

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE BETALAÍNAS Y
BETAXANTINAS EN TUNAS (*Opuntia ficus-indica*) DE DIFERENTES
COLORACIONES EVALUADOS A DOS TEMPERATURAS”**

T E S I S

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentada por el Bachiller:

LILIA VITALUZ MEJÍA VÁSQUEZ

Asesor:

Mg. Ing. MAX EDWIN SANGAY TERRONES

Cajamarca – Perú

2023

CONSTANCIA ANTIPLAGIO TURNITIN DE TESIS SUSTENTADA

El que suscribe, Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones, en calidad de Asesor del Trabajo de Tesis "DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE BETALAINAS Y BETAXANTINAS EN TUNA (*Opuntia ficus-indica*) DE DIFERENTES COLORACIONES EVALUADOS A DOS TEMPERATURAS."

CERTIFICA

Que se ah realizado la revisión antiplagio TURNITIN del informe de Tesis sustentada, titulada "DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE BETALAINAS Y BETAXANTINAS EN TUNA (*Opuntia ficus-indica*) DE DIFERENTES COLORACIONES EVALUADOS A DOS TEMPERATURAS." presentada por la Bachiller: LILIA VITALUZ MEJÍA VÁSQUEZ, identificado con DNI N° 73179334, domiciliado en Psj. Asencia Tapia #141, Chota, obteniéndose un porcentaje de semejanza al 23%.

Se expide el presente documento, de acuerdo a la Ley, para los fines que el interesado estime conveniente.

Cajamarca, 29 febrero del 2024.


Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones
Asesor
Código Orcid: 0000-0002-5172-1110



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los ocho días del mes de setiembre del año dos mil veintitrés, se reunieron en el ambiente 2H - 204 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según Resolución de Consejo de Facultad N° 220-2023-FCA-UNC, de fecha 15 de mayo del 2023, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: "DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE BETALAÍNAS Y BETAXANTINAS EN TUNA (*Opuntia ficus - Indica*) DE DIFERENTES COLORACIONES EVALUADOS A DOS TEMPERATURAS", realizada por la Bachiller LILIA VITALUZ MEJÍA VÁSQUEZ para optar el Título Profesional de INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS.

A las ocho horas y veinte minutos, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluir la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciséis (16); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS.

A las nueve horas y veinticinco minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Ing. M. Sc. Fanny Lucía Rimarachin Chávez
PRESIDENTE

Ing. Mg. Sc. Jhon Anthony Vergara Copacondori
SECRETARIO

Ing. M. Sc. Jimmy Frank Obítas Cruz
VOCAL

Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones
ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres, Lilia Vásquez Núñez y Vitelio Mejía Vargas por su apoyo incondicional, paciencia y por guiarme al camino de la superación.

A mis abuelos Dagoberto y Victoria quienes con su sabiduría y agudeza me inculcaron y alentaron a ser profesional.

A mis hermanos Yuleysi y Erick por sus consejos y apoyo incondicional que me brindaron día a día.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios por bendecirme siempre y no dejarme caer ante los obstáculos.

A mis padres, ya que gracias a su apoyo pude cumplir mi sueño de ser profesional, los quiero.

A mis abuelos por sus consejos y amor para con sus nietos.

A mis hermanos, demás familiares y amigos por alentarme y aconsejarme para poder lograr mis metas.

A mi asesor Mg. Ing. Max Edwin Sangay Terrones, por su comprensión y tiempo para poder realizar este sueño.

A mi alma mater la Universidad Nacional de Cajamarca por acogerme y prestarme sus instalaciones para realizar este proyecto.

A mis docentes de la Escuela Académica de Ingeniería en Industrias Alimentarias por sus enseñanzas y consejos durante los años de estudios que compartimos.

LA AUTORA

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE CONTENIDO.....	iii
INDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPITULO I	
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema de investigación	1
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Objetivo de la investigación.....	2
3.2.1 Objetivo General.....	2
3.2.2 Objetivos específicos	2
1.4. Hipótesis de la investigación	2
CAPITULO II	
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Antecedentes de la investigación	3
2.2. Bases teóricas.....	6
2.2.1. Tuna:	6
2.2.2. Betalainas:.....	11
2.3. Definición de términos básicos	21
CAPITULO III	
MARCO METODOLÓGICO	22
3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación	22
3.2. Equipos y materiales	22

3.2.3 Material biológico	22
3.2.4 Materiales, equipos y reactivos	22
3.3. Metodología	24
3.3.1 Obtención del colorante o extracto acuoso de tuna amarilla y roja.	24
3.4. Método de análisis.	30
3.4.1. Métodos de análisis utilizados en la cuantificación de betalainas y betaxantinas.	30
3.5. Variables y niveles:	32
3.5.2. Variables dependientes	32
3.5. Diseño experimental y análisis estadístico.....	33
CAPITULO IV	
4.1 Resultados de concentración de betalainas y betaxantinas totales sin tratamiento.....	35
4.2. Concentración de betalainas (betacianinas y betaxantinas), evaluadas a dos temperaturas (4°C y 20° C)	36
4.3. Concentraciones de Betalainas (betaxantinas y betacianinas) almacenadas por 28 días, evaluadas a dos temperaturas (4 °C y 20°C).....	40
4.4. Resultados estadísticos para la Concentración de Betalainas totales almacenadas y analizadas a dos temperaturas (4°C y 20°C), por 28 días.	46
CAPITULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 50	
5.1. Conclusiones	50
5.2. Recomendaciones	51
CAPITULO VI	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 52	
CAPITULO VII	
ANEXO O APENDICE 57	
Anexo 1: Panel de fotos de investigación	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación taxonómica de la tunera india	7
Tabla 2 Composición química de la tuna en 100g	9
Tabla 3 Clasificación según características de la tuna	10
Tabla 4 Betalainas (betaxantinas y betacianinas) reportadas en las Cactáceas.....	12
Tabla 5 Factores que gobiernan la estabilidad de las betalainas (betaxantinas y betacianinas).	19
Tabla 6 Variables y niveles para el diseño experimental.....	33
Tabla 7 Concentración de betalainas presentes en tunas de color roja y amarilla	35
Tabla 8 Concentración de betalainas (betaxantinas y betacianinas) evaluadas a dos temperaturas (4°C y 20°C).....	47
Tabla 10 Análisis de la varianza (ANOVA) para la Concentración de Betaxantinas totales almacenadas y analizadas a dos temperaturas (4°C y 20°C), por 28 días	48
Tabla 11 Análisis de la varianza (ANOVA) para la Concentración de Betacianinas totales almacenadas ya analizadas a dos temperaturas (4°C y 20°C), por 28 días	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fruta Tuna (Opuntia ficus-indica).....	7
Figura 2 Ecotipos de Tunas en Perú	10
Figura 3 Fórmulas generales de las Betalainas	13
Figura 4 Fórmula general de las betacianinas (rojo-púrpura) y las betaxantinas (amarillo)	15
Figura 5 Estructura Química de las Betaxantinas.....	16
Figura 6 Materia prima	24
Figura 7 Tunas peladas y seleccionadas	25
Figura 8 Procedimiento de escaldado	26
Figura 9 Procedimiento de pesado de tuna amarilla	26
Figura 10 Disolvente metanol al 99,8% utilizado para la extracción del colorante	27
Figura 11 Procedimiento de filtración	28
Figura 12 Muestras envasadas y rotuladas	28
Figura 13 Diagrama de Flujo para la extracción y evaluación de Betalainas y Betaxantinas en tuna roja y amarilla	29
Figura 14 Recoletando datos de absorvancias de las muestras.....	31
Figura 15 Matriz del diseño experimental	34
Figura 16 Concentración de Betalainas evaluadas a dos Temperaturas (4°C Y 20°C).....	37
Figura 17 Concentración de Betacianinas en Tuna Amarilla	38
Figura 18 Concentración de Betacianinas en Tuna Colorada.....	38
Figura 19 Concentración de Betaxantinas en Tuna Amarilla almacenado por 28 días evaluadas a dos temperaturas (4°C y 20°C).....	40
Figura 20 Concentración de Betaxantinas en Tuna Roja almacenado por 28 días a dos temperaturas (4°C y 20°C).....	41
Figura 21 Concentración de Betacianinas en Tuna Amarilla almacenado por 28 días a dos temperaturas (4°C y 20°C)	42
Figura 22 Concentración de Betacianinas en Tuna de color Roja almacenadas por 28 días a dos temperaturas (4°C y 20°C).....	43
Figura 23 Concentración de Betalainas totales en Tuna Amarilla almacenadas por 28 días a dos temperaturas (4°C y 20°C).....	44

Figura 24 Concentracion de Betalainas Totales en Tuna Roja almacenadas por 28 días a dos temperaturas (4°C y 20°C).....	45
Figura 25 Materia prima (Tuna Roja y Amarilla).....	57
Figura 26 Tunas Amarilas y Rojas seleccionadas y Peladas	577
Figura 27 Pesado de Tuna Roja	58
Figura 28 Proceso de Escaldado	58
Figura 29 Envasando y Rotulando las muestras	59
Figura 30 Muestras Listas para el almacenamiento.....	5959
Figura 31 Muestras en el espectrofotómetro.....	60
Figura 32 Anotando datos de Absorbancia de las muestras	600
Figura 33 Muestras de Tuna Amarilla después de 28 días de almacenamiento.	611
Figura 34 Muestras de Tuna Roja después de 28 días de almacenamiento	611
Figura 35 Lectura de Absorbancias en el espectrofotómetro a 483 nm de las muestras	622
Figura 36 Lectura de Absorbancias en el espectrofotómetro a 538 nm de las muestras	622

RESUMEN

Esta investigación se realizó en la provincia de Cajamarca en las instalaciones de la Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, en el laboratorio de Análisis de Alimentos y Control de Calidad, con el objetivo de determinar la concentración de betalainas y betaxantinas en tunas (*Opuntia ficus-indica*) de diferentes coloraciones evaluadas a dos temperaturas cada 4 días por 28 días. La materia prima utilizada fue la tuna (*Opuntia ficus-indica*) de dos coloraciones (roja y amarilla), de las que se extrajo colorante con la ayuda de un disolvente (metanol al 98%) en una proporción de 1:10; las muestras obtenidas se sometieron a dos temperaturas de (4°C y 20°C), se almacenó las muestras rotuladas por color y temperatura con 40ml, de las que se obtuvo las absorbancias en el espectrofotómetro y estas se utilizaron para determinar la concentración de betalainas y betaxantinas. Se determinó mayor concentración de betalainas y betaxantinas en la tuna de color rojo con los valores de 77.3234 mg/g y 30.0514 mg/g respectivamente, mientras que tuna amarilla obtuvo 22.0891 mg/g y 21.0324 mg/g respectivamente. Se determinó mayor concentración de betalainas y betaxantinas a temperatura de 4°C, 81.77 mg/g y 31.8694mg/g respectivamente en tuna roja, y para tuna amarilla 25.40 mg/g y 23.3763 respectivamente, a 20°C se determinó 79.2497 mg/g y 32.4684 mg/g respectivamente en tuna roja y en tuna amarilla 24.8391 mg/ y 23.2604 mg/g respectivamente. Demostrándose así que la temperatura ideal para determinar la concentración de betalainas y betaxantinas es de 4°C, también se determinó mayor concentración de betalainas y betaxantinas el primer día de almacenamiento, observándose que mientras transcurría el tiempo las concentraciones fueron disminuyendo, durante el almacenamiento se observó que a temperatura de 4°C fueron más estables tanto betalainas y betaxantinas que a temperatura de 20°C. Confirmándose que las betacianinas son más estables que las betaxantinas.

ABSTRACT

This research was carried out in the province of Cajamarca at the facilities of the National University of Cajamarca, Professional School of Engineering in Food Industries, in the Laboratory of Food Analysis and Quality Control, with the objective of determining the concentration of betalains and betaxanthins. in prickly pears (*Opuntia ficus-indica*) of different colors evaluated at two temperatures every 4 days for 28 days. The raw material used was prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) of two colors (red and yellow), from which colorant was extracted with the help of a solvent (98% methanol) in a ratio of 1:10; The samples obtained were subjected to two temperatures (4°C and 20°C), the samples labeled by color and temperature were stored with 40ml, from which the absorbances were obtained in the spectrophotometer and these were used to determine the concentration of betalains and betaxanthins. A higher concentration of betalains and betaxanthins was determined in the red tuna with values of 77.3234 mg/g and 30.0514 mg/g respectively, while the yellow tuna obtained 22.0891 mg/g and 21.0324 mg/g respectively. Higher concentration of betalains and betaxanthins was determined at a temperature of 4°C, 81.77 mg/g and 31.8694mg/g respectively in red tuna, and for yellow tuna 25.40 mg/g and 23.3763 respectively, at 20°C 79.2497 mg/g and 32.4684 were determined. mg/g respectively in red tuna and yellow tuna 24.8391 mg/ and 23.2604 mg/g respectively. Thus demonstrating that the ideal temperature to determine the concentration of betalains and betaxanthins is 4°C, a higher concentration of betalains and betaxanthins was also determined on the first day of storage, observing that as time passed the concentrations decreased, during storage they observed that both betalains and betaxanthins were more stable at a temperature of 4°C than at a temperature of 20°C. Confirming that betacyanins are more stable than betaxanthins.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La tuna (*Opuntia ficus-indica*) se desarrollan en las regiones áridas y semiáridas de nuestro Perú, pertenece a la familia Cactaceae, nos aporta una sustancial fuente natural de compuestos bioactivos, destacando las betalainas (betacianinas y betaxantinas), considerados pigmentos naturales.

Las betalainas, debido a su escasez en la naturaleza, no se han investigado como compuestos bioactivos, pero existen algunos estudios que indican su importancia como pigmentos antioxidantes. Estas investigaciones han ayudado que las betalainas sean utilizadas como alimentos colorantes. (Azeredo, 2009).

Las betalainas son pigmentos hidrosolubles cuyas fuentes vegetales más conocidas son la remolacha roja y los frutos del género *Opuntia*, como la tuna. Se dividen en dos grupos que son las betacianinas (color rojo-violáceo) y las betaxantinas (anaranjadasamarillentas). Su estructura de amina cuaternaria en un sistema de dobles enlaces proporciona actividad reductora a las betalaínas, consideradas por ello fitoquímicos con actividad antioxidante. (García, 2016).

1.1 Problema de investigación

Nuestro país cuenta con pisos ecológicos, los cuales nos brindan una gran variedad de frutos alimenticios, como la tuna una portento de fruta (*opuntia ficus-indica*), con la que tenemos el privilegio que en nuestra región de Cajamarca se desarrolle, pero hoy en día este fruto silvestre es muy poco investigado y con muchas propiedades nutricionales y compuestos bioactivos, por ello se realizó la presente investigación orientada a determinar la concentración de betalaínas y betaxantinas en dos colores de tunas (amarillas y rojas), evaluadas a temperatura ambiente y de refrigeración cada 4 días por 28 días.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la concentración de betalainas y betaxantinas en tunas (*Opuntia ficus-indica*) de diferentes coloraciones, evaluados a dos temperaturas por 28 días?

1.3. Objetivo de la investigación

3.2.1 Objetivo General

Determinar la concentración de betalainas y betaxantinas en tunas (*Opuntia ficus-indica*) de diferentes coloraciones evaluadas a dos temperaturas cada 4 días por 28 días.

3.2.2 Objetivos específicos

- a) Determinar las concentraciones de betalainas y betaxantinas en tunas (*Opuntia ficus-indica*), de diferentes coloraciones.
- b) Determinar las concentraciones de betalainas y betaxantinas en tunas (*Opuntia ficus-indica*), evaluados a 4° C y 20°C, cada 4 días por 28 días.

