



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

T E S I S

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO
SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS
DE TUNA (*Opuntia ficus indica*) EN LA
REGIÓN MOQUEGUA**

PRESENTADA POR

BACHILLER HERRERA YAÑEZ, YANINA NATIVIDAD

ASESOR:

MGR. ERIK EDWIN ALLCCA ALCA

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

MOQUEGUA – PERÚ

2018

CONTENIDO

	Pág.
Página de jurado.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Contenido.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE APÉNDICES.....	xi
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	xviii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.	Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2.	Definición del problema.....	2
1.3.	Objetivo de la investigación.....	2
1.4.	Justificación y limitaciones de la investigación.....	3
1.4.1.	Justificación.....	3
1.4.2.	Limitaciones.....	4

1.5.	Variables	4
1.5.1.	Variables independientes.....	4
1.5.2.	Variables dependientes.....	4
1.5.3.	Definición de variables.....	5
1.5.	Hipótesis de la investigación.	5
1.6.1.	Hipótesis general.....	5
1.6.2.	Hipótesis específicas	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes de la investigación.....	7
2.2.	Bases teóricas.....	9
2.2.1.	La tuna	9
2.2.2.	Clasificación taxonómica	10
2.2.3.	Producción de tuna.....	11
2.2.4.	Composición nutricional de la tuna	11
2.2.5.	Características fisicoquímicas de la tuna	12
2.2.6.	Variedades de tuna	13
2.2.7	Manejo poscosecha	14
2.2.8.	Propiedades funcionales de la tuna.....	15
2.2.9.	Antioxidantes	17
2.2.10.	Medición de la actividad antioxidante	22
2.2.11.	Tiempo de vida en anaquel (shelf life)	25

2.2.12.	Cinéticas de reacción.....	26
2.2.13.	Ecuación de Arrhenius	26

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1.	Tipo de investigación	29
3.2.	Diseño de la investigación.....	30
3.3.	Población y muestra.	31
3.3.1.	Población.....	31
3.3.2.	Muestra	31
3.4.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	31
3.4.1.	Recolección.....	31
3.4.2.	Análisis físico y químico.....	31
3.4.3.	Constantes cinéticas de reacción y tiempo de vida	32
3.5.	Técnicas de procesamiento de datos.....	32

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.	Presentación de resultados.....	36
4.1.1.	Evaluación los °Brix, acidez titulable, pH, contenido de humedad, y capacidad antioxidante de la pulpa de tuna variedades roja, naranja y blanca. ...	36

4.1.2.	Evaluación del contenido de las características físicas y químicas en función de la temperatura y tiempo de almacenamiento.....	38
4.1.3.	Evaluación de las constantes de cinética de reacción	49
4.2.	Contraste de hipótesis.....	50
4.3.	Discusión de resultados	51
4.3.1.	Evaluación del ° Brix, acidez titulable, pH, contenido de humedad, y capacidad antioxidante de la pulpa de tuna variedades roja, naranja y blanca. ...	51
4.3.2.	Evaluación del contenido de las características físicas y químicas en función de la temperatura y tiempo de almacenamiento.....	52
4.3.3.	Evaluación de las constantes de cinética de reacción.....	59

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.	Conclusiones	60
4.2.	Recomendaciones.....	63
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
	APÉNDICES.....	73
	MATRIZ DE CONSISTENCIA	105

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Composición nutricional de las pulpas de tuna (porcentaje de la parte comestible).....	12
Tabla 2. Características fisicoquímicas de la pulpa de tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>).	12
Tabla 3. Composición mineral de pulpas de tuna (porcentaje parte comestible)..	13
Tabla 4. Clasificación de los modelos de ensayo in vitro según su modo de reacción ET o HAT.....	23
Tabla 5. Combinación de los tratamientos.....	34
Tabla 6. Características físico-químicas de variedades de tuna.....	37
Tabla 7. Constantes cinéticas de reacción.....	50

Figura 20. Variación de la capacidad antioxidante en función al tiempo a 5°C ...	48
Figura 21. Variación de la capacidad antioxidante en función al tiempo a 21°C .	48
Figura 22. Variación de la capacidad antioxidante en función al tiempo a 30°C .	49
Figura 23. Esquema de la pérdida de humedad para frutas,.....	53

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice A. Resultados de los análisis realizados	73
Apéndice B. Análisis estadístico de las propiedades fisicoquímicas de la tuna al día 0.....	75
Apéndice C. Análisis de varianza de °Brix.....	77
Apéndice D. Análisis estadístico de pH.....	81
Apéndice E. Análisis estadístico de acidez.....	84
Apéndice F. Análisis estadístico de contenido de humedad	87
Apéndice G. Análisis de estadístico de capacidad antioxidante	90
Apéndice H. Gráficos realizados para la obtención de las constantes cinéticas de reacción – Humedad.....	93
Apéndice I. Gráficos realizados para la obtención de las constantes cinéticas de reacción – % acidez.....	95
Apéndice J. Gráficos realizados para la obtención de las constantes cinéticas de reacción – °Brix	97
Apéndice K. Gráficos realizados para la obtención de las constantes cinéticas de reacción – Capacidad antioxidante	99
Apéndice L. Galería fotográfica.....	101
Tabla A 1. Resultado de los diferentes análisis realizados	73
Tabla B 1. ANOVA para contenido de humedad por variedades de tuna	75
Tabla B 2. ANOVA para la acidez por variedades de tuna	75

Tabla B 3. Pruebas de múltiple rangos para el contenido de acidez por variedades de tuna	75
Tabla B 4. ANOVA para °Brix por variedades de tuna.....	76
Tabla B 5. Pruebas de múltiple rangos para °Brix por variedades de tuna.....	76
Tabla B 6. ANOVA para pH por variedades de tuna.....	76
Tabla B 7. Pruebas de múltiple rangos para pH por variedades de tuna.....	76
Tabla C 1. Resultados de análisis de °Brix	77
Tabla C 2. Análisis de la varianza de °Brix (SC tipo III)	77
Tabla C 3. Test LSD Fisher de °Brix entre variedad de tuna.....	77
Tabla C 4. Test LSD Fisher de °Brix entre temperaturas	78
Tabla C 5. Test LSD Fisher de °Brix entre días de almacenamiento.....	78
Tabla C 6. Test LSD Fisher de °Brix entre interacción de variedad * temperatura.....	78
Tabla C 7. Test LSD Fisher de °Brix entre interacción de variedad * días	79
Tabla C 8. Test LSD Fisher de °Brix entre interacción de temperatura * días	79
Tabla C 9. Test LSD Fisher de °Brix entre interacción de variedad * temperatura* días	80
Tabla D 1. Resultados de análisis de pH.....	81
Tabla D 2. Análisis de la varianza de pH (SC tipo III)	81
Tabla D 3. Test LSD Fisher de pH entre variedad de tuna	81
Tabla D 4. Test LSD Fisher de pH entre temperaturas	81
Tabla D 5. Test LSD Fisher de pH entre días de almacenamiento	82
Tabla D 6. Test LSD Fisher de pH entre interacción de variedad * temperatura .	82
Tabla D 7. Test LSD Fisher de pH entre interacción de variedad * días.....	82

Tabla D 8. Test LSD Fisher de pH entre interacción de temperatura * días.....	83
Tabla D 9. Test LSD Fisher de pH entre interacción de variedad *temperatura* días	83
Tabla E 1. Resultados de análisis de acidez.....	84
Tabla E 2. Análisis de la varianza de acidez (SC tipo III)	84
Tabla E 3. Test LSD Fisher de acidez entre variedad de tuna	84
Tabla E 4. Test LSD Fisher de acidez entre temperaturas	84
Tabla E 5. Test LSD Fisher de acidez entre días de almacenamiento	85
Tabla E 6. Test LSD Fisher de acidez entre interacción de variedad * temperatura.....	85
Tabla E 7. Test LSD Fisher de acidez entre interacción de variedad * días	85
Tabla E 8. Test LSD Fisher de acidez entre interacción de temperatura * días....	86
Tabla E 9. Test LSD Fisher de acidez entre interacción de variedad *temperatura* días	86
Tabla F 1. Resultados de análisis de contenido de humedad	87
Tabla F 2. Análisis de la varianza de contenido de humedad (SC tipo III)	87
Tabla F 3. Test LSD Fisher de contenido de humedad entre variedad de tuna.....	87
Tabla F 4. Test LSD Fisher de contenido de humedad entre temperaturas	87
Tabla F 5. Test LSD Fisher de contenido de humedad entre días de almacenamiento.....	88
Tabla F 6. Test LSD Fisher de contenido de humedad entre interacción de variedad * temperatura.....	88
Tabla F 7. Test LSD Fisher de contenido de humedad entre interacción de variedad * días.....	88

Tabla F 8. Test LSD Fisher de contenido de humedad entre interacción de temperatura * días	89
Tabla F 9. Test LSD Fisher de contenido de humedad entre interacción de variedad *temperatura* días	89
Tabla G 1. Resultados de análisis de capacidad antioxidante	90
Tabla G 2. Análisis de la varianza de capacidad antioxidante (SC tipo III)	90
Tabla G 3. Test LSD Fisher de capacidad antioxidante entre variedad de tuna ...	90
Tabla G 4. Test LSD Fisher de capacidad antioxidante entre temperaturas	90
Tabla G 5. Test LSD Fisher de capacidad antioxidante entre días de almacenamiento.....	91
Tabla G 6. Test LSD Fisher de capacidad antioxidante entre interacción de variedad * temperatura	91
Tabla G 7. Test LSD Fisher de capacidad antioxidante entre interacción de variedad * días.....	91
Tabla G 8. Test LSD Fisher de capacidad antioxidante entre interacción de temperatura * días	92
Tabla G 9. Test LSD Fisher de capacidad antioxidante entre interacción de variedad *temperatura* días	92
Figura H 1. Determinación de valor k para contenido de humedad en tuna naranja almacenada.....	93
Figura H 2. Determinación de valor k para contenido de humedad en tuna blanca almacenada	93

Figura H3. Determinación de valor k para contenido de humedad en tuna roja almacenada.....	94
Figura I 1. Determinación de valor k para la acidez en tuna naranja almacenada	95
Figura I 2. Determinación de valor k para la acidez en tuna blanca almacenada .	95
Figura I 3. Determinación de valor k para la acidez en tuna roja almacenada	96
Figura J 1. Determinación de valor k para °Brix en tuna naranja almacenada	97
Figura J 2. Determinación de valor k para °Brix en tuna blanca almacenada	97
Figura J 3. Determinación de valor k para °Brix en tuna roja almacenada.....	98
Figura K 1. Determinación de valor k para la capacidad antioxidante en tuna naranja almacenada.....	99
Figura K 2. Determinación de valor k para la capacidad antioxidante en tuna blanca almacenada	99
Figura K 3. Determinación de valor k para la capacidad antioxidante en tuna roja almacenada	100
Fotografía L 1. Tuna variedad naranja.....	101
Fotografía L 2. Tuna variedad verde.....	101
Fotografía L 3. Tuna variedad roja	102
Fotografía L 4. Prueba de almacenamiento de la tuna en incubadora ECOCELL a 25°C.....	102
Fotografía L 5. Extracción de pulpa de tuna para determinación de acidez y °Brix	103103
Fotografía L 6. Determinación de acidez con ayuda de pHmetro Metrohm 827.....	103
Fotografía L 7. Determinación de humedad por método de estufa a 103 °C.....	104

Fotografía L 8. Estado de la tuna a los 12 días de almacenamiento a 25 °C 104

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo principal evaluar el efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas de tuna (*Opuntia ficus indica*) en sus variedades roja, blanca y naranja, con la finalidad de conservar dichas propiedades. Se determinó el contenido de humedad, °Brix, pH, acidez, capacidad antioxidante y constantes cinéticas de reacción. Cada una de las muestras se acondicionó a temperaturas de 5, 21 y 30 °C monitoreadas a 0, 4 y 8 días. Los resultados fueron llevados a un diseño factorial multinivel para su análisis estadístico a un 95 % de confiabilidad. El análisis realizado a 0 días, muestran promedios de: 13,3 a 13,4 °Brix, 83,3 a 85,01 % contenido de humedad, 0,058 a 0,069 % de acidez y capacidad antioxidante (1,75 a 1,87). Los resultados del efecto de la temperatura y días de almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas demostraron que: la pérdida de humedad y la variación de °Brix es menor a temperaturas de 5 y 21°C, efecto contrario sucede con la temperatura de 30 °C, donde se observó una pérdida de humedad de ~15% y la mayor tasa de pérdida de °Brix. Con respecto a la acidez se demostró que a temperatura de 5 °C reduce el incremento de acidez, la capacidad antioxidante mostro que la variedad de tuna roja presenta la mayor capacidad antioxidante (~1,77 mg ET/g). Las constantes cinéticas de reacción mostraron un orden de reacción cero (comportamiento lineal), donde el indicador crítico (variable que presenta los mayores cambios en el tiempo) fue la acidez con valores de 0,0098 a 0,0233 (g ácidos/día) a una temperatura de 30 °C.

Palabras clave: Tuna, capacidad antioxidante, cinética de reacción.

