absortividad o coeficiente de extinción. *Betacianina* (1120 L/mol.cm) y *betaxantina* (750 L/mol.cm) (Soriano-Santos et al., 2007)

3.5.5 Determinación de polifenoles totales

Se aplicó el método Folin-Ciocalteu. Se basa en que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo Folin Ciocalteu a pH básico, dando lugar a una coloración azul susceptible de ser identificada por el espectrofotómetro a 739 nm.

- a) Se inició preparando las soluciones generales
- El ácido gálico (solución patrón)

Se pesó 45 mg de ácido gálico, la que es colocado en una fiola de 100 ml y se afora con agua destilada (450 µg/ml)

- Carbonato de sodio al 20%

Se pesó 2 g de Na_2CO_3 , se colocó en una fiola de 10 ml y se aforó con agua destilada y se llevó al baño ultrasónico por 5 minutos para una mejor homogenización.

- Folin Ciocalteu 2N

Se llevó 5 ml de Folin Ciocalteu (2N) a una fiola de 100 ml y se aforó con agua destilada

b) Preparación de soluciones para muestras sólidas

- Metanol/agua (50:50 v/v)

- Acetona/agua 70:30 v/v

- Ácido clorhídrico 2N

Se llevó a 14,1 ml de ácido clorhídrico a una fiola de 25 ml y se aforó con agua destilada

c) Extracción de muestras sólidas

- Se pesó 0,54 g de muestra, se agregó 20 ml metanol - agua acidificada 50:50 v/v a pH 2 con HCl 2N

- Se agita, se le centrifuga a 3000 rpm por 20 minutos

- Se separa el sobrenadante (A)

- Al residuo se agrega 20 ml de solución acetona-agua 70:30 v/v

- Se agita a 180 rpm por una hora, centrifugarlo a 3000 rpm por 20 minutos y se separa el sobrenadante (B)

- Se combinan los sobrenadantes A y B para determinar los PT

d) Curva de calibrado

Para la solución stock de ácido gálico (450 $\mu\text{l}/\text{ml}$) se pesa 45 mg de ácido gálico y se reconstruye en 100 ml con agua destilada en matraz aforado

Se realizaron soluciones (volumen de 1250 μl) a partir de la solución madre de ácido gálico (450 $\mu\text{g/ml}$) de la siguiente manera:

- 20 μl AG + 100 μl F-C + 50 μl Na_2CO_3 + 1080 μl agua destilada (7,2 $\mu\text{g/ml}$)
- 40 μl AG + 100 μl F-C + 50 μl Na_2CO_3 + 1060 μl agua destilada (14,4 $\mu\text{g/ml}$)
- 60 μl AG + 100 μl F-C + 50 μl Na_2CO_3 + 1040 μl agua destilada (21,6 $\mu\text{g/ml}$)
- 80 μl AG + 100 μl F-C + 50 μl Na_2CO_3 + 1020 μl agua destilada (28,8 $\mu\text{g/ml}$)
- 100 μl AG + 100 μl F-C + 50 μl Na_2CO_3 + 1000 μl agua destilada (36 $\mu\text{g/ml}$)
- Blanco (100 μl F-C + 50 μl Na_2CO_3 + 1100 μl agua destilada)

e) Preparación de la muestra: cáscara de tuna morada

Se diluyó 1 ml de muestra extraída + 9 ml de agua destilada (1:10). De la muestra diluida se lleva 800 μl a un vial, se agregó 50 μl de F-C se agitó y se dejó reposar por 5 minutos, luego se agregó 100 μl de Na_2CO_3 y 500 μl de agua destilada, se dejó las muestras en reposo en un ambiente oscuro por 2 horas. Posteriormente se colocó en los pocillos de la microplaca y se procedió a la lectura en el espectrofotómetro a 739 nm, Se realizó por duplicado.

f) Análisis de datos

- Se utilizó el programa Gen 5.2.06 propio del equipo espectrofotómetro
- Se realizó la media de las absorbancias del blanco
- Se procedió a efectuar la diferencia entre el valor promedio del blanco a la absorbancia de los patrones de ácido gálico y las muestras. Esto es BLK 739
- Se procede a graficar de la BLK 739 de los patrones (eje Y) frente a la concentración de los patrones $\mu\text{l/ml}$ (eje x)

- Se calculó la concentración del ácido gálico de las muestras usando la ecuación obtenida de la regresión lineal de la curva patrón y multiplicando posteriormente por el factor de dilución

3.5.6 *Determinación de la actividad antioxidante*

El método utilizado es del DPPH para determinar la capacidad antioxidante en productos vegetales. Se determina por el descenso en la absorbancia a 515 nm de una solución metanólica de radical difenil 1 picrilhidrazil (DPPH) en presencia de las distintas muestras en donde la solución del radical DPPH es la absorbancia inicial: A_o (Taipong et al., 2006). El DPPH con el radical oxidado presenta un color inicial morado que a medida que se va reduciendo se torna amarillo. Esta diferencia de color permite cuantificar el porcentaje de DPPH reducido mediante la siguiente fórmula:

$$\%DPPH = \frac{A_o - A_m}{A_o} \cdot 100$$

Siendo A_o : absorbancia del DPPH y A_m la absorbancia de la muestra

a) Preparación de soluciones generales

- Solución DPPH 1 mM

Se pesó 0,02 g de DPPH, se colocó en una fiola de 50 ml y se aforó con agua destilada

- Solución madre de Trólox 1 mM

Se pesó 0,0125 g de Trólox, se colocó en una fiola de 50 ml y se aforó con metanol absoluto

b) Preparación de soluciones para muestras sólidas (harinas)

- Metanol/Agua 50:50 v/v

Se realizó la proporción en base a las muestras que se deseó extraer: 20,40,60 ml etc.

- Acetona/agua 70:30 v/v

Se realizó la proporción en base a muestras que se deseó extraer 20,40,60 ml etc.

- Ácido clorhídrico 2N

Se llevó 14,4 ml de ácido clorhídrico a una fiola de 25 ml y se aforó con agua destilada

c) Extracción de muestras sólidas

- Se pesó 1 g de muestra (harina)
- Se agregó 20 ml de solución metanol/agua acidificada a 50:50 v/v a pH 2 con HCl 2N
- Se aplicó el baño ultrasónico por 30 minutos
- Se centrifugó a 5 000 rpm por 20 minutos
- Se separó el sobrenadante al que llamamos: A
- Al residuo se le agregó 20 ml de solución acetona/agua 70:30 v/v
- Se le aplicó el baño ultrasónico por 30 minutos
- Se le centrifugó a 5 000 rpm por 20 minutos
- Se separó el sobrenadante al que llamaremos: B
- Se combinó los dos sobrenadantes A y B para realizar la determinación de polifenoles totales.

d) Curva de calibrado

Preparamos las diferentes concentraciones para la curva del calibrado

Tabla 12

Concentraciones para curva de calibrado

Concentración Trolox (μM)	Volumen de solución madre de trolox 1 mM (ml)	Volumen de metanol (ml)
500	1	1
400	1	1,5
200	1	4
100	0,5	4,5

50	1 ml de 100 μ M	1
25	1 ml de 50 μ M	1
10	0,5 ml de 100 μ M	4,5
5	1 ml de 10 μ M	1

e) Procedimiento en microplacas

- Absorbancia inicial (Ao). Agregamos DPPH + metanol absoluto a una absorbancia cercana a 0,800
- Curva de calibrado (STD). Agregamos por triplicado 10 μ l de cada concentración de tabla 10 y 190 μ l de DPPH ajustado (Am)
- Blanco (BLK) Agregamos 200 μ l de metanol absoluto directo a las microplacas sin tiempo de incubación
- Muestras (SPL). Agregamos 10 μ l de muestras a analizar con 190 μ l de DPPH ajustado (Am)
- Aplicamos la fórmula para determinar porcentaje de DPPH reducido en curva de calibrado y muestras

$$\%DPPH = \frac{A_o - A_m}{A_o} \cdot 100$$

Ao: Absorbancia del DPPH y Am es la absorbancia de la muestra

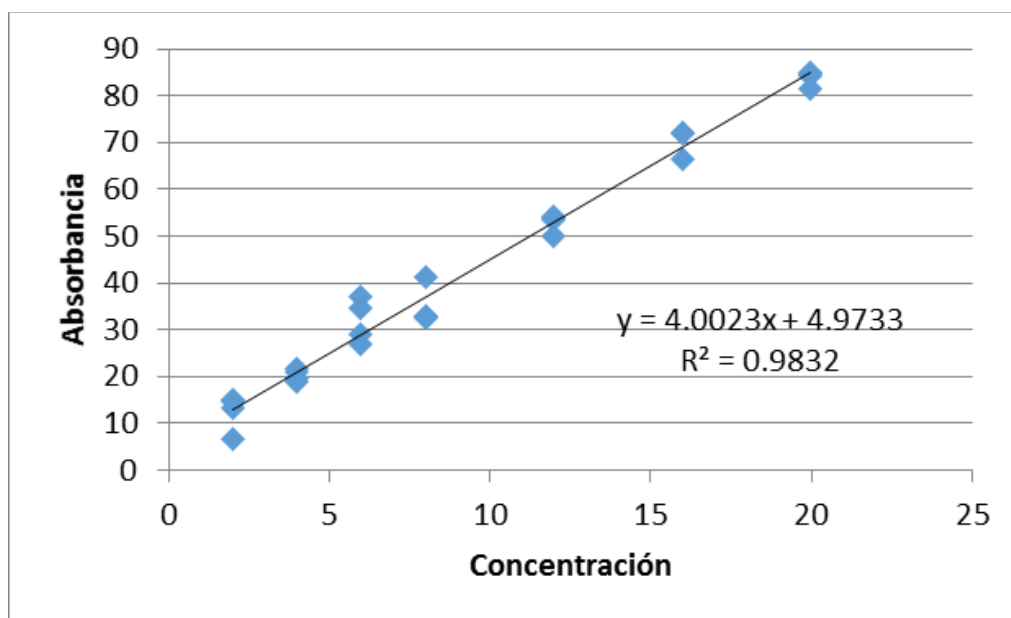
Tabla 13

Curva de calibrado, blancos y muestras

Curvas de calibrado									Blanco	Muestras	
Ao	STD1	STD2	STD3	STD4	STD5	STD6	STD7	STD8	BLK	SPL1	SPL2
Ao	STD1	STD2	STD3	STD4	STD5	STD6	STD7	STD8	BLK	SPL1	SPL2
Ao	STD1	STD2	STD3	STD4	STD5	STD6	STD7	STD8	BLK	SPL1	SPL2

f) Análisis de datos

- Se aplicó el programa Gen 5.2.06
- Se efectuó la media de la absorbancia del blanco
- Se resta el valor medio de la absorbancia del blanco la absorbancia de concentraciones de Trolox y las muestras. Esto es BLK 515
- Se graficó: Porcentaje de DPPH reducido calculado de los patrones (eje y) frente a la concentración de los patrones Trolox en $\mu\text{Mol/ml}$ (eje x)
- Se calculó $\mu\text{Mol/ml}$ de Trolox de las muestras usando la ecuación obtenida de la regresión lineal de la curva patrón y multiplicando posteriormente por el factor (si la muestra fue diluida)

Figura 13*Ejemplo de Curva de calibración DPPH*

Nota: presentado por Barrales - Cureño

$$Y = ax + b$$

$$\% \text{DPPH Reducido} = a(\mu\text{Mol Trolox}) + b$$

3.6 Análisis de datos

3.6.1 Optimización de los procesos de extracción por ultrasonido

Para la optimización del proceso de extracción de betalaínas se llevó a cabo utilizando un diseño de superficie de respuesta modelo Box Benkhem, para lo cual nos apoyamos de un software estadístico Statphgrafic Centurión versión 18, tomando en cuenta 3 factores con 3 niveles (se muestra en la tabla 06). Cuyos factores serán X_1 : Temperatura de extracción (30-60)°C, X_2 : Tiempo de extracción (30-60) minutos y X_3 Nivel de pH (4,0-7,0). Cuyas variables respuestas son: Y_1 : Contenido de betalaínas por el método espectrofotométrico (mg/100 g), Y_2 : Polifenoles totales (mg GAE/100g) y Y_3 : Actividad antioxidante (DPPH) $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g}$.

El diseño estadístico tiene la forma de un cubo con centros en las caras, en la práctica se requieren 15 pruebas en un 1 bloque con 3 puntos centrales para la estimación del error experimental. (Gutiérrez y De la Vara, 2012)

Tabla 14

Esquema del diseño experimental

Nro Tratamiento	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	pH
1	60	45	4,0
2	45	45	5,5
3	60	30	5,5
4	45	30	4,0
5	45	30	7,0
6	60	60	5,5
7	45	45	5,5
8	45	60	4,0
9	30	45	7,0
10	30	60	5,5
11	60	45	7,0
12	45	45	5,5
13	30	30	5,5
14	30	45	4,0
15	45	60	7,0

Nota: Extraído del Statgraphic Versión 18

3.7 Consideraciones éticas

En el estudio se ha tomado en cuenta todas las investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional realizadas en el intento de obtener la extracción óptima de antioxidantes más importantes de la cáscara de tuna: betalaínas y polifenoles totales, así como la medición de su poder antioxidante.

Se ha respetado las citaciones de los autores según la norma APA. Se ha respetado el Programa nacional transversal de valorización de la biodiversidad (2015-2021).

IV. RESULTADOS

4.1 Análisis morfológicos

4.1.1 Peso

En la siguiente tabla se presenta los resultados de los pesos de la fruta entera, la pulpa y cáscara de tunas moradas

Tabla 15

Pesos de la fruta entera, pulpa y cáscara

Muestras	Peso de tuna entera (g)	Peso de pulpa (g)	Peso cáscara (g)
1	103,4	65,3	38,1
2	121,4	73,6	47,8
3	108,6	68,5	40,1
4	133,0	75,5	57,5
5	116,8	62,7	54,1
6	118,9	67,0	51,9
7	124,2	78,1	46,1
8	137,8	87,0	50,8
9	102,2	57,0	45,2
10	111,4	60,4	51,0
Promedio	117,8	70,0	48,3
Porcentajes	100,0%	59,4%	40,6%

4.1.2 Medidas biométricas

En la siguiente tabla se presenta los resultados de las medidas biométricas de muestras de tuna

Tabla 16*Medidas biométricas de tuna morada*

Muestras	Largo (cms)	Ancho (cms)	Espesor (cms)
1	8,1	5,6	0,5
2	8,6	5,2	0,5
3	9,4	5,4	0,3
4	10,3	5,6	0,5
5	10,2	5,3	0,7
6	9,31	5,3	0,5
7	9,5	5,3	0,4
8	9,5	5,7	0,5
9	8,1	5,1	0,7
10	9,3	5,6	0,5
Promedio	9,2	5,4	0,5

4.2 Análisis físico químicos

En la tabla 17 se muestran los análisis físico químicos

Tabla 17*Análisis físico o químico de la cáscara de tuna*

Análisis físico o químico	Contenido	Promedio
Humedad (%)	86,82 – 86,82	86,82
Proteína (g/100 g mta)	0,42 – 0,43	0,43
Ceniza (g/100 g mta)	1,98 – 2,03	2,0
Grasa (g/100 g mta)	0,01 – 0,01	0,01
Carbohidratos	10,8	10,8
Fibra cruda (g/100 g mta)	0,89 – 0,93	0,9
Fibra dietaria (g/100 g mta)	39,72 – 40,76	40,05
- Soluble	9,16 – 9,66	9,37
- Insoluble	30,56 – 31,10	30,68 g
Vitamina c (g/100 g mta)	57,95 – 57,95	57,95
pH	4,5 – 4,6	4,5
Acidez (Ac, Cítrico) %	0,091 – 0,093	0,092
% Kcal de carbohidratos		9,4
%Kcal de grasas		0
% Kcal de proteínas		3,6

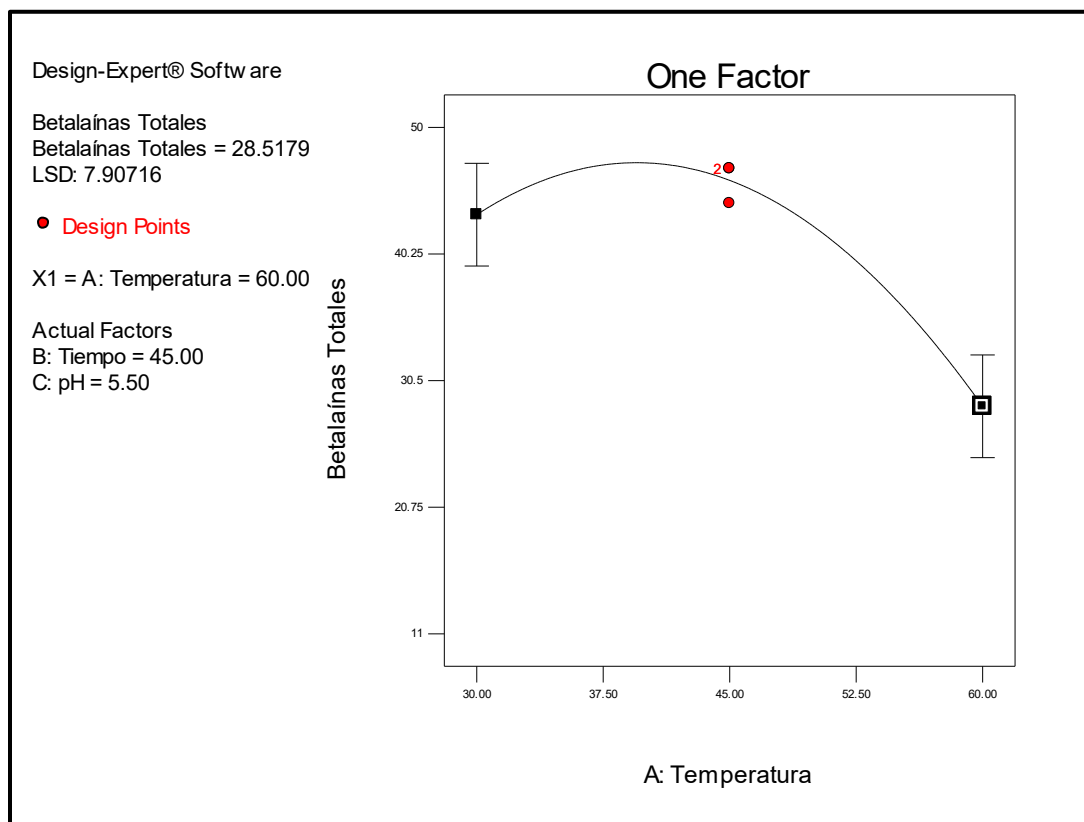
4.3 Betalaínas

4.3.1 Comportamiento de las betalaínas frente a la temperatura

El comportamiento de las betalaínas presentes en la cáscara de la tuna, aplicando temperaturas de 30°C a 60° C en el sonicador fue la siguiente:

Figura 14

Comportamiento de las betalainas a diferentes temperaturas



Nota. Diseño extraído del Desing Expert v 7,0

Se puede apreciar que conforme se incrementa la temperatura el contenido de betalainas va aumentando en el rango de 30°C a 39,6 °C, y produciéndose en este punto una inflexión cuyo valor en betalainas es 47,36 mg/100 g.

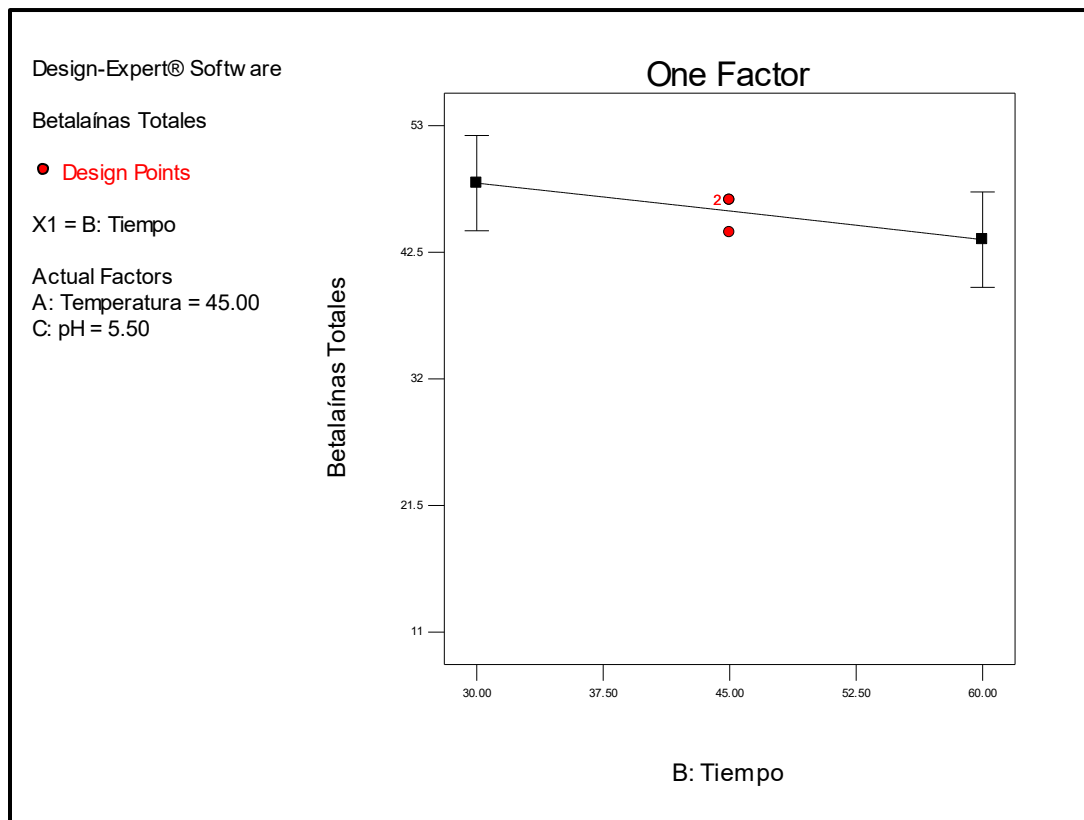
El mínimo valor en betalainas se produjo a 60° C con un valor de 28,52 mg/100g, siendo la temperatura inicial de 30°C el valor es 47,36 mg/100 g, hay una reducción del 65,91%. Resulta existir diferencias significativas entre las temperaturas aplicadas según el resultado ANVA tratamientos a un nivel de confianza del 95% (ver tabla 19) (manteniendo los otros dos factores en su valor intermedio; es decir a tiempo 45 minutos y pH 5,5).

4.3.2 Comportamiento de las betalaínas frente al tiempo

El comportamiento de las betalaínas presentes en la cáscara de la tuna, aplicando tiempos de sonicación que varía desde 30 minutos a 60 minutos en el sonicador fue la siguiente:

Figura 15

Comportamiento de las betalaínas a diferentes tiempos



Nota. Extraído del Desing expert v. 7,0

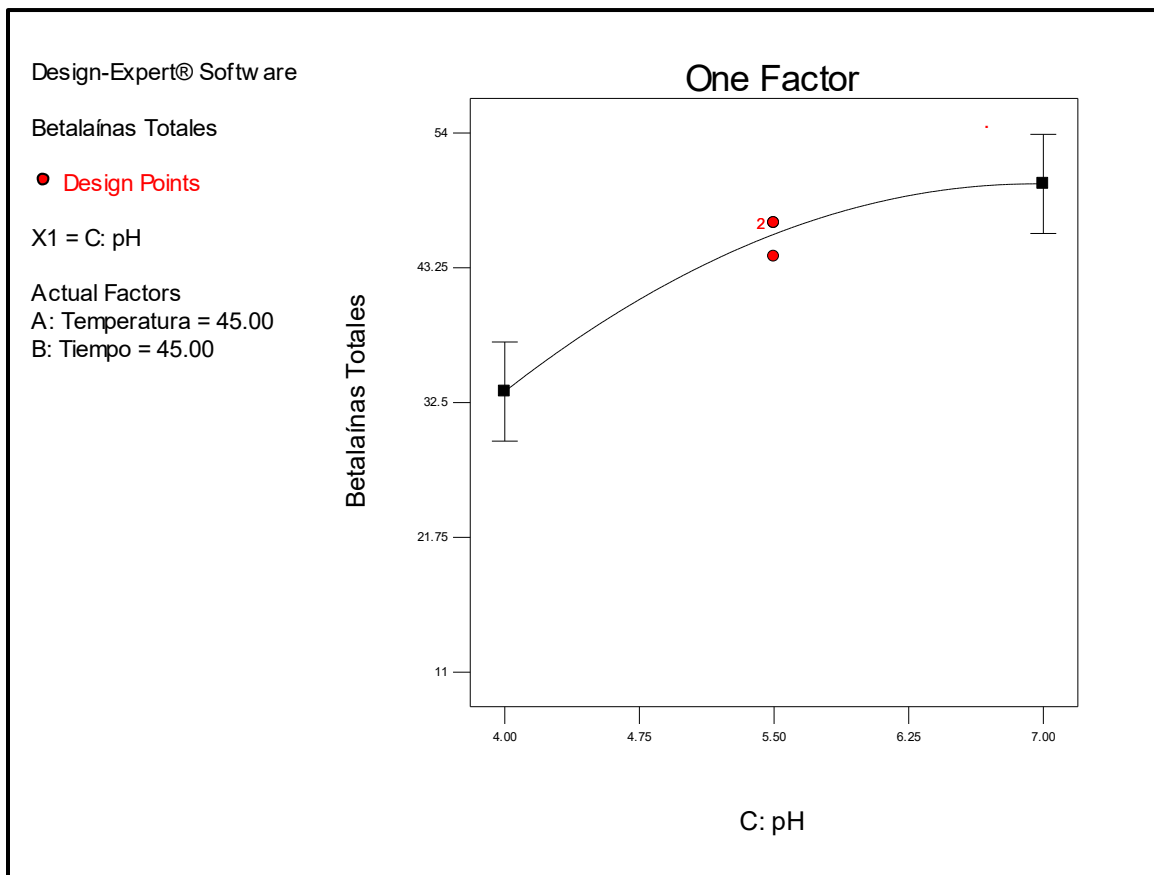
Conforme progresa el tiempo de sonicación de 30 a 60 minutos el valor de betalaínas totales disminuye lentamente hasta en un 9,72 %, siendo el mínimo y máximo valor: 43,53 y 48,23 mg/100 g, (manteniendo los otros dos factores en su valor intermedio; es decir a T° 45 y pH 5,5). Según el cuadro ANOVA resulta ser no significativo a un nivel de confiabilidad del 95% con respecto a esta variable. (Ver Tabla 19).