1.4. Hipótesis de la investigación

La temperatura óptima para determinar la concentración de betalainas y betaxantinas es de 4°C, y evaluadas a temperatura ambiente y de refrigeración disminuyen con el tiempo.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la investigación

En el trabajo de tesis titulado “Evaluación del contenido de betalaínas en láminas de tuna (*Opuntia ficus indica*) y melocotón (*Prunus persica* L. Batsch) a diferentes temperaturas de secado”, teniendo como objetivo evaluar el contenido de las Betalainas (*Beta vulgaris*) en las láminas de tuna y melocotón por secado a diferentes temperaturas se determinó que la cantidad de betacianinas fue de 4.30 mg/100 g. de polvo y betaxantinas 2.50 mg/100 g. de polvo además se encontró diferencia estadística significativa ($p < 0,05$) por efecto de la interacción de la temperatura en las diferentes características fisicoquímicas y químico proximales muchos de estos valores se encuentran dentro de lo establecido para las láminas de tuna y melocotón. Este trabajo nos aporta información sobre las temperaturas a tener en cuenta y cómo influyen para evaluar el contenido de betalainas. (Hinojosa y Valdizan, 2014).

En la investigación titulada “Evaluación del contenido de Polifenoles y Betalainas en una bebida elaborada a partir de Sancyo (*Corryocactus brevistylus*) y Ayrampo (*Opuntia soehresii*)”, evaluaron el contenido de polifenoles totales y Betalainas de una bebida a partir de Sancyo y Ayrampo, las cuales almacenaron a 4 y 20°C por un periodo de 60 días. Cuantificaron la cantidad de betalainas mediante un espectrofotómetro Gold Spectumlab 54, Además las características fisicoquímicas (°Brix, Ph y acidez), de las cuales su variación fue mínima, respecto al contenido de betalainas. Los resultados de contenido de betalainas fueron (28.9 %) promedio. Esta investigación nos aporta información sobre como determinar contenido de betalainas; así como actúan las betalainas durante un periodo de 60 días a dos temperaturas distintas, donde se determina que la temperatura ideal es 4°C. (Falcón y Juárez, 2016)

La investigación titulada “Obtención de colorante natural a partir de la cáscara de tuna púrpura (*Opuntia ficus-indica*) por el método de extracción sólido-líquido para su aplicación en la industria de alimentos, fruto proveniente del distrito de San Cristóbal-Moquegua”, se realizó con el objetivo de obtener un colorante natural (betalainas) por el método de extracción sólido-líquido a partir de la cáscara de tuna para su aplicación en la industria de alimentos. Se cuantificó la concentración de betalaínas por el método de espectrofotometría UV/VIS con un valor de 0,173 mg de betalaínas. Utilizó una concentración del etanol de 75%, en un tiempo de 90 min y una cantidad de materia prima de 11,2 gr. obteniendo 0,285 mg de betalainas para el proceso de extracción del colorante natural, donde se obtuvo un rendimiento de 83%. Este trabajo de investigación nos aporta datos interesantes sobre contenido de betalainas por método de extracción solido-liquido. (Yana, 2017)

En la investigación titulada “Efecto de la pasteurización en el contenido de betalaínas de la pulpa de tuno indio (*Opuntia dillenii*)” teniendo como objetivo determinar si la pasteurización influirá significativamente en el contenido de betalaínas, para lo cual se tomaron las variables: tiempo (1min – 10min) y temperatura (70°C – 90°C). Obteniendo, así como resultados que el contenido de betalainas de la pulpa de tuno indio sin tratamiento, 57.57 mg/100g de pulpa; a menor tiempo y temperatura (70°C por 1 min), 48.93 mg/100g de pulpa con una reducción del 15% de betalaínas respecto a las betalaínas iniciales; y a un mayor tiempo y temperatura (90°C por 10 min), 37.17 mg/100g de pulpa con una reducción de 35% de betalaínas respecto a las betalaínas iniciales. Esta investigación nos porta información sobre cómo influye la temperatura y el tiempo en las betalainas, (Vallejos y Durant, 2021).

En la investigación titulada “Contenido de betalainas y actividad antioxidante en brácteas de *Bougainvillea glabra* Choisy”, se realizó con el objetivo de determinar el contenido de betalainas y evaluar la actividad antioxidante en las brácteas de *Bougainvillea glabra* Choisy, donde observaron que las brácteas de color naranja y amarilla fueron las que presentan el mayor y menor contenido de betalainas (16,57 mg g⁻¹ y 2,71 mg g⁻¹), respectivamente. El alto valor de betalainas de las primeras le confiere tener buena actividad antioxidante, con una concentración media inhibitoria de $67,4 \pm 2,3 \mu\text{g mL}^{-1}$. El contenido de betalainas y la actividad antioxidante variaron significativamente ($p= 0,02$) entre las brácteas de *B. glabra*. También la capacidad antioxidante depende significativamente ($p < 0,05$) de la concentración de betalainas equivalentes a betaxantinas. (Aguilar y Jaramillo, 2018).

En la siguiente investigación titulada “Identificación de las Betalaínas del Fruto del Cactus (*Opuntia dillenii* (Ker Gawl) Haw), Estabilidad y Actividad Antioxidante de los Extractos” (Betancour, Carolina Y Cejudo-Bastante, María Jesús Y Heredia, Francisco y Hurtado, Nelson 2016) En esta investigación se describe el aislamiento, cuantificación e identificación de las betalaínas del fruto de *Opuntia dillenii* (Ker Gawl.). El fruto contiene una concentración de betalaínas totales de 24,18 mg/100g fruto ($16,63 \pm 0,196$ mg de betacianinas/100g fruto y $7,55 \pm 0,035$ mg de betaxantinas/100g fruto). Esta investigación nos aporta datos de concentración de betalainas en diferentes variedades *Opuntia dillenii* (Ker Gawl).

En el trabajo de investigación “Estabilidad de Betalainas (Betacianinas y Betaxantinas) Encapsuladas en Emulsiones obtenidas con Surfactantes Naturales y Métodos de Alta Energía” donde se trabajó con extracto de garambullo, lo cual caracterizado y liofilizado para posteriormente utilizarlo en la elaboración de emulsiones, estas emulsiones fueron almacenadas y modificaron su Ph para luego evaluar el porcentaje de encapsulación de betacianinas y

betaxantinas, los resultados fueron óptimos durante 7 días, evitando su degradación. Los factores de procedimiento como Ph y temperatura tuvieron influencia significativa en la estabilidad de las betalainas. (Calva, 2021). Esta investigación nos aporta información sobre cómo actúan las betalainas durante cierto tiempo, observando si el método utilizado es óptimo para evitar la degradación de las betalainas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Tuna:

Se conocen aproximadamente 300 especies en el mundo, las que son originarias del continente americano, existentes desde el norte de Canadá hasta el sur de Chile, así como en Sudáfrica y países de la cuenca del Mediterráneo, la especie más conocida es la (*Opuntia ficus-indica*), la cual se identifica por tener frutos dulces y jugosos, tiene diferentes colores (rojo, purpura, naranja o amarillo), con cuantiosa pulpa, numerosas semillas y cascara habitualmente delgada, cubierta de pequeños grupos de espinas. (Sáenz, 2006).

La tuna (*Opuntia ficus-indica*), es una planta xerofítica que puede crecer en terrenos escasos de agua, a una humedad relativa entre 55 y 85%, es de gran importancia en los sistemas agro-pastoriles de los andes peruanos, en nuestro país encuentra principalmente en los valles interandinos donde las condiciones son adecuadas para su crecimiento y producción. Sus frutos se consumen en forma natural y son comercializados en los principales mercados del país. La pulpa de tuna es utilizada también para elaborar productos derivados como mermeladas y bebidas. (Amaya, 2009).

En el Perú los departamentos de mayor producción son Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Ancash, Huánuco y Arequipa. (Yurivilca, 2014).

Figura 1

Fruta Tuna (Opuntia ficus-indica).



2.2.1.1. Taxonomía

En la siguiente tabla se resume la clasificación botánica del tuno indico (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.).

Tabla 1

Clasificación taxonómica de la tunera india.

División	Spermatophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllales
Familia	Cactaceae
Especie	<i>Opuntia dillenii</i> (Ker-Gawl.) Haw.

Fuente: García, Rodríguez y Padrón (2011).

2.2.1.2. Composición química y valor nutricional de la tuna

La fruta de tuna es una fuente de compuestos bioactivos, destacando la fibra dietética, incluyendo hidrocoloides como los mucílagos; pigmentos de diversos colores como las betalaínas, y en menor proporción, carotenoides (frutos anaranjados); también contiene minerales (calcio y potasio), vitaminas (vitamina C; aminoácidos libres (en particular prolina, glutamina y taurina) y polifenoles (Stintzing, 2005). Todos estos compuestos son calificados desde el punto de vista de una dieta saludable y también como ingredientes para el diseño de nuevos alimentos (Sáenz, 2004).

La tuna contiene un buen porcentaje de azúcares reductores que pueden ser aprovechados, suministrando una alta cantidad de calorías (56 a 66 cal/100g.). Además, contiene bajos niveles de contenido de proteína, grasa y fibra. En cuanto al contenido de minerales; destacan el calcio y el fósforo. Se manifiesta que contienen aproximadamente 6.75 % de materiales orgánicos y materiales colorantes sobre todo rojas y amarillas. (Huamán, 2014).

La tuna es una fuente importante de betalainas las que son responsables del color púrpura, los cuales derivan del ácido betalámico y son solubles en agua. Se clasifican principalmente en dos grupos: las betacianinas, estas son las responsables del color rojo-púrpura de algunos ecotipos de tunas y las betaxantinas, las que derivan la coloración amarillo-anaranjado de otros ecotipos de tuna, por eso observamos diferentes coloraciones de tunas en los mercados. (Sáenz, 2004).

En la siguiente tabla se describe la composición química de la fruta de tuna mucho más a detalles basada en 100g de muestra.

Tabla 2:

Composición química de la tuna en 100g.

Análisis	Composición
Calorías	55.6
Proximal (g%)	
Humedad	81.4
Proteínas	1.05
Grasa	0.43
Fibra	3.1
Cenizas	0.52
Carbohidratos	13.4
Vitaminas (mg %)	
Caroteno (A)	--
Niacina (B)	0.26
Tiamina (B1)	0.01
Riboflavina (B2)	0.02
Ácido Ascórbico (C)	18.4
Minerales (mg %)	
Calcio	57.3
Fósforo	32
Hierro	1.23

Fuente: León (1997) y Huaranga (2014).

2.2.1.3. Ecotipos de tunas

Los ecotipos de tunas existentes en los diferentes pisos ecológicos de nuestro país se diferencian por su coloración (Blanca, Amarilla, Morada, Roja o Colorada y la forrajera), (León, 1997 y por la presencia de espinas (Epinosa, Semi-Espinosa y Sin Espinas), (Huaranga, 2014). Cuya clasificación y características se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 3

Clasificación según características de la tuna.

Ecotipos	Altura de planta	Diámetro de penca	Flores	Frutos
Blanca	1.50 – 2.50 m.	Grande y succulenta.	Amarillo claro.	Buena aceptación.
Amarilla	2.00 – 3.00 m.	Mediano y poco succulento.	Amarillo claro.	Las más preferidas.
Morada	2.00 – 3.00 m	Mediano y succulenta.	Amarillo y violáceo.	Poca aceptación.
Roja o Colorada	1.80 – 2.50 m.	Mediano.	Amarillo y violáceo.	Menor aceptación.
Forrajera	1.50 – 2.50 m.	Mediano y de forma redonda	Amarillo y violáceo.	

Fuente: (León, 1997)

Figura 2

Ecotipos de Tunas en Perú.



Fuente: Tomado de revista Sierra y Selva Exportadora-Online (2015-2021)

2.2.2. Betalainas:

Las betalainas químicamente son pigmentos naturales nitrogenados hidrosolubles derivados del ácido betalámico, por condensación con aminas primarias o secundarias. Son solubles en agua e insolubles en etanol y en las células se encuentran en disolución dentro de las vacuolas. (Marañón, Ruiz, 2011).

Las betalainas como pigmentos están autorizados como aditivos por la FDA que no necesitan certificación; mayormente se está comercializando como polvo de betabel, que incluye el pigmento y estabilizantes como azúcares y proteínas y antioxidantes. Existen restricciones de tipo legal en el uso de colorantes rojos sintéticos, por lo que se ha propuesto emplear a las betalaínas en diversos alimentos; pero, por las limitaciones en su estabilidad, su uso se limita a alimentos como gelatinas, bebidas y postres en general, en los que el pigmento se conserva más fácilmente. Las betalaínas se obtienen en forma de concentrado o de deshidratado a partir de una extracción acuosa a pH ácido; la purificación de los pigmentos se logra por medio de ultrafiltración y de ósmosis inversa. Incluso, debido a su potencial, se ha ensayado el cultivo de tejidos para producir betabeles con un mayor contenido de betaninas. (Badui, 2006).

De acuerdo a su estructura química y a sus patrones de glicosilación o acilación, pueden proporcionar tonalidades rojas violetas (betacianinas) y amarillas anaranjadas (betaxianinas). La betacianina más conocida es la betanina, compuesto responsable del color típico de las tunas moradas. Recientemente se ha informado que las betalaínas tienen interesantes propiedades atrapadoras de radicales libres. En los

últimos años se ha registrado gran interés por los antioxidantes y el papel que cumplen en los sistemas biológicos. (Averalo, 2013)

En la siguiente tabla se mencionan las betalainas más conocidas y reportadas en las Cactáceas:

Tabla 4

Betalainas (betaxantinas y betacianinas) reportadas en las Cactáceas.

Familia	Género	Betalainas Reportadas	
		Betacianinas	Betaxantinas
Cactaceae	Myrtillocactus	Betanina	Indicaxantina
		Filocactina	
		Betanina	
		Betanidina	
	Opuntia	Isobertanidina	Indicaxantina
		Filocactina	
		Isofilocactina	
	Schlumbergera	Betanina	Vulgaxantina I
		Filocactina	
	Stenocereus	Betanina	Vulgaxantina
		Isobetanina	
		Filocactina	

Fuente: (Mandujano, 2006)

2.2.2.1. Estructura química de las betalainas

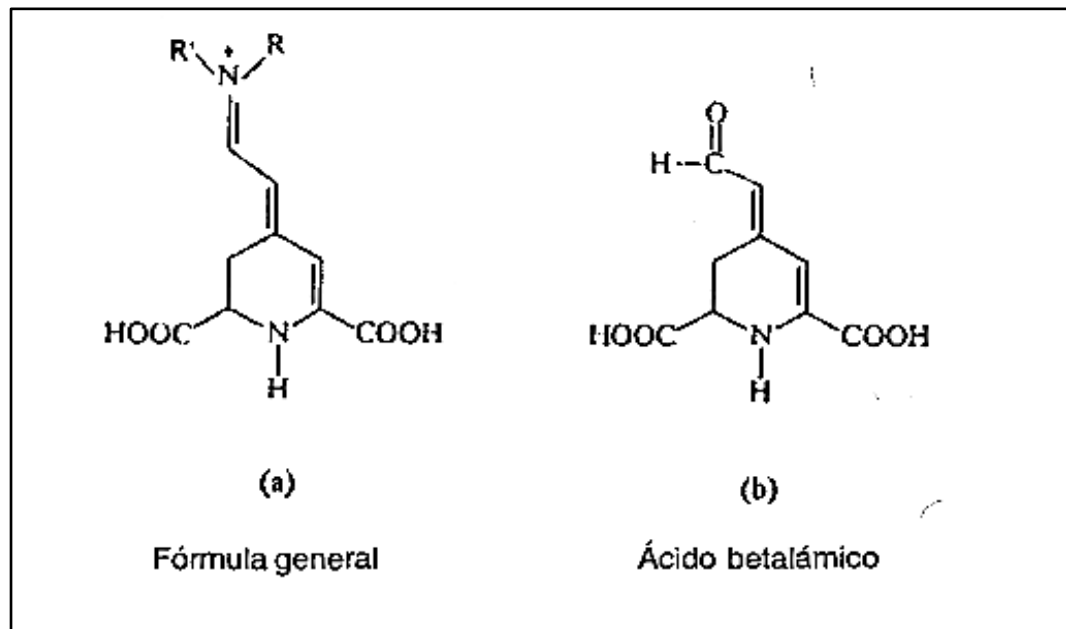
Las betalainas son compuestos orgánicos solubles en agua, la estructura de las betalainas es diferente a la de otros pigmentos encontrados en el reino vegetal, ya que esta contiene nitrógeno. Además, la estructura del cromóforo en las betalainas es un sistema 1,7 – diazaheptametino protonado. A la fecha se conocen unas sesenta betalainas y todas ellas poseen la misma estructura básica, formada por la

condensación de una amina primaria o secundaria como el triptófano y un aldehído llamado ácido betalámico (Fennema, 2000).