ABSTRACT

The main objective of this research was to evaluate the effect of temperature and storage time on the physicochemical properties of opuntia (*Opuntia ficus indica*) in its red, white and orange varieties, in order to preserve these properties. The moisture content, °Brix, pH, acidity, antioxidant capacity and reaction kinetic constants were determined. Each of the samples was conditioned at temperatures of 5, 21 and 30 °C monitored at 0, 4 and 8 days. The results were brought to a multilevel factorial design for statistical analysis at 95 % reliability. The analysis performed at 0 days showed averages of: 13,3 to 13,4 °Brix, 83.3 to 85,01 % moisture content, 0,058 to 0,069 % acidity and antioxidant capacity (1.75 to 1.87). The results of the effect of the temperature and days of storage on the physicochemical properties showed that: the loss of humidity and the variation of °Brix is lower at temperatures of 5 and 21 °C, opposite effect happens with the temperature of 30 °C. Where a moisture loss of ~ 15 % and the highest loss rate of °Brix were observed. With respect to acidity it was shown that at 5 °C reduces the increase of acidity, the antioxidant capacity showed that the variety of red tuna has the highest antioxidant capacity (~ 1,77 mg ET / g). The reaction kinetic constants showed a zero reaction order (linear behavior), where the critical indicator (variable with the greatest changes in time) was the acidity with values of 0,0098 to 0,0233 (g acids / day) at a temperature of 30 °C.

Keywords: Tuna, antioxidant capacity, reaction kinetics.

INTRODUCCIÓN

La tuna es producida en la zona alto andina de la Región Moquegua, principalmente en el Distrito de San Cristóbal de la Provincia Mariscal Nieto, es comercializada en las ciudades de Puno, Arequipa, Moquegua, Tacna e Ilo (Dirección Regional Agraria Moquegua [DRAM], 2014). Esta fruta en particular presenta compuestos bioactivos como: la vitamina C, betalainas y β -caroteno, que le otorgan propiedades antioxidantes, debido a su capacidad de reducir radicales libres; además gracias a su contenido de mucílagos y pectinas también es considerado como fibras dietéticas y prebióticos (Guevara, 2009).

La tuna actualmente es conservada mediante métodos tradicionales como el secado donde se logra al reducir el contenido de humedad por la exposición al calor a una determinada temperatura, concentrando los solutos de las materias primas y reduciendo el medio de crecimiento de microorganismos patógenos. Sin embargo, esta técnica reduce significativamente el contenido de polifenoles y por ende su capacidad antioxidante de la fruta (Hincapié, Mondragón y López, 2011).

La tuna ha sido estudiada desde un punto de vista fisiológico, biológico y en el campo del procesamiento; pero aún no se ha estudiado el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre sus propiedades físicas y químicas, que permita establecer condiciones de almacenamiento óptimas para prolongar la vida útil de este alimento. Sumado a ello la tuna en la Región Moquegua no ha sido caracterizada en sus propiedades químicas, tales como pH, °Brix, acidez y capacidad antioxidante, lo que impide poder ofrecer este producto al mercado nacional e internacional.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad problemática

La región Moquegua es una zona productora de tuna, principalmente el distrito de San Cristóbal con el 75,74 % de la producción en la Provincia Mariscal Nieto; cultivada con técnicas tradicionales de siembra, cosecha y post-cosecha, se comercializa por medio de acopiadores a regiones vecinas (Puno, Tacna y Arequipa); no se tiene establecido canales de comercialización debido a que dicho producto no ha sido caracterizado desde un punto de vista físico y químico y aun no se han establecido condiciones de almacenamiento que permita prolongar la vida útil de este alimento.

La tuna ha sido estudiada desde un punto de vista químico, fisiológico y biológico; pero aún no se ha evaluado el efecto de la temperatura sobre estas propiedades, el desconocimiento de ese estudio nos permite poder diseñar sistemas de almacenamiento, sistemas de procesamiento, conservación y transporte para dicho producto.

1.2. Definición del problema

Por todo lo referido anteriormente la presente investigación plantea las siguientes preguntas: ¿Cuál es el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre las propiedades físicas de tuna roja, naranja y blanca? y ¿Cuál es el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre las propiedades químicas de tuna roja, naranja y blanca?

1.3. Objetivo de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre las características físicas y químicas de tuna (*Opuntia ficus indica*) en la Región Moquegua.

1.3.2. Objetivos específicos

Evaluar el contenido de humedad, pH, °Brix, acidez y capacidad antioxidante de la pulpa de tuna variedades roja, naranja y blanca.

Evaluar el comportamiento del contenido de humedad, pH, °Brix, acidez y capacidad antioxidante de la pulpa de tuna variedades roja, naranja y blanca a temperaturas de almacenamiento de 5, 21 y 30 °C; durante cero, cuatro y ocho días.

Estimar las constantes cinéticas de reacción de tuna variedades roja, naranja y blanca a temperaturas de almacenamiento de 5, 21 y 30 °C.

1.4. Justificación y limitaciones de la investigación

1.4.1. Justificación

La tuna en la región Moquegua tuvo una producción de 1927,6 toneladas para el 2013 (Dirección Regional Agraria Moquegua [DRAM], 2014) y el gobierno viene ejecutando proyectos productivos, para mejorar el cultivo de tuna. El incremento de la producción de la tuna va a generar el crecimiento económico del Distrito de San Cristóbal y otros de la zona alta andina de la Región Moquegua; por ello la caracterización de la materia prima permitirá establecer canales de comercialización..

1.4.1.1 Ambiental.

El Proyecto permitirá establecer el efecto de la temperatura sobre las características físicas y químicas de la tuna (*Opuntia ficus indica*) con la finalidad de establecer condiciones de almacenamiento y a partir de estas prolongar la vida en anaquel de esta valiosa fruta. Con la finalidad de utilizar tecnologías limpias para su conservación.

1.4.1.2 Económica.

El reconocimiento de las propiedades de la tuna como su buena conservación, traen consigo la revaloración de un producto, en este caso la tuna, dándole un valor agregado sin necesidad de transformarlo y así comercializarlo como producto dentro de la gama de los mínimamente procesados.

1.4.1.3 Social.

Por otro lado, se ha demostrado que los extractos de nopal y tuna tienen considerable actividad antioxidante, así mismo La tuna aporta compuestos bioactivos como: vitamina C, beta-caroteno y betalaínas, su fibra actúa funcionalmente generando saciedad produciendo disminución de peso, por lo que es adecuada para personas con problemas de sobrepeso, colesterol y diabetes. Además, la pectina y mucílago del nopal tienen efecto prebiótico puesto que estimulan el desarrollo de bífidobacterias (Guevara, 2009).

1.4.2. Limitaciones

Las limitaciones de la presente investigación fueron el uso de laboratorios especializados tanto de la Universidad José Carlos Mariátegui como de otros, y el poder conseguir los reactivos para los análisis realizados, que permitan caracterizar cuantitativamente los pigmentos presentes como las betalaínas, así como la capacidad antioxidante.

1.5. Variables

1.5.1. Variables independientes

- Tuna: roja, naranja y blanca.
- Temperatura de almacenamiento: 5, 21 y 30 °C.
- Tiempo: 0, 4 y 8 días.

1.5.2. Variables dependientes

- Características físicas: contenido de humedad y °Brix.

- Características químicas: pH, % de acidez y capacidad antioxidante

1.5.3. Definición de variables

- Contenido de humedad: indica el contenido de agua, respecto al contenido de la materia seca.
- °Brix: expresa la cantidad de g de sólidos solubles respecto a 100 g de pulpa de tuna.
- pH: es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. El pH indica la concentración de iones hidronio [H₃O⁺] presentes en la pulpa de tuna.
- % de acidez: es una medida del contenido en g del ácido predominante de la tuna respecto a 100 g de pulpa de tuna.
- Capacidad antioxidante: contenido de fenoles mg/100g con capacidad antioxidante

1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

La temperatura de almacenamiento influye sobre las características físicas y químicas de pulpa de tuna (*Opuntia ficus indica*) roja, naranja y blanca.

1.5.2. Hipótesis específicas

Existe variación del contenido de humedad, pH, °Brix, acidez y capacidad antioxidante de la pulpa de tuna variedades roja, naranja y blanca.

Existen diferencias en el comportamiento del contenido de humedad, pH, °Brix, acidez y capacidad antioxidante de la pulpa de tuna variedades roja, naranja y blanca a temperaturas de almacenamiento de 5, 21 y 30°C.

Es posible estimar las constantes cinéticas de reacción de tuna variedades roja, naranja y blanca a temperaturas de almacenamiento de 5, 21 y 30°C.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Gurrieri, Miceli, Lanza, Tomaselli, Bonomo y Rizzarelli (2000) en su estudio “Caracterización química de la penca espinosa (*Opuntia ficus indica*) y perspectivas para el almacenamiento de su jugo” estudiaron cultivares de tuna (*Opuntia ficus indica*) los cuales fueron parcialmente caracterizados desde el punto de vista químico, para tal fin extrajeron el jugo, encontrando valores de acidez de (0,02 %) y pH de (6,4 a 6,5), azúcares (principalmente glucosa y fructosa) de (11 a 12 %), y también el ácido L-ascórbico está presente en cantidad considerable (31 a 8 mg / 100 g de muestra). concluyendo que los niveles de acidez baja y pH altos, permiten que la tuna este expuesta a procesos de oxidación y contaminación microbiológica.

Tomás, Huamán, Aguirre, Bravo y León (2012) en su trabajo “Estudio químico y fitoquímico de la *Opuntia ficus-indica* y elaboración de un alimento funcional”, evaluaron la pulpa de los frutos: rojo, morado y blanca de *Opuntia*

ficus-indica “tuna”, con la finalidad de determinar la presencia de los minerales, metabolitos secundarios, capacidad antioxidante. El screening fitoquímico determinó la presencia de taninos catéquicos, saponinas esteroidales, flavonoides, cumarinas, y alcaloides. El contenido de fibra total se encontró en el rango de 0,42 a 0,68 %, grasa de 0,01 a 0,02 % y proteína de 0,39 a 0,57 %. El análisis de nutrientes encontró magnesio, calcio, fósforo y zinc, trazas de hierro y potasio. Sin embargo las tunas rojas y moradas tuvieron la mayor capacidad antioxidante. Debido a la presencia de todos estos nutrientes a la tuna se le puede considerar como un alimento funcional.

Ochoa y Guerrero (2012), en su trabajo titulado “Efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre la calidad de tuna roja (*Opuntia ficus indica* L. Miller)”, se estudió el efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre la calidad de tuna roja, variedad San Martín. El fruto se almacenó a 4 ± 1 , 9 ± 2 y $28 \pm 2^\circ\text{C}$ para determinar su vida útil. Se realizó semanalmente la caracterización fisicoquímica, enzimática, antioxidante y microbiológica durante el almacenamiento, hasta observar características no aptas para el consumo. Se observó que el tiempo y la temperatura de almacenamiento son factores que afectan de manera significativa ($P < 0,05$) a la pérdida de peso, la textura y la actividad de la polifenoloxidasas en cáscara de tuna. El contenido de compuestos fenólicos, la capacidad antioxidante y la actividad de la enzima pectinesterasa en pulpa de tuna no presentaron diferencia significativa ($P > 0,05$) a las diferentes temperaturas de almacenamiento. Sin embargo, la actividad antioxidante presentó un aumento significativo con el tiempo.

Ramirez (2015) en su estudio “Compuestos antioxidantes en variedades pigmentadas de tuna (*Opuntia sp.*)” tiene como objetivo de evaluar los cambios en color, contenido de betalainas, índice de pardeamiento, viscosidad, estabilidad física, crecimiento microbiano y actividad antioxidante del jugo de tuna (*Opuntia ficus indica*), el jugo fue almacenado después del tratamiento con ultrasonido y fue comparado con jugo pasteurizado, se demostró que el tratamiento con ultrasonido incremento la estabilidad del color y la viscosidad, cabe resaltar que se redujo significativamente la sedimentación de sólidos, el conteo de colonias demostró que el tratamiento con ultrasonido reduce significativamente las UFC/ml de enterobacterias durante los primeros días de almacenamiento, los valores de capacidad antioxidante se mantuvieron estables con el tratamiento con ultrasonido, sin embargo el jugo pasteurizado tuvo un descenso significativo con promedios de ABTS: 124,8 y 115,6 mg VCEAC/100 ml; y DPPH: 3114,2 y 2757,1 $\mu\text{mol TE/L}$).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. La tuna

Piña (1981) indica que la tuna (*Opuntia ficus-indica* Mill.) es una planta importante en el sistema pastoril de los andes peruanos. La tuna es una planta distribuida en muchas de las regiones del país, especialmente en los valles interandinos y zonas áridas, donde se han encontrado condiciones agroecológicas adecuadas para su desarrollo. La tuna es consumida de forma natural tanto por los agricultores como por pobladores de la localidad y son comercializados en diversos mercados de la región.

La tuna tiene su origen en México, son frutos considerados bayas falsas con ovario ínfero simple y carnosos, cuya tamaño y forma es diferente (ovoide, redonda, elíptica y oblonga, con los extremos aplanados, cóncavos o convexos); están conformadas por la piel, cáscara, pulpa y semillas (véase figura 1). (Saénz et al., 2006).

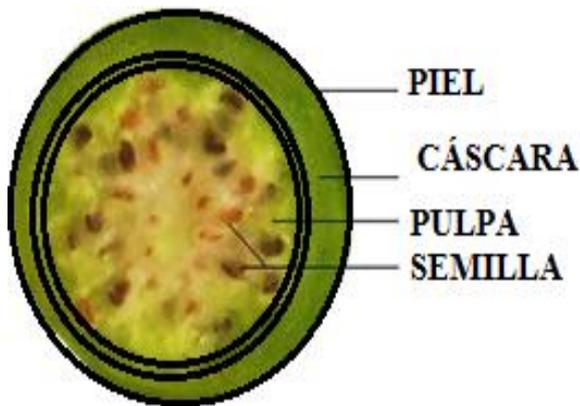


Figura 1. Partes de la tuna (sección transversal)
Fuente: Aguirre y Aguirre, 2014

2.2.2. Clasificación taxonómica

Solano (2000) señala que según el sistema de Adolf Engler la ubicación taxonómica, es la siguiente:

Reino: Vegetal

Sub reino: Phanerogamae

División clase: Angiospermae

Sub clase: Dicotyledoneae

Orden: Cactales

Familia: Cactaceae

Sub familia: Opuntioideae

Género: *Opuntia*.