4.3.3 Comportamiento de las betalaínas frente al pH

Los contenidos de betalaínas al hacer variar el medio de pH de 4,0 a 7,0 se presentan el siguiente comportamiento con respecto a las betalaínas totales.

Figura 16

Comportamiento de betalaínas a diferentes pH



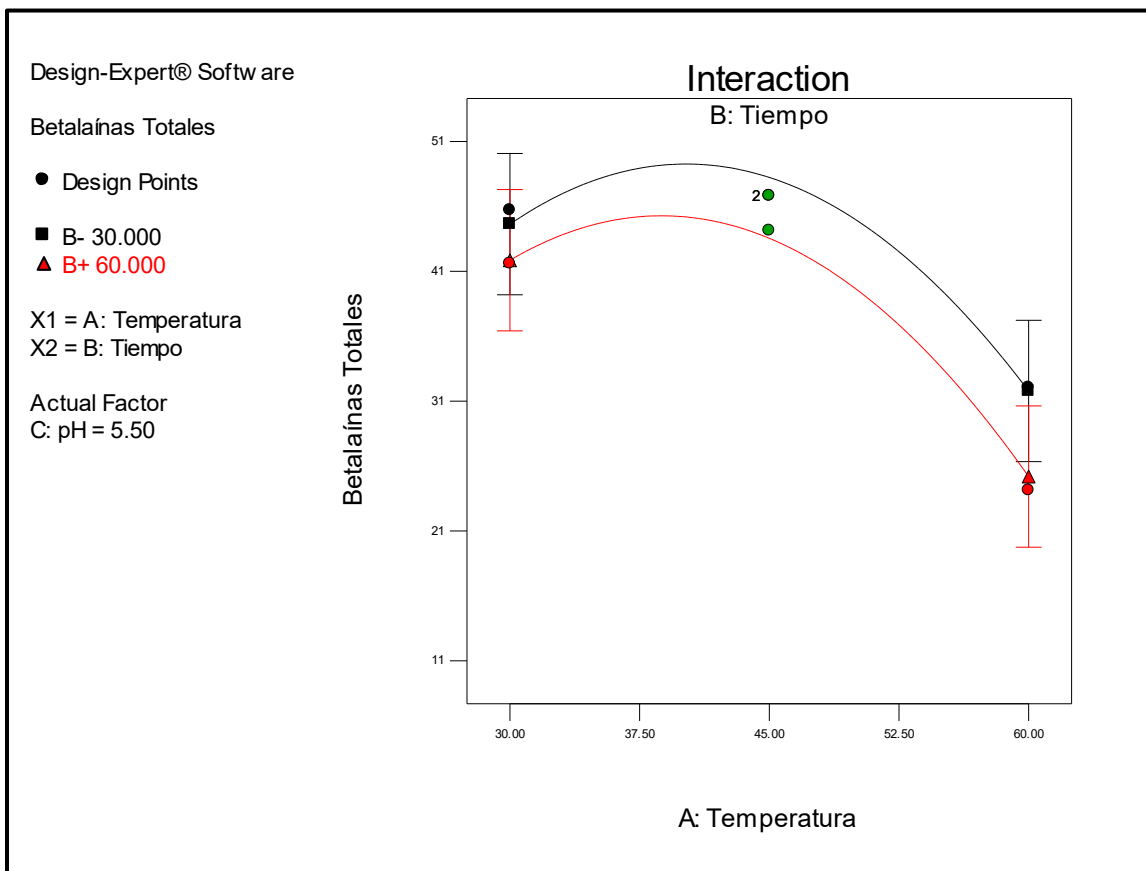
Nota. Extraído del Design Expert v 7,0

Como se puede apreciar de la figura existe un incremento del valor de las betalaínas totales si partimos de un pH de 4,0, a pH 7,0 de 33,37 mg/100 g a 49,94 mg/100 g en 149,7% (manteniendo los otros dos factores en sus valores intermedios). Según el análisis ANOVA arrojado por el aplicativo Design Expert Versión 7,0 resulta significativo la variable pH frente a las BT. (Ver tabla 19).

4.3.4 Comportamiento de las betalaínas frente a la interacción temperatura y tiempo

Figura 17

Interacción de la temperatura y el tiempo frente a las betalaínas



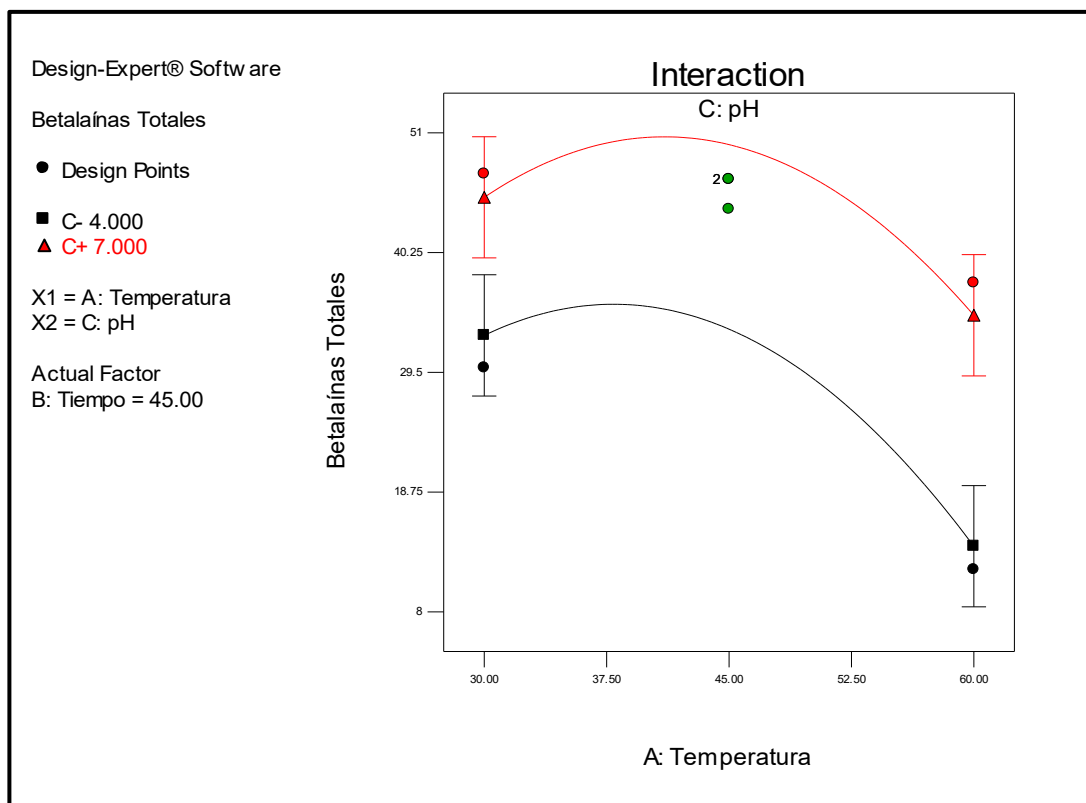
Nota. Extraído del aplicativo Design Expert v 7,0

El contenido de betalaínas totales es mayor en un tiempo de 30 minutos; cuyo valor máximo se logra a una temperatura de 41°C y es de: 49,30 mg/100 g (curva de color negro), comparado con un tiempo de 60 minutos que es de: 45,13 mg/100 g (curva color rojo) y llega a un máximo cuando aumentamos a una temperatura de 37,5. Si se sigue aumentando la temperatura el contenido de betalaínas totales comienza a disminuir.

4.3.5 Comportamiento de las betalainas frente a la interacción pH y temperatura

Figura 18

Interacción entre el pH y la temperatura frente a las betalainas



Nota: Extraído del Design Expert v 7,0

De la figura se puede apreciar que se logra mayor concentración de betalainas totales a un pH 7,0 comparado a un pH 4,0. La tendencia de maximización es alrededor de la 37,5 °C, siendo el valor de betalainas 50,67 mg/100 g y de 35,01 mg/100 g respectivamente. Seguido de la faceta de declive cuando la temperatura se va incrementando conforme llega a los 60° C.

4.3.6 Análisis estadístico y superficie de respuesta de las betalainas

Tabla 18

Efectos estimados para las betalainas

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	45,9189	1,99598	
A:Temperatura	-14,7549	2,44457	1,0
B:Tiempo	-4,68675	2,44457	1,0
C:pH	16,5633	2,44457	1,0
AA	-20,0473	3,59831	1,01111
AB	-1,9067	3,45715	1,0
AC	4,16705	3,45715	1,0
BB	-0,0631083	3,59831	1,01111
BC	-0,4274	3,45715	1,0
CC	-8,52526	3,59831	1,01111

Nota. Errores estándar basados en el error total con 5 g.l.

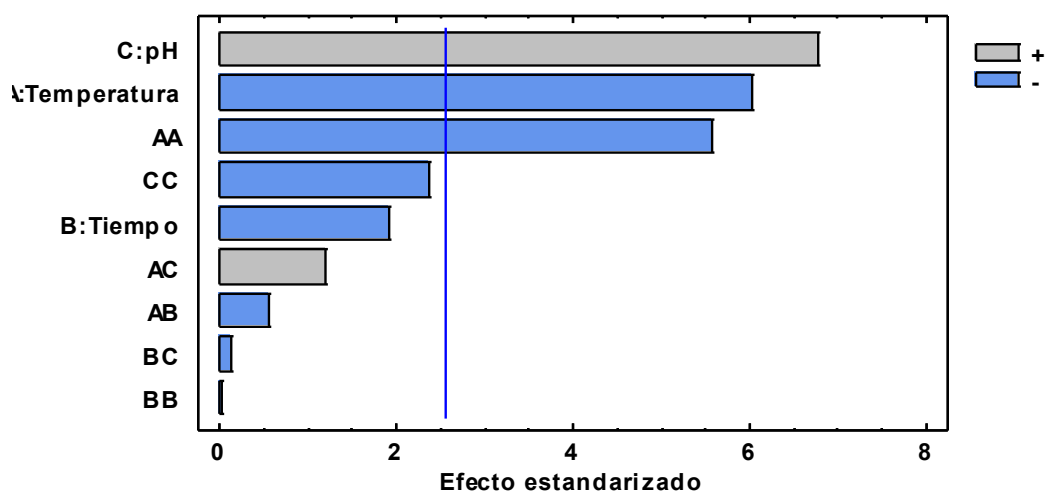
El StatAdvisor

Esta tabla muestra las estimaciones de cada uno de los efectos y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. El factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande es igual a 1,01111. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1.

Para graficar los estimados en orden decreciente de importancia, seleccionamos el Diagrama de Pareto de la lista de Opciones Gráficas. Para probar la significancia estadística de los efectos, seleccionamos la Tabla ANOVA de la lista de opciones tabulares, opcionalmente se puede retirar los efectos significativos, pero se prefiere mantenerlos.

Figura 19

Diagrama de Pareto estandarizada para las Betalaínas



Según el diagrama de Pareto (fig. 19) realizado nos indica que el pH, la temperatura, la expresión cuadrática de la temperatura tienen un efecto estandarizado significativo con respecto a las betalaínas a un nivel de confianza del 95% según el ANOVA, siendo no significativo el factor tiempo y las interacciones, de acuerdo al p-valor obtenido (ver tabla 19).

Tabla 19*Análisis de varianza para las betalainas*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Temperatura	435,413	1	435,413	36,43	0,0018*
B: Tiempo	43,9313	1	43,9313	3,68	0,1133
C: pH	548,684	1	548,684	45,91	0,0011*
AA	370,978	1	370,978	31,04	0,0026*
AB	3,6355	1	3,6355	0,30	0,6050
AC	17,3643	1	17,3643	1,45	0,2820
BB	0,0036763	1	0,0036763	0,00	0,9867
BC	0,182671	1	0,182671	0,02	0,9064
CC	67,0893	1	67,0893	5,61	0,0640
Error total	59,7593	5	11,9519		
Total (corr.)	1 528,88	14			
R ² = 96,09 % R ² (ajustada por g.l.) = 89,06%				* significativo	

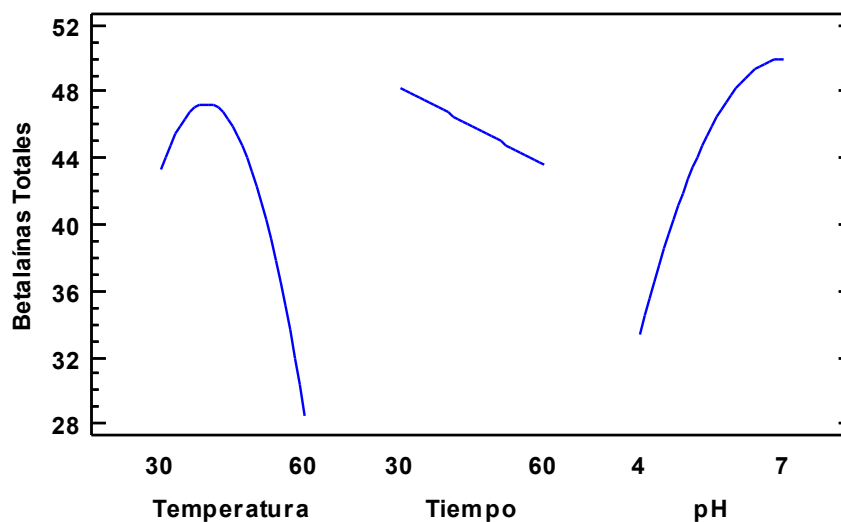
En este caso, 3 efectos tienen una p-valor < 0,05, indicando que son estadísticamente significativos a un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R² indica que el modelo, explica 96,09 % de la variabilidad en betalainas totales. El estadístico R² ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes es 89,05 %. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 3,45715. El error medio absoluto (MAE) de 1,75028 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Debido a que el p-valor es < 5% hay una indicación de posible correlación serial al nivel de significancia del 5%. Grafique los residuos versus el orden de fila para ver si hay algún

patrón que pueda detectarse.

Figura 20

Efectos principales para las betalainas



Los coeficientes de regresión para el modelamiento matemático fueron los siguientes:

Tabla 20

Estimación de los coeficientes

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	-91,102
A:Temperatura	3,19899
B:Tiempo	0,0993044
C:pH	22,621
AA	-0,0445495
AB	-0,00423711
AC	0,0926011
BB	-0,000140241
BC	-0,00949778
CC	-1,8945

El StatAdvisor

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

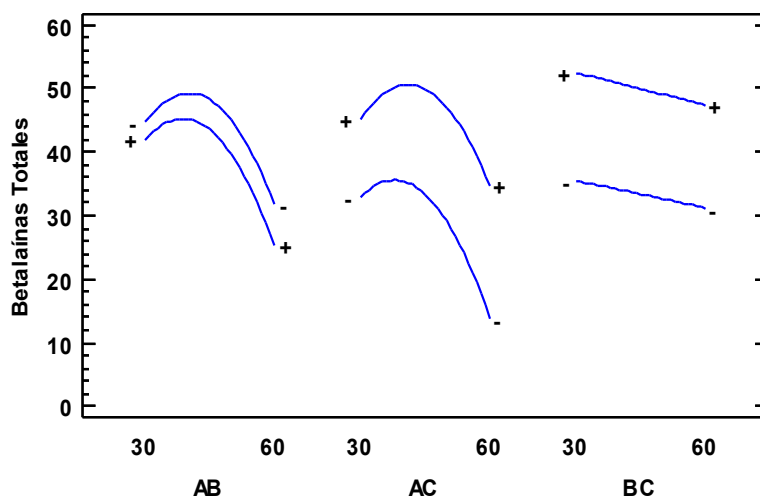
$$BT = -91,10200 + 3,19899 T^{\circ} + 0,09930 t + 22,621 \text{ pH} - 0,04455 T^{\circ 2} - 0,00424 T^{\circ} \cdot t + 0,09260 T^{\circ} \text{ pH} - 0,00014 t^2 - 0,00950 t \cdot \text{pH} - 1,8945 \text{ pH}^2$$

Siendo BT: betalaínas totales, T° : temperatura, t: tiempo y pH: potencial de hidrógeno

En donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccionamos predicciones de la lista de opciones tabulares.

Figura 21

Interacción para las betalaínas



Optimizar Respuesta

Meta: maximizar Betalaínas Totales

Valor óptimo = 52,9473 mg/100 g mta

Tabla 21

Factores óptimos para la betalainas totales

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Temperatura (°C)	30,0	60,0	41,6482
Tiempo (Min)	30,0	60,0	30,0
pH	4,0	7,0	6,91207

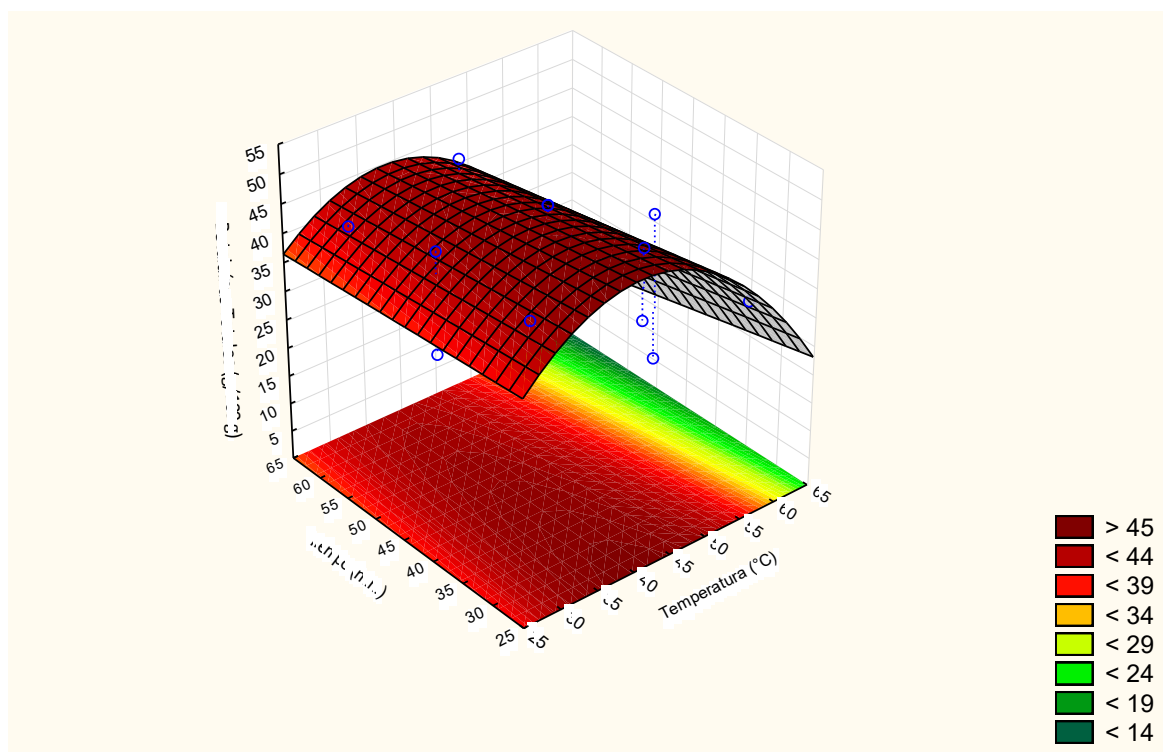
El StatAdvisor

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Betalaínas totales sobre la región indicada. Usamos el cuadro de diálogo de opciones de ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

Las figuras siguientes muestran el resultado de las superficies de respuesta para la betalaina:

Figura 22

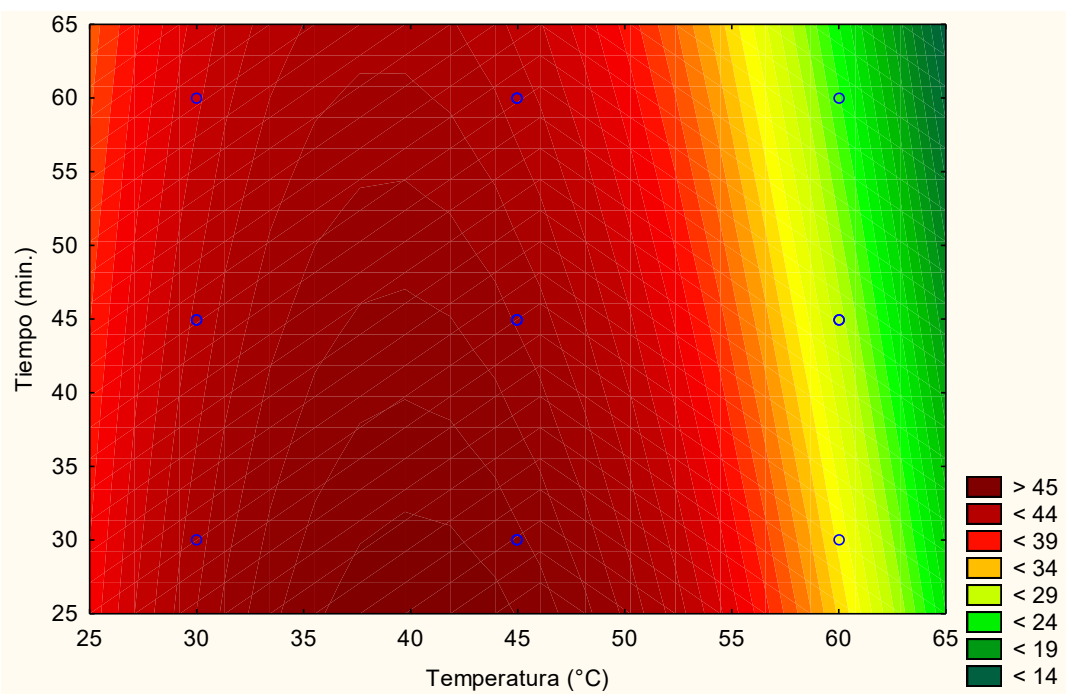
Superficie de respuesta para betalainas frente al tiempo y la T°