Las betaxantinas y betacianinas se diferencian por la sustitución del anillo 1,7-diazaheptametina protonado, el aglucón cromóforo.⁶⁵ Las betaxantinas amarillas no incluyen a los grupos R y R' en el sistema resonante del anillo cromóforo; si la resonancia se extiende a los grupos R y R', se produce el color rojo de las betacianinas. En las betaxantina, el anillo ciclodopa de la betacianina es desplazado por un grupo amino o por un aminoácido; por lo que puede haber más de 200 betaxantinas. En los frutos del cactus *Opuntia ficus indica*, la principal betaxantina es la indicaxantina que contiene a un triptófano. (Badui, 2006).

Figura 3

Fórmulas generales de las Betalainas.



Fuente: (Fennema, 2000).

La forma general de las betalainas representa la condensación de una amina primaria o secundaria con ácido betalámico (Francis y Lauro, 2000).

2.2.2.2. Clasificación

Las betalaínas se clasifican en dos grupos las betacianinas y betaxantinas:

A. Betacianinas

Son pigmentos de color rojo violeta, y este color se ha demostrado que son más fuertes que el tinte rojo-morado-azulado de los antocianos, las betacianinas son más estables que las betaxantinas, considerados glucósidos, su principal componente es la betanina. Pueden ser derivadas de dos núcleos básicos, la betanidina y la isobetanidina por glicosidación de uno de los grupos hidroxilos localizados en la posición cinco o seis (Coultate, 1984). Las betacianinas mantienen su color púrpura sin ningún cambio entre pH 4 y 7 y los cambios que se producen a pH extremos como 2 ó 9 son pequeños. (Galarza, 2013).

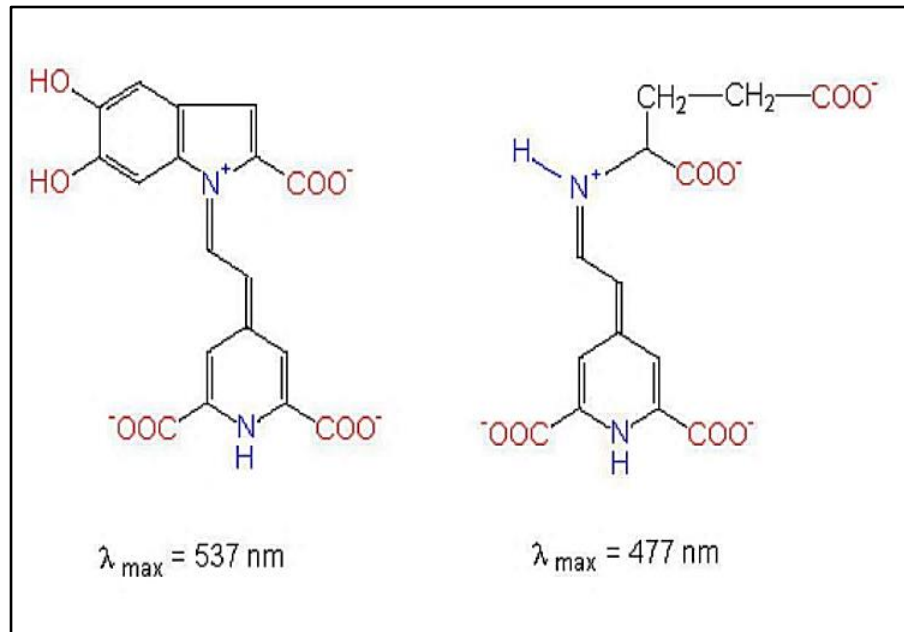
B. Betaxantinas

Las betaxantinas son productos de condensación de este ácido con aminas o aminoácidos y abarcan las tonalidades amarillas a anaranjadas. (López, 2014). Son pigmentos amarillos relacionados estructuralmente con las betacianinas, absorben a una longitud de onda máxima de 480nm. El compuesto prototipo que representa la presencia natural de betaxantinas es la indicaxantina, aislada del fruto del cactus *Opuntia ficus – indica*, su aislamiento y análisis estructural confirmó la sospecha de una relación estructural entre las dos clases de pigmentos de las cactáceas (Wong, 1995). Las betaxantinas, han sido poco estudiadas, debido principalmente a que son más difíciles de aislar, pero se tienen indicios de que son mucho más lábiles que las betacianinas (Rodríguez, 1985).

La primera betaxantina aislada y caracterizada fue la indicaxantina. Estructuralmente estos pigmentos son muy similares a las betacianinas. Las betaxantinas se diferencian de las betacianinas en su grupo indol ya que es sustituido por un aminoácido. En el caso de la indicaxantina el aminoácido es la prolina. Aunque hasta la fecha solamente se han caracterizado pocas betaxantinas, considerando el número de aminoácidos existente, es probable que exista un gran número de diferentes betaxantinas. (Fennema, 2000).

Figura 4

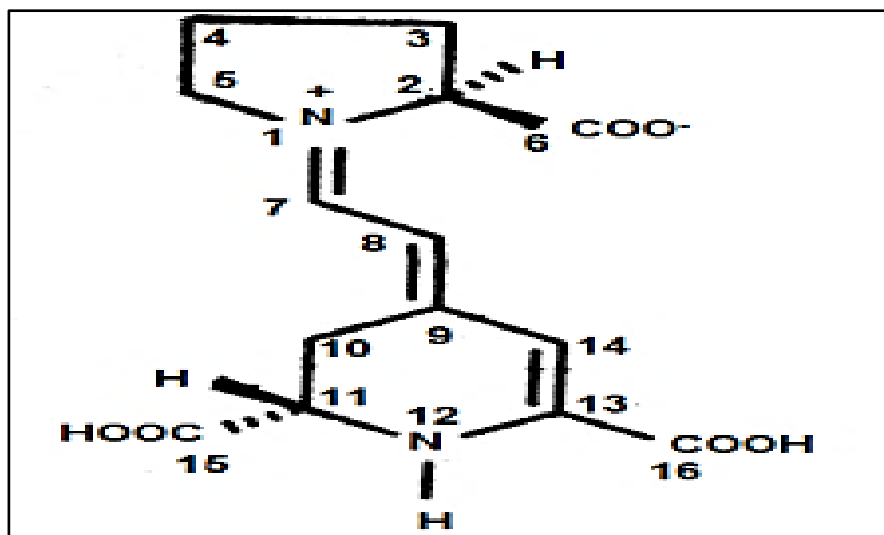
Fórmula general de las betacianinas (rojo-púrpura) y las betaxantinas (amarillo).



Fuente: (Huang y Von Elbe, 1985).

Figura 5

Estructura Química de las Betaxantinas.



Fuente: Coultate (1984)

2.2.2.3. Factores que afectan la estabilidad de las betalaínas (betacianinas y betaxantinas)

Los principales factores que influyen en la estabilidad de las betalaínas son: temperatura, pH, actividad de agua, luz, presencia o ausencia de oxígeno y de metales, acción enzimática, siendo la temperatura el factor más influyente en la degradación de las betalaínas. (Herbach, Stintzing y Carle 2006).

No se ha logrado estabilizar estos pigmentos a través de acilación o sustitución de la molécula, aunque su estabilidad puede aumentar si se añaden antioxidantes como ácido ascórbico, BHT y BHA. Las betaxantinas se degradan con mayor rapidez que las betacianinas, además que por su color amarillo en general se enmascaran por las betacianinas u otros compuestos presentes. Todas las reacciones se aceleran por la acción catalítica de algunos metales, principalmente el cobre. (Badui, 2006).

- **Temperatura:**

La temperatura afecta la degradación de los pigmentos, pero también es por la ruptura de resonancia de la estructura de las betalaínas. Concordando con las investigaciones realizadas sobre la estabilidad de betalaínas donde mencionan que tiene su máxima estabilidad a bajas temperaturas como son las temperaturas de refrigeración y/o congelación, por lo que el incremento de temperatura por encima de los 25°C, produce disminución de la estabilidad teniendo a los 68°C y en presencia de luminosidad (198 lux). (González, Sánchez, Seijas, Bernabé y Priscilla, 2010).

Las betalaínas a temperaturas altas se degradan rápidamente, a temperatura ambiente la degradación de éstas es más lenta, pero sin embargo ocurre, y a 4°C el contenido de betalaínas permanecen constante durante un lapso de tiempo, también se observó que a 40°C las betalaínas se degradan con mayor precipitación y se pierde información cinética valiosa. (Román, Aniceto, Pineda, Alatríste y Rivera, 2014)

Estudios realizados han reportado degradación de las betalaínas, las cuales se dan por aumento de las temperaturas. Pero demostró que la extracción de betalainas de remolacha roja fue óptima a una temperatura de 4° C. (García, Reynoso y González, 1998)

- **pH.**

El color permanece inalterado en un intervalo de pH de 3 a 7; por debajo del pH 3.0 el color cambia a violeta, y su intensidad decrece. Arriba del pH 7.0, el color es más azulado debido a un efecto batocrómico. La mayor intensidad de azul se observa a un pH 9.0. (Badui, 2006).

En un estudio realizado por García, Reynoso y González, (1998). Obtuvieron como resultado que el pigmento es estable a pH 4.8-5.2 y temperaturas bajas.

- **Actividad de agua:**

Las betalainas se vuelven más inestables a medida que aumenta la actividad de agua y el contenido de humedad de alimento. La degradación de las betalainas requiere el hidrolisis de la molécula de betalaina a ciclodopa-5-0-glucosido y ácido betalámico. Esta reacción es altamente dependiente de la disponibilidad de agua, por consiguiente, un decremento en la actividad de agua corresponde a una menor degradación de betalainas. Fue especulado que, junto con el decremento de agua disponible, se reduce la movilidad de reactantes y la solubilidad de oxígeno molecular (Badui, 2006).

- **Luz:**

La oxidación de las betalaínas se acelera en presencia de la luz. La presencia de antioxidantes, como el ácido ascórbico o isoascórbico, mejora su estabilidad. (Fennema, 2000).

Al igual que las antocianinas, las betalainas son muy susceptibles a la degradación iniciada por radiación de varios tipos; la degradación por fotooxidación depende del pH, y ocurre con más intensidad a pH de 3.0 que a 5.0. La radiación gamma incrementa la velocidad de degradación de betanina, y se pierde totalmente a dosis de 100 krad. (Badui, 2006).

- **Presencia de oxígeno y de metales:**

La presencia de oxígeno afecta la velocidad de fotooxidación y de degradación por temperatura; los iones metálicos (fierro, cobre, estaño, aluminio) aceleran la

oxidación en presencia de oxígeno. La presencia de ácido ascórbico o a-tocoferol no protegen a las betalainas de la oxidación; sin embargo, el ácido cítrico y EDTA sí la reducen, posiblemente al neutralizar parcialmente el efecto electrofílico del núcleo. (Badui, 2006).

- Acción enzimática:

Otro mecanismo de decoloración de la betacianina y de la betaxantina, particularmente en el betabel, es por la acción enzimática que alcanza su máximo a un pH 3.4;110 en apariencia debido a la actividad de la peroxidasa. (Badui, 2006).

Tabla 5

Factores que gobiernan la estabilidad de las betalainas (betaxantinas y betacianinas)

Estabilidad de las betalainas (betaxantinas y betacianinas)	
Mayor estabilidad	Menor estabilidad
Alto contenido de pigmento	Bajo contenido de pigmento
Alto grado de glucosilación	bajo grado de glucosilación
Baja actividad de agua	Alta actividad de agua
PH de 3 a 7	PH de <3 ó >7
Antioxidantes	Cationes metálicos
Agentes quelantes	Alta temperatura
Baja temperatura	Luz
Oscuridad	

Fuente: Herbach et al (2006).

2.2.2.4. Obtención y cuantificación de las betalainas (betacianinas y betaxantinas)

Las betalainas pueden identificarse tentativamente a partir de su comportamiento cromatográfico electroforético. Cada pigmento posee una movilidad electroforética característica, entre 0,30 y 1,78 relativa a la betacianinas, usando medidas a pH 4,5 y 2,4. La información obtenida puede corroborarse a través de los espectros de absorción en el visible. Las betacianinas muestran absorción intensa entre 534 y 552 nm y las betaxantinas entre 474 y 486 nm. (Lock, 1997).

Método recomendado por (Morales, 2007). Para la cuantificación de betalainas utilizo la espectrofotometría utilizando las absorbancias de sus muestras. Preparo extractos acuosos de colorante de cáscara de tuna, y se reguló a pH de 3,5, 4,5 y 5,5 con HCl 0,25 N y NaOH 2 %. Los extractos fueron distribuidos en tubos de ensayo herméticos de 25 mL. Los tubos de ensayo fueron cubiertos con papel aluminio y los extractos así acondicionados fueron sometidos a tratamiento térmico a una temperatura de 85 C por un periodo de 90 minutos. Se tomaron muestras a 1, 15, 30, 45, 60, 75 y 90 minutos.

(González, Sánchez, Seijas, Bernabé y Priscilla, 2010). Recomiendan que para la obtención del extracto acuoso de la betarraga mediante agua caliente a temperatura de 80°C, emplear una proporción de 2:1 (agua - betarraga en pulpa), el proceso de extracción sea mediante calentamiento en una marmita de tipo chaqueta de vapor, luego se proceder a la concentración del extracto empleando un vacío de 23” de Hg. y una temperatura máxima de 40°C, hasta obtener una concentración de 60 °Brix, para luego proceder al secado del extracto. Y obtener un producto de un 8 % de humedad.

2.3. Definición de términos básicos

-**Tuna:** Especie de fruta silvestre, con más espinas y fruto de pulpa muy encarnada. (DRAE, 2014).

-**Betalainas:** Metabolito secundario nitrogenado de las plantas que actúan como pigmento hidrosoluble. (Badui, 2006).

-**Betaxantinas:** son pigmento de coloración anaranjadas-amarillenta. (Badui, 2006).

-**Betacianinas:** Las betacianinas son pigmentos de color rojo-violáceo, y se forman por condensación de ácido betalámico con derivados de ciclodopa. Estos compuestos pueden estar glicosilados. (Badui, 2006).

-**Eccotipo:** Es el resultado, sobre una población heterogénea, de una selección por los factores ecológicos dominantes. (Huaranga, 2014).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

La presente investigación se realizó en la provincia de Cajamarca, localizada a una altitud de 2 750 msnm, con una temperatura promedio anual de 14 °C, precipitación promedio anual de 650 mm y humedad relativa de 65 %. Las pruebas experimentales y demás procedimientos se efectuaron en las instalaciones de la Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, en el laboratorio de Análisis de Alimentos y Control de Calidad.

3.2. Equipos y materiales

3.2.3 Material biológico

Para determinar la concentración de betalainas y betaxantinas se utilizó la fruta Tuna, de color roja y amarilla, procedentes en el distrito de Jesús de nuestra provincia y región de Cajamarca, con estado de madurez fisiológica.

3.2.4 Materiales, equipos y reactivos

3.2.2.1 Reactivos

- Alcohol 90%
- Agua destilada
- Fenolftaleína
- Metanol 98%.
- NaOH

3.2.2.2 Equipos

- Autoclave
- Balanza analítica electrónica (modelo LX 220 SCS).
- Espectrofotómetro Potenciómetro (GENESIS 6)
- Estufa (Pol-EKO)
- Refractómetro (KENDALL)
- Refrigeradora eléctrica (SAMSUNG).