Especie: *ficus indica*.

2.2.3. Producción de tuna

Según la Dirección Regional de Agricultura – Moquegua, la producción de la tuna en el 2013 fue de 2 203,2 toneladas. La mayor producción se da en el Distrito de San Cristóbal con 1 167 toneladas que es más del 50% que de la producción de la región Moquegua.

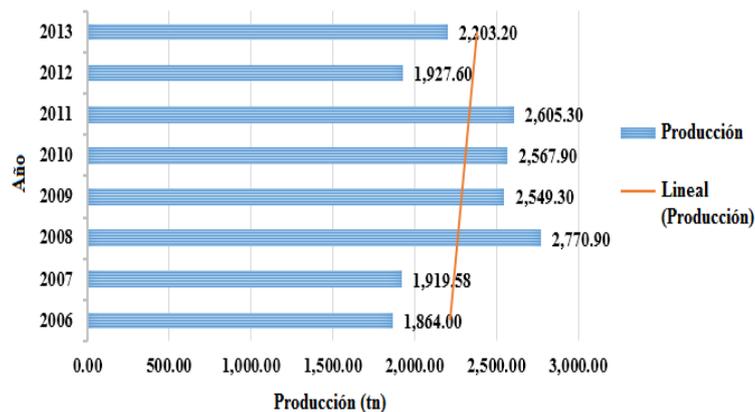


Figura 2. Producción de tuna

Fuente: Dirección Regional Agraria Moquegua, 2014

2.2.4. Composición nutricional de la tuna

La composición nutricional de la pulpa de tuna en sus variedades verde, púrpura y naranja se muestra en la tabla 1. El fruto posee un valor nutritivo superior al de otras frutas en varios de sus componentes: Dentro de las vitaminas tiene un contenido considerable de ácido ascórbico, caroteno, niacina, tiamina, riboflavina y en cuanto oligoelementos posee concentraciones importantes de hierro, zinc y manganeso.

En su composición fitoquímica, es rica en sustancias con actividad antioxidantes como betalaínas, compuestos fenólicos, betacianinas y flavonoides. Se ha demostrado que posee actividad antioxidante, hipolipemiante, hipoglicemiante, gastroprotectora, neuroprotectora, hepatoprotectora y cicatrizante (Saéñz et al., 2006).

Tabla 1

Composición nutricional de las pulpas de tuna (porcentaje de la parte comestible)

Parámetros	Tuna verde	Tuna púrpura	Tuna naranja
Humedad (%)	83,8	85,98	85,1
Proteína (%)	0,82	0,38	0,82
Grasa (%)	0,09	0,02	-
Fibra (%)	0,23	0,05	-
Ceniza (%)	0,44	0,32	0,26
Azúcar total (%)	14,06	13,25	14,8
Vitamina C (mg/100g)	20,33	20,0	24,1
B-caroteno (mg/100g)	0,53	-	2,28
Betanina (mg/100g)	-	100	-

Fuente: Sepúlveda y Sáenz, 1990 citado por (Saéñz et al., 2006)

2.2.5. Características fisicoquímicas de la tuna

Las características fisicoquímicas obtenidas a partir de la pulpa de tuna como son la humedad, °Brix, pH, densidad y acidez total, se muestran en la tabla 2:

Tabla 2

Características fisicoquímicas de la pulpa de tuna (Opuntia ficus indica)

Parámetros	Cantidad	
Humedad (%)	79,4*	83,5***
°Brix	13*	14,3**
pH	6,33*	6,31**
Densidad (g/ml)	1,05*	
Acidez total (g ácido cítrico/ 100 ml)	0,06*	

Fuente: *Matos y Aguilar, 2010 **Cerezal y Duarte, 2005.*** MINSAs, 2009

La diferencia de contenido mineral en las tunas de las diferentes variedades (verde, púrpura y naranja), se puede deber a el lugar de su procedencia,

ya que los minerales son obtenidos por las plantas a partir del suelo. Saénz et al. (2006), ello se muestra en la tabla 3.

Tabla 3
Composición mineral de pulpas de tuna (porcentaje parte comestible).

Mineral	Tuna verde	Tuna púrpura	Tuna naranja
Ca	12,8	13,2	35,8
Mg	16,1	11,5	11,8
Fe	0,4	0,1	0,2
Na	0,6	0,5	0,9
K	217,0	19,6	117,7
P	32,8	4,9	8,5

Fuente: Saénz et al., 2006

2.2.6. Variedades de tuna

La *Opuntia spp.*, tiene frutos dulces, jugosos y de baja acidez, cuyas pulpas son de variados colores: verde, púrpura, anaranjado, amarillo y blanco. Saénz et al. (2006)

Según el Sistema Integrado de Comercio Exterior SICEX (2014) la tuna presenta las siguientes variedades:

2.2.6.1. Tuna blanca.

Sus frutos son color verde, pero se conocen como blanco claro, son jugosos, dulces, y cristalino. Es el fruto con mayor aceptabilidad en el mercado. Presenta una planta de altura entre 1,5 a 2,5 m, el color de sus flores es amarillo claro, las pencas tienen un diámetro de 20 a 25 cm.

2.2.6.2. Tuna morada.

Proviene de una planta con altura superior a los tres metros. Sus flores son de color violeta. Tiene buena calidad de fruto.

2.2.6.3. Tuna amarilla.

Proviene de plantas con tamaño de dos a tres m. Sus pencas tienen 15 - 25 cm de diámetro. Son resistentes a plagas y enfermedades. Esta es la mejor tuna para la producción de cochinilla.

2.2.7 Manejo poscosecha

La cosecha de la tuna se realiza de forma manual, siendo los dos métodos más utilizados; la torsión y/o quiebre y el de corte, siendo este el que no genera mayor daño a la tuna. Una buena práctica para la cosecha es el uso de guantes como medio de protección de las manos para evitar las espinas o gloquídeas. Se recomienda realizar las labores de cosecha por la mañana, debido a que la temperatura es baja y es alta la humedad relativa favoreciendo la turgencia de los tejidos y facilitando el corte del fruto (Corrales García, 2000).

Las prácticas poscosecha de acuerdo con Corrales García (2000), menciona que las principales actividades poscosecha son: el despeinado o remoción de espinas, el encerado, la selección, el empaque, el almacenamiento y el transporte. Existen algunas consideraciones para el almacenamiento entre las cuales se encuentran la temperatura y la humedad relativa óptimas:

- **Temperatura óptima.** Se encuentra entre los 6 y 8 °C, teniendo un máximo de almacenamiento de dos a cinco semanas dependiendo la variedad, la madurez y la temporada de cosecha del fruto.

- **Humedad relativa óptima.** Debe encontrarse preferentemente entre el 90 y 95 % HR, utilizando como empaque bolsas perforadas de plástico para evitar la pérdida de humedad.

Si las condiciones de temperatura en el almacenamiento son menores a 5°C, la fruta sufre daño en la cáscara, lo cual genera depresiones o picado, además de manchas de color pardo en la superficie (Kader, 2005).

2.2.8. Propiedades funcionales de la tuna

Un alimento o bebida funcional es aquella que proporciona un beneficio fisiológico, que fortalece la salud, ayuda a prevenir o trata enfermedades, mejora el rendimiento físico o mental por la adición de un ingrediente funcional, por la modificación de un proceso por el uso de la biotecnología (Sloan, 2000).

Los compuestos funcionales son aquellos que tienen efectos beneficiosos para la salud y tanto los frutos como los cladodios de la tuna son una fuente interesante de: fibras, los hidrocoloides (mucílagos), los pigmentos (betalaínas y carotenoides), los minerales (calcio, potasio), y la vitamina C (por sus propiedades antioxidantes); estos compuestos son apreciados desde un punto de vista de dieta saludable y como ingredientes para el diseño de nuevos alimentos (Saénz et al., 2006).

En la actualidad, se ha encontrado que los extractos de nopal contienen una considerable actividad antioxidante, reduciendo la producción de compuestos reactivos de oxígeno como son los aniones superóxido (O_2^-), radicales hidroxilo ($-OH$) y peroxinitrilo ($ONOO^-$), etc. El extracto de tuna presenta función efectiva

como protectores contra el rompimiento de cadenas de ADN. En seres humanos, los estudios han demostrado que el consumo de tuna altera positivamente el balance redox corporal, decreciendo el daño oxidativo en grasas y mejorando el estado antioxidante general. Estudios in vitro y en animales demostraron que extractos de tuna al 25 % poseen efectos anti carcinógenos (Guevara, 2009).

El efecto hipoglucémico, hipolipídico e hipocolesterolémico, del consumo de extracto de tuna controla los niveles de glucosa en la sangre, niveles de triglicéridos y colesterol total. Este efecto es debido a la presencia de fibra, principalmente a la pectina de la tuna, mediante un mecanismo que estimula el enlace de ácidos biliares, reduciendo la absorción de la bilis y lípidos en el colon (Guevara, 2009).

La actividad prebiótica, se produce por presencia de pectin-oligosacáridos (PO) presentes en la tuna, los cuales estimulan el desarrollo de bífidobacterias, por su parte los mucílago-oligosacáridos (MO) generando así el incremento y desarrollo de lactobacilos en el colon. El consumo como suplemento de mucílago-oligosacáridos y pectin-oligosacáridos de la tuna genera un incremento hasta el 35 % en la producción de ácidos grasos de cadena corta en el colon (Guevara, 2009).

Los pigmentos presentes en la tuna son: carotenoides y betalaína, estos son importantes debido a su poder antioxidante. La capacidad antioxidante de los betacarotenos y flavonoides es reconocido, pero las betalaínas en la actualidad vienen siendo, por lo que su consumo para evitar el envejecimiento debido a la oxidación en los tejidos podría competir con el que se encuentra en otros vegetales como la naranja o la uva roja (Sáenz, 2006)

2.2.9. Antioxidantes

Los antioxidantes son sustancias que detienen, retrasan o previenen la cadena de propagación oxidativa, ello debido a la estabilización del radical generado conocido como radical libre. Los tipos de antioxidantes tanto enzimáticos como no enzimáticos están presentes en el organismo, sin embargo otra fuente importante son aquellos provenientes de las plantas, y por ello es importante el estudio de estos compuestos por el papel de protección del organismo, para evitar el desarrollo de enfermedades degenerativas, los resultados experimentales concuerdan que estos compuestos protegen de gran manera al organismo en diversas funciones biológicas sobre todo a nivel celular, frente a la presencia de la actividad de los radicales libres conocido como estrés oxidativo (Gil del Valle, 2011).

Las especies reactivas de oxígeno (ERO) son generadas en muchas células en condiciones fisiológicas normales y estas utilizan mecanismos de defensa para evitar la acumulación de las ERO, tanto a nivel fisiológico como bioquímico. A nivel fisiológico, el sistema microvascular donde una de sus funciones es de mantener las concentraciones de O_2 en los tejidos, y a nivel bioquímico, la defensa antioxidante proviene de la actividad enzimática o no enzimática, como también presenta funciones de reparación de moléculas (Gil del Valle, 2011).

La primera acción de defensa antioxidante es la protección fisiológica que restringe el paso del oxígeno desde el aire inspirado hasta las células en la respiración. El resto de los componentes se describen a continuación (Katalinic, Modun, Music y Boban, 2005).

2.2.9.1. Antioxidantes primarios.

Los denominados antioxidantes primarios previenen la formación de nuevas ERO. Esto se consigue gracias a la conversión de las ERO en moléculas poco perjudiciales, antes de su reaccionar natural de característica química, o evitando su producción a partir de otras moléculas. En este grupo se destacan las enzimas que se muestran en la figura 3 (Katalinic et al., 2005).