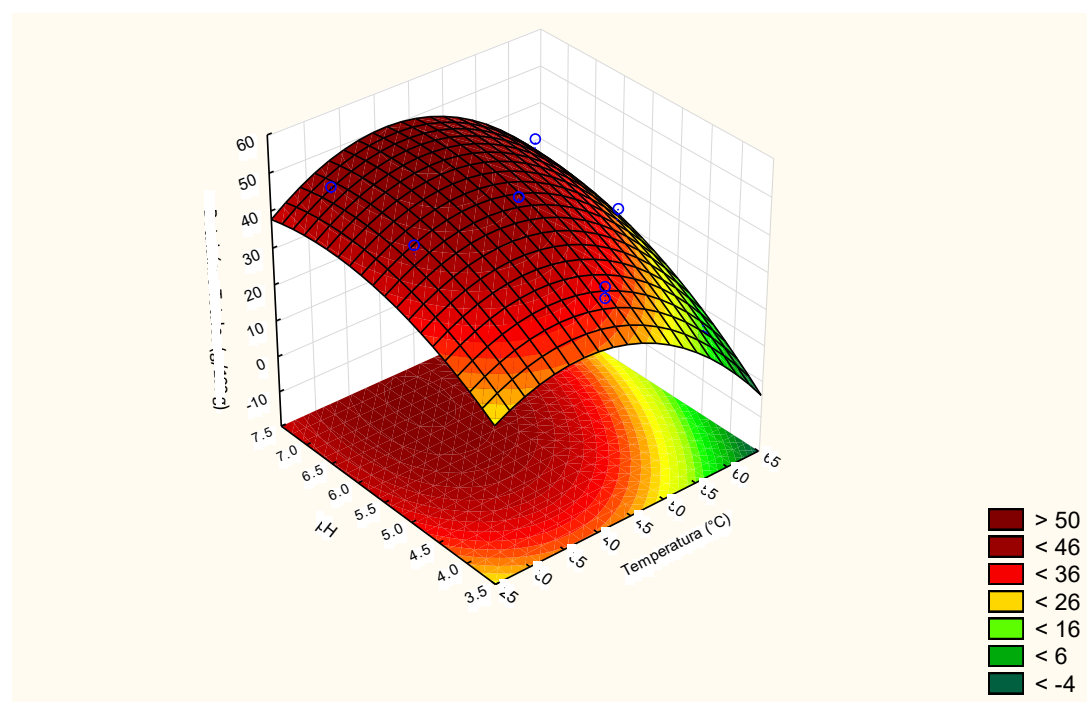
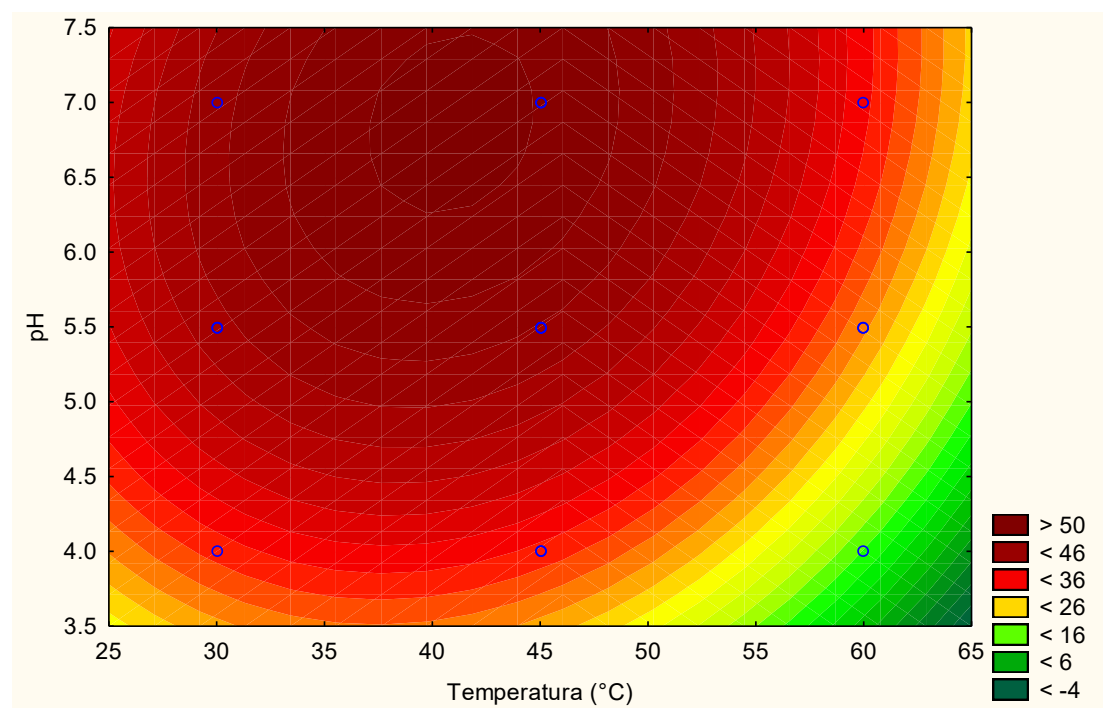
La superficie de contorno de la figura anterior se muestra a continuación:

Figura 23

Superficie de contorno de betalainas Tiempo y T°



Aquellas regiones coloreadas de un color marrón o rojizo marrón reportan mayores cantidades de betalainas alcanzando máximos valores de 45 mg/ 100g a una región, que comprende a la temperatura de 36 °C – 45 °C y 25 - 32 minutos.

Figura 24*Superficie de Respuesta de betalainas pH – T°***Figura 25***Superficie de contorno de betalainas pH – T°*

A un pH cercano a 7,0 y una temperatura de 40°C es la región con mayor tenor de betalainas.

Figura 26

Superficie de respuesta de betalainas pH – Tiempo

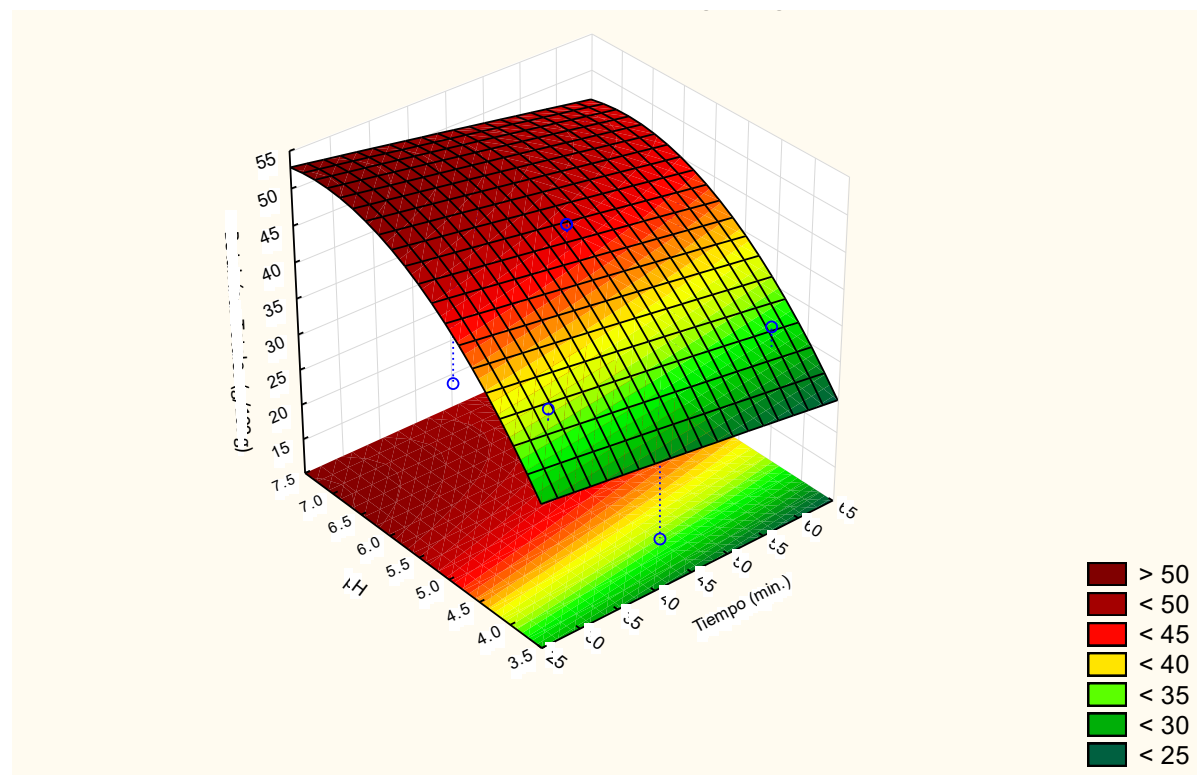
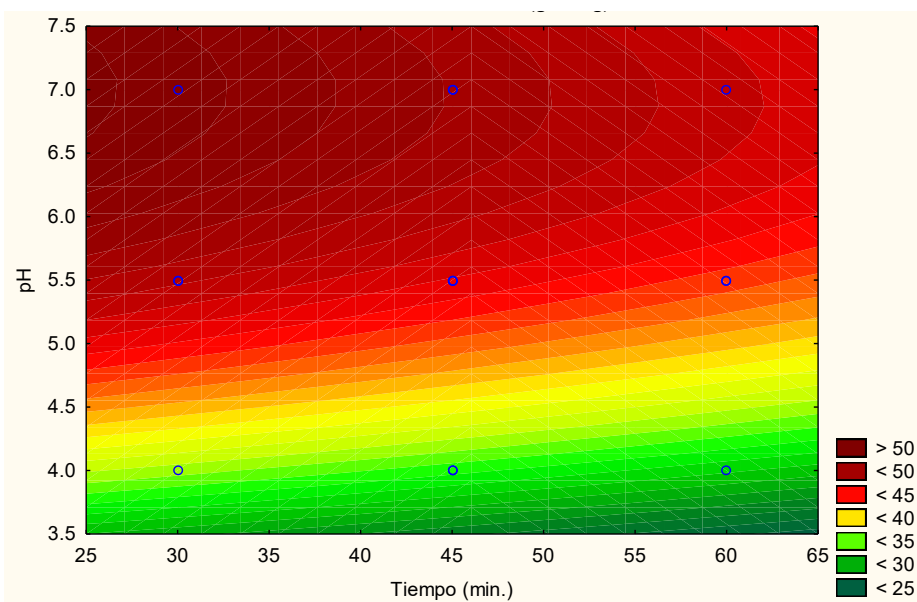


Figura 27

Superficie de contorno de betalainas, 3 factores, pH – tiempo



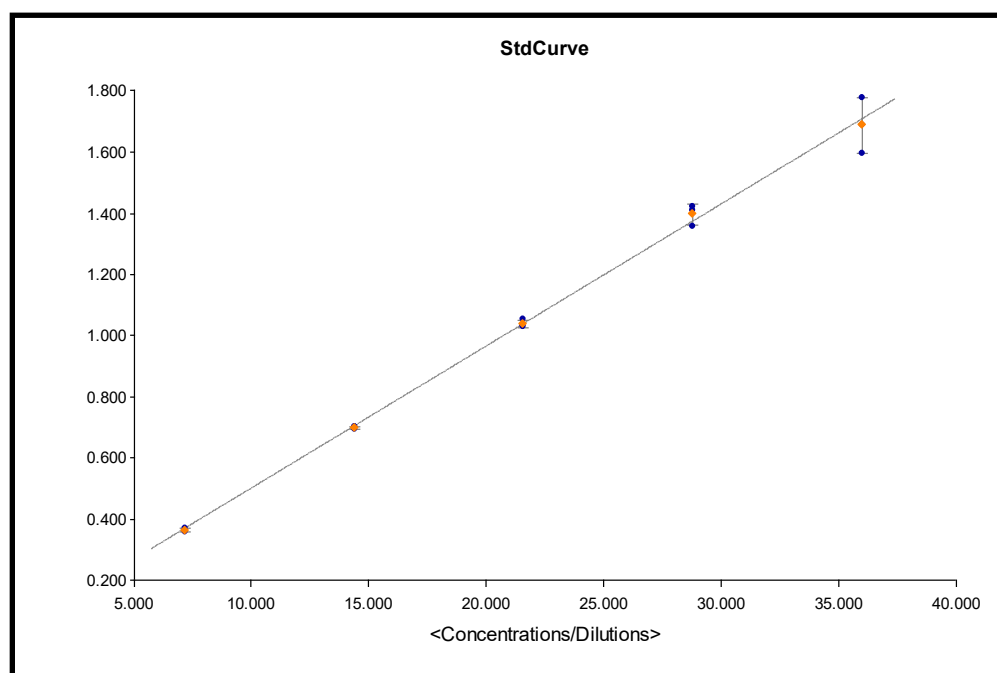
La región que alcanza llegar un contenido superior a 50 mg/ 100g de Betalaina se ubica en un rango de pH de 6,5 – 7,5 y de 25 a 35 minutos.

4.4 Polifenoles totales

De acuerdo al procedimiento señalado en la metodología el modelo requiere de una curva de calibración:

Figura 28

Curva de calibración para PT



Las datos estadísticos de esta curva de calibración son las siguientes:

Tabla 22

Datos de la curva de calibración

Tipo de curva	Valor de “a”	Valor de “b”	R ²
Lineal: $Y = ax+b$	0,0464	0,036	0,999

El contenido de polifenoles totales de las muestras se menciona en la tabla siguiente:

Tabla 23

Contenido de polifenoles totales

Tratamiento	Contenido de polifenoles totales (mg GAE/100g)	Desviación estándar
T1	21,1175	0,2053
T2	21,3589	0,1997

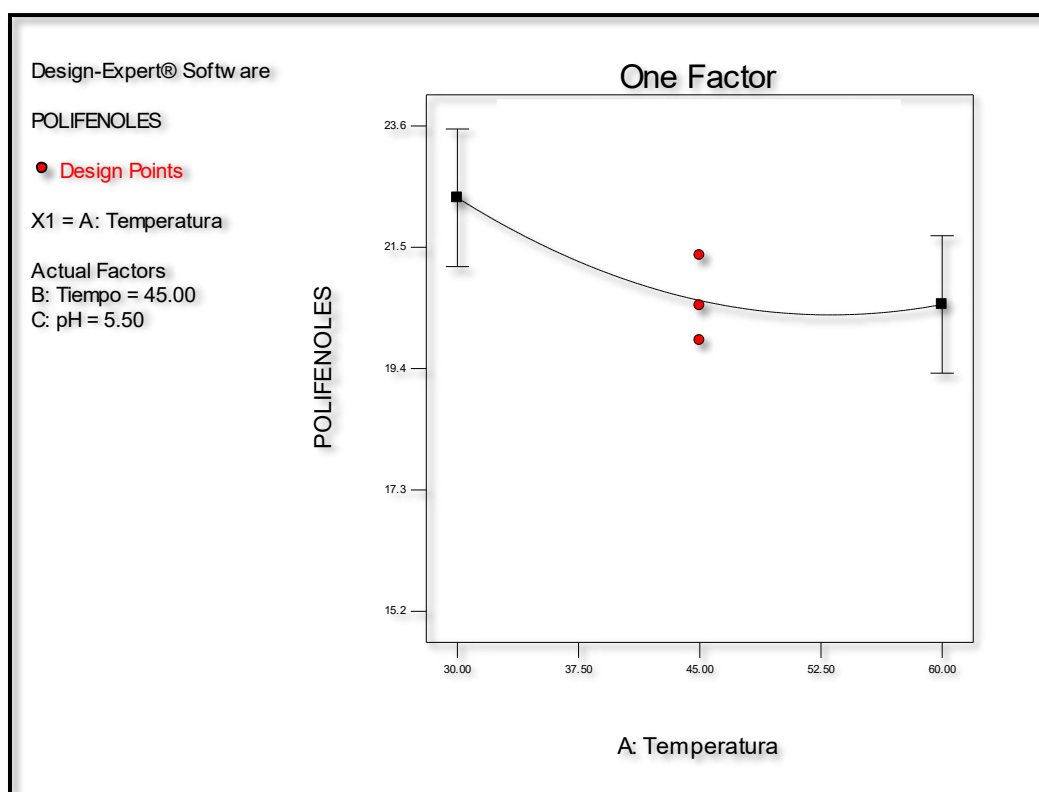
T3	19,7139	0,6490
T4	18,7440	0,1956
T5	18,1441	0,5535
T6	19,0576	0,2033
T7	19,8867	0,4840
T8	21,4120	0,3358
T9	17,6683	0,3358
T10	23,2919	0,1495
T11	17,7864	0,2785
T12	20,4891	0,6569
T13	22,04335	0,5336
T14	22,0561	0,3075
T15	15,2842	0,2311

4.4.1 Comportamiento de los PT con la temperatura

El comportamiento de los PT a diferentes temperaturas en el sonicador, se pueden apreciar en la siguiente figura:

Figura 29

Comportamiento de los PT cuando la temperatura del sonicador varía



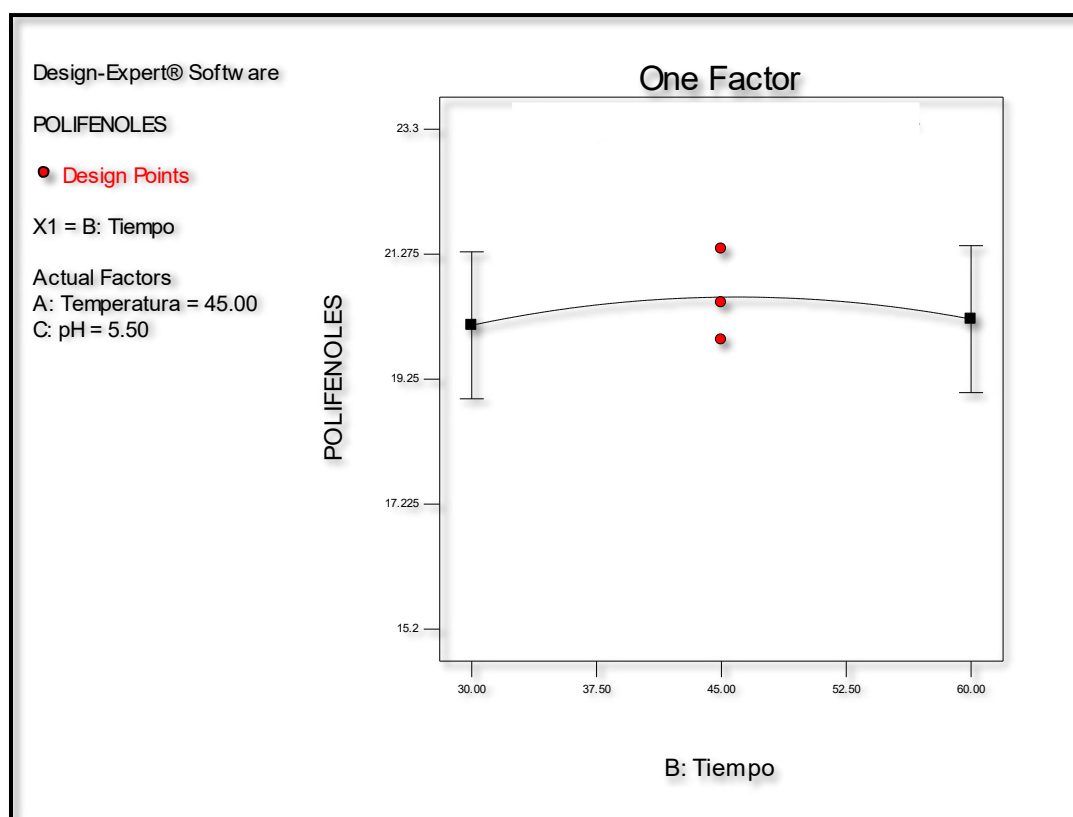
A un nivel de temperatura en el sonicador de 30°C, el valor de polifenoles totales fue de 22,36 mg GAE/100g, conforme avanza la temperatura ésta va disminuyendo sensiblemente hasta llegar a su mínimo valor de 20,34 mg GAE/100g a una temperatura de 54,5°C, desde este punto levemente se incrementa hasta llegar 20,51 mg GAE/100g. Este análisis es manteniendo el otro factor de pH en su valor de intermedio de 5,5.

4.4.2 Comportamiento de los PT con el tiempo

El resultado del comportamiento de polifenoles totales a diferentes tiempos de sonicación se muestra en la siguiente figura:

Figura 30

Comportamiento de los PT a diferentes tiempos en el sonicador



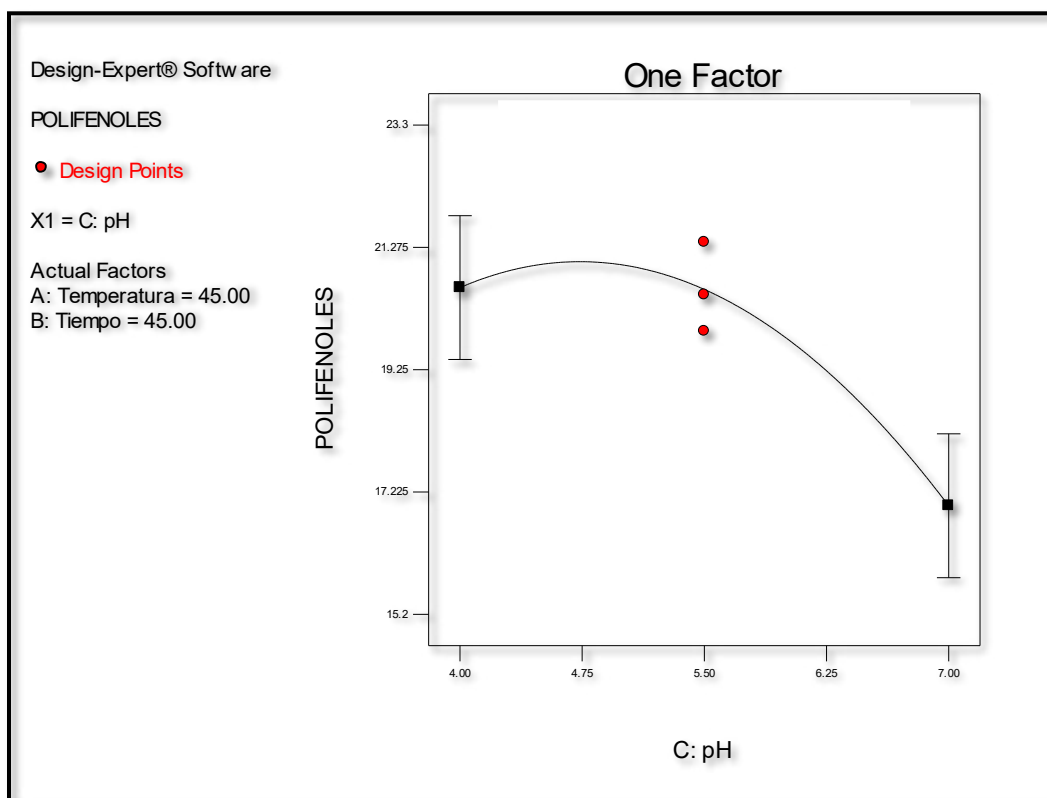
De acuerdo a esta figura los PT a 30 minutos en el sonicador tiene un valor de 20,12 mg GAE/100g se incrementa levemente hasta llegar a un punto máximo de 20,57 mg GAE/100g, esto ocurre a un tiempo de 48,9 minutos. A partir de ahí deviene en un leve decaimiento hasta llegar a un valor de 20,22 mg GAE/100g a los 60 minutos.

4.4.3 Comportamiento de los PT con el medio pH

En la siguiente figura se muestran el resultado de los valores obtenidos de PT en medios de pH distintos:

Figura 31

Comportamiento de los PT en diferentes medios de pH



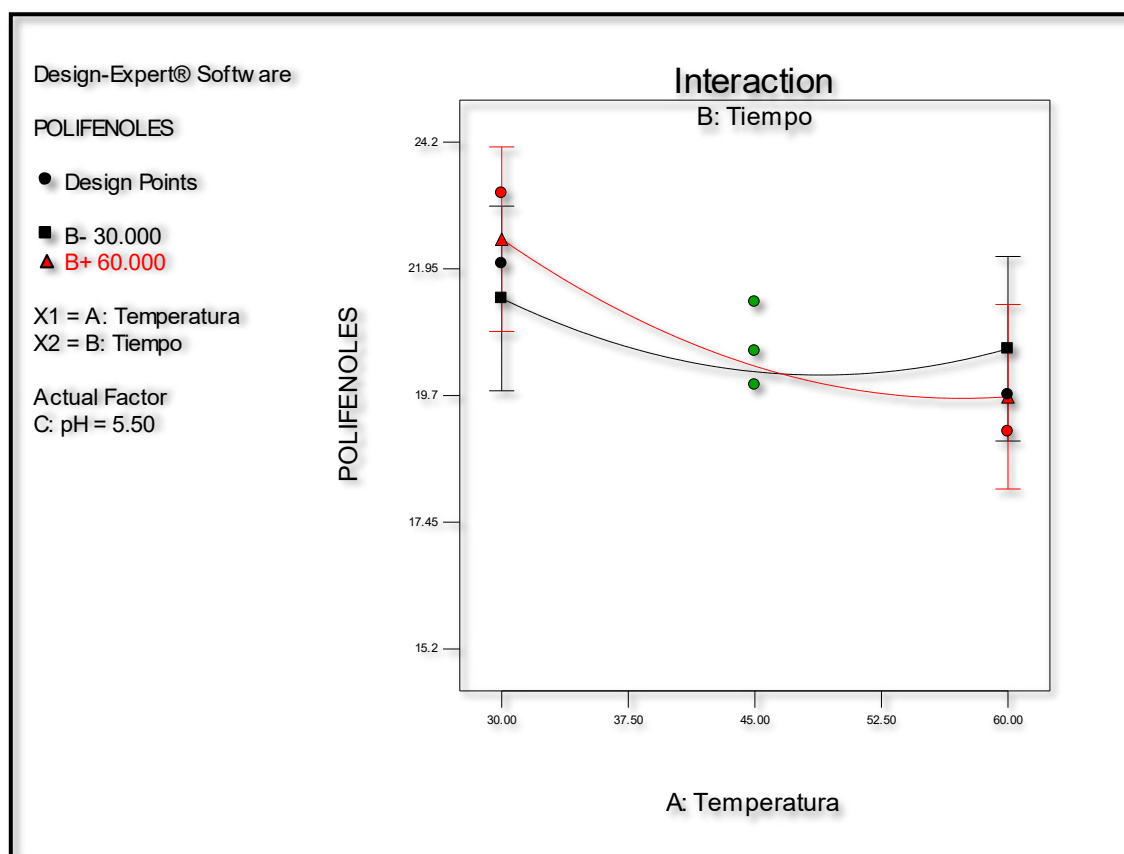
En esta figura se puede apreciar que a un medio de pH de 4,0 el valor de los PT es de 20,60 mg GAE/100 g, esta curva llega a un valor máximo inflexivo de 21,04 mg GAE/100 g ; esto es a un medio de pH de 4,78, para después disminuir a un valor de 17,0 a un pH de 7,0 de acuerdo al análisis ANVA para polifenoles este factor pH es significativo a un nivel de confianza del 95% (Ver Tabla 20).