3.2.2.3 Materiales

- Coladores
- Cuchillos
- Embudos
- Frascos de vidrio con tapa de plástico.
- Matraz Erlenmeyer
- Mortero
- Papel aluminio
- Papel filtro Whatman
- Pipeta 5mL y 25 mL
- Probetas
- Vaso de precipitado de 50, 100 y 250 mL.

3.3. Metodología

3.3.1 Obtención del colorante o extracto acuoso de tuna amarilla y roja.

A continuación, se describe el procedimiento que se siguió para obtener el colorante o extracto acuoso de tuna roja y amarilla, lo cual se utilizó para determinar la concentración de betalainas y betaxantinas a través de la lectura de sus absorbancias en el espectrofotómetro de las muestras obtenidas.

- **Materia prima:** La fruta fue procedente de provincia y región de Cajamarca, del distrito de Jesús, cosechada un día antes y con un estado de madurez fisiológica; Se utilizó la tuna de color roja y amarilla. Se eligieron estos dos ecotipos de tuna roja y amarilla de huerta porque son de mayor producción en la zona y fáciles de encontrar en los mercados locales de la ciudad de Cajamarca.

Figura 6

Materia prima.



- **Recepción:** se procedió a pesar la fruta, donde se recoleto medio kilogramo de fruta aproximado, tanto de tuna amarilla como de tuna roja.

- **Selección:** Se seleccionaron los frutos libres de daños mecánicos y físicos, a su vez teniendo en cuenta su ecotipo por color.
- **Desinfección:** Se realizó un lavado con agua potable para eliminar las impurezas y espinas facilitando su manipulación. Para desinfectar la fruta se sumergió en una solución de hipoclorito de sodio al 0,5% (2.5 mL en 5 litros de agua) por espacio de 5 minutos, posteriormente se enjuago dos veces con agua corriente para eliminar restos de hipoclorito de sodio. De esta manera evitar la contaminación posterior de las muestras a estudiar.
- **Pelado.** Esta operación se realizó con la finalidad de separar la cáscara de la pulpa, de forma manual y con la ayuda de un cuchillo.

Figura 7

Tunas peladas y seleccionadas.



- **Escaldado.** Este proceso se realizó con la finalidad de fijar el color e inactivar enzimas de la fruta por diez minutos a una temperatura de 70 °C, en una estufa.

Figura 8

Procedimiento de escaldado.



- **Pesado:** se procedió a pesar la fruta, donde se decidió que, para una mejor recolección de datos, se pesó 100g de muestra tanto para tuna amarilla como para tuna roja.

Figura 9

Procedimiento de pesado de tuna amarilla.



- **Licuada o Molienda:** se utilizó el proceso de molienda con ayuda de un mortero para aumentar el área de extracción. Donde se obtuvo 11ml de jugo de tuna roja y 10ml de jugo de tuna amarilla.
- **Colado:** con la finalidad de separar las semillas de la fruta con el jugo de pulpa.
- **Extracción del colorante:** Se realizó la extracción con el solvente metanol al 99,8%, en una solución de 1:10, donde se utilizó 10ml de jugo de pulpa roja y de jugo de pulpa de tuna amarilla y por consiguiente 100ml de metanol para ambos colores de tuna.

Figura 10

Disolvente metanol al 99,8% utilizado para la extracción del colorante.



- **Filtración:** Se utilizó el papel filtro Whatman n°4 y un embudo para realizar este procedimiento, tapando las muestras con papel aluminio para evitar que se volatilicen.

Figura 11

Procedimiento de filtración.



- **Almacenamiento y evaluación:** Las muestras obtenidas se almacenaron en envases de vidrio con tapa rosca, con 40 ml de muestra; rotuladas por color de tuna (roja y amarilla) y temperatura (20°C y 4°C), además se evaluaron por 28 días cada 4 días, midiendo primeramente las absorbancias con la ayuda del espectrofotómetro para luego reemplazarlas en las fórmulas que se describen posteriormente, para así determinar la concentración de betalainas y betaxantinas.

Figura 12

Muestras envasadas y rotuladas.

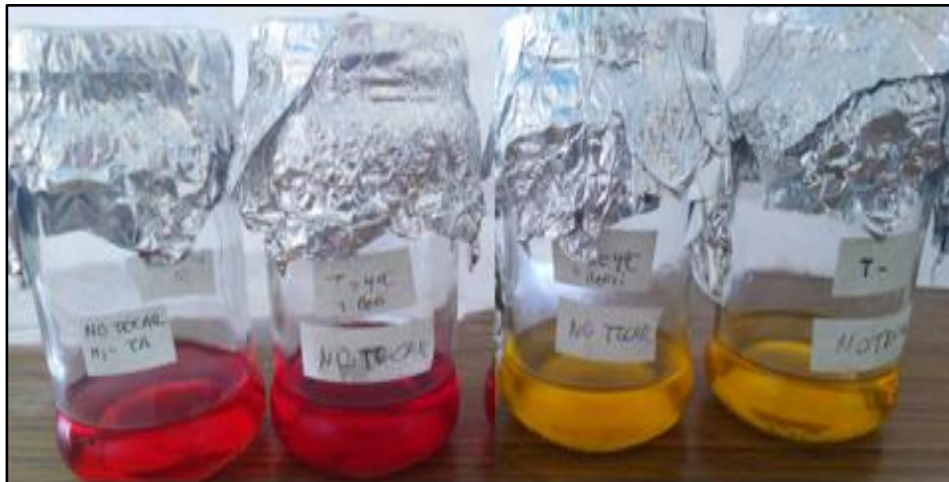
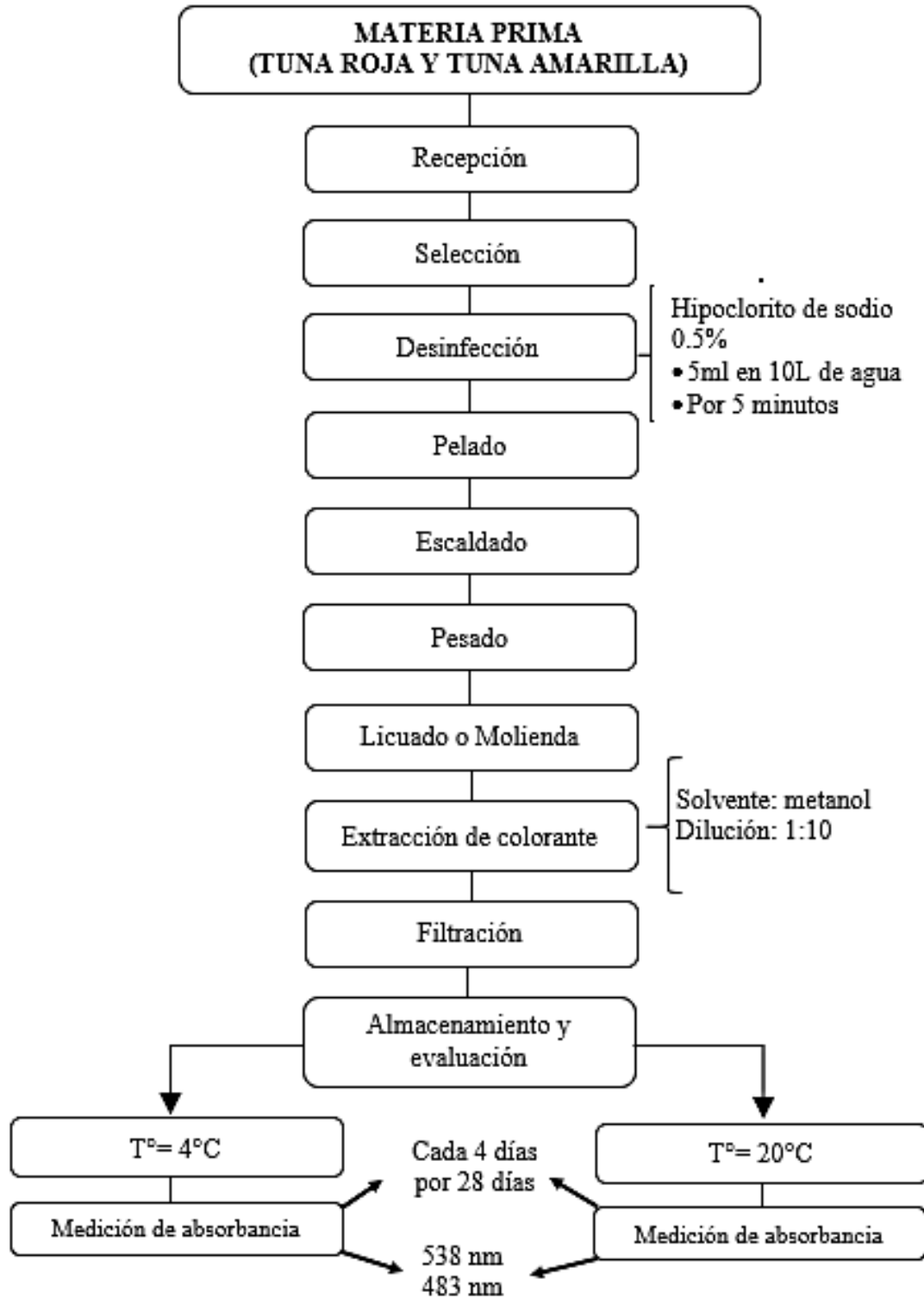


Figura 13

Diagrama de Flujo para la extracción y evaluación de Betalainas y Betaxantinas en tuna roja y amarilla.



3.4. Método de análisis.

3.4.1. Métodos de análisis utilizados en la cuantificación de betalainas y betaxantinas.

- Determinación de concentración de betacianinas y betaxantinas en tunas:

El contenido de betacianinas y betaxantinas se cuantificó según lo descrito por (Castellanos – Santiago y Yahi, 2008) mediante la absorbancia de las muestras a 538 y 583 nm en un espectrofotómetro, para luego utilizar estos datos obtenidos en la siguiente formulación:

$$\mathbf{Bx \ o \ Bc \ (mg/g) = (A * FD * PM * V * 1000) / (\epsilon * P * L)}$$

Dónde:

Bx = contenido de betaxantina

Bc = contenido de betacianina

A = absorbancia (538 nm para betacianinas y 483 nm para betaxantinas), estos datos se obtienen mediante las lecturas de las muestras en el espectrofotómetro.

FD = factor de dilución, en esta investigación se trabajó con 1:10 para obtener el extracto acuoso de las muestras a estudiar.

PM = peso molecular de la solución (betacianina= 550 g/mol y betaxantina =308 g/mol)

P = peso de la muestra en g (se trabajó con 100g)

V = volumen del extracto en ml (40 ml)

ϵ = coeficiente de extinción molar (betacianinas= 60000 L/mol cm betaxantina= 48000 L/mol.cm)

L = anchura de la cubeta (1 cm)

- Determinación de concentración de betalainas en tunas:

La concentración de betalainas es la suma de betacianinas y betaxantinas, los datos obtenidos en la expresión anterior se sumaron respectivamente por cada muestra para obtener los datos finales de betalainas, para lo cual se utilizó la siguiente expresión.

$$B \text{ (mg/g)} = bx + bc$$

Dónde:

B = contenido de betalainas

bx = contenido de betaxantina

bc = contenido de betacianina

- Concentración de las betalainas evaluadas por dos temperaturas por 28 días.

Para evaluar la estabilidad de las betalainas en el extracto acuoso de tunas de diferentes colores se utilizó el disolvente metanol con el que da mayor contenido de pigmento (betacianinas y betaxantinas), se aplicó el método recomendado por (Morales, 2007), se distribuyó 40 ml de extracto en envases de vidrio con tapa rosca, envueltos con papel aluminio y almacenados a una temperatura de 4 °C y 20 °C por 28 días. De estos envases, se tomaron 1ml de muestra para medir sus absorbancias a 538 nm para betacianinas y a 483 nm para las betaxantinas por triplicado, cada 4 días, hasta llegar a los 28 días, en el espectrofotómetro.

Figura 14

Recolectando datos de absorbancias de las muestras.



3.5. Variables y niveles:

3.5.2. Variables Independientes

Temperatura: la selección de estos dos niveles de temperaturas se dio por los criterios que se describen a continuación.

- Ambiente (20°C): Esta temperatura genera menos gasto durante el almacenamiento, este valor se determinó con un termómetro en el lugar de almacenamiento, se hizo una medición en la mañana, al medio día y por la noche. Por lo tanto, el promedio del resultado fue (20°C).
- Refrigeración (4°C): de acuerdo a los antecedentes y bibliografía recolectada se observó que a temperatura de 4°C el contenido de betalainas (betacianinas y betaxantinas) permanecen prácticamente constante por lo menos durante un lapso de tiempo, por lo que se consideró esta temperatura.

Color: se consideró utilizar dos coloraciones de tunas la roja y amarilla ya que fueron más fáciles de recolectar y encontrar en los mercados de la ciudad de Cajamarca, provenientes de sus distritos, como este caso que la materia prima fue procedente del distrito de Jesús.

Tiempo: se decidió evaluar el contenido de betalainas y betaxantinas de las muestras por 28 días cada 4 días, para mejores resultados; por lo que el tiempo de almacenamiento de betalainas y betaxantinas fue de 8 niveles (1; 4; 8; 12, 16, 20, 24 y 28 días).

3.5.2. Variable Dependiente

Concentración de betalainas y betaxantinas: se determinaron midiendo las absorbancias de las muestras obtenidas, y reemplazándolas en los métodos de evaluación descritos anteriormente.

Tabla 6

Variables y niveles para el diseño experimental.

Variables	Nivel bajo	Nivel alto	Total de niveles	Unidades
Temperatura	4	20	2	°C
Color	1	2	2	
Tiempo	1	28	8	días

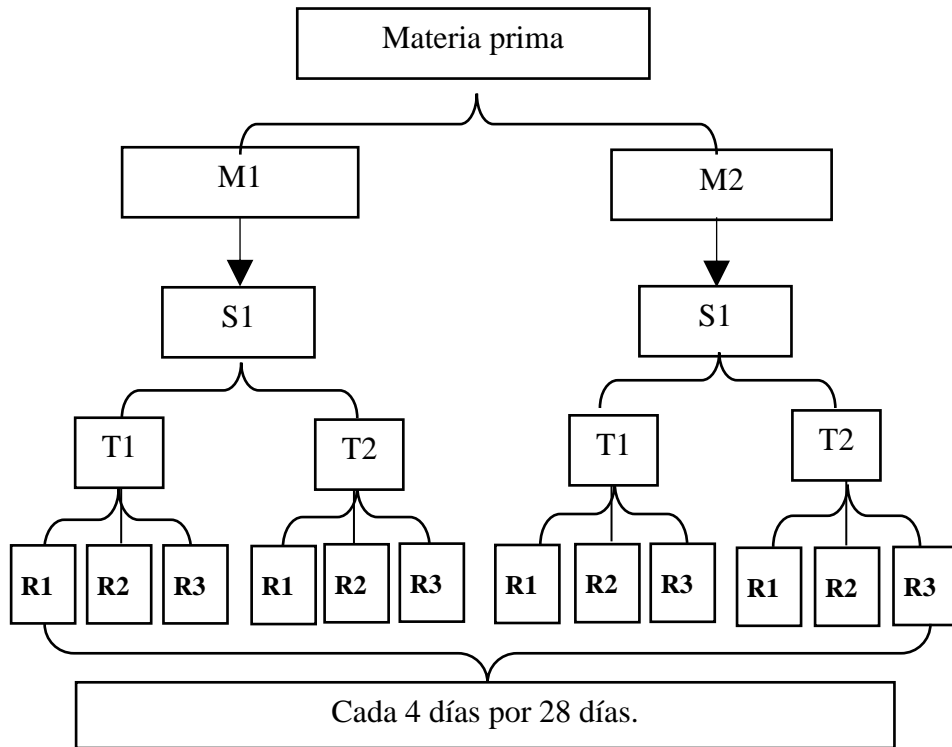
3.5. Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental que se utilizó para determinar la concentración de betacianinas y betaxantinas en tunas de diferentes coloraciones fue el diseño completamente al azar (DCA), con arreglo factorial múltiple, este diseño se ajusta al trabajo de investigación ya que se considera el efecto de cada factor que están constituidos por tratamientos. El primer factor (A) Color de Tuna (Roja y Amarilla), el Factor (B) Temperatura (T1= 4°C y T2=20°C), el factor (C) corresponde al Tiempo en días (D1= 1° día; D4= 4° día; D8= 8° día; D12= 12° día, D16= 16° día, D20= 20° día, D24= 24° día y D28= 28° día), donde la variable de respuesta fue la Concentración de Betalainas y Betaxantinas. Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA), esta técnica estadística se basa en el principio de la t de Student, además se utilizó el programa Statgraphik.