Las superóxido dismutasas (SOD) pretencen a un grupo de metaloenzimas que pueden separarse en dos familias filogenéticas diferentes Cu/Zn-SOD y Fe/Mn-SOD y catalizan la conversión de O_2^- a H_2O_2 y O_2 (Pareja et al., 2010). En los organismos eucariotas existen cuatro tipos diferentes de SOD, donde:

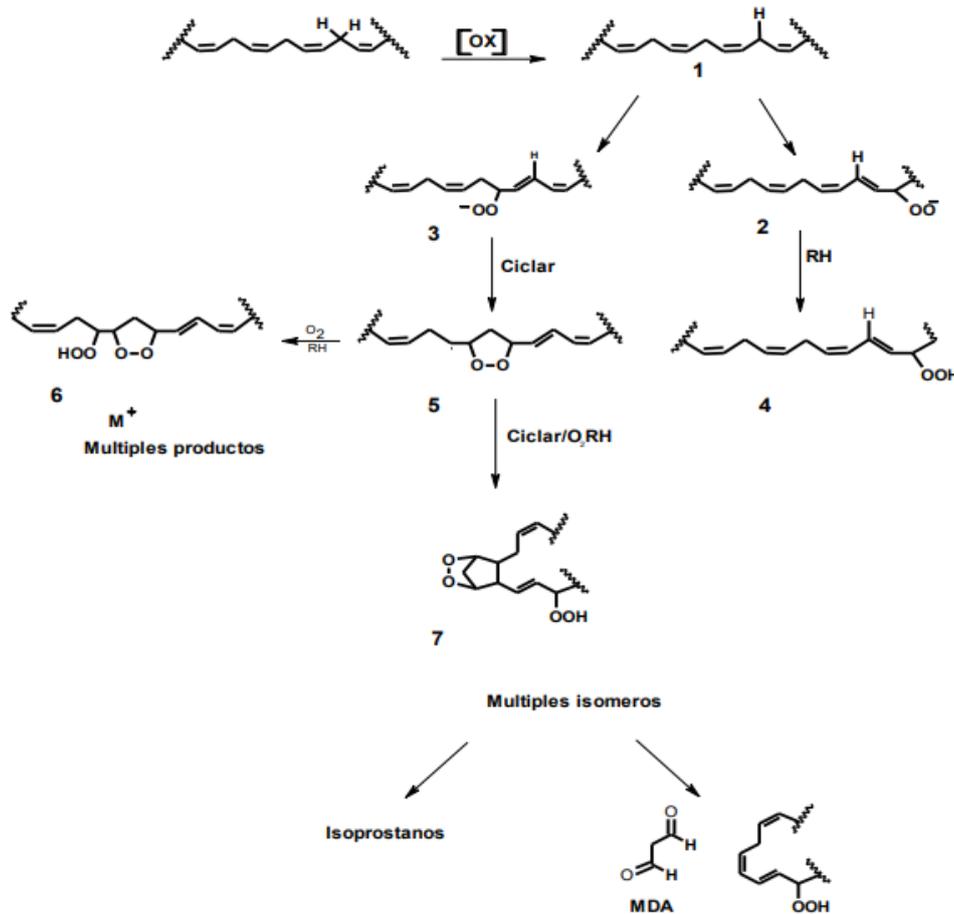


Figura 3. Vías de peroxidación lipídica
Fuente: Marnett, 1999

- Cu/Zn SOD: Superóxido dismutasa dependiente de zinc y cobre (actúa como primera línea de defensa).
- Fe/Mn SOD: Superóxido dismutasa dependiente de manganeso y hierro.
- EC-SOD: Superóxido dismutasa extracelular (actúa en el control primario de la inactivación del radical NO).
- Ni SOD: Superóxido dismutasa dependiente de níquel (se encuentra en microorganismos).

Las glutatión peroxidasas (GPx), son dos enzimas selenio dependientes, que se mantienen activas para poder ejercer su acción de eliminación de toxinas por la reducción del H_2O_2 o los ROOH. La GPx está distribuida ampliamente en los tejidos humanos y animales. Su forma reducida glutatióna (GSH) sede electrones y se encuentra a mínimas concentraciones en los espacios intracelulares en un rango milimol. Las GPx están consideradas como enzimas con la mayor capacidad de remover peróxidos (H_2O_2) a nivel de tejidos (Cemeli, Baumgartner y Anderson, 2009).

La catalasa participa en el metabolismo del peróxido H_2O_2 , donde se encuentra en la mayoría de los órganos. Aunque su afinidad por el H_2O_2 es menor frente a la GPx, bajo condiciones de sobreproducción (incremento de concentración), puede asumir el papel importante para la eliminación del H_2O_2 , ésta cataliza la reducción por la reacción química de H_2O_2 a O_2 y H_2O . Las altas concentraciones de H_2O_2 hacen que la catalasa presente la capacidad de reducirlo, puesto que la catalasa requiere dos moléculas de H_2O_2 para llevar a cabo la su

reducción; por el contrario, a bajas concentraciones de H₂O₂ reduce su eficiencia. (Cemeli et al., 2009).

Este grupo de antioxidantes primarios se completa con: el sistema de las tiorredoxinas, que incluye las tiorredoxinas y la tiorredoxina reductasa, las cuales soportan muchos procesos cruciales para la función celular, proliferación celular, defensa antioxidante y regulación redox (Arnér, 2009), las transferrinas, regulan la producción extracelular de hierro y así previenen la oxidación de los tejidos (Choi et al., 2002), la lactoferrina, la cual tiene la capacidad de capturar iones de hierro libre lo cual le confiere muchas propiedades de antioxidante (Mulder, Connellan, Oliver y Morris, 2008). La ferritina, proteína que funciona capturando el hierro libre intracelular que puede convertirse en tóxico para la células (MacKenzie, Ray y Tsuji, 2008), la ceruloplasmina y las albúminas representan el antioxidante más predominante presente en el plasma, el cual está expuesto a estrés oxidativo continuo (Roche, Rondeau, Singh, Tarnus y Bourdon, 2008).

2.2.9.2. *Antioxidantes secundarios.*

Los antioxidantes secundarios atraen y capturan los radicales libres evitando las reacciones en cadena. Como ejemplo de ellos se tienen la vitamina E y C, β -caroteno y sustancias endógenas con capacidad antioxidante, como son la glutatión urato, bilirrubina y ubiquinona, cuyas estructuras se muestran en la figura 4 (Doria, Buonocore, Focarelli y Marzatico, 2012).

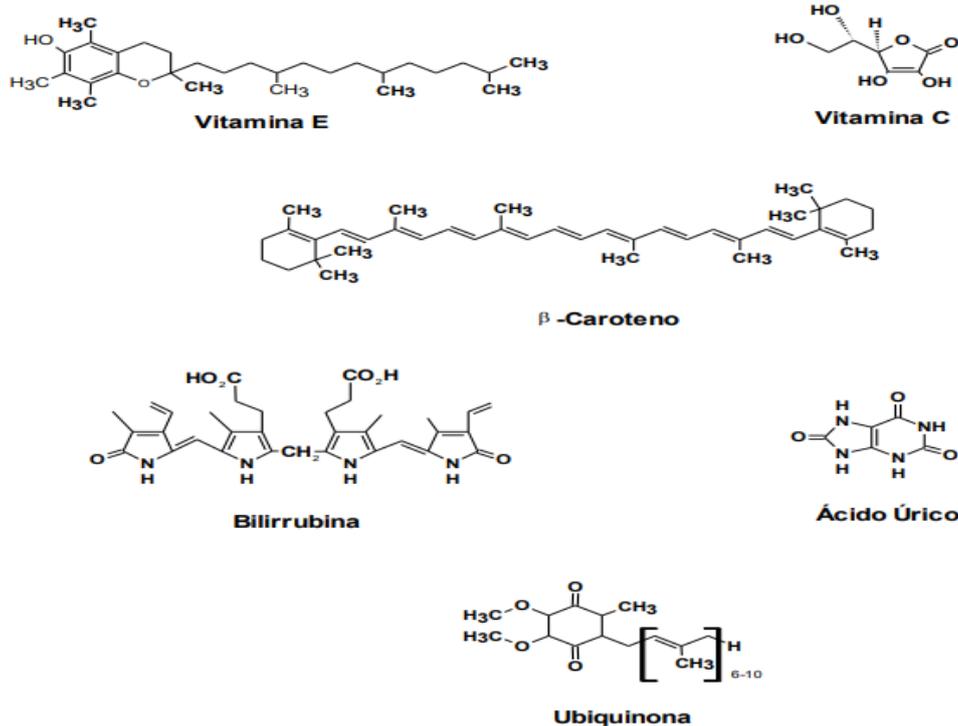


Figura 4. Estructuras correspondientes a los antioxidantes secundarios de los mecanismos de defensa en el organismo humano

Fuente: Marnett, 1999

2.2.9.3. Antioxidantes terciarios.

Los antioxidantes terciarios están encargados de la reparación de las biomoléculas dañadas a consecuencia de la reacción oxidativa. En este grupo se encuentran las enzimas endonucleasa apurínica/apirimidínica y polimerasa β , regeneradoras de ADN y la metionina sulfóxido reductasa (Page et al., 2009).

Los antioxidantes son de gran importancia ya que previenen o alivian enfermedades o afecciones crónicas, como son el cáncer, alteraciones cardiovasculares, cataratas, arteriosclerosis, diabetes, asma, hepatitis, artritis e inmunodeficiencia. (Siddhuraju y Becker, 2007). Esto debido a la reducción del daño oxidativo generadas por las ERO en mucho de los componentes celulares y tejidos del organismo.

El uso de los antioxidantes sintéticos en productos alimenticios está bajo estricta regulación, debido a la incertidumbre sobre su seguridad y problemas futuros que puedan ocasionar. Por esta razón existe gran interés por los antioxidantes naturales, puesto que estos antioxidantes derivados de plantas funcionan como captadores de oxígeno singlete y triplete, eliminadores de peróxidos e inhibidores de enzimas. (Choi et al., 2002).

2.2.10. Medición de la actividad antioxidante

La actividad antioxidante directamente no puede ser medida, pero puede calcularse por la reacción química y su efecto del compuesto antioxidante a partir de un proceso de oxidación controlado. Según (Clarkson, 1995), la medición de una muestra oxidante, pueden usarse algunos intermediarios o productos finales para la valorización de la actividad antioxidante.

La actividad antioxidante de una muestra no puede ser determinada basándose solo en un ensayo de prueba debido a que existen varias formas de generar la reacción química oxidativa controlada. En la práctica se realizan muchos modelos de test in vitro (tabla 4) para evaluar la actividad antioxidante de la muestra de interés; sin embargo, es necesario considerar que los modelos presenten tanto por transferencia de electrones como transferencia de hidrógeno (Huang, Ou y Prior, 2005).

Huang et al. (2005) menciona que, con base a las reacciones químicas, los ensayos para la determinación de la capacidad antioxidante, pueden ser divididos de la siguiente manera:

- Ensayos basados en la reacción por transferencia de átomos de hidrógeno (HAT).

- Ensayos basados en la reacción por transferencia de electrones (ET).

Los ensayos basados en la transferencia de electrones (ET) se basan en la reacción redox con el oxidante, de tal forma se tiene como un indicador del punto final de reacción. La mayoría de los ensayos basados en HAT evalúan el comportamiento de una reacción cinética competitiva, generalmente están compuestos de un generador de radical libre sintético, una prueba molecular oxidable y un antioxidante. Los ensayos basados en HAT y ET fueron desarrollados a partir de poder atrapar los radicales libres presentes (Huang et al., 2005).

Tabla 4

Clasificación de los modelos de ensayo in vitro según su modo de reacción ET o HAT

Ensayo	Categoría
Ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico (ABTS ^{•+})	Ensayos basados en la transferencia de electrones (ET)
1,1,-difeníl-2-picril-hidrazilo (DPPH)	
Poder de reducción antioxidante del hierro (FRAP)	
N,N,-dimetil-p-fenilendiamina (DMPD)	
Capacidad de reducción antioxidante del cobre (CUPRAC)	Ensayos basados en la transferencia de átomos de hidrogeno (HAT)
Capacidad de absorción del radical oxígeno (ORAC)	
Parámetro antioxidante de captura de radicales (TRAP)	
Inhibición de la oxidación del ácido linoleico	
Inhibición de la oxidación de los lípidos de baja densidad (LDL)	

Fuente: Saénz et al. (2006)

En los últimos años se han venido desarrollando técnicas espectrofotométricas para medir la capacidad antioxidante en los alimentos, muestras biológicas y extractos vegetales. Habitualmente los ensayos para la capacidad antioxidante in vitro se utilizan un receptor de radicales libres y son relativamente sencillos de realizar. Entre los ensayos de captación de radicales libres, el método DPPH es el más rápido, simple y de menor costo comparado con otros modelos. Sin embargo, el ensayo de decoloración ABTS^{•+} es aplicado a antioxidantes hidrofílicos y lipofílicos (Alam, Bristi y Rafiquzzaman, 2012). Por lo descrito anteriormente estos dos métodos son los más utilizados. (Saénz et al., 2006).

La generación del radical ABTS da pie a uno de los diferentes métodos espectrométricos utilizados para determinar la actividad antioxidante total de soluciones o sustancias puras y mezclas acuosas. El ensayo original de ABTS^{•+} se basa en la activación de la metilmioglobina con H₂O₂ en presencia de ABTS para producir un radical catión. Este método fue criticado por la reacción rápida de los antioxidantes, el cual favorece la reducción del radical ferrilmioglobina. Una forma más apropiada para este ensayo consiste en la técnica de decoloración, en la cual el radical es generado directamente en una forma estable antes de la reacción con los antioxidantes (Re et al., 1999).

Los cambios a la técnica para mejorar la generación del radical catión ABTS^{•+}, implica la producción directa del cromóforo ABTS^{•+} verde-azul a través de la reacción entre ABTS y el persulfato de potasio (K₂S₂O₈). Dicha reacción genera tres máximos de absorción a las longitudes de onda de 645 nm, 734 nm y 815 nm. La adición de los antioxidantes de la muestra al radical generado lo

reduce a ABTS. De esta manera el grado de pérdida de color como porcentaje de inhibición del radical catión $ABTS^{\bullet+}$ será evaluado a partir de la concentración y el tiempo; así como del valor correspondiente usando el estándar Trolox bajo las mismas condiciones (Zuleta, Esteve y Frigola, 2009).