4.4.4 Comportamiento de los PT frente a la interacción Temperatura – tiempo

Analizamos este comportamiento mediante la siguiente figura:

Figura 32

Comportamiento de los PT frente a la interacción entre temperatura y tiempo



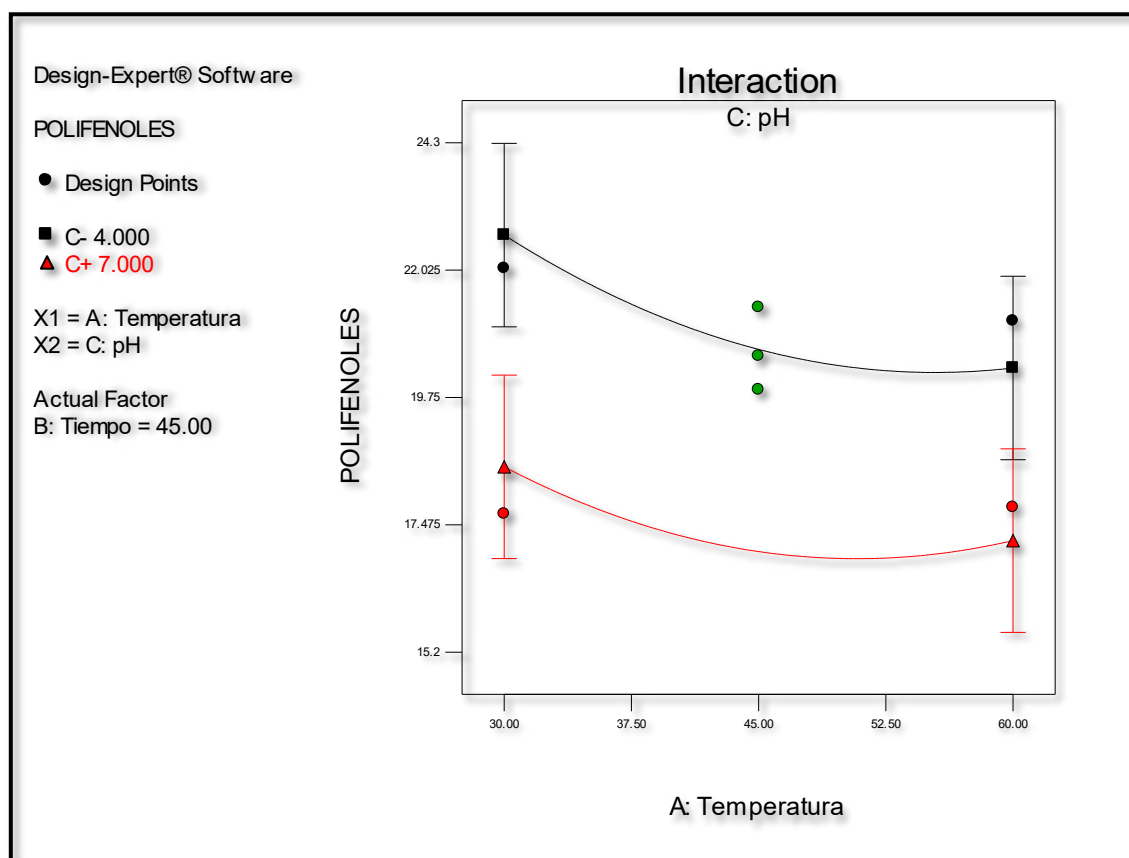
Según la figura precedente cuando interactúan la temperatura y el tiempo a 30°C y 30 minutos los valores de PT son los más altos siendo estos 21,424 a 22,476 mg GAE/100 g. A nivel de 46,7°C punto en que se produce la intersección de ambas curvas produce único valor de PT siendo éste de 20,6 mg GAE/100 g, se produce también una caída de los niveles de PT a una temperatura de 60° que va desde 19,67 a 20,530 mg GAE/100 g.

4.4.5 Comportamiento de los PT frente a la interacción Temperatura – pH

La siguiente figura se muestra esta interacción:

Figura 33

Comportamiento de los PT frente a la interacción Temperatura - pH



Se forman dos curvas separadas lo que significa que no hay interacción significativa entre estos dos factores

4.4.6 Análisis estadístico y superficie de respuesta de los Polifenoles Totales

Tabla 24

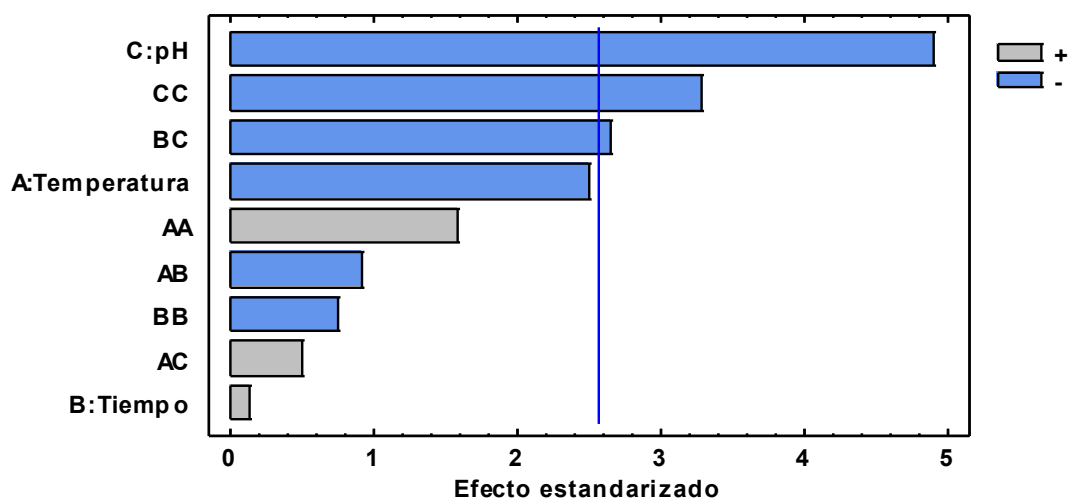
Efectos estimados para polifenoles totales (mg GAE/100 g)

Efecto	Estimado	Error Estd,	V,I,F,
promedio	20,5782	0,60102	
A: Temperatura	-1,84605	0,736096	1,0

B: Tiempo	0,100075	0,736096	1,0
C: pH	-3,61162	0,736096	1,0
AA	1,70942	1,0835	1,01111
AB	-0,95245	1,041	1,0
AC	0,52835	1,041	1,0
BB	-0,812533	1,0835	1,01111
BC	-2,764	1,041	1,0
CC	-3,55173	1,0835	1,01111

Esta tabla muestra las estimaciones de cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. El factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1,01111. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1.

Para graficar los estimados en orden decreciente de importancia, seleccionamos el diagrama de Pareto, para probar la significancia estadística de los efectos.

Tabla 25*Diagrama de Pareto estandarizada para Polifenoles Totales***Tabla 26***Análisis de varianza para polifenoles totales*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Temperatura	6,8158	1	6,8158	6,29	0,0540
B: Tiempo	0,02003	1	0,02003	0,02	0,8972
C: pH	26,0877	1	26,0877	24,07	0,0044*
AA	2,69733	1	2,69733	2,49	0,1755
AB	0,907161	1	0,907161	0,84	0,4022
AC	0,279154	1	0,279154	0,26	0,6334
BB	0,609425	1	0,609425	0,56	0,4871
BC	7,6397	1	7,6397	7,05	0,0451*
CC	11,6444	1	11,6444	10,75	0,0220*
Error total	5,41837	5	1,08367		

Total (corr,)	62,8951	14
$R^2 = 91,3851\%$; $R^2_{aj} = 75,882\%$		

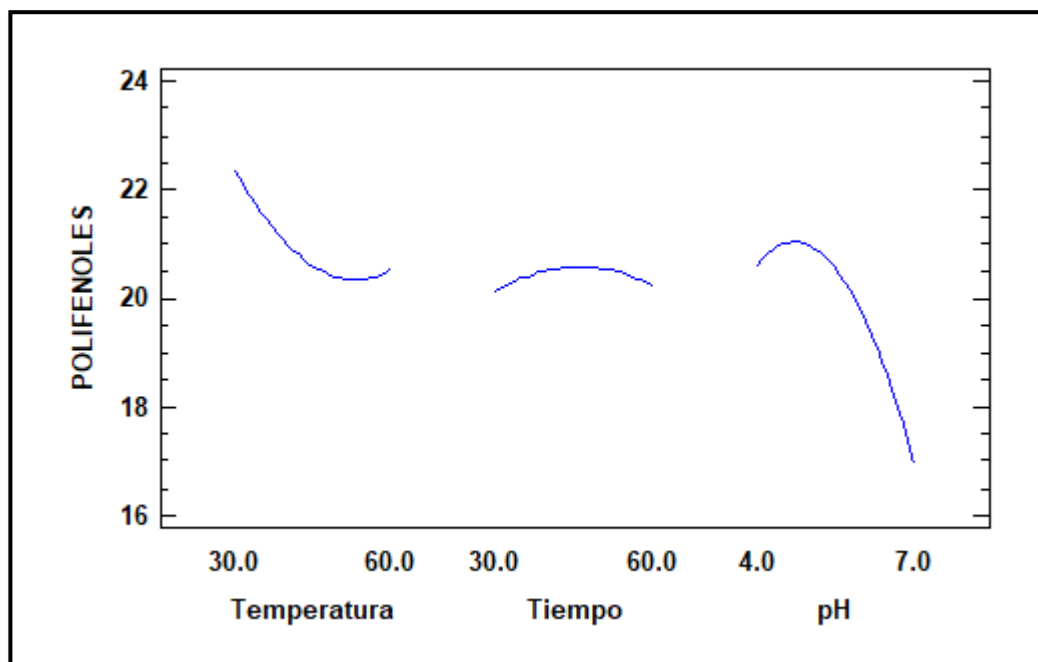
La tabla ANOVA particiona la variabilidad de polifenoles en piezas separadas para cada uno de los efectos, entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 3 efectos tienen un p-valor $< 0,05$, estos efectos son: pH, interacción BC y la expresión cuadrática CC, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R^2 indica que el modelo, así ajustado, explica 91,3851% de la variabilidad en polifenoles. El estadístico R^2 ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 75,8782%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1,041.

La figura donde se muestran en forma conjunta los efectos principales frente a la variable PT:

Figura 34

Efectos principales para polifenoles totales

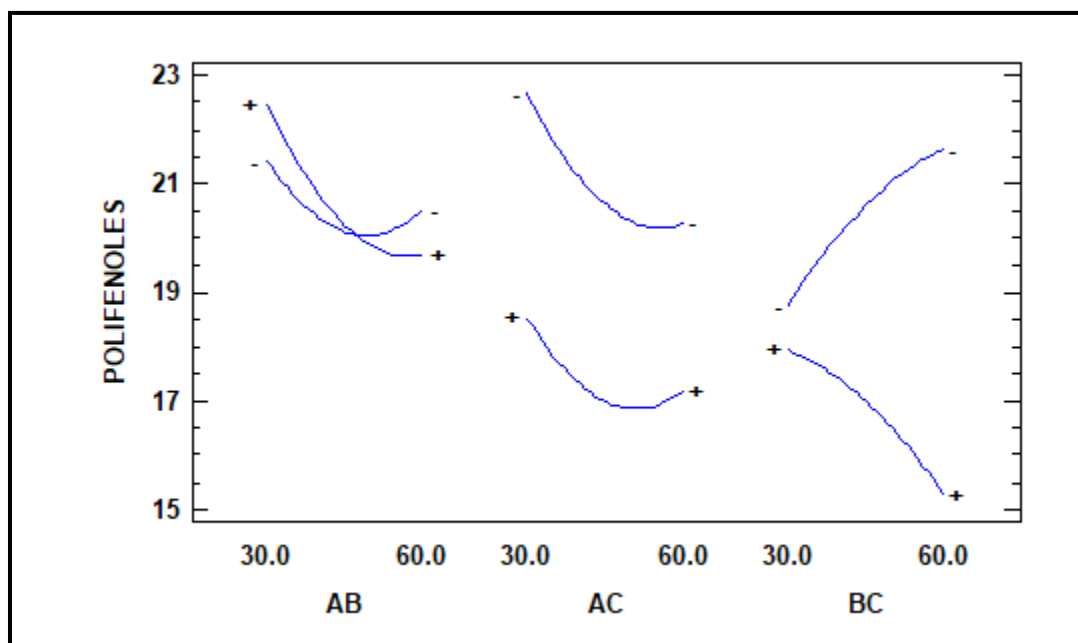


El efecto más pronunciado y negativo lo representa la variable pH, que es significativo de acuerdo al análisis estadístico, mientras que la temperatura también lo es, pero no es significativo; un efecto contrario produce el tiempo.

El efecto que produce las interacciones se muestra en la siguiente figura:

Figura 35

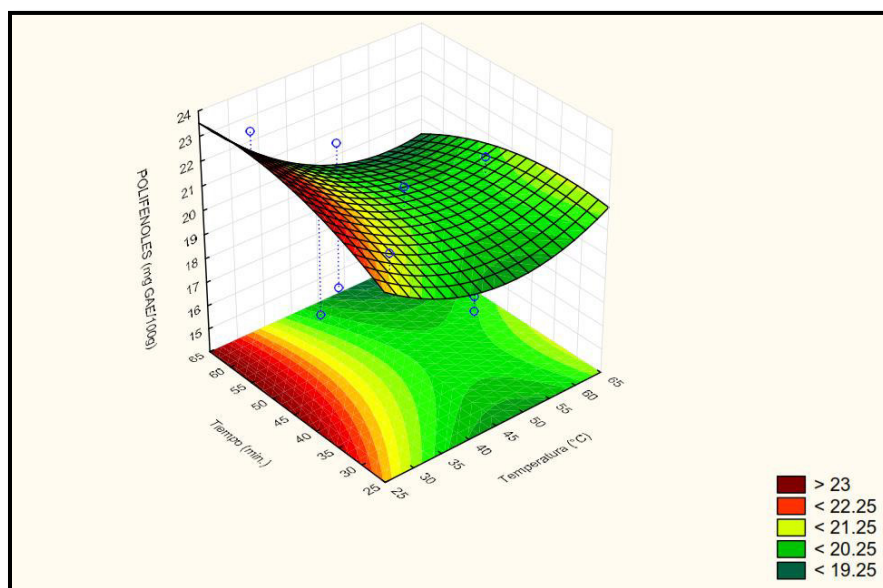
Interacciones para Polifenoles Totales



Las superficies de respuesta para PT se muestran a continuación:

Figura 36

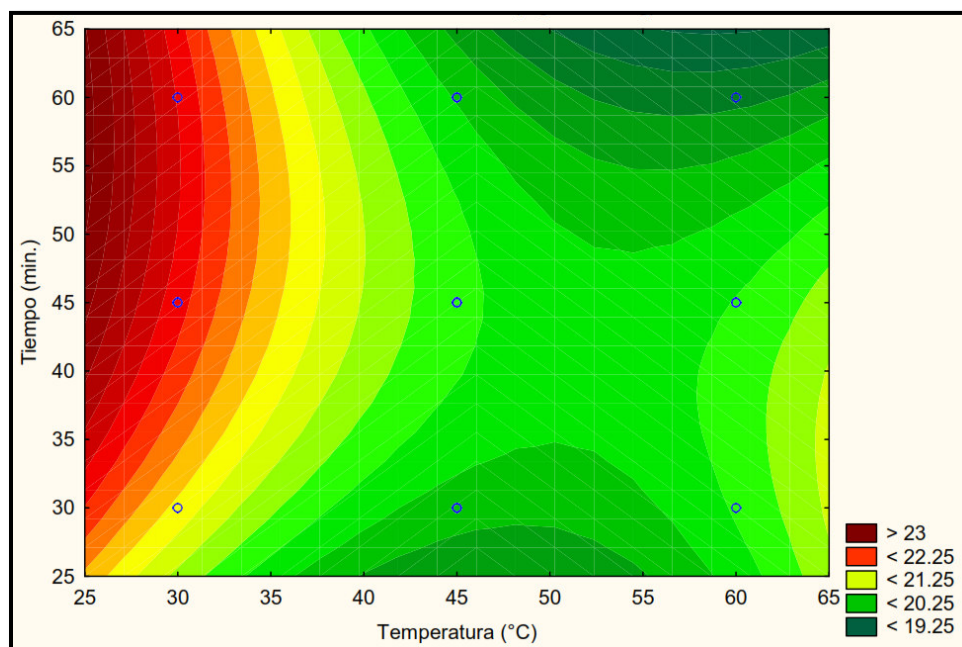
Superficie de Respuesta, PT (mg GAE/100 g), Tiempo – T°



Nota. 3 niveles de factores, 15 corridas; MS Residual= 1,0833682

Figura 37

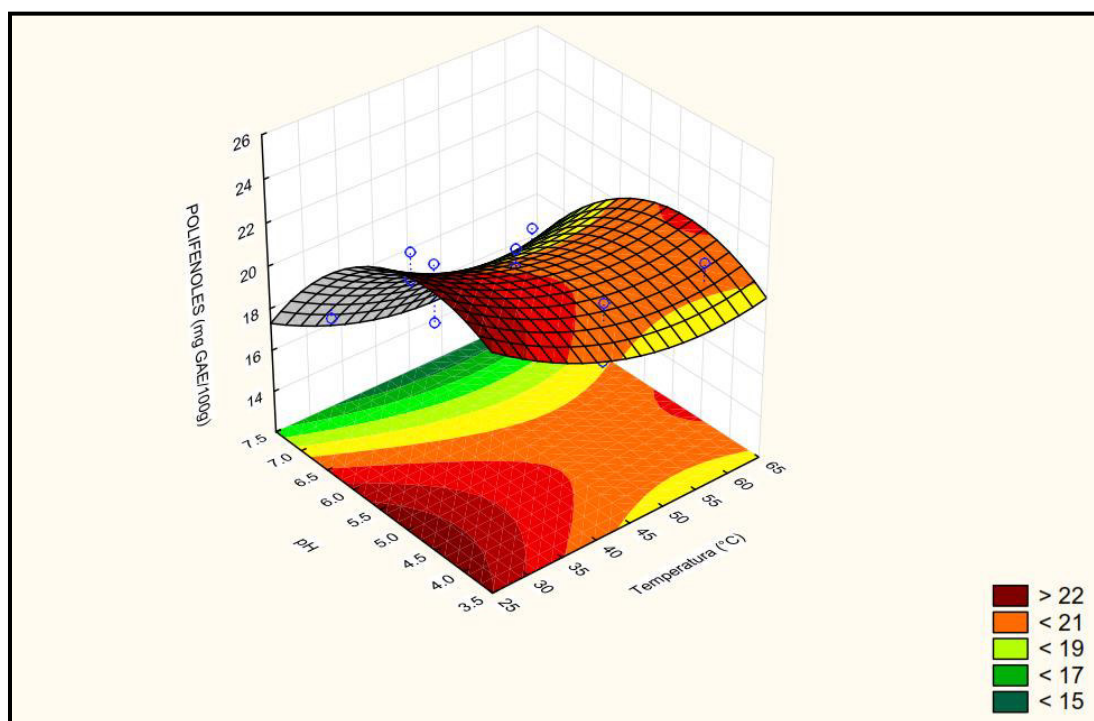
Superficie de contorno de los PT (mg GAE/100 g)



La figura 36 muestra la superficie de respuesta tipo montura de sillar, las celdillas cuadrulares de tonalidad marrón muestran valores superiores de PT alrededor de 23,5 mg GAE/100 g, La figura de superficie de contorno (figura 37) muestran las zonas a nivel bidimensional aquellas regiones en donde se maximiza el tenor de PT.