En la siguiente figura 15 se detalla la matriz que se tuvo en cuenta para el diseño experimental que se utilizó para hacer posible esta investigación, teniendo en cuentas las variables

Figura 15

Matriz del diseño experimental



M1= Tuna Roja o Colorada.

M2= Tuna Amarilla.

S1= Solvente Metanol.

T1= Temperatura de 4°C.

T2= Temperatura de 20°C.

R1, R2, R3= Repeticiones de concentraciones de betalainas y betaxantinas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación, se muestra los resultados obtenidos en esta investigación a través de tablas y gráficas, las cuales cuentan con su interpretación y discusión.

4.1 Resultados de concentración de betalainas y betaxantinas totales sin tratamiento.

En la Tabla 7, se da a conocer los resultados de Concentraciones de Betalainas y Betaxantinas totales presentes en tunas de color rojo y amarilla, al instante de ser peradas las muestras y antes de ser almacenadas para ser evaluadas a dos temperaturas, de acuerdo a la metodología descrita anteriormente. Las betalainas es el resultado de la suma de betacianinas más betaxantinas.

Tabla 7

Concentración de Betalainas presentes en tunas de color roja y amarilla.

Color de tuna	C. Betaxantinas	C. Betacianinas	C. Betalainas
T. Amarilla	21.0324 mg/g	1.0567 mg/g	22.0891 mg/g
T. Colorada	30.0514 mg/g	47.2720 mg/g	77.3234 mg/g

La tuna es una fuente muy importante de betalainas, de las cuales la tuna roja predomina las betacianinas justamente por su mismo color, ya que las betacianinas son determinaste del color rojo de la fruta. Mientras que en la tuna Amarilla predomina las betaxantinas justamente por el mismo color de la pulpa de fruta. Como se evidencia en la tabla 07, la tuna roja o colorada contiene más betacianinas 47.27 mg/g y betaxantinas 30.05 mg/g, con un total de betalinas de 77.32 mg/g de pulpa de tuna; en cambio la tuna de color amarillo contiene más betaxantinas 30.051 mg/g, y betacianinas en menor cantidad de 1.05 mg/g, con un total de betalainas de 22.089 mg/g. Manríquez y Tillaguango (2021), compararon el contenido de betalainas en tunas de

diferentes países y diferentes ecotipos de tunas mostraron los siguientes resultados en tunas de nuestro país; para tuna naranja, betaxantinas (12.2 mg/g), betacianinas (25.51 mg/g) y un total de beatalinas (37.73 mg/g), estos resultados son mayores a los nuestros ya que tienen que ver con el disolvente (etanol) utilizado, así como la variedad de fruta utilizada; y para tuna roja betaxantinas (19.64mg/g), betacianinas (43.04mg/g) y un total de beatalinas (63.69 mg/g), estos resultados son similares a expuestos en la Tabla 7. Sin embargo, otros autores obtuvieron contenido de betalinas en menos cantidad en pulpa de tuna indico morada de 57.57 mg/g de pulpa, a diferencia que usaron otro disolvente al nuestro como el etanol (Vallejos y Durant, 2021). Mientras, Hinostroza (2013) obtuvo resultados mayores de betacianinas y betaxantinas en pulpa de tuna morada 254.0 y 85.4 respectivamente, la diferencia es que usaron otro reactivo que es agua destilada y no expusieron a temperaturas altas a la pulpa evaluadas, por lo que evitaron la degradación de betacianinas y betaxantinas. Los valores de betaxantinas en pulpa de frutos de pitahayas de color amarillo fueron de 1.87 mg/g de pulpa, y para betacianinas 18.01 mg/g de pulpa de Pitahaya (Orozco y Sosa, 2022), estos valores son muy bajos a los nuestros, tienen que ver con la especie y madures de la fruta, además la pitahaya su pericarpio es de color amarillo, pero su pulpa es de color blanco.

4.2. Concentración de betalainas (betacianinas y betaxantinas), evaluadas a dos temperaturas (4°C y 20° C)

A continuación se muestran los resultados de concentraciones de betalainas, betacianinas y betaxantinas, evaluadas a las 24 horas de ser almacenadas a temperaturas de refrigeración 4°C y temperatura ambiente de 20°C.

En la tabla 08, se presenta la concentración de betalainas, las cuales son la suma de las betaxantinas más betacianinas, presentes en tunas de color rojo y amarilla, evaluadas a las 24 horas de ser almacenadas a temperatura de refrigeración 4°C y temperatura ambiente de 20°C.

Tabla 8

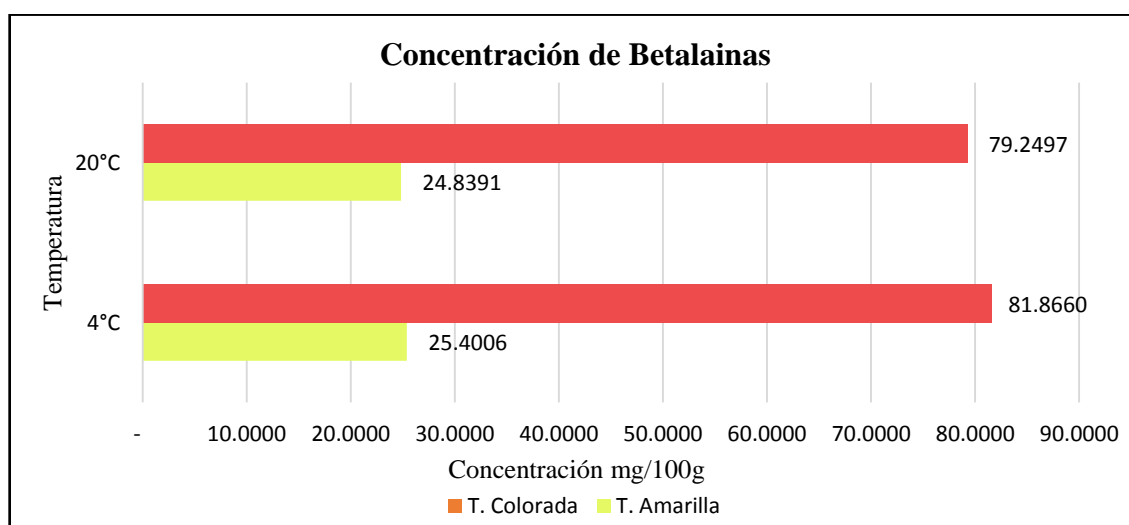
Concentración de betalainas (betaxantinas y betacianinas) evaluadas a dos temperaturas (4°C y 20°C).

Color de Tuna	Temperatura °C	C. Betaxantinas mg/g	C. Betacianinas mg/g	C. Betalainas mg/g
Amarilla	4	23.3763	2.0243	25.4006
	20	23.2604	1.5787	24.8391
Roja	4	31.9586	49.9074	81.8660
	20	31.4684	47.7813	79.2497

En la figura 16, se muestra la comparación concentración de betalainas en tuna roja y tuna amarilla, evaluadas a las 24 horas de ser almacenadas a temperatura de refrigeración 4°C y temperatura ambiente de 20°C.

Figura 16

Concentración de Betalainas evaluadas a dos Temperaturas (4°C y 20°C)

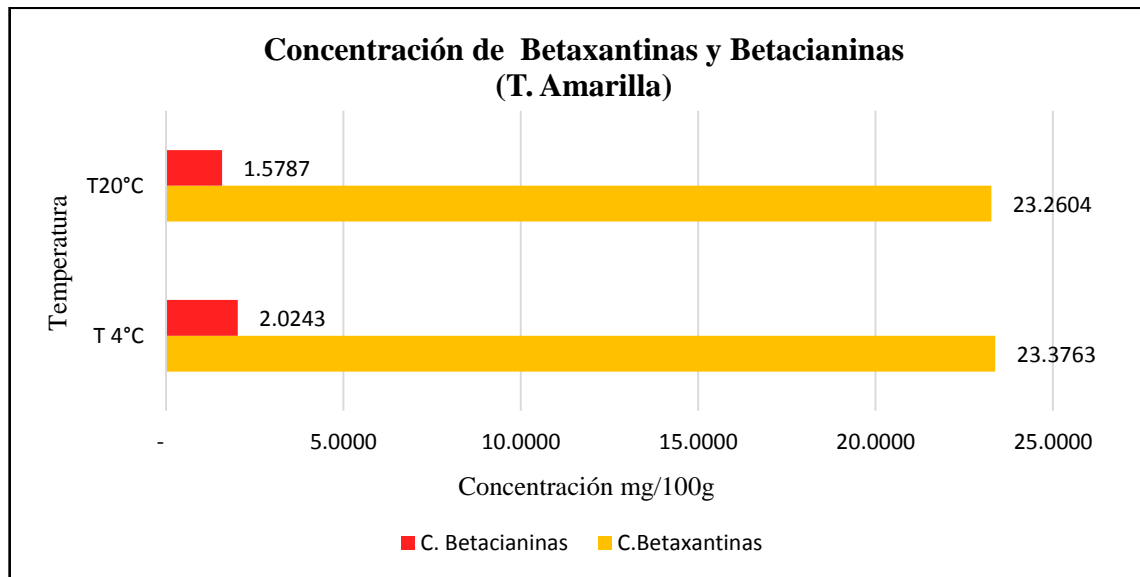


Como se observa en la tabla 08 y figura 16, mientras más temperatura menos concentración de betalainas se determina. La tuna con mayor concentración de betalainas, es la roja con un valor de 81.86 mg/g junto con la temperatura de 4°C que es la ideal para determinar la concentración de betalainas. Mientras a 20°C se obtuvieron excelentes resultados, pero en menor cantidad. Concordando así con otros autores que la temperatura ideal para determinar la concentración de betalainas es la de refrigeración 4°C. (Falcón y Juárez, 2016).

En la figura 17, se presenta la comparación del contenido de betaxantinas y betacianinas en tuna de color amarilla, evaluadas a las 24 horas de ser almacenadas a temperatura de refrigeración 4°C y temperatura ambiente de 20°C.

Figura 17

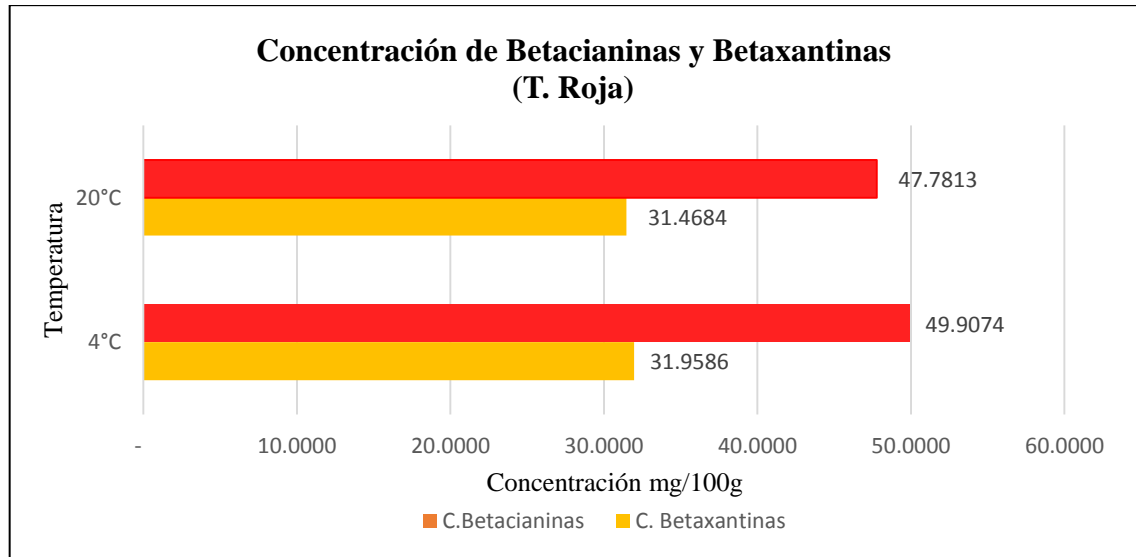
Concentración de Betaxantinas y Betacianinas en Tuna Amarilla.



En la figura 18 se presenta la comparación de la concentración de betaxantinas y betacianinas en tuna de color roja o colorada, evaluadas a las 24 horas de ser almacenadas a temperatura de refrigeración 4°C y temperatura ambiente de 20°C.

Figura 18

Concentración de Betacianinas en Tuna Colorada.



Según la figura 17, la tuna amarilla contiene mayor concentración de betaxantinas junto con la temperatura de 4° C con un valor de 23.37 mg/g de pulpa de tuna y a 20°C con un valor de 23.26 mg/g. Mientras que la concentración de betacianinas fue mínima la cantidad, pero a temperatura de 4°C se obtuvo más, con un valor de 2.03 mg/g.

En la figura 18 se muestra que en la tuna roja se determinó mayor cantidad de betacianinas conjuntamente con la temperatura de 4°C con un valor de 49.90 mg/g; y a 20°C un valor de 47.38 mg/g; mientras que los valores de concentración de betaxantinas no son inferiores, e igualmente se determinaron mayor concentración a la temperatura de 4° C, con un valor de 31.95 mg/g y a 20°C se determinó 31.46 mg/g. En ambas figuras se confirma que a mayor temperatura menos concentración de betacianinas y betaxantinas determinamos, corroborando así lo afirmado por otros autores donde confirmaron que a mayor temperatura descende la concentración de betacianinas y betaxantinas. (Yurivilca, 2014).

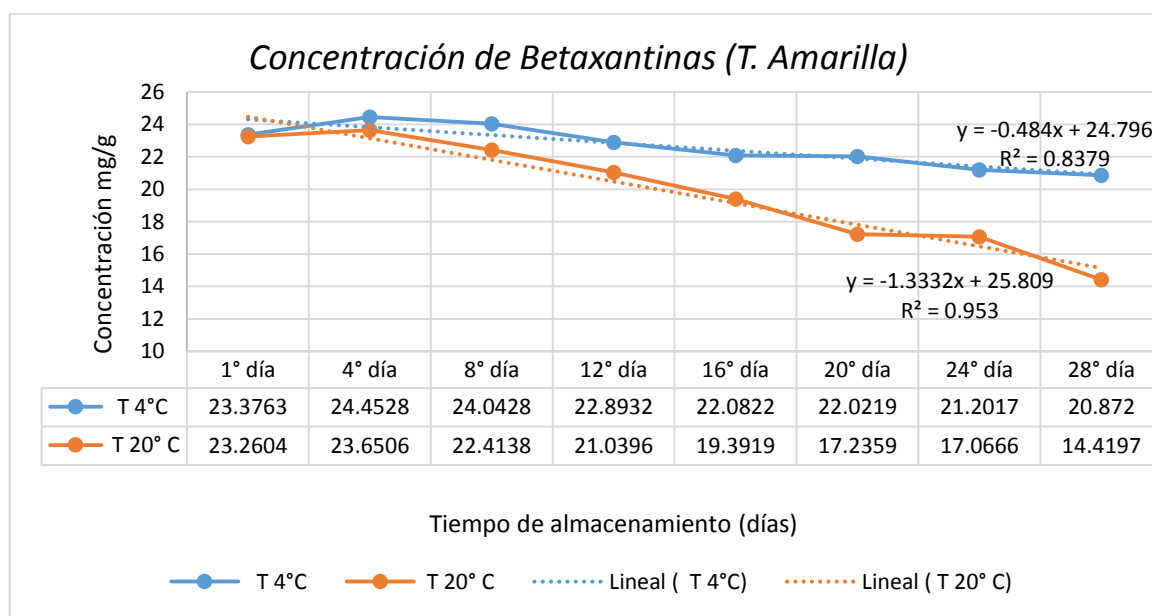
4.3. Concentraciones de Betalainas (betaxantinas y betacianinas) almacenadas por 28 días, evaluadas a dos temperaturas (4 °C y 20°C)

A continuación, se presenta los resultados de concentraciones de Betalainas, Betaxantinas y Betacianinas evaluadas a dos temperaturas de refrigeración 4°C y temperatura ambiente de 20°C, durante almacenamiento cada 4 días por 28 días.