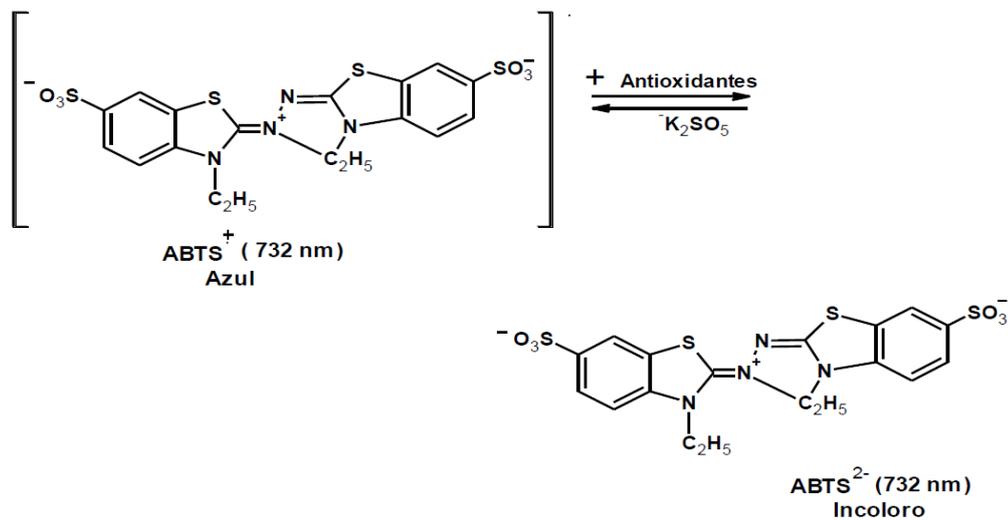


Figura 2. Estructura del $ABTS^{\bullet+}$ antes y después de la reacción con el antioxidante
Fuente: Zuleta et al., 2009

2.2.11. Tiempo de vida en anaquel (shelf life)

Singh (1998) citado por Soto y Vilcapoma (2012) indica que la vida en anaquel (shelf life) es el período de tiempo durante el cual se espera que un producto mantenga determinado nivel de calidad bajo condiciones de almacenamiento específicas. Calidad que engloba muchos aspectos del alimento, como sus características físicas, químicas, microbiológicas, sensoriales, nutricionales y referentes de inocuidad. En el instante en que alguno de estos parámetros se considera como inaceptable el producto ha llegado al fin de su vida.

Houng (2005) citado por Rodríguez (2010) corrobora también que la vida útil de un alimento representa aquel período de tiempo durante el cual el alimento se conserva apto para el consumo desde el punto de vista sanitario, manteniendo

las características sensoriales, funcionales y nutricionales por encima de los límites de calidad previamente establecidos como aceptables.

2.2.12. Cinéticas de reacción

Ocampo (2003) indica que debido a la naturaleza de los alimentos como sistemas fisicoquímicos y biológicamente activos, la calidad del alimento es un estado dinámico (cinético) que continuamente está en movimiento. Por lo tanto, para cada alimento en particular existe un tiempo finito después de la producción, durante el cual éste retiene un nivel requerido de cualidades organolépticas y de seguridad bajo condiciones de almacenamiento estables.

Martínez, Andrés, Chiralt y Fito (1998) indican también que estas transiciones de reactivos y productos comportan cambios en la movilidad molecular que afectan tanto a la cinética con que se producen algunas de las reacciones de deterioro como a aspectos relacionados con la textura, propiedades eléctricas, térmicas, entre otras.

2.2.13. Ecuación de Arrhenius

Rodríguez (2010) menciona que en el diseño de un estudio de vida útil es necesario seleccionar la temperatura, humedad e iluminación que se van a emplear en el mismo, determinando si se van a usar las condiciones normales o aceleradas.

Levenspiel (2004) describe que en estas reacciones, se ha encontrado que en prácticamente todos los casos el término dependiente de la temperatura, la constante de velocidad de reacción está bien representado por la ley de Arrhenius.

$$k = k_0 e^{\frac{-E_A}{RT}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

K_0 = Coeficiente o factor pre-exponencial (factor frecuencia)

E_a = Energía de activación (J/mol), si es muy alta se expresa (kJ/mol)

R = Constante universal de los gases (1,987 cal/mol K)

T = Temperatura absoluta (°K), asociada con la constante (K)

Levenspiel (2004) indica además que esta expresión se ajusta bien a los datos experimentales en un amplio rango de temperaturas y desde diferentes puntos de vista, se considera como una muy buena aproximación a la verdadera dependencia de la temperatura.

López (2014) corroboran que en esta ecuación se recogen valores de k a diferentes temperaturas y se elabora una gráfica que enfrenta $\ln k$ contra $1/T$. La relación entre ellas describe una pendiente con valor $-E_A/R$.

Labuza (2000) encontró que los dos métodos utilizados para estimar los valores de los parámetros cinéticos se basaron en:

- **Regresión lineal.** Implica graficar el logaritmo de la constante cinética respecto al inverso de la temperatura absoluta, para determinar el valor de la pendiente y el intercepto, a partir de los cuales se calculan valores para el factor pre-exponencial y la energía de activación a partir de la ecuación de

Arrhenius. Para esto es necesario contar con los valores de las constantes cinéticas correspondientes de un mínimo de tres temperaturas.

- **Regresión no lineal.** Usada para determinar la energía de activación directamente de los datos de la concentración o nivel de calidad del producto en función del tiempo.

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

3.1.1. En cuanto a su finalidad

Se distingue como aplicada, ya que sus aportes están dirigidos a iluminar la comprensión referida a un aspecto de la realidad perteneciente al dominio de estudio de una disciplina científica en específico.

3.1.2. Según el tipo de diseño de investigación

Es experimental, debido a la utilización de variables de mediciones tanto independientes como dependientes.

3.1.3. Según su prolongación en el tiempo es transversal o sincrónica

Ya que el estudio se circunscribe a un momento puntual, un segmento de tiempo durante el año a fin de medir o caracterizar la situación en ese tiempo específico.

3.1.4. Según el énfasis en la naturaleza de los datos manejados

Es cuantitativa, ya que la preponderancia del estudio de los datos se basa en la cuantificación y cálculo de los mismos.

3.2. Diseño de la investigación

Se analizó la influencia del factor en estudio sobre cada una de las propiedades físicas y químicas por medio de un arreglo factorial de 3x3x3 con tres repeticiones, el cual fue llevado a un diseño completo al azar, a continuación, se detalla el diseño de la investigación como se muestra en la figura 6.

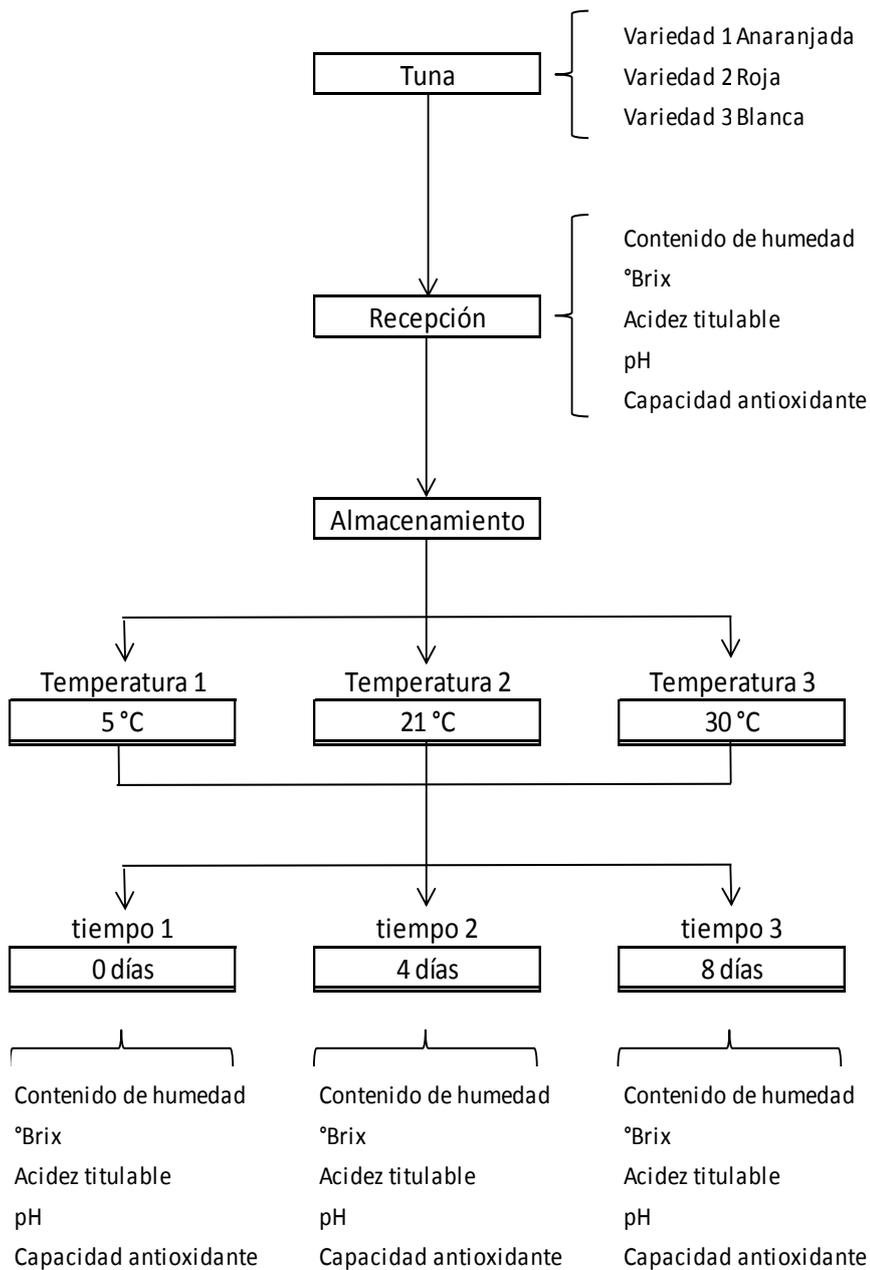


Figura 3. Diseño de investigación

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población corresponde a las diferentes variedades de tuna (roja, anaranjada y blanca) que se producen en la Región Moquegua.

3.3.2. Muestra

La técnica de muestro utilizado en la presente investigación es del tipo no probabilístico por conveniencia, puesto que las variedades de tuna fueron recolectadas de la Asociación de Productores de Santa Rosa ubicadas en el valle de Moquegua, distrito de Moquegua, de la provincia Mariscal Nieto de la región Moquegua. El número de unidades muestrales es de 81, para la presente investigación se utilizó 81 muestras para el análisis de contenido de humedad, °Brix, acidez titulable y pH; y para el análisis de capacidad antioxidante se utilizó otras 81 muestras, que en total sumadas ambas hacen 162 unidades de tuna.

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.4.1. Recolección

Las tunas rojas, naranjas y blancas fueron recolectadas en la Asociación de Productores de Santa Rosa, Distrito de Moquegua, de la Provincia Mariscal Nieto de la Región Moquegua, y fueron transportadas en cajas de cartón envueltas en bolsas de papel micro perforadas.

3.4.2. Análisis físico y químico

Los análisis de las propiedades físicas y químicas evaluadas son las siguientes:

- Humedad: Se determinó por el método AOAC 972,09.
- °Brix: Se determinó el contenido de sólidos solubles por el método refractométrico según la norma AOAC 932,14c.
- pH: Se determinó por el método potencio métrico según norma AOAC 981,12.
- Acidez titulable: Se determinó por método de titulación según norma AOAC 942,15.
- Capacidad antioxidante: La capacidad antioxidante del contenido de compuestos fenólicos totales tpc, se determinó con el método ABTS, procedimiento descrito por Campos, (2006), por lo que se midió la absorbancia a 734 nm.

3.4.3. Constantes cinéticas de reacción y tiempo de vida

Se evaluaron por el método de grafica de variables (variable de calidad vs. tiempo) según lo indica Huamán, (2011).

3.5. Técnicas de procesamiento de datos

Se analizó la influencia de los factores en estudio sobre cada una de las propiedades físicas y químicas por medio de un arreglo factorial de 3x3x3 con 3 repeticiones, el cual es llevado a un diseño completo al azar, de haber diferencias se evaluo los resultados mediante el análisis de la Prueba LSD Fisher, para el análisis de las propiedades físicoquímicas se realizó mediante el uso del Statgraphics Centurion XVII.I, y para la significancia de las interacciones mediante el uso de Infoestat por Prueba LHD Fisher, cuyo diseño y modelo estadístico detallamos a continuación:

Modelo estadístico.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ij} : es la valor u observación de las características químicas en la i-esima especie de tuna y j-esima repetición

i: 1, 2, 3

j: 1, 2, 3

μ : Media general.

τ_i : Efecto de la i-esima especie de tuna

β_j : Efecto de la i-esima temperatura de almacenamiento

γ_k : Efecto de la i-esimo tiempo de almacenamiento

$(\alpha\beta)_{ij}$: Efecto de la interacción del factor tuna y factor temperatura

$(\beta\gamma)_{jk}$: Efecto de la interacción del factor temperatura y factor tiempo

$(\alpha\gamma)_{ik}$: Efecto de la interacción del factor tuna y factor tiempo

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$: Efecto de la interacción del factor tuna, factor temperatura y factor tiempo

ε_{ij} : Error residual

La tabla 5 muestra la combinación de los tratamientos realizados en la investigación considerando los factores de estudio o variables independientes como son: variedad de tuna (anaranjada, blanca y roja), temperatura (5, 21 y 30 °C) y días de almacenamiento (0, 4 y 8 días), obteniendo un total de 27

tratamientos. Las repeticiones realizadas en la presente investigación son tres lo que conlleva a tener 81 unidades muestrales.

Tabla 5
Combinación de los tratamientos

Tratamiento	Factores		
	Variedad de tuna	Temperatura	Días
T1	Anaranjada	5	0
T2	Anaranjada	21	4
T3	Anaranjada	30	8
T4	Blanca	5	0
T5	Blanca	21	4
T6	Blanca	30	8
T7	Roja	5	0
T8	Roja	21	4
T9	Roja	30	8
T10	Anaranjada	5	0
T11	Anaranjada	21	4
T12	Anaranjada	30	8
T13	Blanca	5	0
T14	Blanca	21	4
T15	Blanca	30	8
T16	Roja	5	0
T17	Roja	21	4
T18	Roja	30	8
T19	Anaranjada	5	0
T20	Anaranjada	21	4
T21	Anaranjada	30	8
T22	Blanca	5	0
T23	Blanca	21	4
T24	Blanca	30	8
T25	Roja	5	0
T26	Roja	21	4
T27	Roja	30	8

Los resultados obtenidos y después del diseño completo al azar (DCA) se sometieron a pruebas LSD Fisher al 95 % a fin de determinar si existen diferencias entre el factor principal (variedad de tuna), se realizó la prueba Friedman para evaluar la significancia de las interacciones de los factores secundarios (temperatura y días) en función a los indicadores y objetivos perseguidos en el presente estudio de investigación. Para ello se utilizó los

software estadísticos Statgraphics Centurion XVI.I e Infoestat, y para la presentación de las figuras de comportamiento y otros se utilizó el software Sigma Plot 11, según el procedimiento respectivo de Montgomery (2010).