Figura 38

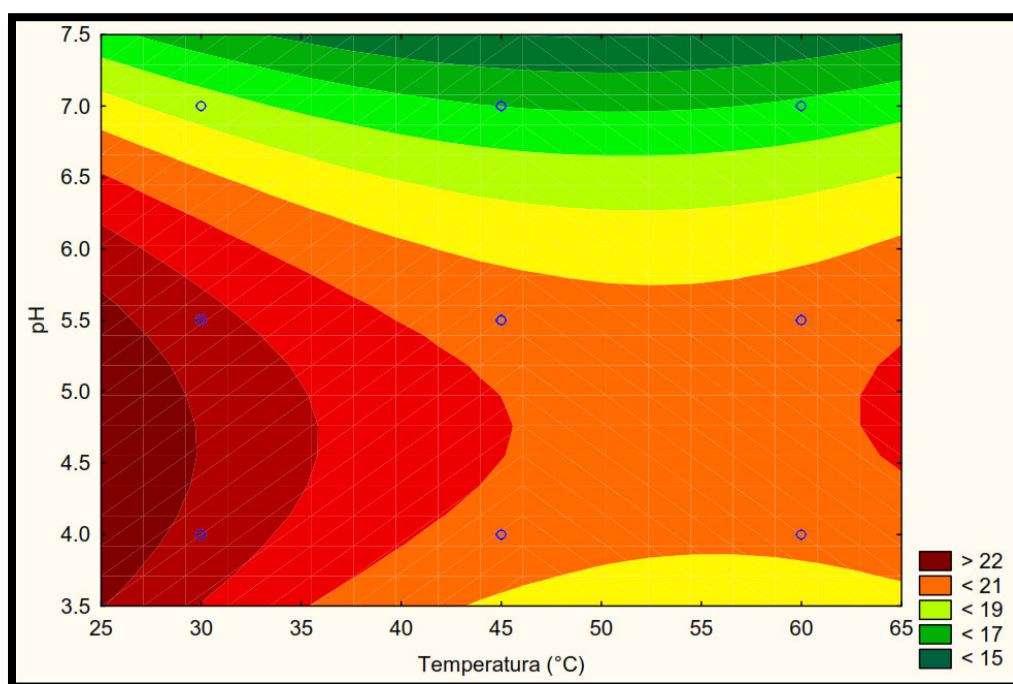
Superficie de respuesta, Polifenoles (mg GAE/100 g) pH - T°



Nota. 3 niveles de factores, 15 corridas; MS Residual= 1,083682

Figura 39

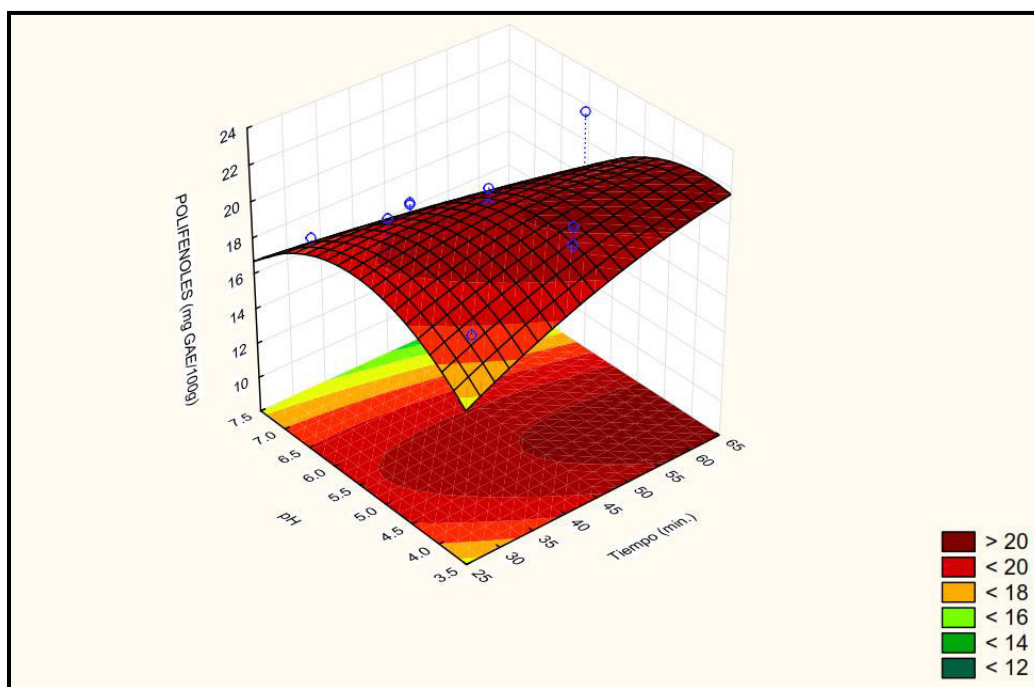
Superficie de contorno, Polifenoles (mg GAE/100 g)



Nota. 3 niveles de factores, 15 corridas; MS Residual= 1,0833682

Figura 40

Superficie de Respuesta, Polifenoles (mg/GAE/100 g) pH – Tiempo



Nota: 3 niveles de factores, 15 corridas; MS Residual= 1,0833682

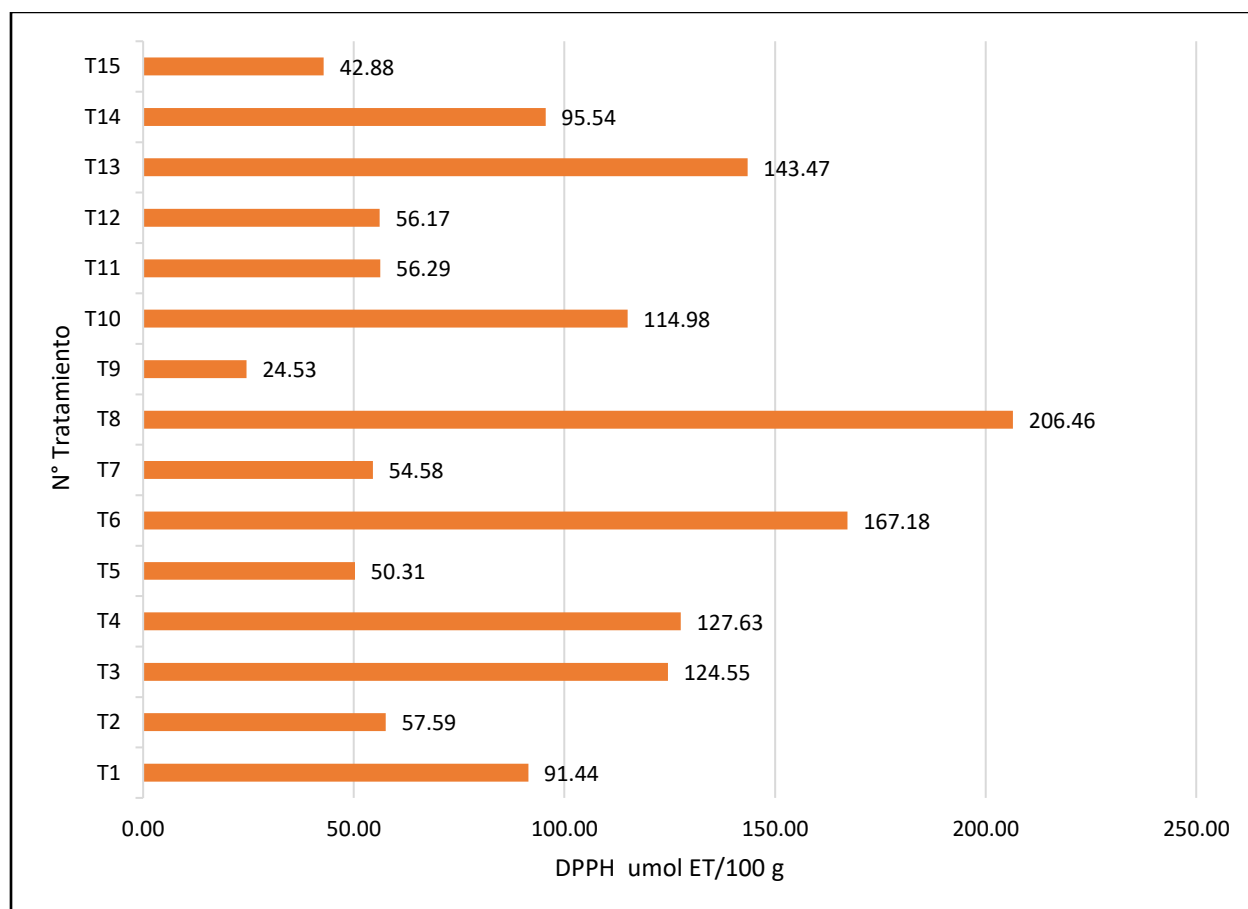
Se determinaron los coeficientes de regresión para el siguiente modelo matemático:

$$PT = -6,60316 - 0,37275 T^{\circ} + 0,59891 t + 9,71379 \text{ pH} + 0,00380 T^{\circ 2} - 0,00212 T^{\circ} \cdot t + 0,01174 T^{\circ} \cdot \text{pH} - 0,00181 t^2 - 0,06142 t \cdot \text{pH} - 0,78927 \text{ pH}^2$$

El valor óptimo de los polifenoles fue de 24,15 mg GAE/100 g, que se obtuvo a una temperatura de 30°C, a un tiempo de 60 minutos y a un pH de 4,0.

4.5 Actividad antioxidante

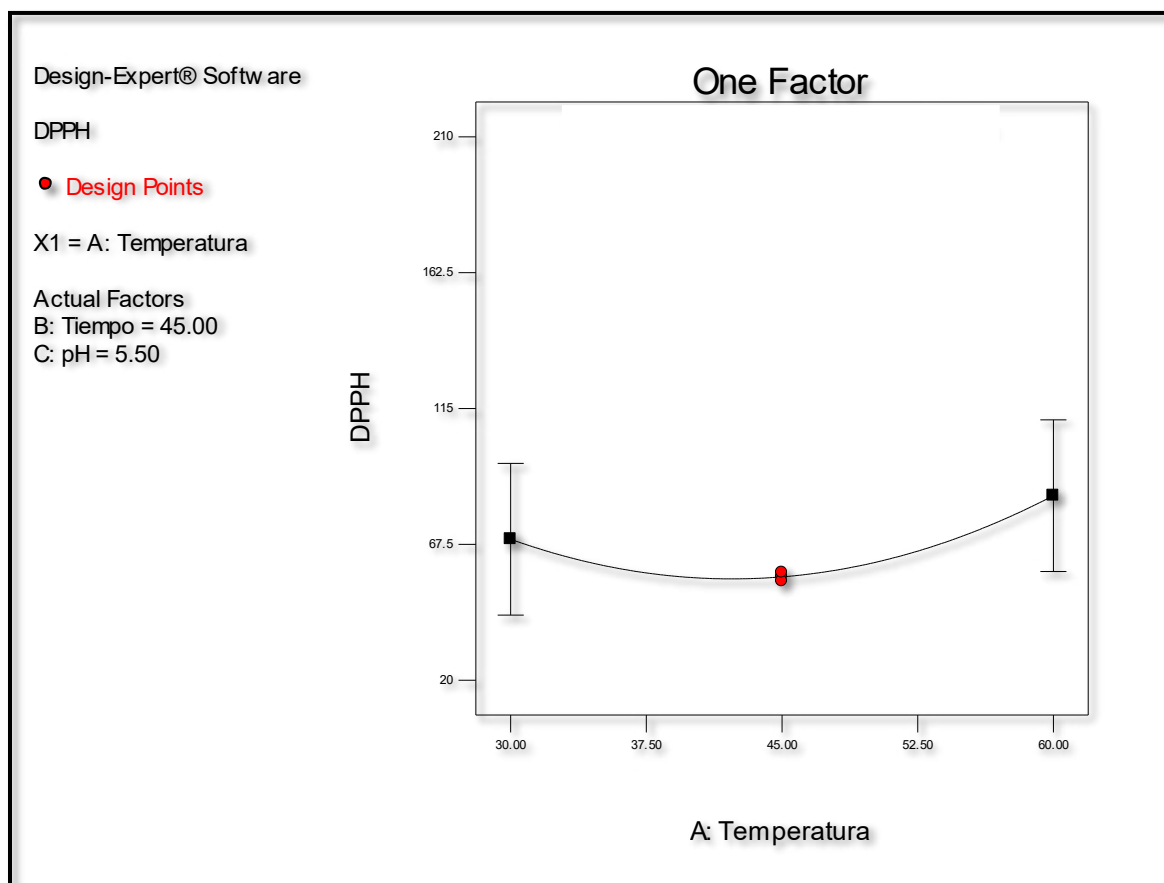
La actividad antioxidante se presenta en la siguiente figura:

Figura 41*Actividad antioxidante de los tratamientos***4.5.1 Comportamiento de la actividad antioxidante frente a la temperatura**

El comportamiento de la actividad antioxidante frente a la temperatura podemos observar en la siguiente figura:

Figura 42

Comportamiento de la Actividad antioxidante frente a la temperatura



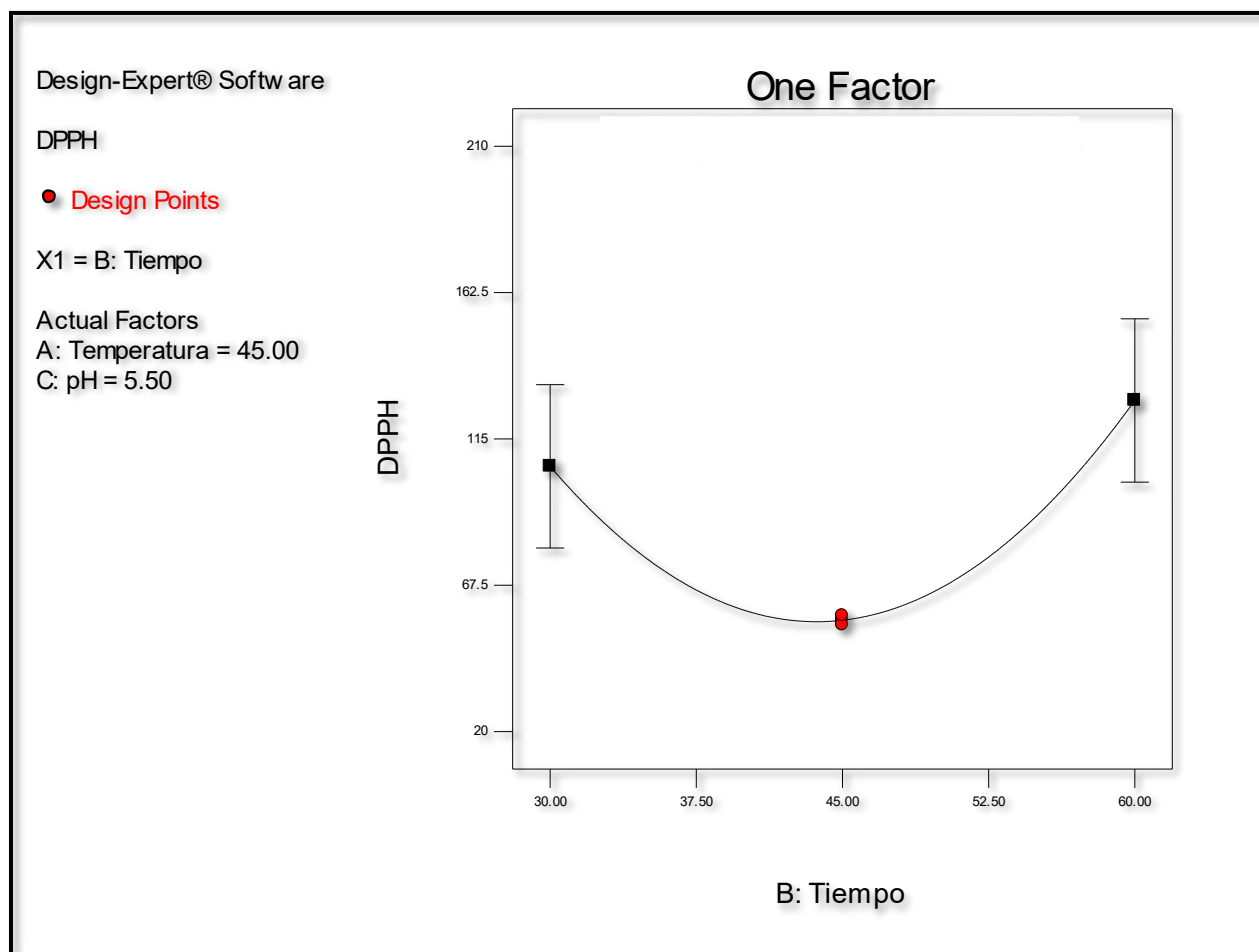
A una temperatura de sonicación de 30°C el valor de DPPH es de 67,5 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ descendiendo a un valor mínimo de 56,17 a los 45°C y se incrementa su valor a 84,51 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ a los 60°C. Según el análisis estadístico los tratamientos no tienen diferencias significativas a un nivel de confianza del 95% (ver tabla 24).

4.5.2 Comportamiento de la actividad antioxidante frente al tiempo

La actividad antioxidante frente al tiempo de sonicación podemos apreciar en la siguiente figura:

Figura 43

Comportamiento de la actividad antioxidante frente al tiempo



La actividad antioxidante tiene un comportamiento similar con la temperatura, a un tiempo de sonicación de 30 minutos su valor DPPH es de 106,074 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$, se reduce este valor cuando el tiempo es de 54,80 y vuelve a incrementarse alcanzando un mayor valor a los 60

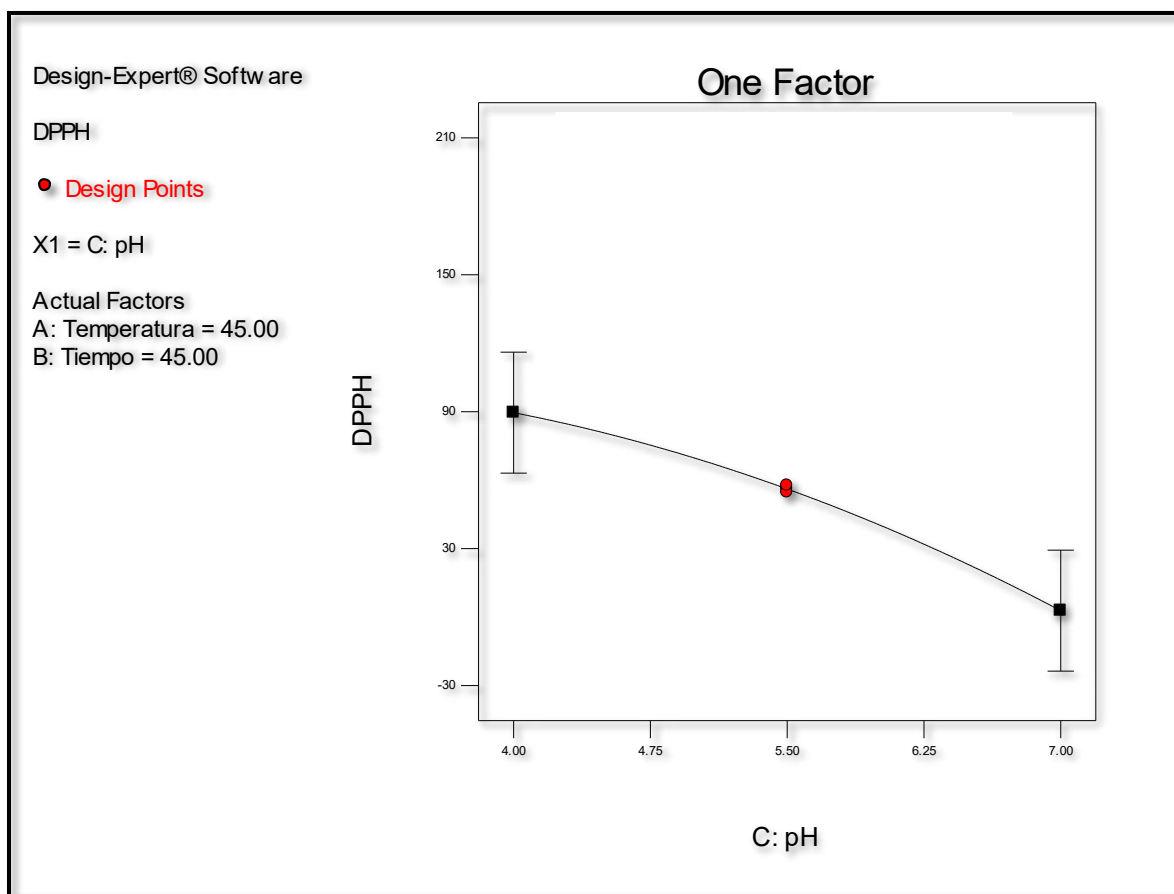
minutos; siendo éste valor 127,458 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$. De acuerdo a la tabla 22 ANOVA esta variable no influye significativamente con la actividad antioxidante a un nivel de confianza del 95%.

4.5.3 Comportamiento de la actividad antioxidante frente al pH del medio

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente figura:

Figura 44

Comportamiento de la actividad antioxidante frente al pH



Frente a un pH del medio de 4,0 se aprecia un mayor valor de la actividad antioxidante; siendo éste de 89,55 $\mu\text{mol ET}/100\text{g}$; desciende por la curva con pendiente negativa a un valor de 53,03 $\mu\text{mol ET}/100\text{g}$ a un pH 7,00. Siendo significativo a un nivel de confianza del 95% (ver figura 44).

4.5.4 Análisis estadístico y superficies de respuesta

Los efectos estimados se pueden apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 27

Efectos estimados para la actividad antioxidante DPPH $\mu\text{mol ET}/100\text{g}$

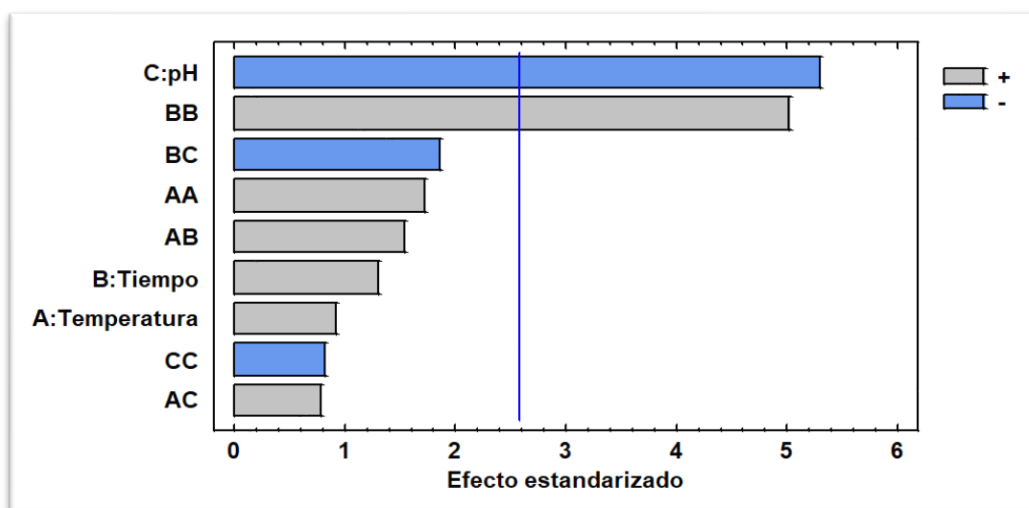
<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	56,1161	13,3862	
A: Temperatura	15,2345	16,3947	1,0
B: Tiempo	21,3844	16,3947	1,0
C: pH	-86,7649	16,3947	1,0
AA	41,5601	24,1324	1,01111
AB	35,5529	23,1857	1,0
AC	17,9318	23,1857	1,0
BB	121,3	24,1324	1,01111
BC	-43,1318	23,1857	1,0
CC	-19,8881	24,1324	1,01111

Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. El factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1,01111. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1.

Se seleccionó el Diagrama de Pareto de la lista de opciones gráficas para presentar los estimados en orden decreciente de importancia y para probar la significancia estadística de los efectos, seleccionamos la Tabla ANOVA (Tabla 27)

Figura 45

Diagrama de Pareto estandarizada para la actividad antioxidante

**Tabla 28**

Análisis de varianza para la actividad antioxidante

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Temperatura	464,182	1	464,182	0,86	0,3954
B:Tiempo	914,587	1	914,587	1,70	0,2489
C:pH	15056,3	1	15056,3	28,01	0,0032*
AA	1594,38	1	1594,38	2,97	0,1457
AB	1264,01	1	1264,01	2,35	0,1858
AC	321,549	1	321,549	0,60	0,4742
BB	13581,9	1	13581,9	25,27	0,0040*
BC	1860,35	1	1860,35	3,46	0,1219
CC	365,112	1	365,112	0,68	0,4474
Error total	2687,87	5	537,574		
Total (corr.)	38042,6	14			

$$R^2 = 92,9346 \% ; R^2_{aj} = 80,2168 \%$$

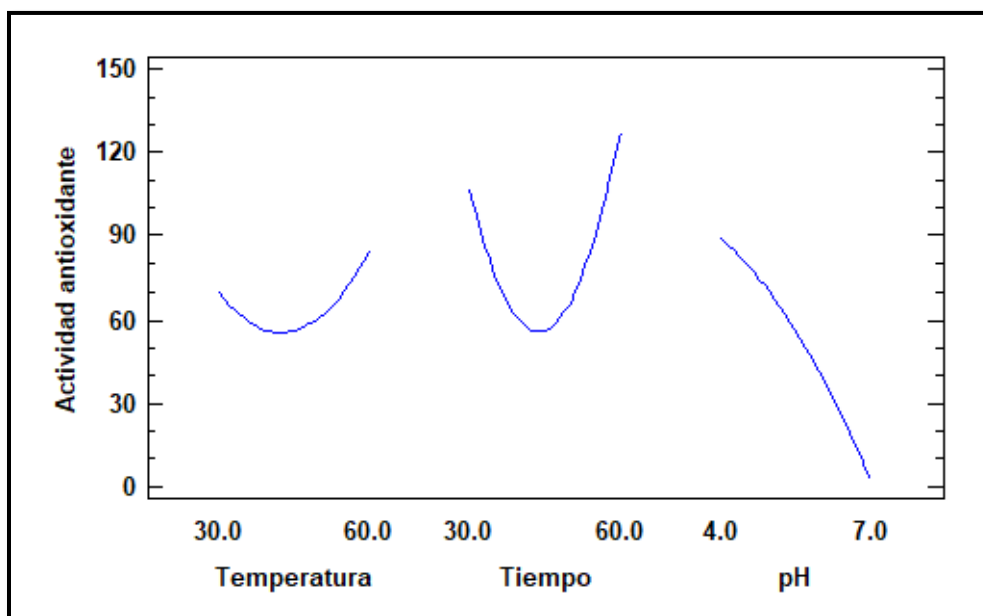
La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Actividad antioxidante en piezas separadas para cada uno de los efectos. Se prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 2 efectos tienen un p-valor $< 0,05$, que son el pH y la expresión cuadrática del tiempo, indicado mediante asteriscos resultan ser significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R^2 indica que el modelo, así ajustado, explica 92,9346% de la variabilidad en la actividad antioxidante. El estadístico R^2 ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 80,2168%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 23,1857.

La siguiente figura se muestran las gráficas de las principales variables independientes de manera conjunta.