En la figura 19, se presenta la comparación de concentración de betaxantinas en tuna amarilla, evaluadas a dos temperaturas de refrigeración 4°C y temperatura ambiente de 20°C durante almacenamiento de 28 días.

Figura 19

Concentración de Betaxantinas en Tuna Amarilla almacenado por 28 días evaluadas a dos temperaturas (4°C y 20°C).



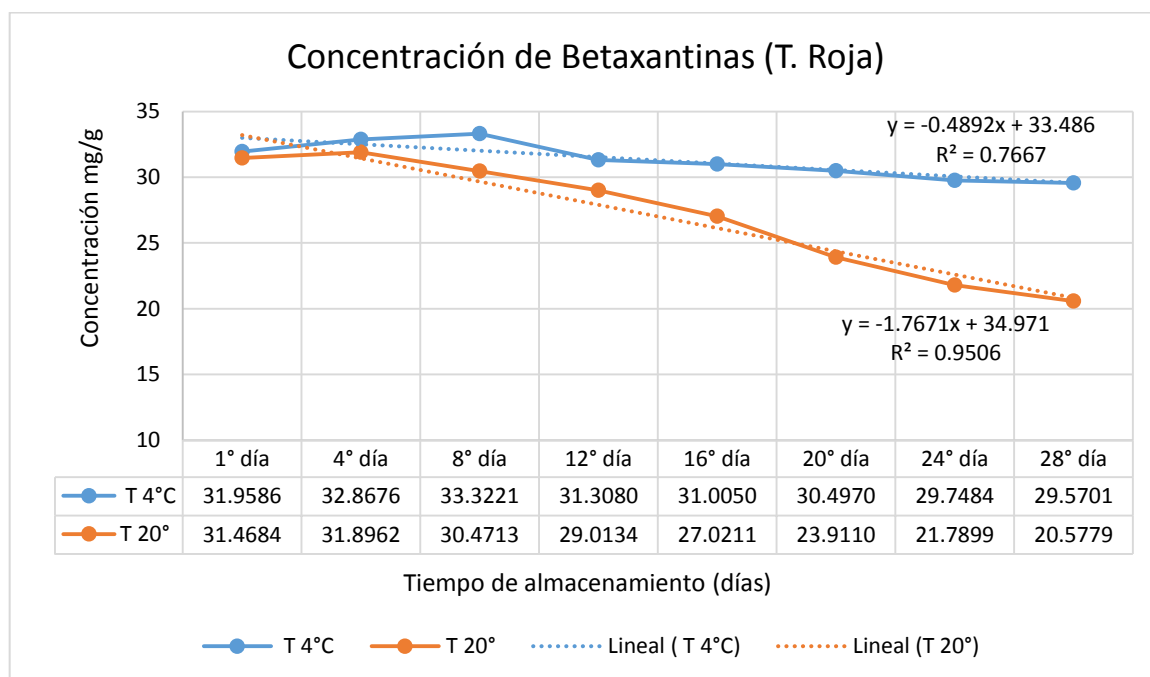
En la figura 19 se muestran los valores más altos de betaxantinas totales en tuna amarilla se determinaron a temperatura de 4°C, en los días 4 y 8 siendo los valores 24.45 y 24.05 mg/g y a partir del día 12 hasta el día 28 los valores disminuyeron con un valor promedio de 21.81 mg/g. Mientras que para la temperatura de 20°C los valores más altos de concentración de betaxantinas

se determinaron el día 1 y 4, siendo los valores 23.26 y 23.65 mg/g, a partir del día 12 hasta el día 28 los valores fueron disminuyendo ligeramente con un promedio de 18.59 mg/g en tuna amarilla, con una cinética de degradación de primer orden.

En la figura 20, se presenta la comparación de concentración de betaxantinas en tuna roja o colorada, evaluadas a dos temperaturas de refrigeración 4°C y temperatura ambiente de 20°C durante almacenamiento de 28 días.

Figura 20

Concentración de Betaxantinas en Tuna Roja almacenadas por 28 días a dos temperaturas (4°C y 20°C).



En la figura 20 se muestran los valores más altos de concentración de betaxantinas totales en tuna roja que se determinaron a temperatura de 4°C, en los días 4 y 8, siendo los valores 32.86 y 33.32 mg/g y a partir del día 16 hasta el día 28 hay una leve disminución de valores de concentración de betaxantinas, con un promedio de 30.21 mg/g. Mientras que la concentración más alta evaluados a 20°C, fue el día 1 y 2, siendo los valores 31.46 y 31.89 mg/g, después del

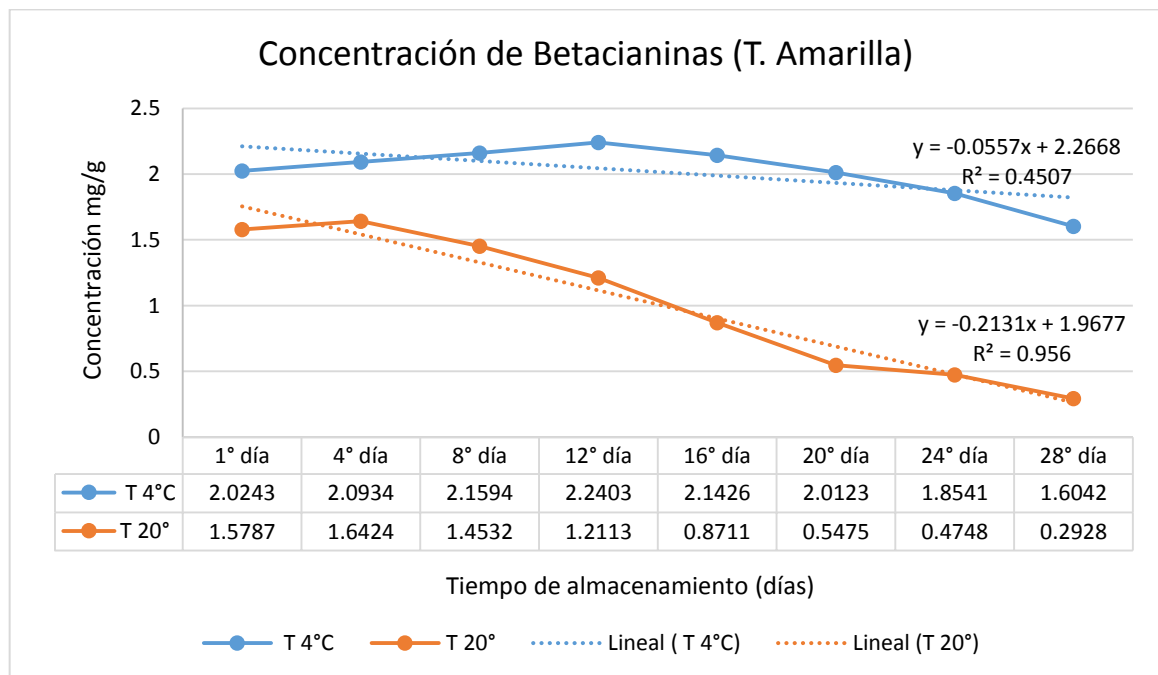
día 8 hasta el día 28, se notó una disminución en los valores de betaxantinas con un promedio de 25.63 mg/g de tuna roja, con una cinética de degradación de primer orden.

(Yurivilca, 2014), en un néctar de tuna ecotipo morado confirmo que a mayor temperatura y mientras más transcurre el tiempo las betaxantinas disminuyen, además que la degradación térmica de las betaxantinas en néctar de tuna ecotipo morado responde a una cinética de degradación de primer orden.

En la figura 21, se presenta la comparación de concentración de betacianinas en tuna amarilla, evaluadas a dos temperaturas de refrigeración 4°C y temperatura ambiente de 20°C durante almacenamiento de 28 días.

Figura 21

Concentración de Betacianinas en Tuna Amarilla almacenado por 28 días a dos temperaturas (4°C y 20°C).



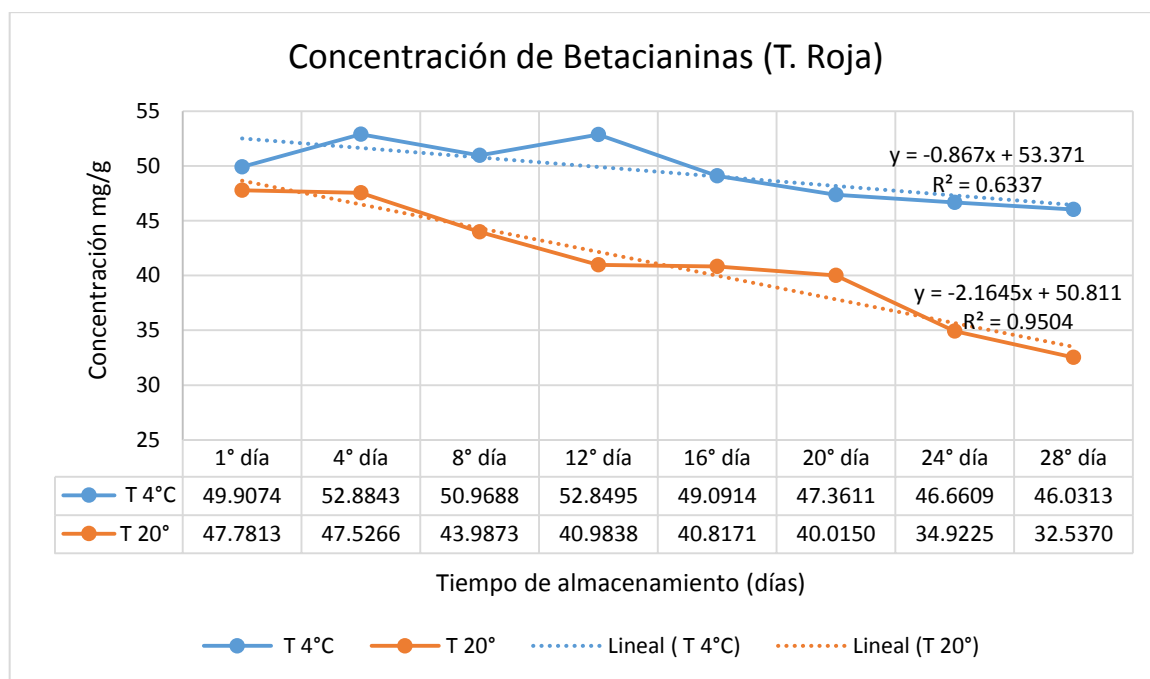
El valor más alto de betacianinas totales en tuna amarilla almacenado a temperatura de 4°C, se determinó el día 12 con un valor de 2.24 mg/g, en los siguientes días los valores se mantuvieron sin mucha diferencia, demostrándose que las betacianinas son mucho más estables

a temperatura de 4°C. En cambio, el valor más alto de betacianinas en tuna de color amarillo a temperatura de 20°C se determinó el día 4° con el valor de 1.64 mg/g, después de día 12 hasta el día 28, se notó una ligera disminución de los datos de concentración de betacianinas con una cinética de degradación de primer orden en tuna amarilla.

En la figura 22, se presenta la comparación de concentración de betacianinas en tuna roja o colorada, evaluadas a dos temperaturas de refrigeración 4°C y temperatura ambiente de 20°C durante almacenamiento de 28 días.

Figura 22

Concentración de Betacianinas en Tuna de color Roja almacenadas por 28 días a dos temperaturas (4°C y 20°C).



Los valores más altos de betacianinas totales en tuna roja almacenado a temperatura de 4°C, se dterminaron los días 4 y 12, siendo los valores 52.88 y 52.84 mg/g en tuna colorada o morada, y los restantes días los valores se mantuvieron sin mucha diferencia, demostrándose que las betacianinas son mucho más estables a esta temperatura de 4°C. En cambio, los valores más altos de betacianinas en tuna roja a temperatura de 20°C se determinó los días 1 y 4, siendo

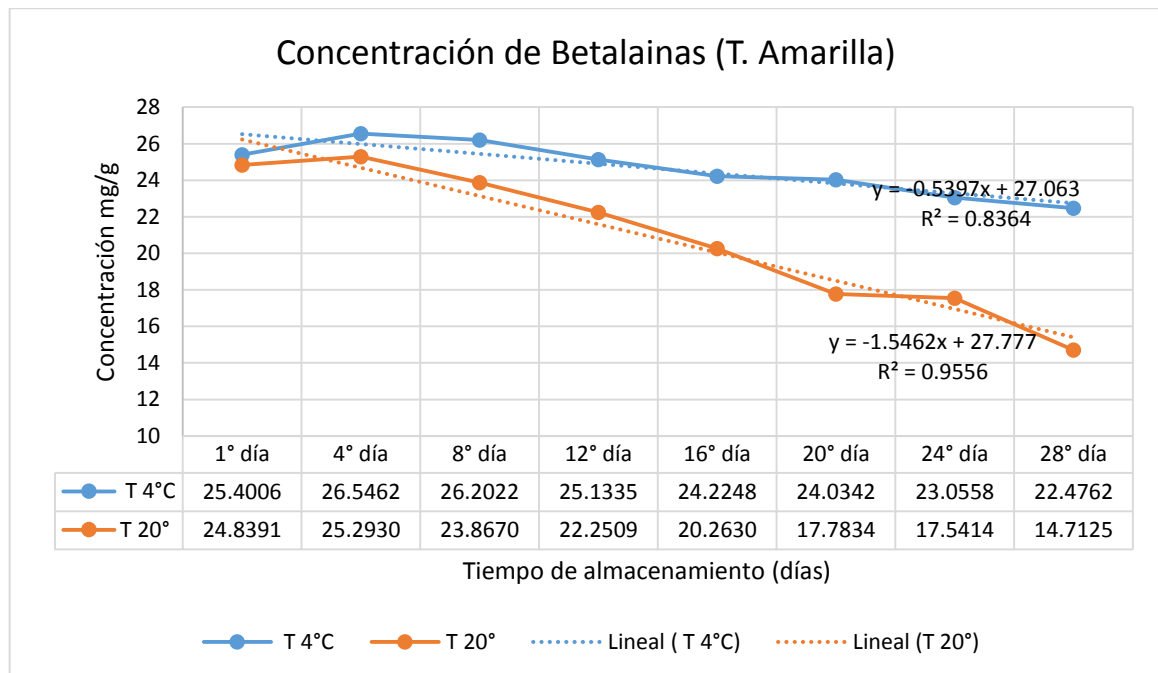
valores 47.78 y 47.52 mg/g, después del día 8 hasta el día 28, se notó una ligera disminución de los datos de concentración de betacianinas, con una cinética de degradación de primer orden.

Yurivilca (2014), utilizo temperaturas de pasteurización de 70°C, 80°C y 90°C en néctar de tuna ecotipo morada y confirmó que a una mayor temperatura hay una mayor disminución del contenido de betacianinas y betaxantinas, además a medida que el tiempo transcurre, la concentración de betacianinas y betaxantinas desciende y responde a una cinética de degradación de primer orden (Calva, 2021). En emulsiones dobles con betacianinas y betaxantinas, demostraron que las betacianinas presentan mayor estabilidad al utilizarse en extracto sin separación ya que su porcentaje de retención fue del 80% y de manera individual es del 61%.

En la figura 23, se presenta la comparación de concentración de betalainas en tuna amarilla, evaluadas a dos temperaturas de refrigeración 4°C y temperatura ambiente de 20°C durante almacenamiento de 28 días.

Figura 23

Concentración de Betalainas totales en Tuna Amarilla almacenadas por 28 días a dos temperaturas (4°C y 20°C).