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Evaluación los °Brix, acidez titulable, pH, contenido de humedad, y capacidad antioxidante de la pulpa de tuna variedades roja, naranja y blanca

La tabla 6, muestra las características fisicoquímicas de tuna en las diferentes variedades estudiadas, al respecto es importante mencionar que las variedades de tuna se diferencian principalmente en cuatro grupos por el color de la cáscara y pulpa del fruto: cáscara verde amarilla y pulpa blanca, cáscara amarilla naranja y pulpa naranja, cáscara verde-roja y pulpa roja; cáscara y pulpa púrpura (El-Mostafa et al., 2014). Por ello en el presente trabajo la clasificación de variedad se realizó en función al color de la pulpa en colores tales como naranja, blanca y roja. Los datos se muestran en el apéndice A y fueron utilizados solo los del día cero.

Tabla 6
Características físicoquímicas de variedades de tuna

Descripción	Tuna		
	Naranja	Blanca	Roja
% Humedad*	83,340 ± 0,368	85,081 ± 0,796	84,210 ± 0,486
Capacidad antioxidante**	1,87 ± 0,023	1,75 ± 0,011	2,09 ± 0,027
°Brix	13,367 ± 0,17	14,167 ± 0,047	13,433 ± 0,198
% acidez***	0,069 ± 0,005	0,058 ± 0,009	0,062 ± 0,006
pH	6,583 ± 0,029	6,650 ± 0,008	6,297 ± 0,034

Nota: *Humedad: expresado como g/100 g materia seca; **capacidad antioxidante: expresado como mili-equivalente Trolox/g muestra; ***acidez: expresado como g ácido cítrico/100 g muestra

El apéndice B muestra el ANOVA realizado a las propiedades físicoquímicas de las tunas evaluadas, donde se tiene que: El contenido de humedad no existe diferencia significativa, siendo que los contenidos de humedad en las tres variedades de tuna son iguales (ver tabla B2). Para la acidez titulable existe diferencia altamente significativa puesto que el valor-p es 0,0001 (ver tabla B3) existiendo diferencia en las tres variedades de tuna (ver tabla B4) donde el mayor es la tuna naranja con 0,069 mg ácido cítrico/ gr de muestra, y la menos acidez es la tuna blanca. Los °Brix, presenta diferencia altamente significativa con un valor-p de 0,0023 (ver tabla B5) siendo que las tunas naranja y roja son iguales entre si y la tuna blanca la diferente (ver tabla B6), donde la tuna blanca presenta un contenido de 14,1667 °Brix. El pH presenta diferencia altamente significativa con un valor-p de 0,0000 tendiente a 0 (ver tabla B7) siendo que las tunas naranja y blanca son iguales entre si y la tuna roja diferente (ver tabla B6), donde la tuna roja presenta un pH de 6,29.

4.1.2. Evaluación del contenido de las características físicas y químicas en función de la temperatura y tiempo de almacenamiento

4.1.2.1. Contenido de humedad.

Las figuras 7, 8 y 9 muestran la variación del contenido de humedad (conocido también como % de humedad) en las diferentes variedades de tuna (blanca, naranja y roja), esta variación es el resultado de someterlas a diferentes condiciones de almacenamiento (temperatura 5, 21 y 30 °C) durante ocho días, los datos utilizados se muestran en el apéndice A.

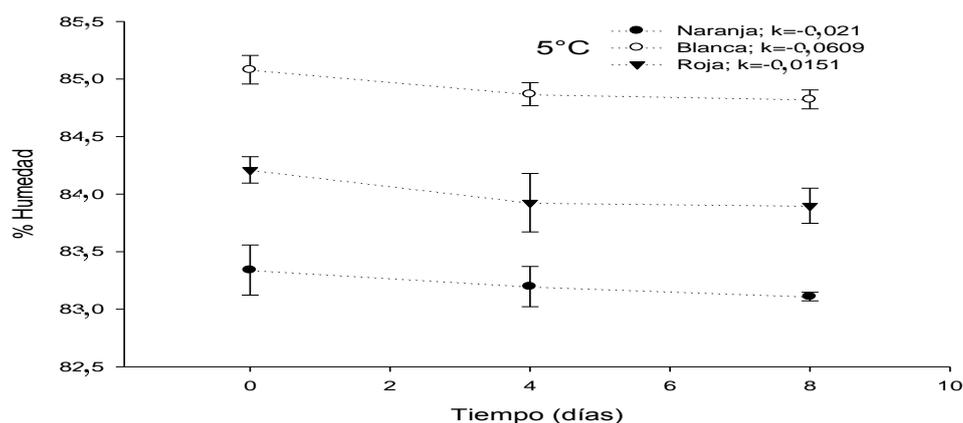


Figura 4. Variación del contenido de humedad en función al tiempo a 5°C

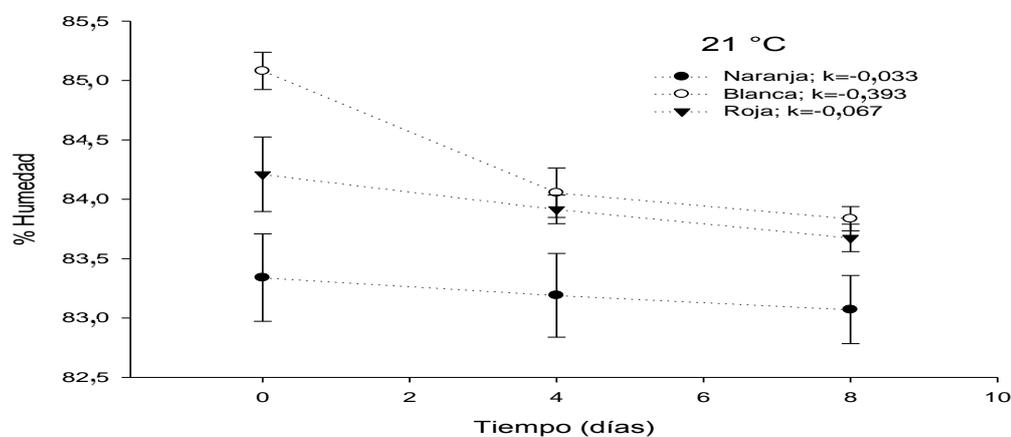


Figura 5. Variación del contenido de humedad en función al tiempo a 21°C

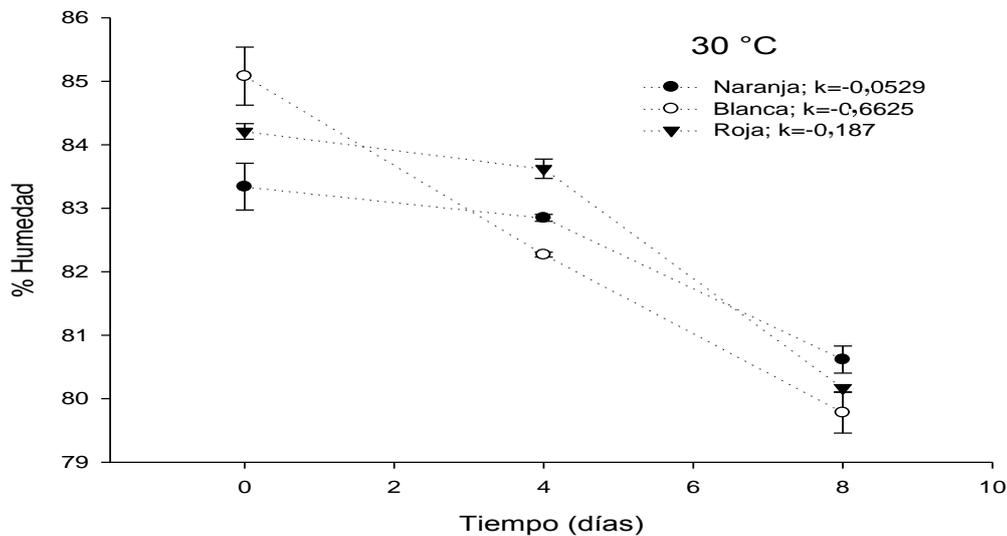


Figura 6. Variación del contenido de humedad en función al tiempo a 30°C

La tabla F2 del apéndice F muestra el análisis estadístico de contenido de humedad, existiendo significancia entre la variedad de tuna, temperatura, días y en sus respectivas interacciones de segundo orden (variedad*temperatura, variedad*días y, temperatura*días) es por ello que se realizó el test LSD Fisher para determinar la diferencia según cada factor evaluado.

El Test LSD Fisher para variedad en el cuadro F3 muestra que la tuna blanca es la diferente, frente a la roja y naranja que son iguales entre sí, siendo que el contenido de la tuna blanca es de 83,08 gr de agua/ 100 gr de muestra, es menor a las tunas roja y naranja.

El Test LSD Fisher para temperatura en el cuadro F4 muestra que la tuna blanca roja y naranja son diferentes entre sí.

El Test LSD Fisher para días en el cuadro F5 muestra que la tuna blanca, roja y naranja son diferentes entre sí.

No se encuentra diferencia estadística significativa en la interacción de Variedad * Temperatura * Días.

4.1.2.2. °Brix.

Las figuras 10, 11 y 12 muestran la variación del °Brix en las diferentes variedades de tuna (blanca, naranja y roja), esta variación es el resultado de someterlas a diferentes condiciones de almacenamiento (temperatura 5, 21 y 30 °C) durante ocho días, los datos utilizados se muestran en el apéndice A.

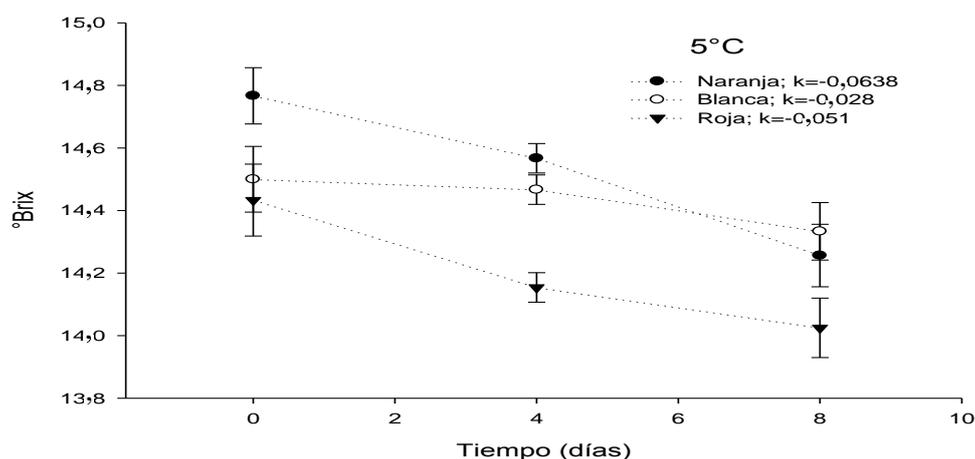


Figura 7. Variación del contenido de °Brix en función al tiempo a 5°C

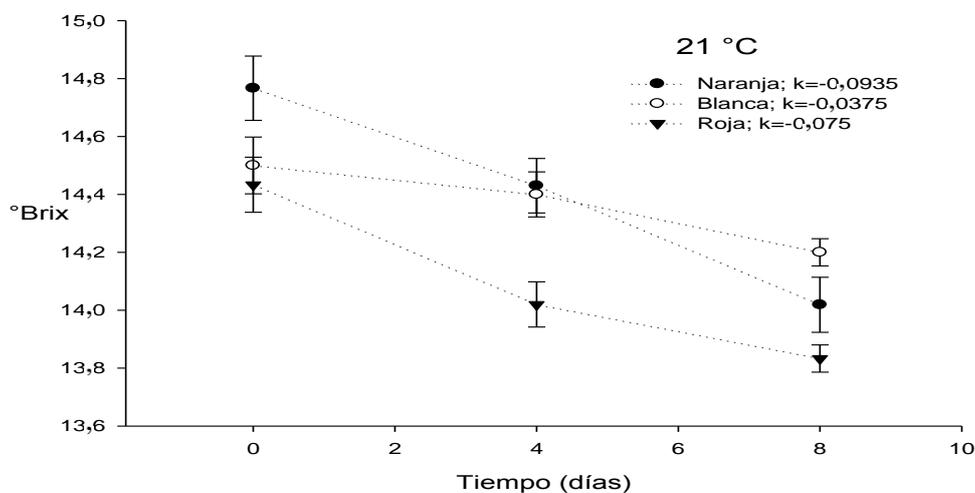


Figura 8. Variación del contenido de °Brix en función al tiempo a 21°C

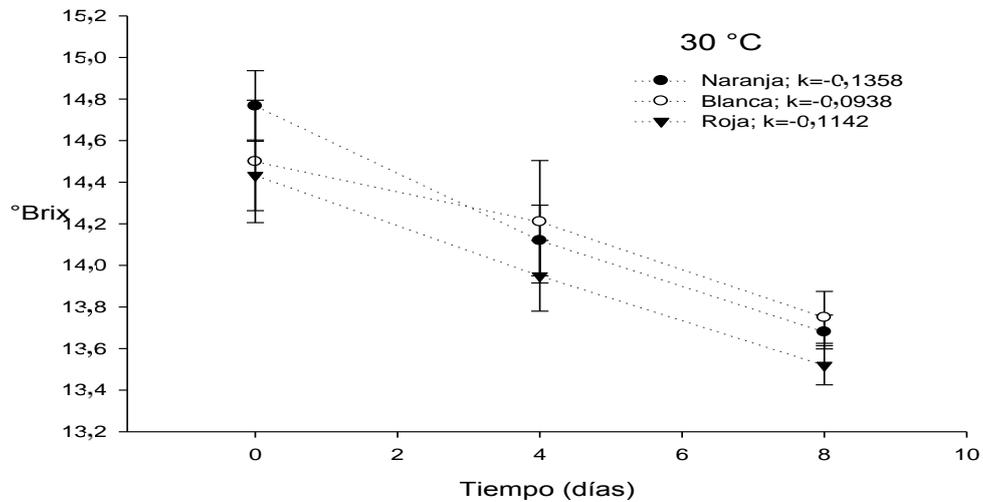


Figura 9. Variación del contenido de °Brix en función al tiempo a 30°C

La tabla C2 del apéndice C muestra el análisis estadístico de °Brix, existiendo significancia entre la variedad de tuna, temperatura, días y en sus respectivas interacciones de segundo orden tanto en variedad*temperatura, y variedad*días, es por ello que se realizó el test LSD Fisher para determinar la diferencia según cada factor evaluado.