Figura 46

Curvas de los efectos principales para la actividad antioxidante

**Tabla 29**

Coeficientes de regresión para la actividad antioxidante

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
Constante	780,822
A: Temperatura	-13,5512
B: Tiempo	-21,8308
C: pH	44,8938
AA	0,0923558
AB	0,0790063
AC	0,398484
BB	0,269555
BC	-0,958484

$$\text{CC} \quad -4,41958$$

A partir de esta tabla podemos confeccionar la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

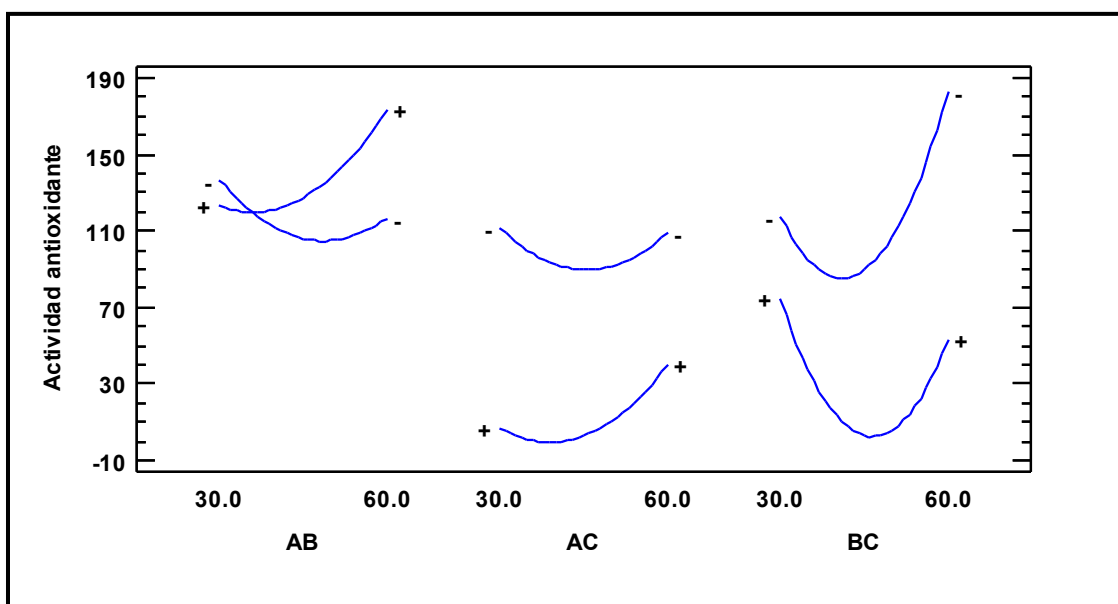
$$\text{AA} = 780,822 - 13,5512 T^{\circ} - 21,8308 t + 44,8938 \text{ pH} + 0,0924 T^{\circ 2} + 0,0790 T^{\circ} \cdot t + 0,3985 T^{\circ} \cdot \text{pH} + 0,2696 t^2 - 0,9585 t \cdot \text{pH} - 4,41958 \text{ pH}^2$$

El valor óptimo de la actividad antioxidante fue de 219,67 $\mu\text{mol ET}/100\text{g}$, que se obtuvo a una temperatura de 60°C, un tiempo de 60 minutos y a un pH de 4,0.

En donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales, En la siguiente figura se muestran los gráficos de las interacciones para la actividad antioxidante:

Figura 47

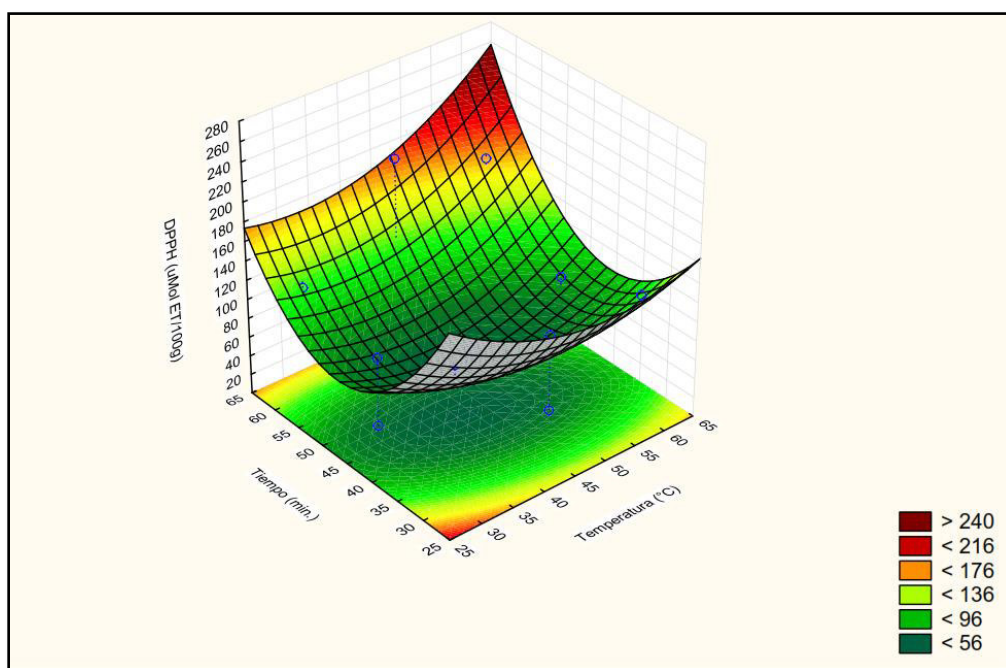
Interacciones para la actividad antioxidante



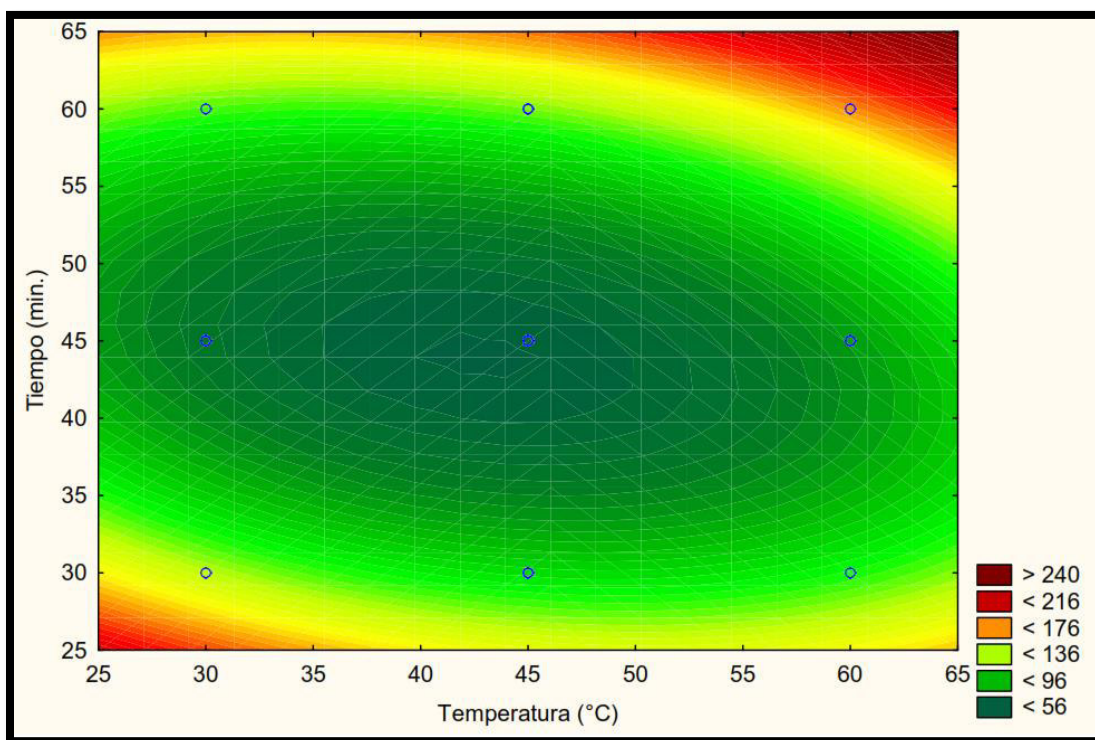
Las siguientes figuras se muestran las superficies de respuestas para la actividad antioxidante:

Figura 48

Superficie de respuesta, DPPH tiempo y temperatura ($\mu\text{Mol ET}/100\text{ g}$)



Nota: 3 niveles de factores, 15 corridas; MS Residual = 537,5738

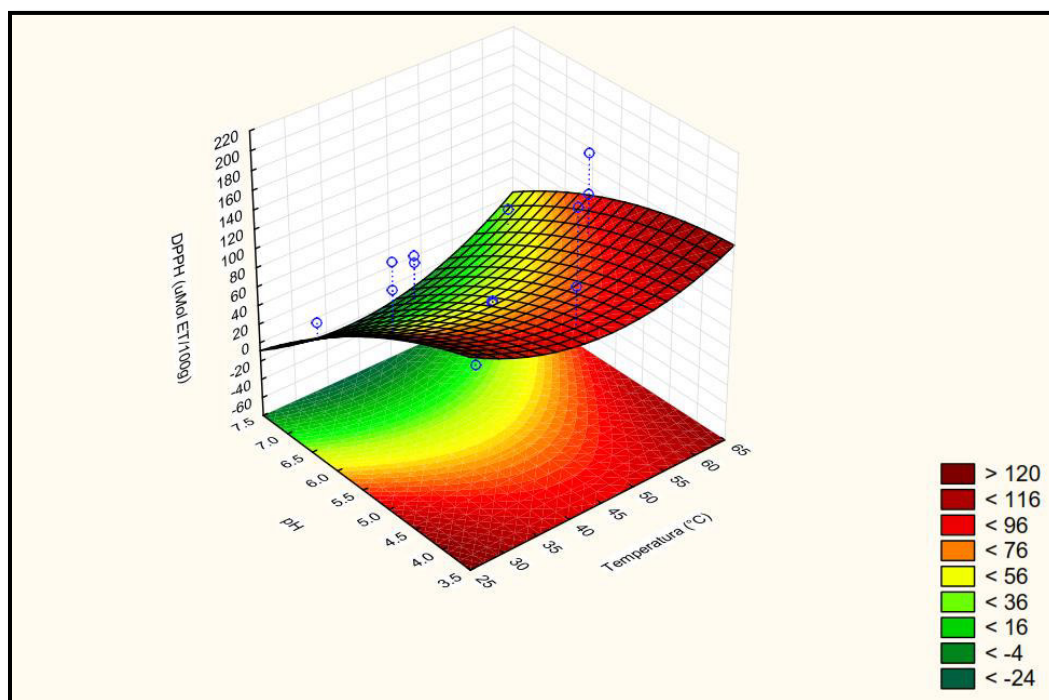
Figura 49*Superficie de contorno DPPH*

De estas dos figuras se puede apreciar dos regiones con coloración roja, en el extremo derecho superior comienza aparecer celdas con coloración marrón oscuro, de acuerdo a la leyenda son los valores más altos en cuanto a DPPH, éstas se ubican en una región cuadrática de eje x temperatura de 25 a 30°C y eje abscisa de 25 – 30 min, (extremo izquierdo de la superficie de contorno) y la región abscisa de 60-65 °C y eje ordenada 55-65 minutos, (extremo derecho de la superficie de contorno).

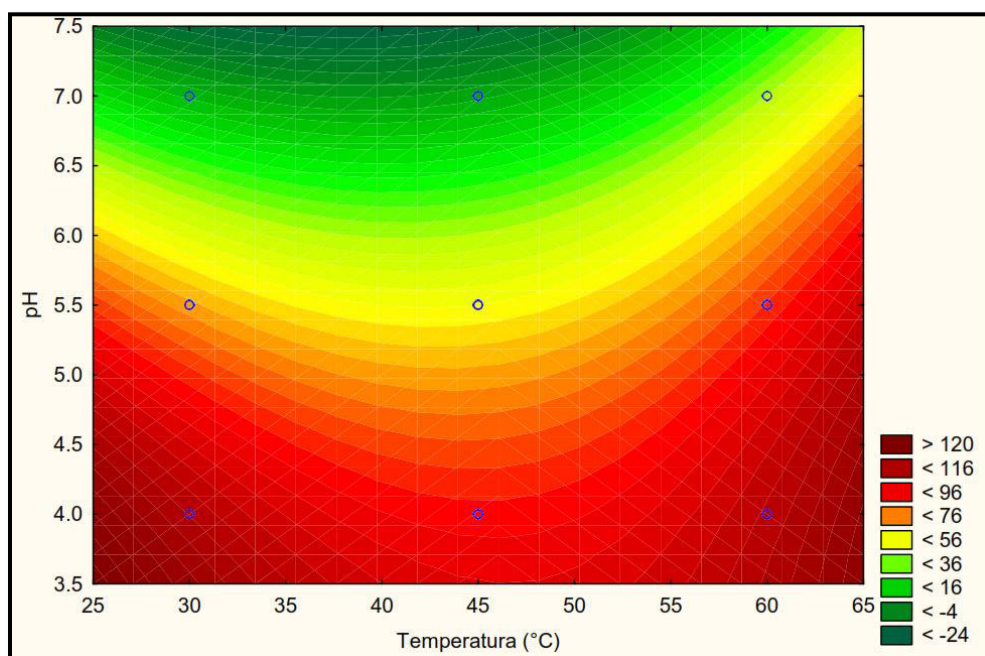
La segunda superficie de respuesta se muestra a continuación:

Figura 50

Superficie de respuesta, DPPH ($\mu\text{MOL ET}/100\text{g}$)

**Figura 51**

Superficie de contorno, DPPH, pH – T°



Igualmente, la superficie de contorno se aprecia dos regiones con mayores valores de DPPH, estos son extremos: inferior izquierdo; que se podría delimitar en el eje de las abscisas a una temperatura de 25 a 30°C y para el eje de las ordenadas, valores de pH: 3,5 a 4,0, y el extremo inferior derecho con valores en las abscisas de 60-65°C a un 3,5 hasta 4,5, en las ordenadas; con un DPPH mayor a 116 $\mu\text{Mol ET}/100\text{ g}$.

La tercera superficie de respuesta se muestra a continuación y su referida superficie de respuesta:

Figura 52

Superficie de respuesta, DPPH, pH vs tiempo, $\mu\text{Mol ET}/100\text{ g}$

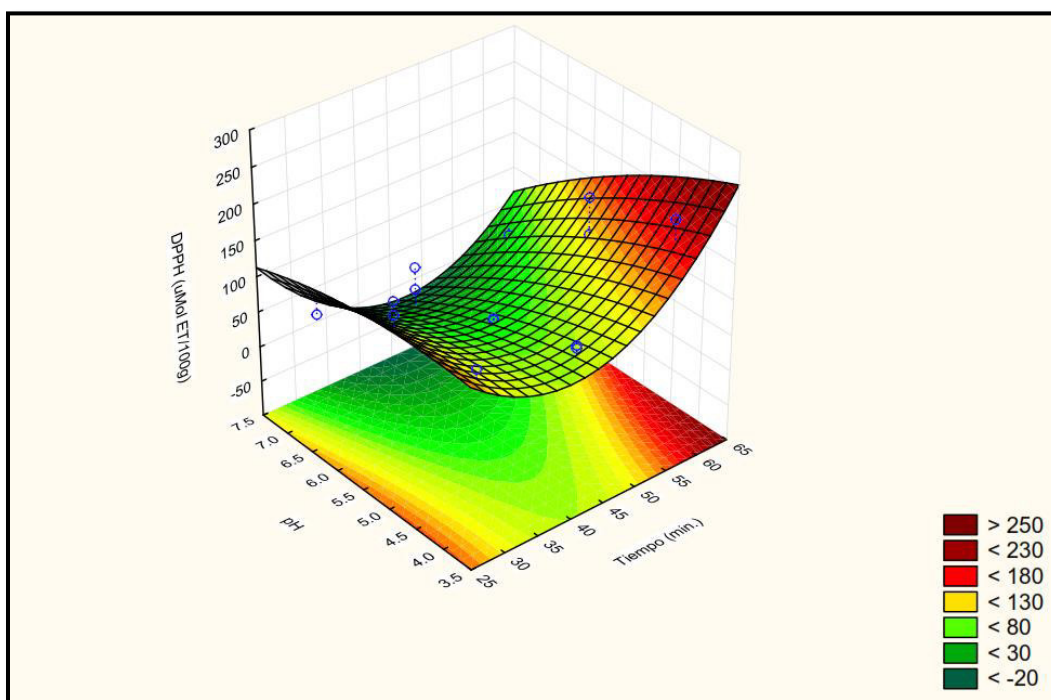
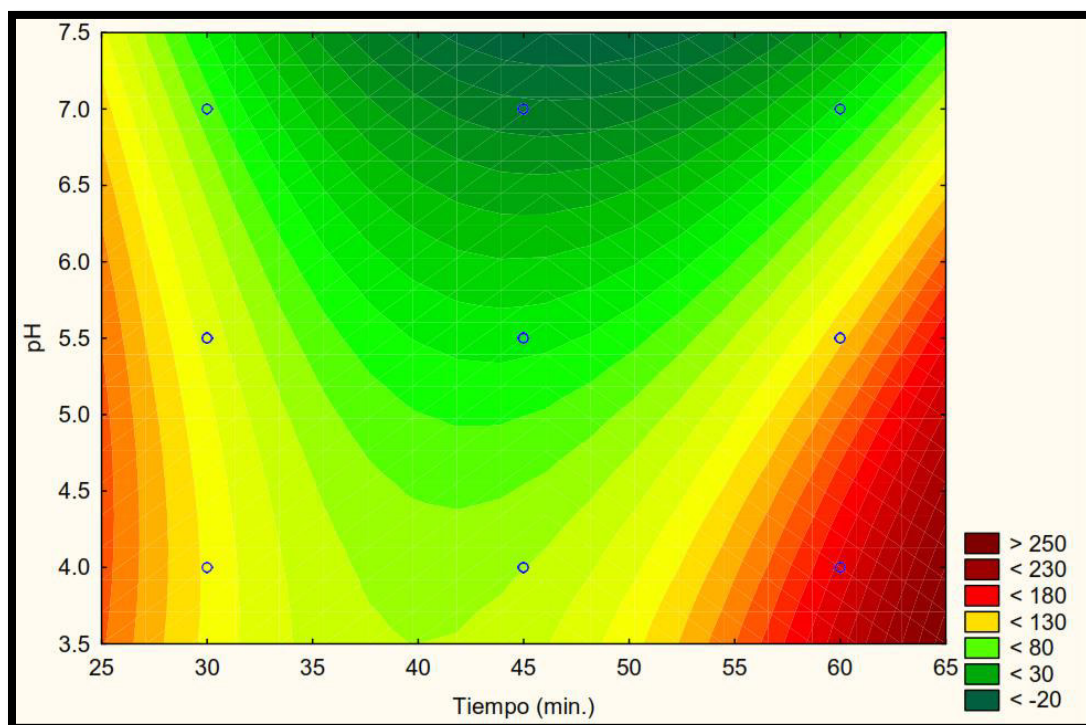


Figura 53

Superficie de contorno, DPPH ($\mu\text{Mol ET}/100\text{ g}$)



Para este caso se puede observar una sola región con valores altos de DPPH por encima de los 230 $\mu\text{Mol ET}/100\text{ g}$ que en la superficie de contorno se ubica en el extremo inferior derecho; cuyas abscisas van de 60 – 65 minutos y valores de la ordenada pH entre 3,5 y 5,0; que puede llegar a valores de 230 a 205 $\mu\text{Mol ET}/100\text{ g}$ de DPPH.

4.6 Resultados del proceso de optimización

Para optimizar varias variables de respuesta (03) como es nuestro caso de manera global aplicamos la función de deseabilidad, Opción que proporciona el Statgraphics, para lo cual se obtuvo las siguientes tablas:

Tabla 30*Criterios de Optimización*

Name	Goal	Lower	Upper	Lower	Upper	Importance
		Limit	Limit	Weight	Weight	
Temperatura	is in range	30	60	1	1	3
Tiempo	is in range	30	60	1	1	3
pH	is in range	4	7	1	1	3
Betaláinas	maximize	11,79	49,30	1	1	3
Polifenoles	maximize	15,28	23,29	1	1	3
DPPH	maximize	24,53	206,46	1	1	3

Con los criterios de optimización multirespuestas y la metodología de la función Deseada, se seleccionó los niveles de los factores que tiene un valor de deseabilidad cercano a 1.

Tabla 31*Valores de deseabilidad del proceso de optimización simultánea*

Number	Temperatura	Tiempo	pH	POLIFENOLES	DPPH	Betalainas Totales	Desirability
1	33,38	60	4,5	23,2919	163,793	37,7793	0,809
2	33,43	60	4,48	23,2919	164,323	37,6797	0,809
3	33,29	60	4,52	23,2918	162,907	37,9421	0,809
4	33,21	60	4,54	23,292	162,167	38,0732	0,809
5	33,55	59,21	4,38	23,2919	161,141	36,9655	0,796
6	30	30	5,25	21,4887	141,912	43,4311	0,75
7	30	30	5,15	21,4873	143,647	42,9051	0,749
8	30	30	4,88	21,4035	148,064	41,2411	0,741
9	30	31,06	5,12	21,6017	135,697	42,664	0,735
10	30	30	5,8	21,2126	130,402	45,7507	0,731
11	46,02	30	5,36	20,1181	107,414	46,8854	0,636
12	52,3	30	5,34	20,1183	107,782	41,6788	0,604

Los valores óptimos de las variables independientes corresponden al número 1 por haber obtenido el mayor más cercano a uno de deseabilidad, Siendo esta temperatura: 33,38°C, tiempo: 60 minutos y pH = 4,5, siendo el valor de betalainas 37,7793 mg/100 g, de los polifenoles totales de 23,2919 GAE/100 g, y la actividad antioxidante de $\mu\text{Mol ET}/100 \text{ g}$.

V. Discusión de resultados

5.1 Discusión del análisis morfológico

Al realizar el análisis morfológico de la cáscara del fruto de la tuna morada. Los pesos obtenidos de peso entero de tuna, peso de pulpa y cáscara, son parecidos con los reportados por Nayhua (2017), y en Proyectos peruanos (2020) que trabajaron con tuna púrpura para el caso del primero, proveniente de Moquegua y Lima, respectivamente. Las diferencias estriban en una ligera diferencia en favor del rendimiento en pulpa de las tunas provenientes del Callejón de Huaylas.

En cuanto al tamaño de las tunas, dependiendo de la categoría extra y de primera; varían en el tamaño y peso del fruto; las tunas estudiadas reportan en promedio: 9,2 cm de largo y 5,4 cms de ancho; coincidentes con los resultados de Nayhua (2017).

5.2 Discusión de análisis físico químico

Se pudo verificar un alto contenido de humedad presente en la cáscara por encima del 86,8% ; este contenido de humedad es similar al reportado por (Ortega et al., sf) igualmente en el contenido de fibra dietaria; siendo éste de 40,05 g/100 g: es muy similar al obtenido por Ortega et al., (sf) quienes obtuvieron 41,4% FDT (fibra dietaria total). Así mismo el contenido de cenizas es coincidente con lo obtenido por Rosillo (2016), Así mismo se evidencia un bajo tenor de proteínas y grasa; tal como lo menciona Nayhua (2017) y Rosillo (2016).

En cuanto al porcentaje de vitamina C fue de 57,95 mg/100g; resultados que difieren significativamente al obtenido por Rosillo (2016) que fue de 27,08mg % y de otros autores Repo Carrasco et al. (2008) cuyo valor fue de: $22,75 \pm 0,6$ mg%. Esta alta concentración de vitamina C, podría deberse a un periodo corto de almacenamiento en refrigeración de la materia prima antes de su procesamiento y los tipos de nutrientes precursores del suelo del cultivo.

5.3 Discusión de las betalaínas

En referencia al efecto de la temperatura en el contenido de betalaínas totales y de sus respectivos pigmentos: *betacianinas* y *betaxantinas* se corroboró con lo obtenido por Huaranga (2014), donde se observa una sensible disminución en el tenor de las BT cuando se aumenta la temperatura; así mismo se sabe que la estabilidad de las betalaínas, según Flores et al. (2019), está influenciado por una serie de factores entre ellos: la temperatura, pH, presencia de oxígeno, la luz, entre otros factores.

La mayor cantidad de betalaínas totales fue de 52,95 g/100 g, se logra a una temperatura óptima de 41,6°C a un tiempo de 30 minutos y a un pH de 6,9, resultado concordante con (Apaza, 2017), que concluye que a temperaturas mayores de 50°C disminuye el tenor de betalaínas totales, Así mismo los resultados de temperatura concuerda con la teoría que manifiesta que los métodos asistido por ultrasonido tienen la ventaja de acortar la temperatura y el tiempo, garantizando la conservación de la betalaína por ser ésta termolábil. (Wong et al, 2020; Fenema-Owen, 2019)

En cuanto al tiempo resultó ser poco significativo la influencia en cuanto al tenor de BT, El pH resultó ser un factor decisivo para la obtención de BT, siendo el margen de pH permitido de 4,5 a 7,0, pero se debe considerar el rango de este factor establecido por Fenema – Owen (2019), que manifiesta que la reacción del pH muestra una mayor estabilidad a valores de 4,0 a 5,0. Estos resultados guardan relación con el criterio de optimización sugerido en este estudio, que ha seleccionado los primeros 06 tratamientos, en un rango de pH que va de 4,5 a 4,49.