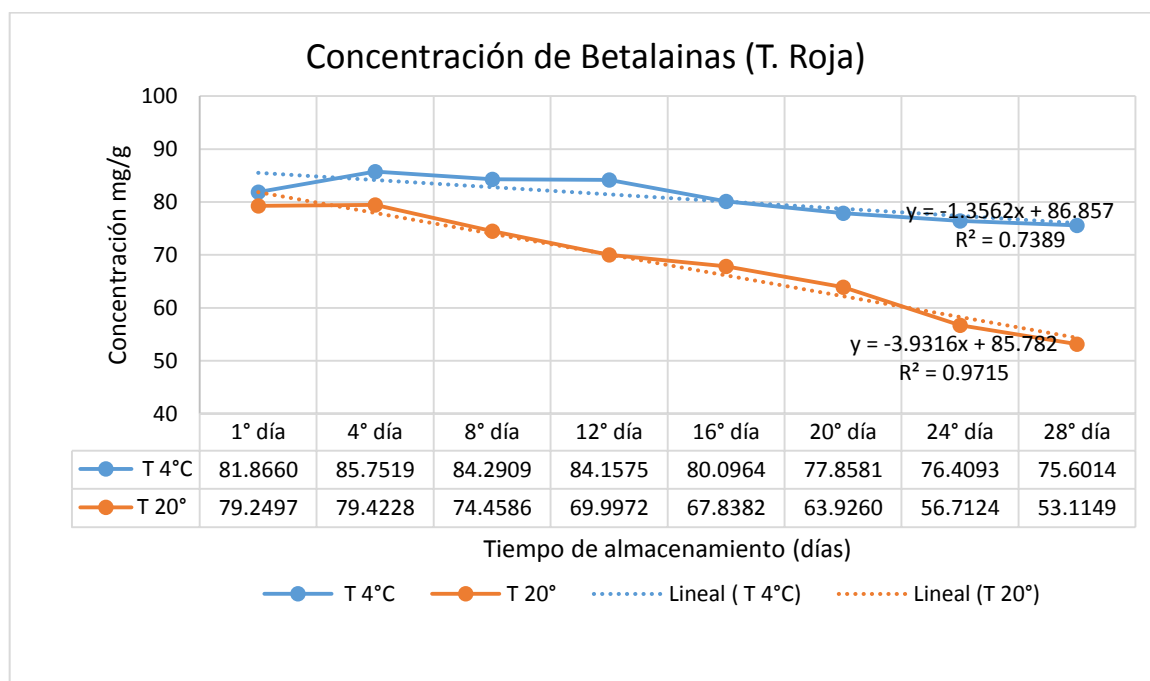


Los valores más altos de betalainas totales en tuna amarilla que se determinaron a temperatura de 4°C, en los días 4 y 8, siendo los valores 26.52 y 26.20 mg/g y a partir del día 12 hasta el día 28 hay una leve disminución de valores de concentración de betalainas, con un promedio de 23.78 mg/g de tuna amarilla. En cambio, los valores de concentración de betalainas en tuna amarilla a temperatura a 20°C, los valores más altos que se determinaron fueron los días 1 y 4, siendo los valores 24.83 y 25.29 mg/g en tuna amarilla, a partir del día 8 al 28 se notó una disminución en los valores con un promedio de 19.40 mg/g, con una cinética de degradación de primer orden.

En la figura 24, se presenta la comparación de concentración de betalainas en tuna roja o colorada, evaluadas a dos temperaturas de refrigeración 4°C y temperatura ambiente de 20°C durante almacenamiento de 28 días.

Figura 24

Concentración de Betalainas Totales en Tuna Roja almacenadas por 28 días a dos temperaturas (4°C y 20°C).



En la figura 24 se observa que el tiempo donde se determino mayor concentracion de betalainas totales de tuna roja evaluados a 20°C fueron en los dias 1 y 2 siendo los valores 79.24 y 79.42 mg/g, con una cinética de degradación de primer orden. En cambio a la temperatura de 4°C se determinaron valores mayores en los dias, 4, 8 y 12 siendo los valores 85.75, 84.29 y 84.15 mg/g en tuna roja.

(Vallejos y Durand, 2021). Confirmaron que las betalainas conservan su mayor concentración a menor tiempo y temperatura, utilizaron temperaturas de 70, 80, 85 y 90°C donde el tratamiento a una temperatura de 70°C y de 1 min dio como resultado 48.93 mg/100 gr el más alto de todos los tratamientos. (Calva, 2021), observó que para la concentración de betalaínas, existe una diferencia significativa a los 7 días de almacenamiento, además una disminución de betacianinas y betaxantinas. (Falcón y Juárez, 2016) al evaluar la estabilidad de las betalaínas en las bebidas a base de pulpa de Sancayo y Arampo donde se observaron que tuvo una pérdida durante el almacenamiento de 28.25%, concluyeron que las betalaínas son más estables en a temperatura de refrigeración.

4.4. Resultados estadísticos para la Concentración de Betalainas totales almacenadas y analizadas a dos temperaturas (4°C y 20°C), por 28 días.

En la tabla 09 se muestran los resultados obtenidos en la determinación de la concentración de betalainas que se determinaron mediante las absorbancias obtenidas en el espectrofotómetro, los valores obtenidos fueron analizados mediante un ANOVA con las variables independientes que son (A) color de tuna, (B)temperatura (°C) y (C) tiempo (días). Con la finalidad de encontrar la significatividad en los tres factores estudiados.

Tabla 9

Análisis de la varianza (ANOVA) para la Concentración de Betalainas totales almacenadas y analizadas a dos temperaturas (4°C Y 20°C), por 28 días.

Fuente	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Color de Tuna	22472.3	22472.3	1427.86	0.0000
B: Temperatura	546.202	546.202	34.71	0.0000
C: Tiempo	485.636	485.636	30.86	0.0000
AB	145.957	145.957	9.27	0.0056
AC	71.2925	71.2925	4.53	0.0438
BC	30.1526	30.1526	1.92	0.1791
Error total	377.722	15.7384		

En la tabla 09 se muestra que el valor-P para color de tuna (amarilla y roja), el valor-P para temperatura (4°C y 20°C) y valor-P para tiempo (días), es menor a 0.05; así como la interacción de las variables el valor-P para color de tuna por temperatura (AB) y el valor-P para color de tuna por tiempo (AC), es menor a 0.05; esto indica que es altamente significativa, entonces esto quiere decir que si influye en la determinación de la concentración de betalainas totales presentes en la pulpa de tuna amarilla y roja. Mientras que el valor-P en la interacción de temperatura por tiempo (BC) es mayor a 0.05, indicando que no fueron significativos; por lo tanto, se afirma que ambas interacciones no están asociadas o correlacionadas y actúan independientemente.

(Vallejos y Durant, 2021), confirmaron que existe un menor contenido de betalaínas con tiempo y temperaturas bajas. La degradación de las betalaínas se da en un orden lineal, sin tener variaciones, en tuna ecotipo morado.

En la tabla 10 se muestran los resultados obtenidos en la determinación de la concentración de betaxantinas que se determinaron mediante las absorbancias obtenidas en el espectrofotómetro, los valores obtenidos fueron analizados mediante un ANOVA con las variables independientes que son (A) color de tuna, (B)temperatura (°C) y (C) tiempo (días). Con la finalidad de encontrar la significatividad en los tres factores estudiados.

Tabla 10

Análisis de la varianza (ANOVA) para la Concentración de Betaxantinas totales almacenadas y analizadas a dos temperaturas (4°C y 20°C), por 28 días.

Fuente	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Color de Tuna	442.35	442.35	537.56	0.0000
B: Temperatura	102.119	102.119	124.10	0.0000
C: Tiempo	189.469	189.469	230.25	0.0000
AB	3.62007	3.62007	4.40	0.0467
AC	1.40134	1.40134	1.70	0.2043
BC	44.7018	44.7018	54.32	0.0000
Error total	19.7494	0.822892		

En la tabla 10 se observa valores P para color de tuna (A), para Temperatura (B) y para tiempo (C), así como para la interacción de las mismas (AB) y (BC) es menor que 0.05; lo que nos indica que es altamente significativa, entonces se puede afirmar que sí influyen en la determinación de concentración de betaxantinas totales presente en tunas de color amarillo y rojo; excepto la interacción de las variables color de tuna por tiempo (AC), donde se observa que el valor P es mayor a 0.05, de lo cual podemos decir que esta interacción no es significativa y se afirma que esta interacción (AC), no está asociada o correlacionada y actúan independientemente.

En la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos en la determinación de la concentración de betacianinas, que se determinaron mediante las absorbancias obtenidas en el espectrofotómetro, los valores obtenidos fueron analizados mediante un ANOVA con las variables independientes que son (A) color de tuna, (B) temperatura (°C) y (C) tiempo (días). Con la finalidad de encontrar la significatividad en los tres factores estudiados.

Tabla 11

Análisis de la varianza (ANOVA) para la Concentración de Betacianinas totales almacenadas ya analizadas a dos temperaturas (4°C y 20°C), por 28 días.

Fuente	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Color de tuna	15773.6	15773.6	2543.56	0.0000
B: Temperatura	290.115	290.115	46.78	0.0000
C: Tiempo	155.034	155.034	25.00	0.0000
AB	183.495	183.495	29.59	0.0000
AC	115.843	115.843	18.68	0.0002
BC	8.67332	8.67332	1.40	0.2485
Error total	148.834	6.2014		

En la tabla 11, se muestran el valor P para las variables color de tuna (A), temperatura (B) y tiempo (C), así como la interacción entre color de tuna por temperatura (AB) y color de tuna por tiempo (AC); es menor a 0.05, lo que se demuestra que son altamente significativas, lo que quiere decir que si influyen en la determinación de concentración de betacianinas totales presentes en pulpa de tuna de color amarillo y rojo. En cambio la interacción de las variables temperatura por tiempo (BC) su valor-P es mayor a 0.05, indicando que no son significativas, afirmando que estas interacciones no están asociadas o correlacionadas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se determinó mayor concentración de betalainas y betaxantinas en la tuna de color rojo con los valores de 77.3234 mg/g y 30.0514 mg/g respectivamente, mientras que para la tuna amarilla se obtuvo los valores de 22.0891 mg/g y 21.0324 mg/g respectivamente.

Se determinó mayor concentración de betalainas y betaxantinas a temperatura de 4°C con un valor de 81.77 mg/g de pulpa y 31.8694mg/g respectivamente en la tuna de color rojo, y para la tuna de color amarillo los valores fueron 25.40 mg/g y 23.3763 respectivamente. A temperatura de 20°C se determinó menor cantidad de betalainas y betaxantinas, 79.2497 mg/g y 32.4684 mg/g respectivamente para tuna roja y para tuna amarilla 24.8391 mg/ y 23.2604 mg/g respectivamente, y mientras transcurría el tiempo las concentraciones fueron disminuyendo, influyendo la temperatura donde se observó que a temperatura de 4°C fueron más estables tanto betalainas y betaxantinas que a temperatura de 20°C. Confirmándose que la temperatura ideal para determinar concentraciones de betalainas y betaxantinas es la de refrigeración de 4°C.

5.2. Recomendaciones

Utilizar estos estudios de base para realizar investigaciones de betalainas y betaxantinas para utilizarlos en la industria alimentaria, como un colorante natural, teniendo en cuenta la temperatura de 4°C para su extracción y conservación.

Utilizar otras variedades de tuna para una mejor comparación de concentración de betalainas, ya que la tuna amarilla es poco estudiada y utilizada e incluso evaluarlas por más tiempo.

Trabajar con otros disolventes y otras temperaturas e incluso más bajas por debajo de 4°C para obtener mejores resultados

Consideran rendimiento de las muestras, para una mejor metodología.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.O.A.C. (1995).** “Official Methods of Analysis”. 16th Edition. Association of Official Analytical Chemist, Washington – USA.
- Aguilar, M. V. R., Jaramillo, C. G. J., & de Astudillo, L. L. R. (2018).** Contenido de betalainas y actividad antioxidante en brácteas de *Bougainvillea glabra* Choisy. *Revista Cubana de Farmacia*, 51(2).
- Amaya Robles, J. E. (2009). El cultivo de Tuna. *Opuntia ficus indica*. Trujillo, Perú.
- Averalo, M. (2013).** Betalainas y su aplicación en la industria alimentaria. Trabajo de investigación. Universidad Nacional de San Martín, Perú.
- Azeredo, H. M. (2009).** Betalains: properties, sources, applications, and stability—a review. *International journal of food science & technology*, 44(12), 2365-2376.
- Badui, S. (2006).** “Química de los Alimentos”. Cuarta Edición. Editorial Pearson
- Betancour, C., Cejudo-Bastante, M. J., Heredia, F., & Hurtado, N. (2016).** Identificación de las Betalaínas del Fruto del Cactus (*Opuntia dillenii* (Ker Gawl) Haw), Estabilidad y Actividad Antioxidante de los Extractos.
- Calva Quintana, A. R. L. E. T. (2021).** estabilidad de betalaínas (betacianinas y betaxantinas) encapsuladas en emulsiones obtenidas con surfactantes naturales y métodos de alta energía (doctoral dissertation, universidad autonoma de chihuahua).
- Castellanos – Santiago E., Yahia, E. (2008).** Identification and quantification of betalains from the fruits of Mexican prickly pear cultivars by high performance liquid chromatography and electrspray ionización masa spectrometry. *J Agric.*
- Coultate T. (1984)** Alimentos química de sus componentes. Edit. Acribia S.A. España.

- DRAE. (2014)** Diccionario de la Real Academia Española. La 23.^a Edit. España.
- Falcón Quispe, J. Y., & Juárez Chiri, R. M. (2016).** Evaluación del contenido de polifenoles y betalainas en una bebida elaborada a partir de Sancayo (*Corryocactus Brevistylus*) y Ayrampo (*Opuntia Soehrensii*).
- Fennema O. (2000).** Química de alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza España.
- Francis, F.J. y Lauro, G.S. (2000).** Natural food colorants. Science and technology. Marcel Dekker, Inc. Nework.
- Galarza, C. (2013).** Obtención de un colorante a partir de las flores de ataco o sangorache (*Amaranthus sp.*). Universidad Técnica de Ambato.
- García, A., Rodríguez, O., & Padrón, B. (2011).** Tunera India *Opuntia dillenii* (Ker-Gawl.) Haw. España: Gobierno de Canarias.
- Garcia. F. A., Reynoso, C. R., & Gonzalez de Mejia, E. (1998).** Stability of betalains extracted from garambullo (*Myrtillocactusgeometrizers*). Food Science and Technology International.
- González. Sánchez. Seijas. Bernabé y Priscilla. (2010).** Efecto de la temperatura y luminosidad sobre la estabilidad de las betalainas obtenidas de “betarraga. Trabajo de Investigación para optar título profesional. Universidad nacional de Trujillo. La Libertad. Perú.
- Herbach KM, Maier C, Stintzing FC, Carle R. (2006)** Effects of processing and storage on juice colour and betacyanin stability of purple pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) juice. Eur Food Res Technol.

- Hinostroza, C. (2013).** Extracción y estabilización de betalaínas de tuna púrpura (*Opuntia ficus-indica*) mediante tecnología de membranas y microencapsulación, como colorante alimentario. CHILE: Universidad de Chile.
- Hinostroza, J., & Valdizan, E. (2014).** Evaluación del contenido de betalaínas en láminas de tuna (*Opuntia ficus indica*) y melocotón (*Prunus persica* L. Batsch) a diferentes temperaturas de secado” (Doctoral dissertation, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial. Tarma-Peru).
- Huaman, C. (2014).** Evaluación del tipo de solvente en el rendimiento durante la extracción de colorante natural de la cascara de tuna morada (*Opuntia ficus*). Tesis para optar el título profesional de ingeniero en industrias alimentarias. Universidad nacional del centro del Perú. Huancayo. Perú.
- Huang, A.S. y Von Elbe, J.H. 1985.** Kinetics of the degradation and regeneration of betanine . J. Food Sci., 51-670.
- Huaranga, A. (2014).** Evaluación de Betaninas y Actividad Antioxidante en Pulpa Concentrada de Tuna (*Opuntia ficus indica*) Ecotipo Morado. Tesis para optar el título profesional de ingeniero en industrias alimentarias. Universidad nacional del centro del Perú. Huancayo. Perú.
- León O. M. 1997.** Tesis “Obtención de Zumo de Tuna (*Opuntia ficus – indica* Miller) Clarificado por Vía Enzimática”. Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP). Huancayo – Perú.
- Lock, O. (1997).** Colorantes Naturles. Fondo editorial Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. Perú.