El Test LSD Fisher para variedad en la tabla C3 muestra que las variedades de tuna son diferentes entre sí, siendo que el contenido de la tuna roja el de menor contenido de °Brix con 13,9 frente a la naranja con 14,07 y blanca con 14,25.

El Test LSD Fisher para temperatura en el cuadro C4 muestra que en el comportamiento del ° Brix la temperatura de 5 °C es diferente a las temperaturas de 21 y 30 °C.

El Test LSD Fisher para días en el cuadro C5 muestra que los valores de °Brix son diferentes entre sí.

4.1.2.3. Acidez.

Las figuras 13, 14 y 15 muestran la variación del contenido de humedad en las diferentes variedades de tuna (blanca, naranja y roja), esta variación es el resultado de someterlas a diferentes condiciones de almacenamiento (temperatura 5, 21 y 30 °C) durante 8 días, los datos utilizados se muestran en el apéndice A.

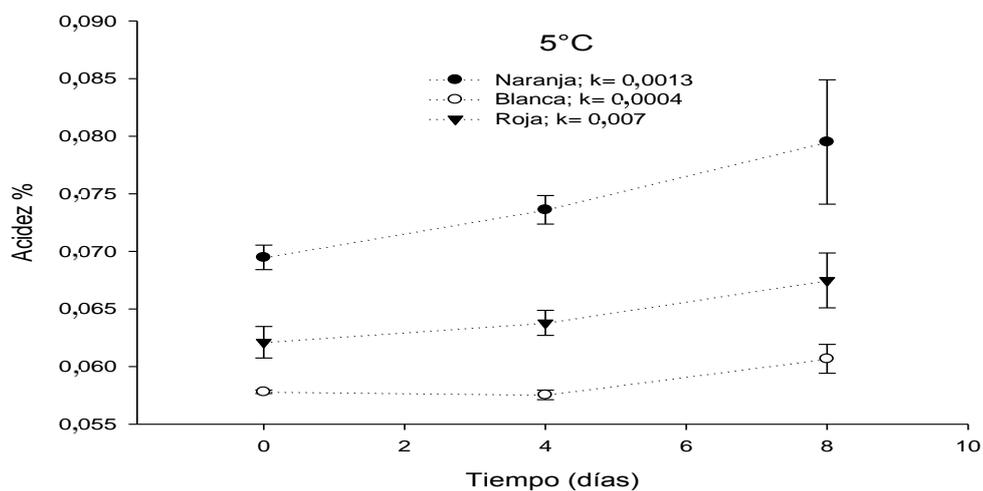


Figura 10. Variación del contenido de acidez, en función al tiempo a 5°C

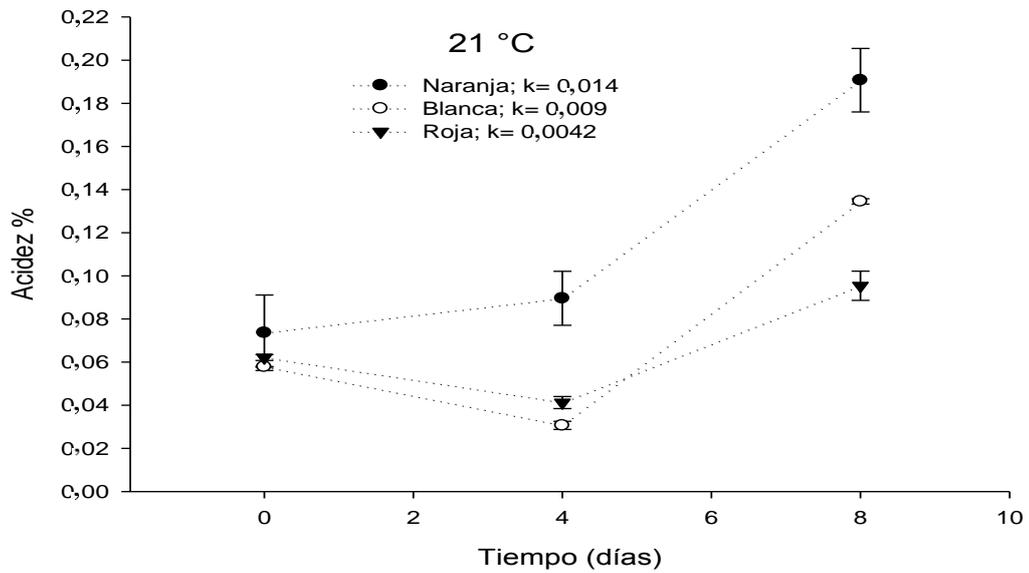


Figura 11. Variación del contenido de acidez en función al tiempo a 21°C

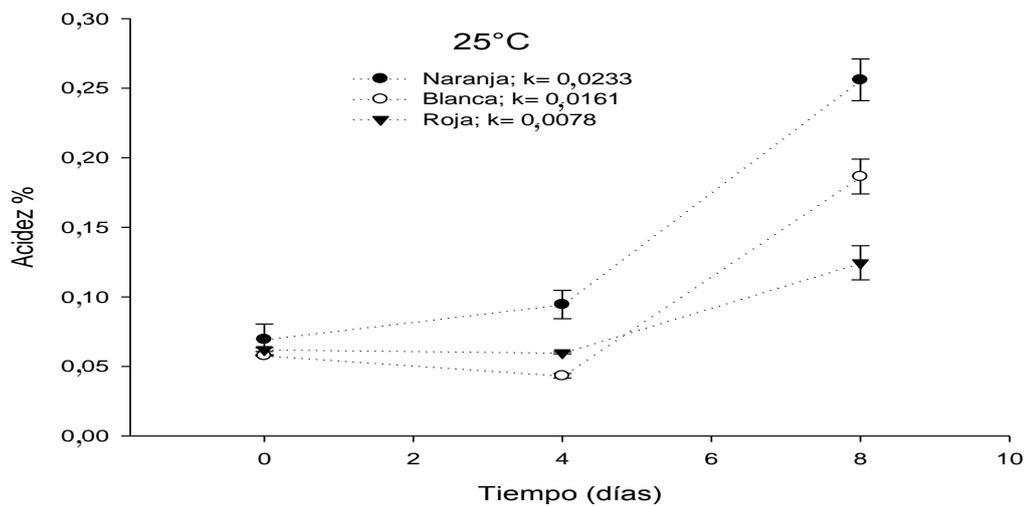


Figura 12. Variación del contenido de acidez en función al tiempo a 30°C

La tabla E2 del apéndice E muestra el análisis estadístico de acidez, existiendo significancia entre la variedad de tuna, temperatura, días; y en sus respectivas interacciones de segundo orden tanto en variedad*temperatura, y variedad*días, y temperatura*días; en la interacción de tercer nivel es por ello que se realizó el test LSD Fisher para determinar la diferencia según cada factor evaluado.

El Test LSD Fisher para variedad en la tabla E3 muestra que las variedades de tuna son diferentes entre sí, siendo que el contenido de la tuna roja el diferente con el de menor contenido de acidez con 0,06 g ácido cítrico/L frente a la naranja con 0,08 y blanca con 0,08 g ácido cítrico/L.

El Test LSD Fisher para temperatura en la tabla E4, muestra que en el comportamiento de la acidez que son diferentes entre sí. El Test LSD Fisher para días en la tabla E5, muestra que los valores de acidez son diferentes entre sí.

4.1.2.4. pH.

Las figuras 16, 17 y 18 muestran la variación del pH en las diferentes variedades de tuna (blanca, naranja y roja), esta variación es el resultado de someterlas a diferentes condiciones de almacenamiento (temperatura 5, 21 y 30 °C) durante 8 días, los datos utilizados se muestran en el apéndice A.

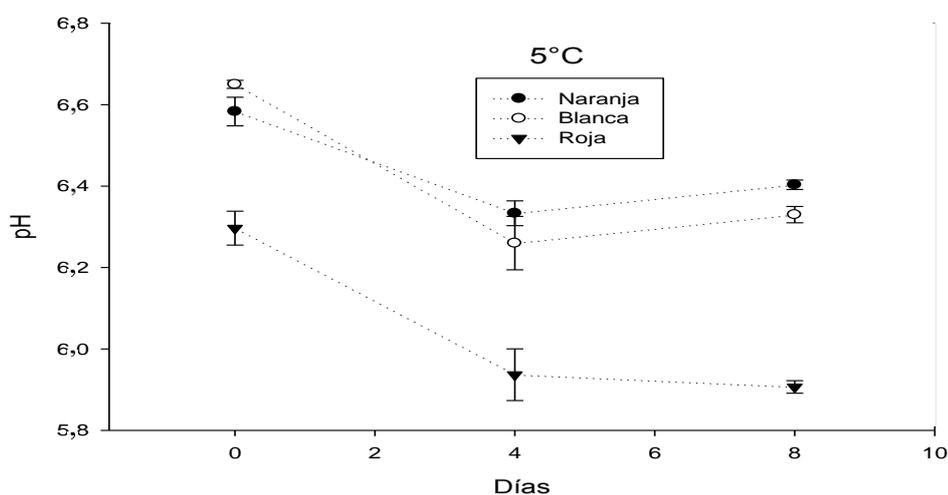


Figura 13. Variación del pH en función al tiempo a 5 °C

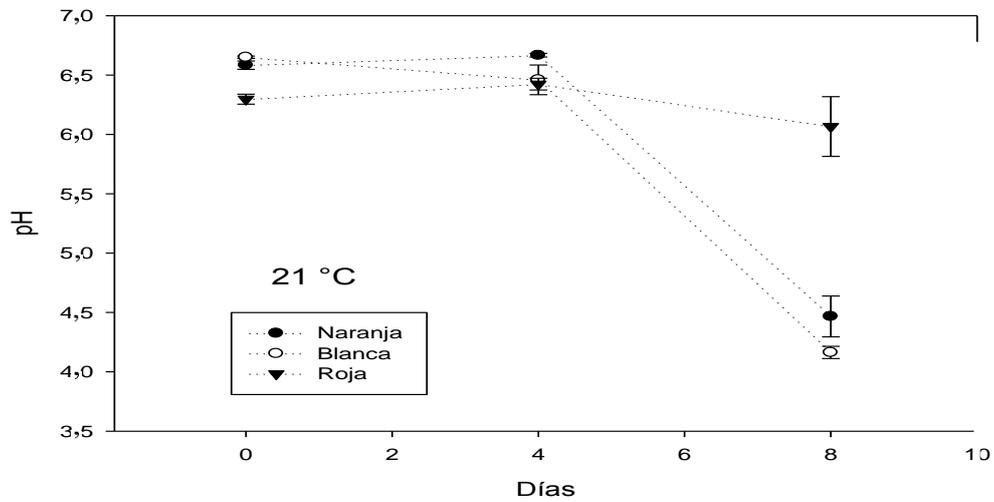


Figura 14. Variación del pH en función al tiempo a 21 °C

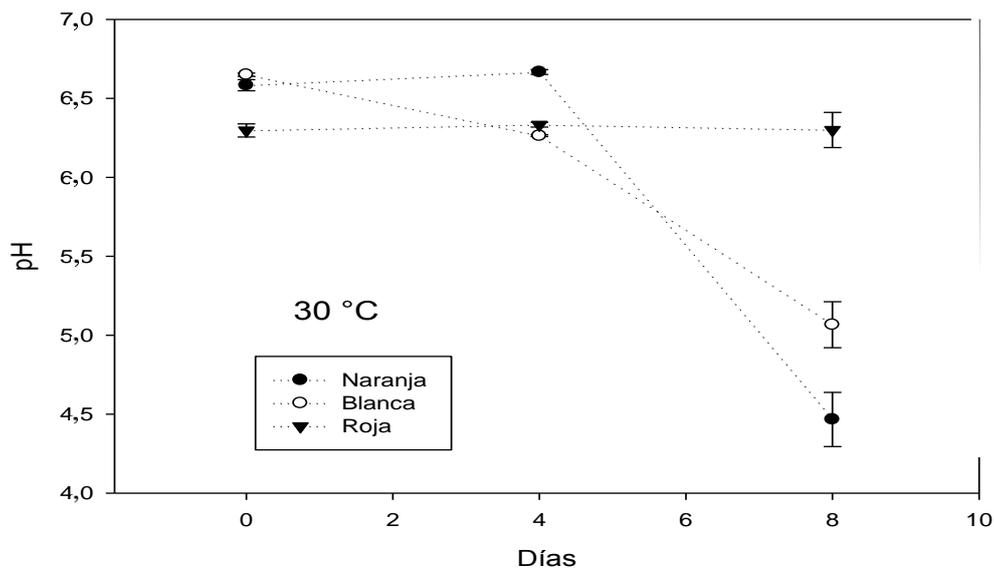


Figura 15. Variación del pH en función al tiempo a 30 °C

En la tabla D2, del apéndice D muestra el análisis estadístico de pH, existiendo significancia entre la variedad de tuna, temperatura, días; y en sus respectivas interacciones de segundo orden tanto en variedad*temperatura, variedad*días, temperatura*días; y en la interacción de tercer nivel es por ello que

se realizó el test LSD Fisher para determinar la diferencia según cada factor evaluado.