5.4 Discusión de los polifenoles totales

El contenido de PT encontrados en la cáscara de tuna morada encontró su máximo valor en el tratamiento 10, siendo éste de 23,29 mg GAE/100 g mta. Destacable a los reportados en otras investigaciones de otros frutos como: papaya 53,8, la piña 8,9, guayaba 56,9 y guanábana 39,6, Según lo reportado por Alba et al. (2014) considerando que la parte estudiada es estas investigaciones son pulpas, es por tanto importante fuente de obtención de estos componentes bioactivos que se descartan en la industria de los alimentos y en las preparaciones domésticas. Las cifras encontradas según Alba et al. (2014) en la cáscara de tuna morada son equiparables al contenido de PT de las pulpas de tuna verde.

De acuerdo al comportamiento de los PT a una mayor temperatura de 50 a 60°C decae el contenido de la misma, debido a que por encima de esta temperatura comienza la degradación de los polifenoles debido a la activación de la enzima polifenol oxidasa (Akowuah & Zhari, 2010).

En nuestro estudio se ha encontrado una fuerte correlación entre el factor pH que guarda una relación inversa con el contenido de PT, este mismo comportamiento es similar a otras investigaciones y además a un pH menor de 4,5 favorece la extracción de los fenoles y estabilidad del mismo. (Caldas-Cueva et al., 2015; Apaza, 2017)

5.5 Discusión de la actividad antioxidante

En cuanto al valor de la actividad antioxidante, debido a la diversidad de métodos que se emplean para su determinación, resulta difícil efectuar comparaciones. Utilizando el trolox como patrón de referencia, que según los resultados obtenidos tabla del Anexo C, el tratamiento con mayor capacidad antioxidante resultó ser el número 8; dando un valor de 206,46 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$, estos resultados son concordantes con el estudio de Apaza (2017), cuyos valores varían de 0,82 a 2,02 $\mu\text{mol Trolox/g}$,

La variabilidad de concentraciones encontradas en los diversos estudios en cuanto a la capacidad antioxidante puede deberse primero a la diversidad en cuanto a los frutos, las variedades, el genotípico de éstas, al tenor de sus compuestos fenólicos, carotenoides, antocianinas y ácido ascórbico presente en ellas. Las mismas le confieren un efecto sinérgico al potencial antioxidante del fruto, para corroborar el potencial antioxidante del fruto como su cáscara tiene que recurrirse a varios métodos como el ABTS y determinar su grado de correlación.

El factor de mayor relevancia y significancia estadística que afecta considerablemente en las variables de respuesta estudiados: Betalaínas, PT y la capacidad antioxidante, es el pH del medio, Este resultado guarda relación con las conclusiones derivadas del estudio de (Apaza, 2017), con los pigmentos de ayrampo.

VI. CONCLUSIONES

6.1 Según los resultados del estudio y del análisis estadístico, se confirma que el factor temperatura incide directamente en el tenor de Betalaínas; siendo poco significativo a un nivel de confianza del 95% para el caso de los PT y la Actividad antioxidante. Dentro del intervalo de temperaturas de sonicación estudiadas; se encontró que el tenor de betalaínas se maximiza a un valor de 49,3 mg/100g, alrededor de los 45°C., tiempo de sonicación de 30 minutos y pH del medio 7,0.

6.2 Con respecto al factor tiempo; este factor resultó ser poco significativo en cuanto a la extracción de betalaínas, si resultó ser significativo en la expresión cuadrática de este factor para los polifenoles totales y la actividad antioxidante, por lo que la inclusión en los modelos matemáticos predictivos se justifica.

6.3 Con respecto al factor pH; resultó ser el factor de mayor incidencia y significancia para las 3 variables de respuesta estudiadas: Betalaínas, PT y Actividad Antioxidante; de acuerdo al análisis estadístico con un nivel de confianza del 95% y de los Diagrama de Pareto realizados, para el caso de las betalaínas; existe un incremento del valor de las betalaínas totales si partimos de un pH de 4,0, a pH 7,0 de 33,37 mg/100 g a 49,94 mg/100 g, Para el caso de PT; de acuerdo a la curva de comportamiento, se logró un valor máximo inflexivo de 21,04 mg GAE/100 g ; esto es a un medio de pH de 4,78, Y para la actividad antioxidante; para un medio de pH = 4,0 se aprecia un mayor valor de la actividad antioxidante; siendo éste de 89,55 $\mu\text{mol ET}/100\text{g}$; desciende por la curva con pendiente negativa a un valor de 53,03 $\mu\text{mol ET}/100\text{g}$ a un pH 7,00.

6.4 Se obtuvieron los respectivos modelos matemáticos predictivos para la betalaína, PT y Actividad antioxidante, con valores para el estadístico R^2 , que para el caso de la Betalaína explica el 95, 4% y R^2 ajustado de 87,1%, para el caso de PT el modelo así ajustado explica 91,4% con

R^2 ajustado de 75,9%, Y para el caso de la actividad antioxidante el modelo así ajustado explica 92,9% y el R^2 ajustado de 80,2%.

6.5 Finalmente, de acuerdo a los criterios de optimización por la función de deseabilidad, se han obtenido 06 tratamientos con valores cercanos a la unidad en deseabilidad, siendo estos mayores a: 0,803, Teniendo el primer tratamiento los siguientes valores que optimizan de manera simultánea nuestras tres variables respuestas; éstas son: 33,38°C, tiempo: 60 minutos y pH = 4,5, siendo el valor de betalaínas 37,7793 mg/100 g, los polifenoles totales de 23,2919 GAE/100 g, DPPH 163,793 μ Mol ET/100 g.

VII. RECOMENDACIONES

7.1 Proponer diseños experimentales para la extracción de colorantes naturales que mantengan sus características funcionales y en el caso de colorantes naturales mantener su poder tintóreo y ser utilizados para tal fin en la industria alimentaria. Así como también en la formulación y desarrollo de nuevos alimentos funcionales o nutraceuticos, elemento añadido de mayor valor agregado por su funcionalidad, incorporar los demás componentes que no han sido estudiados en el presente estudio como la fibra, pectina, o hidrocoloides, etc, tanto en pulpa como en los cladodios.

7.2 Lograr dentro del ámbito científico y académico la generación de tecnologías de acceso a los productores o para la gente más emprendedora con factibilidad técnica y económica; los resultados tecnológicos puedan ser transferidos al sector productivo de nuestro país.

7.3 Completar otros estudios como la determinación de la pureza y recuperación del colorante, para el caso de la Betalaina e identificación, cuantificación de otros componentes de las betalainas como son: betanina, vulgaxantina y betanidina.

7.4 Recomendamos para el caso de betalainas, el estudio de otros componentes de la Betalaina como betanina, vulgaxantina y betanidina y comparar con las otras variedades de tuna de la región.

VIII. REFERENCIAS

- Alba, J., Chávez, J., Vardalet, I., Martínez, A. y Aquino, E. (2014). Betalainas, polifenoles y actividad antioxidante en tuna roja mínimamente procesada, almacenada en atmósferas controladas. *Gayana Bo*, 71(2), 222-226. <https://acortar.link/OddTrY>
- Apaza, A. (2017). *Influencia de parámetros fisicoquímicos en la extracción de pigmentos de ayrampo (Opuntia soehrensii B.) sobre el contenido de fenoles totales, betacianinas totales y capacidad antioxidante*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Moquegua. <http://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/57>
- Ardilez, P. (2023). *Caracterización y optimización de la extracción mediante fluidos supercríticos de Parastrephia sp una herbácea medicinal folclórica del Norte Grande de Chile*. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/195145>
- Arellano, E., Rojas, I. y Paucar, L. (2016). Camu camu (*Myrciaria dubia*): fruta tropical de excelentes propiedades que ayudan a mejorar la calidad de vida. *Scientia Agropecuaria*, 7(4), 334-344. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.04.08>
- Arciniegas, V. (2020). *Recuperación de compuestos bioactivos de subproductos de la industria alimentaria mediante el empleo de mezclas etanol/agua presurizada*. (Trabajo Máster Universitario en Seguridad y Biotecnología Alimentarias). Universidad de Burgos. <https://riubu.ubu.es/handle/10259/5611>
- Awad, T., Moharram, H., Shaltout, O., Asker, D. y Youssef, M. (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food : A review, *Food Research International*, 48(2), 410–427. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.004>

- Azmir, J., Zaidul, I., Rahman, M., Sharif, K., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M., Ghafoor, K., Norulaini, N. y Omar, A. (2013). "Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review," *Journal of Food Engineering*, 117 (4), 426-436.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>
- Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (2011). Preguntas y respuestas sobre aditivos alimenticios. Comisión Europea.
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/MEMO_11_783
- Badui, S. (2012). *Química de los alimentos* (5ª ed.), Pearson.
<https://www.yumpu.com/es/document/read/62362632/quimica-de-los-alimentos-badui>
- Beccaro, G. Bonvegna, L., Donno, D., Mellano, M., Ceruti, A., Nieddu, G. Chessa, I. & Bounous, G. (2015). Opuntia spp. Biodiversity conservation and utilization on the Cape Verde Island
Genetic Resources and crop evolution, 62(1), 21-33. <https://hdl.handle.net/2318/148150>
- Bedoya, N. & Piran, G. (2021). Quantification of Food Losses and Waste in Peru: A Mass Flow Analysis along the Food Supply Chain, *Sustainability*, 13(5), 2807.
<https://doi.org/10.3390/su13052807>
- Blanco, L. (2023). Tuna. Lifder <https://www.lifeder.com/tuna/>
- Bruce, S. (2022). Secondary metabolites from natural products. *IntechOpen*, 1-21.
<https://www.intechopen.com/predownload/80477>
- Caldas, J., Morales, P., Ludeña, F., Betalleluz, I., Chirinos, R. & Campos, G. (2015). Stability of Betacyanin Pigments and Antioxidants in Ayrampo (*Opuntia soehrensii* Britton and Rose) Seed Extracts and as a Yogurt Natural Colorant. *Food processing and reservation*, 40(3), 541-549. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12633>

- Camacho, M., Ramos, D., Ávila, N., Sánchez, E. y López, S. (2020). Las defensas físico químico de las plantas y su efecto en la alimentación de los rumiantes, *Terra Latinoamericana*, (38)2, 443-453.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v38n2/2395-8030-tl-38-02-443.pdf>
- Campos, R., Razo, O., Almaraz, I., Ramírez, E., Soriano, R., Salinas, J., Arias, L. y Gonzales, S. (2018). Bioconversión de desperdicios vegetales a biogás, a partir de microorganismos ruminales. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34(1), 149-150.
<https://doi.org/0.20937/rica.2018.34.01.13>
- Casares, A. (2010). *Análisis de polifenoles en los vinos*. [Tesis de pregrado]. Universidad Politécnica de Cataluña. Repositorio Institucional.
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10677/PFC_VOL_IV.pdf
- Castro, R. (2014). *Efecto del secado por aspersión en la estabilidad de componentes bioactivos de tuna morada (Opuntia ficus-indica)* [Tesis Maestría]. Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología.
<http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/19733>
- Covarrubias, A. (2018). *Evaluación de las condiciones de encapsulación de extractos de polifenoles y esteviósidos para su aplicación como aditivos en la industria alimentaria*. [Tesis de Doctorado]. Pos Grado Interinstitucional. <https://acortar.link/9an8LC>
- Cuidamos de los alimentos (2014). Definición y características de más importantes de los colorantes. <https://acortar.link/ykrWs5>
- Díaz, E., García, O., & Castro-Muñoz, R. (2021). Membrane technologies for the extraction and purification of steviol glycosides. Galanaki (Ed.), *Steviol Glycosides*, (pp. 159–199).
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820060-5.00007-8>

- Egbuna, C., Chinenye, J., Chidi, S., & Kumar, S. (2019). *Phytochemistry: Volume 1: Fundamentals, Modern Techniques, and Applications. Apple Academic Press/ Tylor & Francis*. <https://acortar.link/ZkKHOG>
- Esparza, F., López R. y Guzmán, S. (2016). Efecto de la temperatura sobre los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en el residuo de la producción de mandarina (*Citrus reticulata Satsuma*). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de alimentos*, 1(1), 843-850.
<http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/1/9/146.pdf>
- Fennema - Owen, R. (Ed.) (2019). *Química de los alimentos*. 4ª Edición. Editorial Acribia.
<https://acortar.link/oUR60U>
- Flores, M., Rentería, A., Sánchez, R. y Chávez, A., (2019). Estructura y estabilidad de las betalainas. *Interciencia*, 44(6), 318-325. <https://acortar.link/NBWsvI>
- Gallego, M. (2016). *Estudio de la actividad antioxidante de diversas plantas aromáticas y/o comestibles*. [Tesis de doctorado]. Universidad de Cataluña. Programa de Doctorado.
<http://hdl.handle.net/10803/403986>
- Gerencia Regional Agraria [GRA] La Libertad (2022). *Cultivo de la tuna Opuntia ficus indica*.
<https://acortar.link/zKaVuW>
- Gengatharan, A., Dykes, G. & Sim, W. (2015). Betalains: Natural plant pigments with potential application in Functional Foods. *LWT - Food Science and Technology*, 64,(2) 645-649.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.05232>
- Gómez, E. (2016). *Colorantes naturales: Tendencias en alimentación y otros productos de consumo*. <https://acortar.link/oUDkY6>

- Gonzales, A. y Guerrero, J. (2018). Betalaínas: Importancia, presencia en vegetales y sus aplicaciones en la Industria Alimentaria. *Revista de temas selectos de Ingeniería de alimentos*, 11(2), 13-21. <https://acortar.link/NMxQ35>
- Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. (3ª ed.). Mc Graw Hill. <https://acortar.link/gCN6nO>
- Hernández, J., Reyes, A., Hernández, I., Peláez, A. y Campos, R. (2023). Tecnologías sustentables (microondas, ultrasonido y CO₂ supercrítico) para extracción de compuestos bioactivos en propóleo. *Boletín de ciencias agropecuarias del ICAP*. 9(0) 20-25. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icap/article/view/9260/10153>
- Huaringa, M. (2014). *Evaluación de betaninas y actividad antioxidante de pulpa concentrada de tuna (Opuntia ficus indica) ecotipo morado* [Tesis de pregrado] Universidad Nacional del Centro del Perú. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1948>
- Imán, S., Bravo, L., Sotero, V. y Oliva, C. (2011). Contenido de vitamina C en frutos de camu camu *Myrciaria dubia* (H.B.K) Mc Vaugh, en cuatro estados de maduración, procedentes de la Colección de Germoplasma del INIA Loreto, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 1(2), 123-130. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/383>
- Jaime, M. (2021). *Revisión bibliográfica sobre nuevas técnicas de obtención de extractos a partir de sustratos vegetales*. [Trabajo de tesis]. Universidad de Extremadura. Repositorio Ciencia y Tecnología de los Alimentos. https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/13171/1/TFGUEx_2021_Jaime_Gato.pdf
- Jorge, P. y Troncoso, L. (2016). Capacidad antioxidante del fruto de la *Opuntia apurimacensis* (ayrampo) y la *Opuntia ficus* (tuna). *Anales de la Facultad de Medicina*, 77(2), 105-109. <https://doi.org/10.15381/anales.v77i2.11812>.

Katsampa, P., Valsamedou, E., Grigorakis, S. y Makris, D. (2015). A green ultrasound-assisted extraction process for the recovery of antioxidant polyphenols and pigments from onion solid wastes using Box-Behnken experimental design and kinetics, *Industrial Crops and Products*, *Journal of Integrative Agriculture*, 77 (0), 535-543.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.09.039>

La tuna (2021). ¿Qué es?, historia, cultivo, valor nutricional, usos, recetas y mas...

<https://acortar.link/pbuVA4>

Lizárraga, C. (2019). Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de ácido carmínico y carmín extraído de la cochinilla. [Tesis de investigación]. Universidad de Lima. <https://acortar.link/SJj5IA>

López, K. (2020). Optimización de la digestión enzimática asistida por microonda para la obtención de péptidos bioactivos a partir de α - caseína de la leche. [Tesis de pregrado]. Universidad Concepción de Chile. <https://acortar.link/PJStcQ>

Martín, D. (2018). Compuestos fenólicos, un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y su actividad biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 9(1). <https://doi.org/10.22490/21456453.1968>

Matos, A, y Chambilla, E. (2010). Importancia de la Fibra Dietética, sus Propiedades Funcionales en la Alimentación Humana y en la Industria Alimentaria, *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 4-17.

https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_alimentos/article/view/813

Mahato, N., Sharma, K., Sinha, M., Baral, E, R., Koteswararao, R., Dhyani, A., Cho, M. & Cho, S. (2020). Bio-sorbents, industrially important chemicals and novel materials from Citrus

- processing waste as a sustainable and renewable bioresource: *A review*, *Journal of Advanced Research*, 23, 61-82. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.01.007>
- Medina, N. (2017). *Efecto del ultrasonido en la extracción y nanoencapsulación de polifenoles de limón persa (Citrus latifolia)*. [Tesis de maestría]. Centro de investigación y asistencia en tecnología y diseño del estado de Jalisco A.C. <https://acortar.link/eVx72Y>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego y Sierra Exportadora (2022). Análisis de mercado 2015-2021. <https://acortar.link/7pJKdJ>
- Montilla, A., Tovar, I. y Pacheco, H. (2020). Cuantificación de pectinas en la pulpa del fruto de tres especies de tuna (*Opuntioideae*, *Cactaceae*). *La Técnica. Revista de las Agrociencias*. Universidad Técnica Marabí. 23.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8232832.pdf>
- Musielak, G., Mierzwa, D. & Kroehnke, J. (2016). Food drying enhancement by ultrasound. *Trends in Food Science & Technology*, 56(2016), 126-141.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.003>
- Muñoz, J.J. (2010). *Identificación de fibra dietaria en la cáscara, pulpa y en el residuo de la extracción de gel de penca de tuna (Opuntia ficus indica) variedades amarilla y blanca*. [Tesis de Grado]. Universidad de Loja. <https://acortar.link/gL8Qft>
- Naranjo, M. (2016). *Evaluación de dos métodos para la obtención de extractos con actividad antioxidante a partir de gulupa (Passiflora edulis Sims.) con aplicación en productos mínimamente procesados*. [Trabajo fin de grado]. Universidad de la Salle.
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1057&context=ing_alimentos
- Nayhua, C. (2017). *Obtención del colorante natural a partir de la cáscara tuna púrpura (Opuntia ficus indica) mediante la extracción sólido líquido para su aplicación en la industria de*

alimentos fruto proveniente del distrito de San Cristóbal Moquegua. [Tesis de Grado].
Universidad Nacional de Moquegua.

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6391>

Navarro, I., Periago, M., y García, F. (2017). Estimación de la ingesta diaria de compuestos fenólicos en la población española. *Revista española de Nutrición Humana y Dietética*, 21(4), 320-326.

<https://scielo.isciii.es/pdf/renhyd/v21n4/2174-5145-renhyd-21-04-320.pdf>

Núñez, R., Quintana, L., Gutiérrez, R., Valdez, O., Gonzales, K., Hernández, Y., Acosta, Y. y Ortiz, E. (2019). Optimización del proceso de extracción de compuestos fenólicos de la angiosperma marina *Thalassia testudino*. *Revista colombiana Biotecnología*, 21(2), 109-117.

<https://doi.org10.15446/rev.colomb.biote.v21n2.74552>

Orellana, L. (2015). *Extracción y caracterización de los pigmentos naturales presentes en Beta vulgaris (remolacha) para la propuesta de una formulación cosmética y evaluación de su estabilidad fisicoquímica y microbiológica*. [Licenciatura Tesis]. Universidad de San Carlos de Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/889>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] e Centro de Investigación agrícola en las zonas secas [ICARDA]. (2018). *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal*. Centro Internacional de investigaciones.

<https://www.fao.org/3/i7628es/I7628ES.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2023). Día internacional de concienciación sobre la pérdida y desperdicio de alimentos.

<https://www.un.org/es/observances/end-food-waste-day>

- Orphanides, A., Goulas, V. & Gekas, V. (2014) "Introducing the concept of sono-chemical potential: A phenomenological model for ultrasound assisted extraction," *Journal of Food Engineering*, 120 (0), 191-196.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2018). *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal*. <https://hdl.handle.net/20.500.11766/9380>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2022). *Hacer frente a la pérdida y el desperdicio de alimentos: Una oportunidad de ganar por partida triple*. <https://acortar.link/s5dmbP>
- Ortega, C., Espinoza, L., Reyna, M., Gómez, A. y Aparicio, X. (sf). *Estudio de la composición de cáscara de tunas silvestres como propuesta para su aprovechamiento*. XVI Encuentro Participación de la mujer en Ciencia. https://congresos.cio.mx/16_enc_mujer/cd_congreso/archivos/resumenes/S4/S4-BCA24.pdf
- Patiño, T. (2021). *Optimización del proceso de obtención de pectina a partir de Syzygium malaccense L. (Pomarosa) mediante el uso de hidrólisis ácida*. [Tesis de Grado]. Escuela Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14693/1/20T01438.pdf>
- Perez, I., Requena, F. y Piñero, G. (2020). Riesgos y beneficios de los metabolitos secundarios vegetales para la alimentación animal y humana. *Revista de investigación Hatun Yachay Wasi* 1(2), 127-142. <https://doi.org/10.57107/hyw.v1i2.30>
- Pokorny, J; Yanishlieva, N, y Gordon, M. (2005). *Antioxidantes de los alimentos. Aplicaciones prácticas*. Ed Acribia

- Ponce, J. (2019). *Efecto del ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo en la obtención de aguaymanto (Physalis peruviana L.) osmo deshidratado en la mejora de la calidad*, [Tesis de Doctorado, Universidad Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/3549>
- Preciado, A., Ruiz, J., Villegas, M., Domínguez, J. y Gonzales, G. (2022), Aprovechamiento de sub productos de la industria agroalimentaria. Un acercamiento a la economía circular, *Revista Iberoamericana de Tecnología Post cosecha*, (23)2, 92. <https://www.redalyc.org/journal/813/81373798002/html/>
- Proyectos peruanos (2020). *Cultivo de tunas*. Proyectos peruanos. El aliado de su inversión. https://proyectosperuanos.com/siembra_y_cultivo_de_tunas/
- RACIM (2020). Ficha técnica, Vitamina C. <https://acortar.link/uxOHYL>
- Ramos, D. (2023). *Evaluación del uso de etanol y glicerol como solventes alternativos en un proceso de extracción asistida por ultrasonido para la recuperación de polifenoles presentes en hojas de olivo (olea europaea l.)*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Moquegua. <https://acortar.link/4zYQe6>
- Reyes, M. y Lavín, A. (Eds.). (2004). Lavín, A. y Matsuya K. (eds). *Opuntia ficus indica Mill. Frutales: especies con potencial en el secano interior*. 105-116. Editora Icaro Ltda.
- Repo de Carrasco, R. y Encina, C. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 74(2), 108-124. <https://acortar.link/gCsRqD>
- Rojas, T., Gómez, S., Fuentes, M., Contreras, E. y Muñoz, A. (2019). Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de la cáscara de sanky (*Corryocactus brevistylus*),

Revista de la Sociedad Química del Perú, 85(2).

<https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i2.82>

Rosillo, C. (2016). *Estudio de los principios bioactivos y obtención de colorantes naturales de la cáscara de Opuntia ficus – indica (L.) Miller “tuna”*. [Tesis de pre grado]. Repositorio Institucional Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

<https://cybertesis.unmsm.edu.pe>

Salazar e Hidalgo (2022). *Uso de colorantes alimentarios artificiales y naturales, su impacto en la salud: Revisión de la literatura*. [Tesis de pre grado]. Universidad Nacional de Chimborazo.

<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9714>

Shahidi, F. & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects-A review. *Journal of Functional Foods* 18(0), 820-897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>

Sepúlveda, C. y Zapata, J. (2019). Efecto de la temperatura, el pH y el contenido en sólidos sobre los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante del extracto de *Bixa orellana L.* 30(5), 57-66.

https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000500057

Silva, J. (2022). *Optimización del proceso de extracción de hidroalcohólica a partir del eneldo (Anethum graveolens) en función del contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante*. [Tesis de maestría]. Universidad Técnica de Cotopaxi. Repositorio digital Universidad Técnica de Cotopaxi.