- López Guerra, S. (2014).** Extracción y actividad antioxidante del colorante natural de la pulpa del fruto de *Opuntia ficus-indica* “tuna morada” y su aplicación en crema chantilly.
- Mandujano, R. (2006).** Estudio preliminar de los pigmentos presentes en cáscara de pitaya (*Stenocereus stellatus*) de la región mixteca. Oaxaca-Mexico: Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Manríquez Zambrano, K. G., & Tillaguango Aguirre, L. E. (2021).** Estudio comparativo de la capacidad antioxidante de las Betalainas presentes en *Opuntia ficus indica* (tuna) en diferentes países (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Químicas).
- Marañón –Ruiz, V (2011).** Caracterización de las propiedades ópticas de betacianinas y betaxantinas por espectroscopia UV_λv-vis y barrido en Z. disponible en:
http://smcsyv.fis.cinevestav.mx/supyvac/2_4/SV24411311.pdf.
- Morales P. (2007).** “Estudio Comparativo de la Estabilidad de la Betanina; Capacidad Antioxidante de los Extractos de Ayrampo (*Opuntia soehrensii* Britton & Rose) y Betarraga (*Beta vulgaris* L.). Tesis para optar el Título de Ingeniero en Industrias Alimentarias en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.
- Orozco, A. F. P., & Sosa, V. (2022).** Comparación del contenido de betalaínas y azúcares en frutos de cinco especies de *Selenicereus* (Cactaceae): Betalains and sugars in pitahayas. *Acta Botánica Mexicana*, (129), 7.
- Rodríguez P. F. (1985).** “Las Betalainas como Colorante Natural en Alimentos”. *Revista de la Industria Alimentaria*.
- Román. M, Aniceto C, Pineda S, Alatríste I, Rivera V, (2014).** Extracción y estudio cinético de la degradación de las betalaínas presentes en la bugambilia fucsia (*Bougainvillea* sp), una

alternativa como colorante alimentario. Trabajo científico. Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, México.

Sáenz, C. 2004. Compuestos funcionales y alimentos derivados de *Opuntia* spp. p. 211-222. In: Esparza, G., Valdez, R. y Méndez, S. eds. El Nopal, Tópicos de actualidad. Universidad Autónoma de Chapingo, México.

Sáenz, C., H. Berger, J.C. García, L. Galletti, V.G. de Cortázar, I. Higuera, C. Mondragón, A. Rodríguez-Félix, E. Sepúlveda, M.T. Varnero. (2006). Utilización agroindustrial de nopal. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO N° 162. Roma.

Sierra y Selva Exportadora-Online (2015-2021). Análisis de Mercado de Tuna. (en línea, sitio web). Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.

Stintzing, F., Herbach, K., Moßhammer, M., Carle R., Yi, W., Sellappan, S., Akoh C. y Felker, P. (2005). Color, Betalain Pattern, and Antioxidant Properties of Cactus Pear (*Opuntia* spp.) Clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **53**, 442-451.

Vallejos Rodríguez, G. E., y Durand Torres, E. L. (2021). Efecto de la pasteurización en el contenido de betalaínas de la pulpa de tuno indio (*Opuntia dillenii*)—Chiclayo 2016.

Wong, d. w.s. (1995). Química de los alimentos: mecanismos y teoría. Zaragoza. España.

Yana, N., & Milagros, C. (2017). Obtención de colorante natural a partir de la cáscara de tuna púrpura (*Opuntia ficus-indica*) por el método de extracción sólido-líquido para su aplicación en la industria de alimentos, fruto proveniente del distrito de San Cristóbal-Moquegua.

Yurivilca, C. (2014). “Evaluación de la cinética de degradación de betalaínas del néctar de tuna (*Opuntia ficus indica*) ecotipo morado por tratamiento térmico” Tesis para optar el título profesional de ingeniero en industrias alimentarias. Universidad nacional del centro del Perú. Tarma. Perú.

CAPÍTULO VII

ANEXO O APENDICE

Anexo 1: Panel de fotos de investigación

Figura 25

Materia prima (Tuna Roja y Amarilla).



Figura 26

Tunas seleccionadas y Peladas.



Figura 27

Pesado de Tuna Roja.



Figura 28

Proceso de Escaldado.



Figura 29

Envasando y Rotulando las muestras.



Figura 30

Muestras listas para el almacenamiento

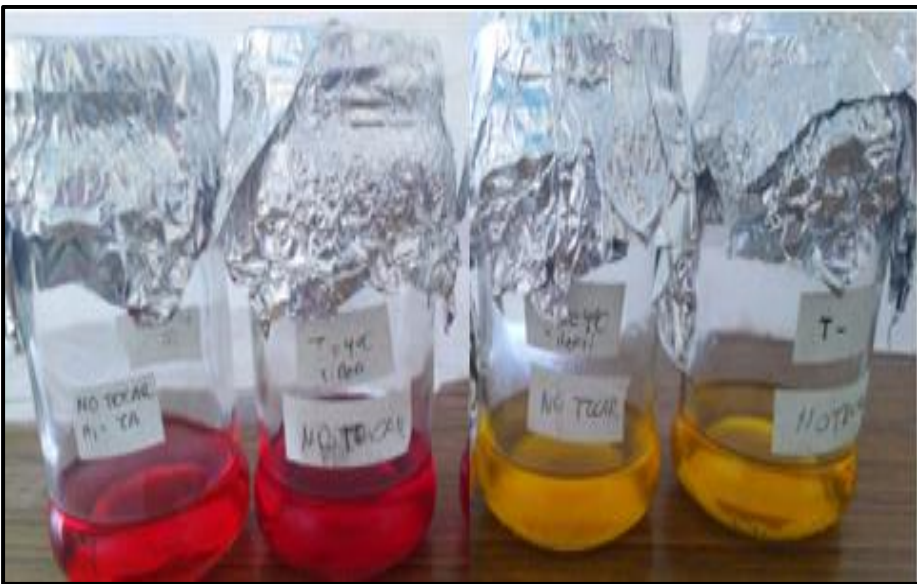


Figura 31

Muestras en el espectrofotómetro.

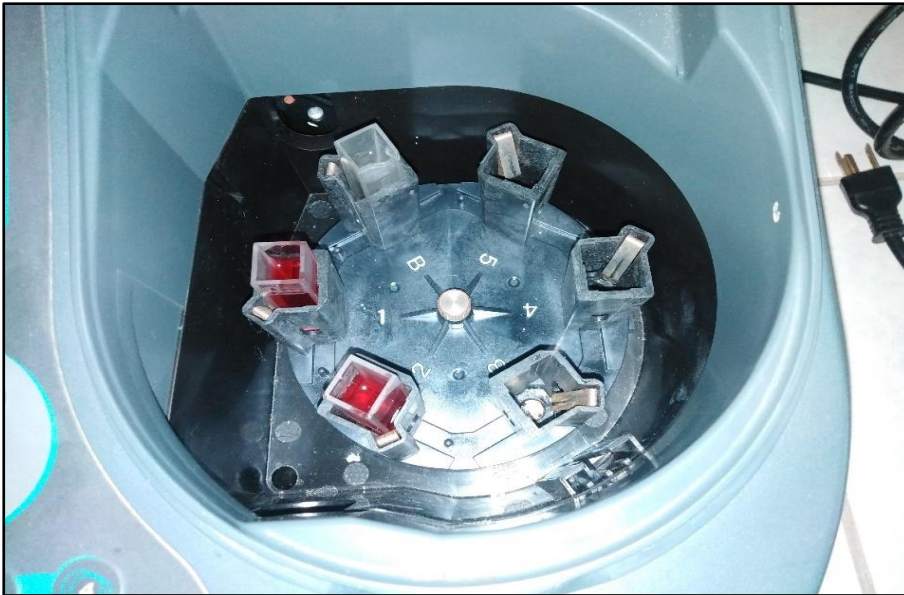


Figura 32

Anotando datos de Absorbancia de las muestras.



Figura 33

Muestras de Tuna Amarilla después de 28 días de almacenamiento.

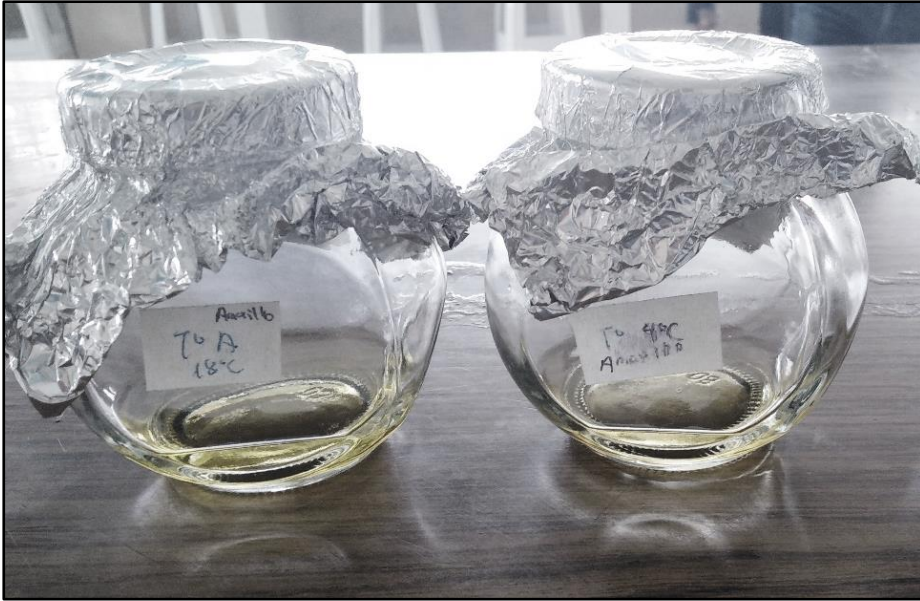


Figura 34

Muestras de Tuna Roja después de 28 días de almacenamiento.



Figura 35

Lectura de Absorbancias en el espectrofotómetro a 483 nm de las muestras.

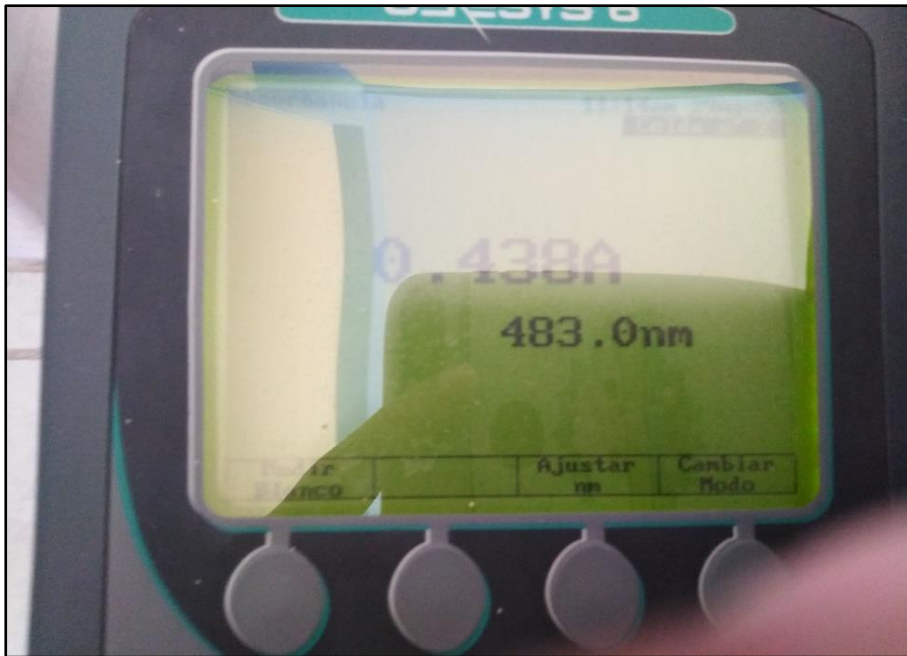


Figura 36

Lectura de Absorbancias en el espectrofotómetro a 538 nm de las muestras.



Anexo 2: Operalización de Variables

VARIABLES	Definición		Dimensiones	Indicador
	Operacional	Conceptual		
<p><u>INDEPENDIENTES:</u></p> <p>Tunas con diferente coloración</p> <ul style="list-style-type: none"> • 	<p>Las variedades se diferencian principalmente en cuatro grupos por el color de la cáscara y la pulpa del fruto: cáscara verde amarilla y pulpa blanca, cáscara amarilla anaranjada y pulpa naranja; cáscara verde-roja y pulpa roja; cáscara morada y pulpa morada (Álvarez 2007).</p>	<p>Existen tunas de diferentes colores como rojas, amarillas, rosadas y púrpuras así como el color común que son verdes, estas tonalidades se dan porque contienen betalainas; betacianinas que atribuyen (color rojo-púrpuras) y las betaxantinas los colores (anaranjadas-amarillas) dando así un color atractivo a la fruta.</p>	<p>Rojas Amarillas</p>	
<p>Temperatura</p>	<p>La temperatura se define como la magnitud física que permite medir el grado de calor. Aunque es intuitiva ya que se refiere a nuestras sensaciones de calor y frío. Sin embargo, el concepto físico llegó muy tarde ya que nuestros sentidos mezclan los efectos de la temperatura y los de la transferencia de calor. (Picquart1, Carrasco, 2017).</p>	<p>La temperatura tiene una influencia significativa en la determinación de betalainas, ya que a temperaturas mayores las degrada, mientras que a temperaturas menores como refrigeración y congelación son adecuadas para una mejor estabilidad de betalainas</p>	<p>4 20</p>	<p>°c</p>

Tiempo	Magnitud física que permite ordenar la secuencia de los sucesos, estableciendo un pasado, un presente y un futuro. (DRAE, 2014).	El tiempo tiene una influencia significativa en la determinación de betalainas, ya que mientras transcurre el tiempo las vitaminas y betaxantinas se degradan.	1 día 4 día 8 día 12 día 16 día 20 día 24 día 28 día	días
<u>DEPENDIENTES:</u>				
Concentración de betalainas o betaxantinas en tunas de diferentes coloraciones	En la tuna púrpura, como <i>Opuntia undulata</i> , se ha identificado la presencia tanto de betacianina (betanina e isobetanina) como betaxantina (indicaxantina), mientras que en <i>Opuntia stricta</i> solamente se han detectado betacianinas (betanina e isobetanina) (Fernández-López y Almela, 2001; Castellar <i>et al.</i> , 2003).	La betalainas son de dos tipos las cuales atribuyen colores de diferentes tonalidades a las tunas por lo que existen diferentes variedades de tunas de rojas- púrpuras por betacianinas y los colores anaranjadas- amarillas por contenido de betaxantinas.	Concentración de betalainas y betaxantinas.	mg/g

Anexo 3: Concentraciones de betalainas en Tuna Amarilla

DIAS/ T°	T 4°C	T 20°
1° día	25.4006	24.8391
4° día	27.7190	25.1638
8° día	27.4745	23.9670
12° día	26.7959	24.2509
16° día	25.4248	22.1630
20° día	24.3859	18.5727
24° día	23.3788	17.9959
28° día	22.9090	15.1963

Anexo 4: Concentraciones de betalainas en Tuna Roja

DIAS/ T	T 4°C	T 20°
1° día	81.8660	79.2497
4° día	89.7519	79.4228
8° día	87.2909	74.8586
12° día	93.1575	68.3490
16° día	82.0964	68.0167
20° día	77.8581	63.9260
24° día	76.4093	56.7124
28° día	74.6014	53.1149