<https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8381/1/MUTC-001118.pdf>

Tippens, P. (2011). *Física conceptos y aplicaciones*. (7ª ed. Mc Graw Hill).

https://jbfisica.files.wordpress.com/2017/01/fc3adsica_p-e-tippens_7ma.pdf

- Trelles, P. (2017). *Exportación de volumen de cochinilla y sus derivados creció 11% a marzo*, Agencia peruana de noticias andina. <http://www.andina.pe/>.
- Tomas - Barberán (2003). Los polifenoles de los alimentos y la salud, Alimentación, Nutrición y Salud. 10(2) 41-53. <https://core.ac.uk/download/pdf/36029143.pdf>
- Torres, L., Serna, S., Pinto, J. y Vargas, V. (2020). *Evaluación de condiciones de extracción asistida por ultrasonido de compuestos bioactivos de cáscara de pitahaya amarilla*. 17(1), 70-83. <https://doi.org/10.22507/rli.v17n1a6>
- Ulloa, J. A., Rosas, U. P., Ramírez, J. y Ulloa, B. (2013). Ultrasonido: aplicaciones en el campo de los alimentos. *Revista Fuente nueva época*, 4(4), 1-13. <https://acortar.link/13XtLb>
- Valencia, C. y Guevara, A. (2013). Variación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos durante el procesamiento del néctar de zarzamora (*Rubus fruticosus L.*). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371937631004>
- Vargas, M., Figueroa, H., Tamayo, J., Toledo, V. y Moo, V. (2019). Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricional y compuestos bioactivos, *Ciencia ergo-sum*, 26(2), 1-11. <https://doi.org/10.30878/ces.v26n2a6>
- Vergara, M. (2013). *Extracción y estabilización de betalainas de tuna púrpura (Opuntia ficus-indica) mediante tecnología de membranas y microencapsulación, como colorante alimentario* [Tesis doctoral]. Santiago. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/114868>
- Wijngaard, H., Mohammad, B., Hossain, Dilip K, Rai, and Brunton, N. (2012). "Techniques to extract bioactive compounds from food by-products of plant origin," *Food Research International*, 46 (2), 505-513. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.09.027>

- Wong, J., Aguilar, P., Veana, F y Muñiz, D. (2020). Artículo de revisión: Impacto de las tecnologías de extracción verdes para la obtención de compuestos bioactivos de los residuos de frutos cítricos. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*.3(1), 1-12. <https://www.redalyc.org/journal/432/43266574023/html/>

IX. ANEXOS

Anexo A

Fibra dietética total

FIBRA DIETÉTICA TOTAL

Tipo de muestra	W muestra	W crisol vidrio	W celite	W Crisol + celite seco	W Celite seco	W crisol + celite seco + residuo
1	1,0003	30,4643	0,5008	30,9613	0,4970	31,4050
2	1,0007	30,3204	0,5001	30,818	0,4976	31,2658
3	1,0006	30,4655	0,5001	30,9628	0,4973	31,4039

W residuo + celite seco	W crisol vidrio	W Residuo	W crisol + cenizas	W cenizas	% FDT	Promedio	DESVESTA
0,9407	30,4643	0,4437	31,0024	0,0411	40,2479	40,2485	0,0230
0,9454	30,3204	0,4478	30,8628	0,0448	40,2718		
0,9384	30,4655	0,4411	31,0014	0,0386	40,2259		

FIBRA DIETÉTICA INSOLUBLE

Tipo de muestra	W muestra	W crisol vidrio	W celite	W Crisol + celite seco	W Celite seco	W crisol + celite seco + residuo
1	1,0006	30,4019	0,5007	30,8998	0,4979	31,2185
2	1,0008	30,5448	0,5005	31,0434	0,4986	31,3647
3	1,0007	30,3249	0,5	30,8229	0,4980	31,1405

W residuo + celite seco	W crisol vidrio	W Residuo	W crisol + cenizas	W cenizas	% FDI	Promedio	DESVESTA
0,8166	30,4019	0,3187	30,9115	0,0117	30,6816	30,6816	0,2828
0,8199	30,5448	0,3213	31,0534	0,0100	31,1051		
0,8156	30,3249	0,3176	30,8346	0,0117	30,5686		

FIBRA DIETÉTICA SOLUBLE

Tipo de muestra	% FDT	% FDI	%FDS	Promedio	DESVESTA
1	40,2479	30,6816	9,5663	9,3665	0,2826
2	40,2718	31,1051	9,1667		
3	40,2259	30,5686	9,6573		

Anexo B

Análisis químico proximal,



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS
N° 006422-2022

SOLICITANTE	: RAFAEL JAIME RAMIREZ CASTRO
DIRECCIÓN LEGAL	: AV. CONFRATERNIDAD INTERNACIONAL ESTE 334 RUC : 31651901 Teléfono : 942168317
PRODUCTO	: CÁSCARA DE TUNA MORADA - ANÁLISIS PROXIMAL
NUMERO DE MUESTRAS	: Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA	: S.I.
CANTIDAD RECIBIDA	: 3409,7 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S)	: S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN	: Envasado, la muestra ingresa en bolsa sellada.
SOLICITUD DE SERVICIOS	: S/S N°EN- 004176 -2022
REFERENCIA	: ACEPTACION TELEFONICA
FECHA DE RECEPCIÓN	: 05/12/2022
ENSAYOS SOLICITADOS	: FÍSICO / QUÍMICO
PERIODO DE CUSTODIA	: No aplica

RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:

ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2
1 - % Kcal. proveniente de Carbohidratos	96,4	---	---
2 - % Kcal. proveniente de Grasa	0,0	---	---
3 - % Kcal. proveniente de Proteínas	3,6	---	---
4 - Energía Total (Kcal/100 g de muestra original)	44,8	---	---
5 - Carbohidratos (g/100 g de muestra original)	10,8	---	---
6 - Humedad (g/100 g de muestra original)	86,8	86,82	86,82
7 - Proteína (g/100 g de muestra original) (Factor:6,25)	0,4	0,42	0,43
8 - Cenizas (g/100 g de muestra original)	2,0	2,03	1,98
9 - Fibra Cruda (g/100 g de muestra original)	0,9	0,89	0,93
10 - Grasa (g/100 g de muestra original)	0,0	0,01	0,01
11 - Vitamina C (mg/100 g de muestra original)	58,0	57,95	57,95

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:

- 1 - Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 2 - Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 3 - Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 4 - Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 5 - Por Diferencia MS-INN Collazos 1993
- 6 - AOAC 930.04 Cap. 3, Pág. 1, 21st Edition 2019
- 7 - AOAC 978.04 Cap. 3, Pág. 28, 21st Edition 2019
- 8 - AOAC 930.05 Cap.3, Pág. 1, 21st Edition 2019
- 9 - NTP 205.003:1980 (Revisada al 2011)
- 10 - AOAC 930.09 Cap. 3, Pág. 24, 21st Edition 2019
- 11 - AOAC 967.21 Cap. 45, Pág. 21-22, 21st Edition 2019

FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS: Del 05/12/2022 Al 19/12/2022.

ADVERTENCIA:

- 1 - El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
- 2 - Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
- 3 - Válido solo para la cantidad recibida. No es un certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.



Biol. Lourdes Marguilla Barco Saldaña
 Directora Técnica (e)
 C.B.P. N° 01232

La Molina, 19 de Diciembre de 2022

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Perú

Telf.: (511) 3495640 - 3492507 Fax: (511) 3495794

E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal

la molina calidad total

Anexo C

Resultados globales por tratamientos de las 3 variables de respuesta

N° Trat.	Temperatura °C	Tiempo min	pH	Betalaina Totales (mg/100g)	Polifenoles Totales (mg GAE/100g)	Actividad Antioxidante umol ET/100g
1	60	45	4,0	11,7906	21,1175	91,4398
2	45	45	5,5	46,8097	21,3589	57,5946
3	60	30	5,5	32,0413	19,7139	124,5548
4	45	30	4,0	37,3140	18,7440	127,6323
5	45	30	7,0	49,2972	18,1442	50,3127
6	60	60	5,5	24,1228	19,0577	167,1776
7	45	45	5,5	46,8153	19,8867	54,5811
8	45	60	7,0	45,5081	15,2841	42,8799
9	30	45	7,0	47,3077	17,6683	24,5326
10	30	60	5,5	41,5929	23,2919	114,9845
11	60	45	7,0	37,5284	17,7864	56,2932
12	45	45	5,5	44,1318	20,4891	56,1726
13	30	30	5,5	45,6980	22,0433	143,4675
14	30	45	4,0	29,9040	22,0561	95,5428
15	45	60	4,0	34,3797	21,4120	206,4630

Anexo D

Fotos de los análisis morfológico y biométrico



Muestras de tuna



Pulpa de la tuna morada



Cáscara de la tuna morada



Toma de medidas biométricas

Anexo E*Cortado y acondicionamiento de la tuna*

Cortado de la cáscara de tuna



Pesado de la muestra para betalaínas



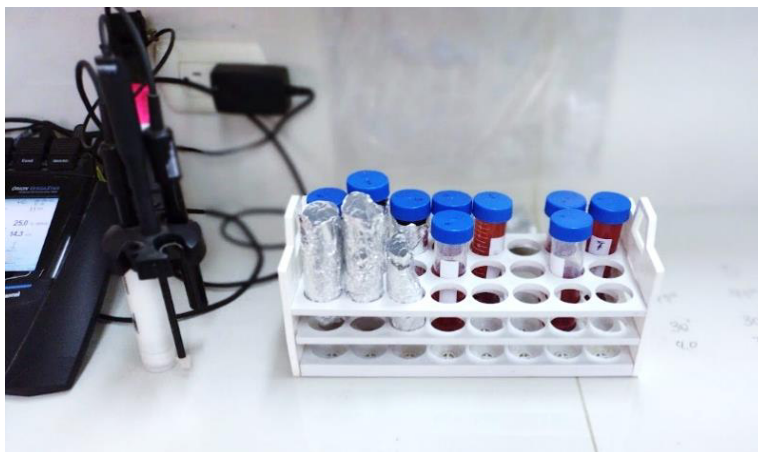
Cáscara de tuna extraída la epidermis y licuado



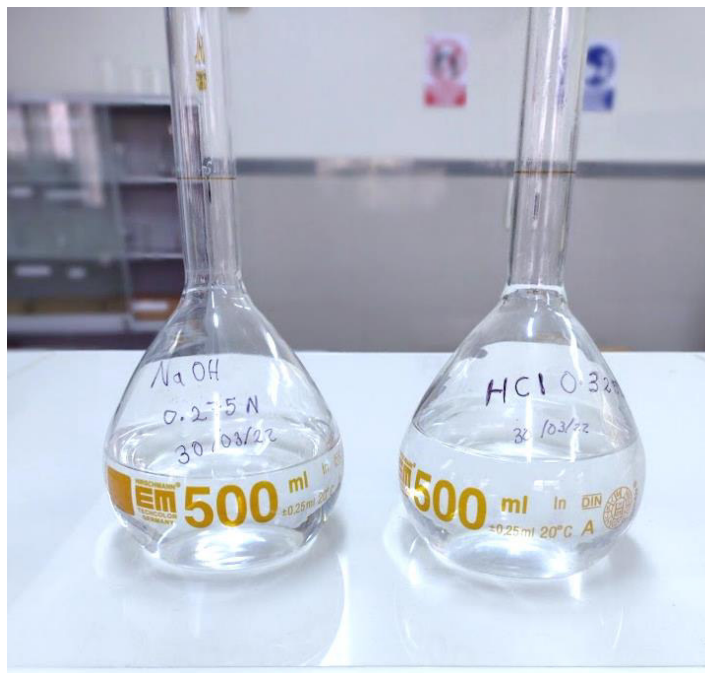
Acondicionamiento de la cáscara de tuna



Equipo ultrasonido, Branson

Anexo F*Determinación de Betalainas totales (BT)*

Tubos para betalainas



Reactivos para corregir el pH del medio



Muestras corregidas el pH para betalaínas



Soluciones con muestra de cáscara de tuna



Filtrado con papel Watman N° 4



Proceso de filtración con papel Watman N° 4



Balanceo del peso antes de ingresar a la centrífuga



Proceso de centrifugación BT



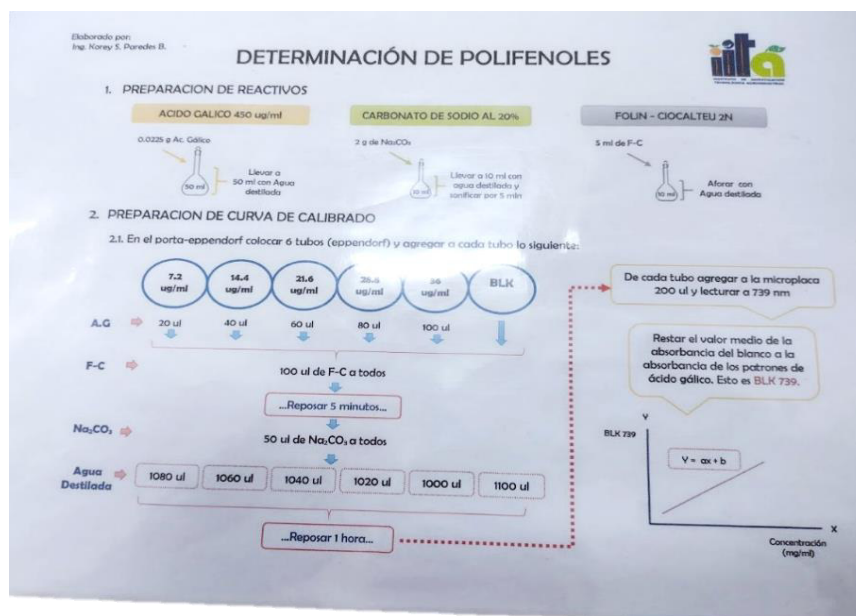
Proceso de baño ultrasónico para todos los tratamientos



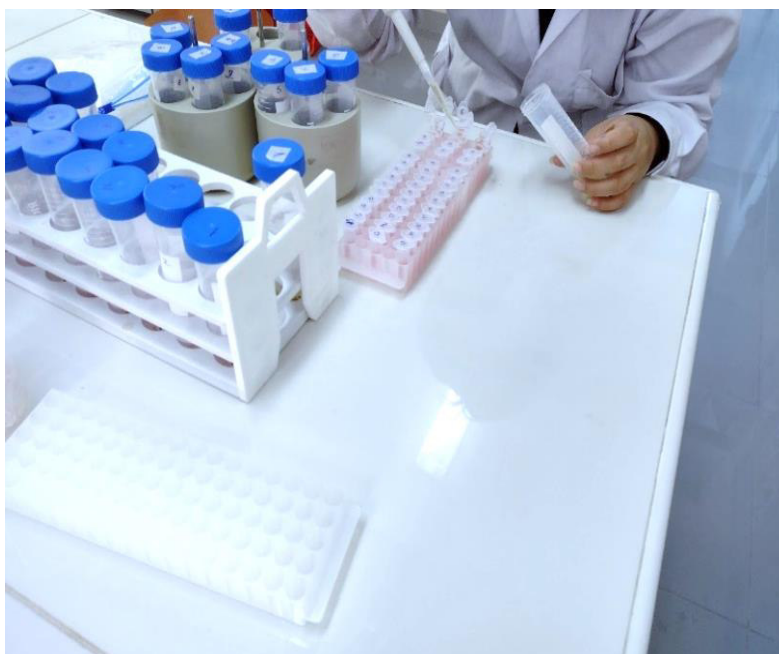
Insumos para los PT

Anexo G

Determinación de Polifenoles totales (PT)



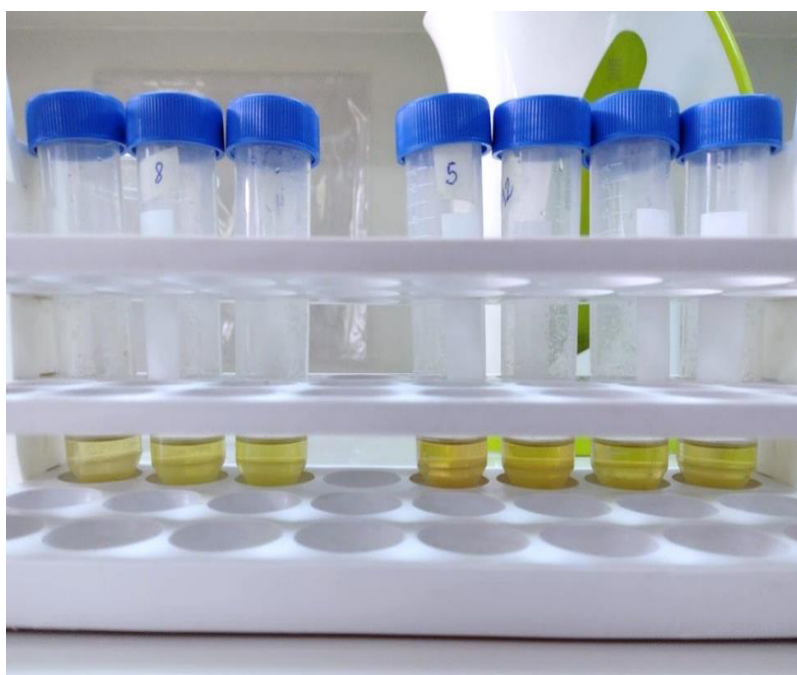
Manual ilustrado de determinación de PT



Tubos Eppendorf para PT



Centrífuga refrigerada para PT



Muestras

Anexo H

Determinación de la capacidad antioxidante (DPPH)

	PROTOCOLO DE TRABAJO	Código: PRT-AR-04 Revisión: N°001
	PROCEDIMIENTO PARA DETERMINACION DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Método DPPH	Fecha: 23-07-2021 Página: 1 de 5

1. OBJETO

Determinar la capacidad antioxidante en alimentos mediante el método de DPPH

2. CAMPO DE APLICACIÓN

El método es aplicable en muestras de alimentos vegetales

3. FUNDAMENTO

El método de DPPH se utiliza para determinar la capacidad antioxidante en productos vegetales. Se determina por el descenso en la absorbancia a 515 nm de una solución metanólica de radical difenil 1-picrilhidrazil (DPPH) en presencia de las distintas muestras, en donde la solución del radical DPPH es la absorbancia inicial (A₀) (Thaipong et al., 2006). El DPPH con el radical oxidado presenta un color inicial morado que a medida que se va reduciendo se torna amarillo. Esta diferencia de color permite cuantificar el porcentaje de DPPH reducido mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ DPPH reducido} = \frac{A_0 - A_m}{A_0} * 100$$

Siendo A₀ la absorbancia del DPPH y A_m la absorbancia de la muestra

4. EQUIPOS Y MATERIALES

- Lector Multimodal Bioteck: LAB 03- BIOPROCESOS AGROINDUSTRIALES
- Balanza analítica: SALA DE PRACTICAS- BIOPROCESOS AGROINDUSTRIALES
- Micropipetas (0-100ul, 100-1000ul, 1000-5000ul): LAB 03- BIOPROCESOS AGROINDUSTRIALES
- Pipeta multicanal (20-300 ul): LAB 03-BIOPROCESOS AGROINDUSTRIALES
- Microplacas: LAB 03-BIOPROCESOS AGROINDUSTRIALES
- Puntas de micropipetas 200ul, 1000ul, 5000ul: LAB 03-BIOPROCESOS AGROINDUSTRIALES
- Matraz aforado de 50 ml: LAB 04-CONTROL DE CALIDAD
- Fiolas de 50 ml: LAB 04-CONTROL DE CALIDAD
- Tubos de ensayo: LAB 03-BIOPROCESOS AGROINDUSTRIALES
- Tubos de falcón 15 ml y 50 ml: LAB 04-CONTROL DE CALIDAD
- Tubos tipo eppendorff 1.5ml y 2 ml: LAB 03-BIOPROCESOS AGROINDUSTRIALES



Insumos para la determinación del DPPH



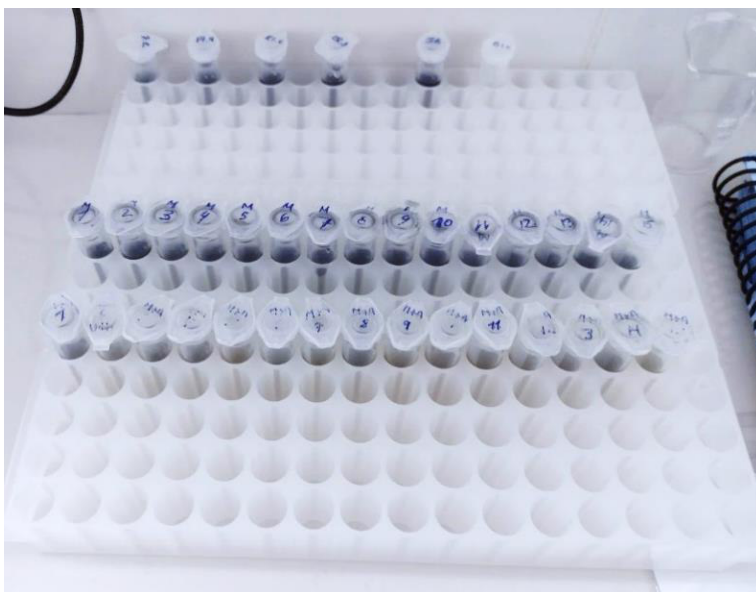
Concentraciones de Trólox para la curva de calibrado



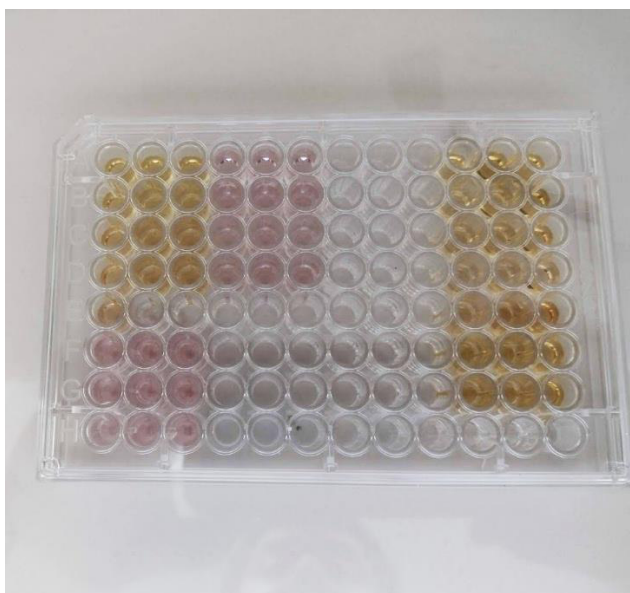
Equipo espectrofotómetro multimodal microplacas



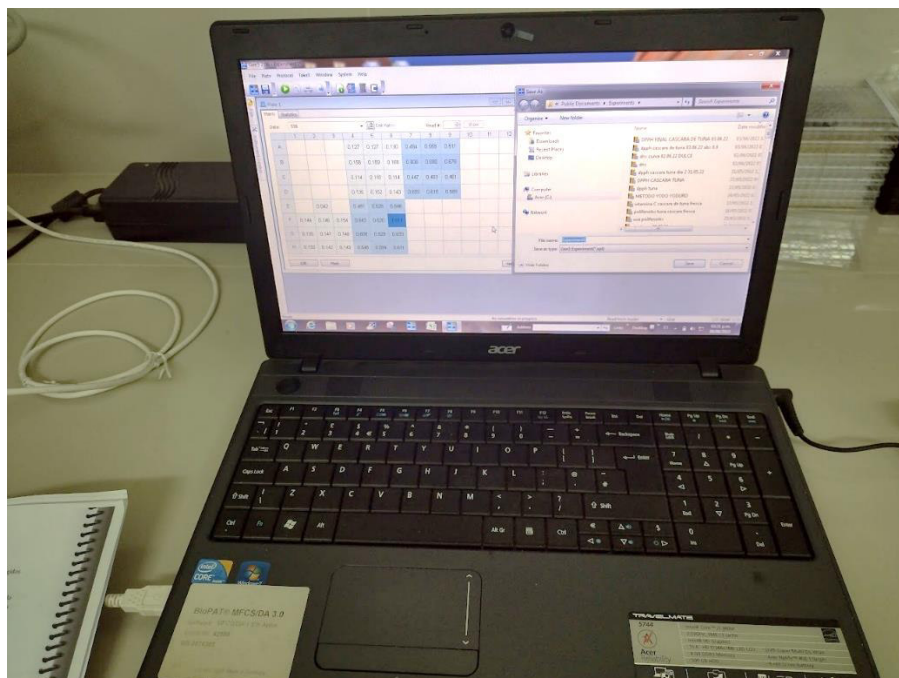
Sala de lectura espectrofotométrica



Muestras para el procesamiento DPPH



Microplaca para su lectura



Cálculo del DPPH