El Test LSD Fisher para variedad en la tabla D3, muestra que las variedades de tuna son diferentes entre sí, siendo que el contenido de la tuna roja el diferente con el mayor valor de pH 6,25; frente a la blanca y naranja con valores de 6,05 y 6,01.

El Test LSD Fisher para temperatura en la tabla D4, muestra que en el comportamiento de pH son diferentes entre sí. El Test LSD Fisher para días en la tabla D5, muestra que los valores de acidez son diferentes entre sí.

4.1.2.5. Capacidad antioxidante.

Con respecto a las tres variedades de tuna en la figura 19 se puede apreciar la capacidad antioxidante de las tres tunas estudiadas; al momento de su cosecha donde la tuna roja (2,09 mg ET/ g) tiene la mayor capacidad antioxidante en comparación que las otras; le sigue la tuna naranja (1,87 mg ET/g) y finalmente la tuna blanca con 1,36 mg ET/g. La capacidad antioxidante está directamente relacionada con el contenido de polifenoles y pigmentos de la fruta. No obstante, la capacidad antioxidante de un alimento depende de la naturaleza y concentración de los antioxidantes naturales presentes en él.

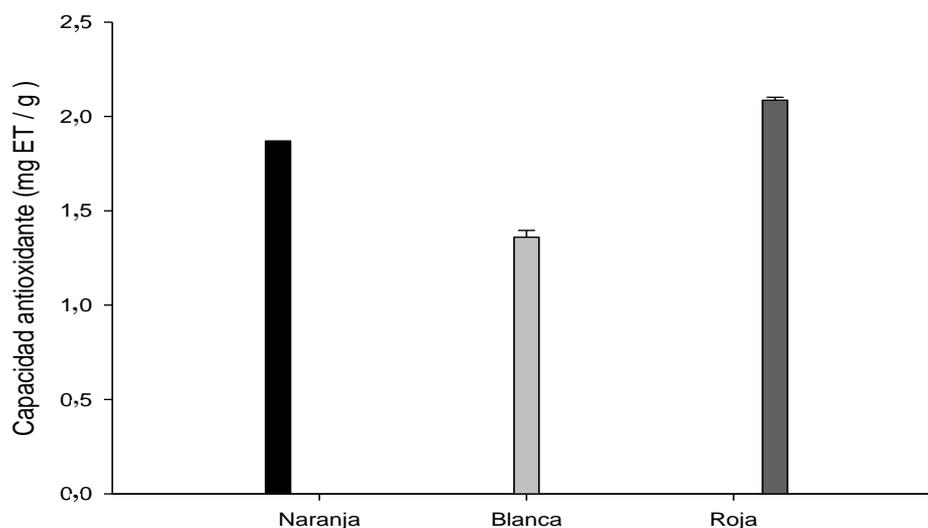


Figura 16. Contenido de capacidad antioxidante de las diferentes variedades de tunas

La tabla G2 del apéndice G muestra el análisis estadístico de la capacidad antioxidante, existiendo significancia entre la variedad de tuna, temperatura, días y en sus respectivas interacciones de segundo orden (variedad*temperatura, variedad*días y, temperatura*días) y de tercer orden (variedad*temperatura*días) es por ello que se realizó el test LSD Fisher para determinar la diferencia según cada factor evaluado.

El Test LSD Fisher para variedad en la tabla G3, muestra que existe diferencia entre las tres variedades de tuna, siendo estas diferentes entre si, el de mayor contenido de capacidad antioxidante es de 1,93 mg ET/g y el de menor la blanca con 1,32 mg ET/g tuna blanca, la tuna naranja presenta 1,75 mg ET/g.

El Test LSD Fisher para temperatura en la tabla G4, muestra que la capacidad antioxidante es todas son diferentes entre sí, al igual que los días

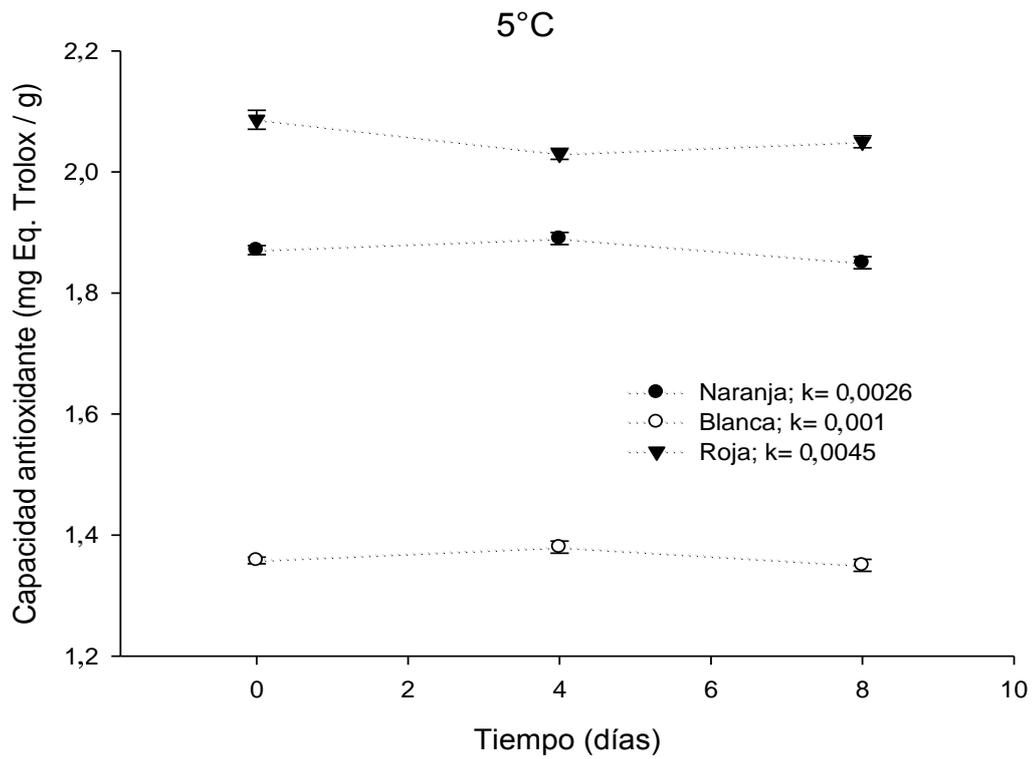


Figura 17. Variación de la capacidad antioxidante en función al tiempo a 5°C

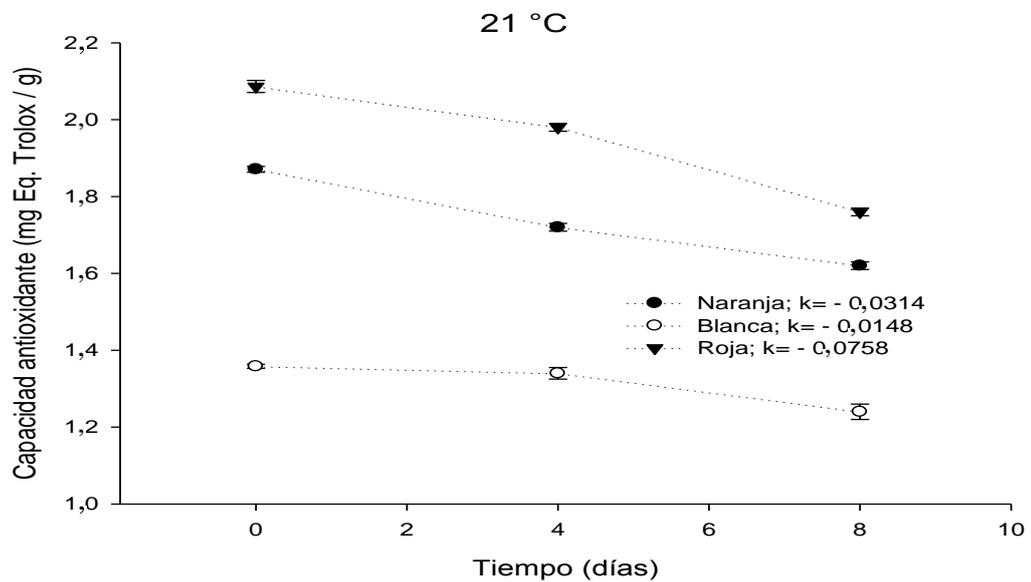


Figura 18. Variación de la capacidad antioxidante en función al tiempo a 21°C

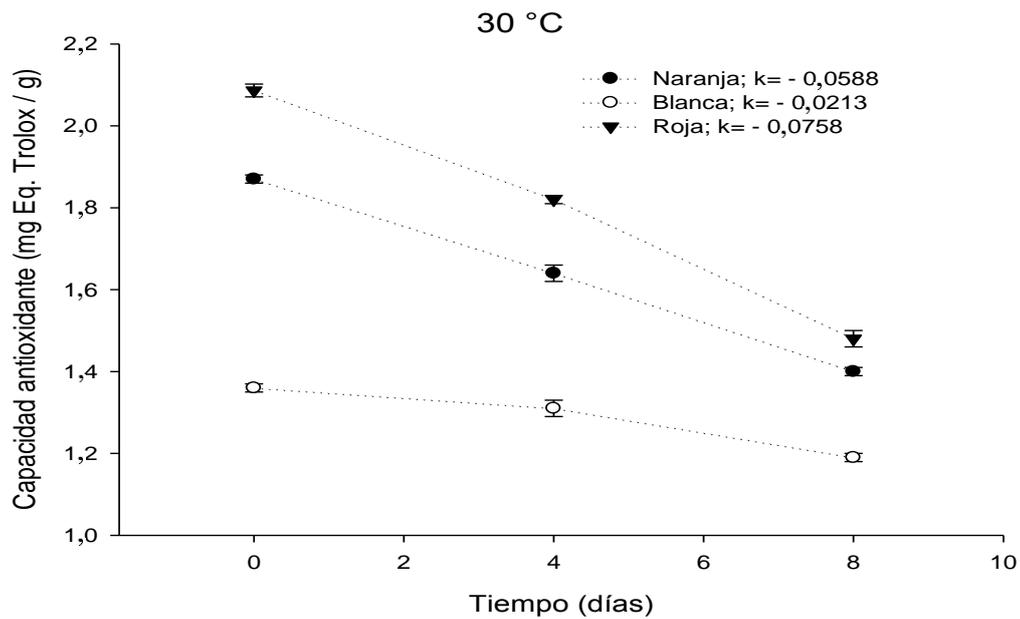


Figura 19. Variación de la capacidad antioxidante en función al tiempo a 30°C

4.1.3. Evaluación de las constantes de cinética de reacción

El conocimiento de las constantes cinéticas de reacción (k) de los alimentos es altamente deseable siendo esta función de las condiciones establecidas de almacenamiento o en fase de desarrollo. Algunos autores afirman que es razonable para una evaluación ideal de las constantes cinéticas plantear intervalos de temperatura que permitan interpolar los resultados (Fu y Labuza, 1993). Para el caso particular de la tuna se tomaron 3 temperaturas (5, 21 y 30°C) y se evaluó la variación del contenido de humedad, acidez, °Brix y capacidad antioxidante en función del tiempo. La tabla 7, muestra los resultados de las constantes cinéticas obtenidas para cada condición de temperatura. No se consideró condiciones de empaque, área expuesta o demás condiciones para su evaluación.

Tabla 7*Constantes cinéticas de reacción*

Descripción	Capacidad antioxidante		
	k 5°C	k 15°C	k 25°C
Naranja	-0,0026	-0,0314	-0,0588
Blanca	-0,001	-0,0148	-0,0213
Roja	-0,0045	-0,0408	-0,0758
	% Acidez		
Naranja	0,0013	0,0146	0,0233
Blanca	0,0004	0,0096	0,016
Roja	0,0007	0,0042	0,0098
	% Humedad		
Naranja	-0,0213	-0,0336	-0,0529
Blanca	-0,0609	-0,0456	-0,098
Roja	-0,0151	-0,067	-0,0808
	°Brix		
Naranja	-0,0638	-0,0935	-0,1358
Blanca	-0,0208	-0,0375	-0,0938
Roja	-0,051	-0,075	-0,1142

4.2. Contraste de hipótesis

Se establece que existen suficientes pruebas para mencionar que la tuna blanca, roja y naranja son diferentes entre sí, siendo la tuna blanca quien presenta mejores características fisicoquímicas a los cero días.

Se establece que existe suficientes pruebas para mencionar que las tunas: blanca, roja y naranja son diferentes entre sí, siendo que, el comportamiento según las características fisicoquímicas, hacen que se diferencien tanto; en los días de almacenamiento como a las temperaturas de almacenamiento utilizado en relación a las características fisicoquímicas, donde el de mejor estabilidad es la tuna roja.

Se pudieron establecer las constantes cinéticas k para las tunas blanca, naranja y roja.

4.3. Discusión de resultados

4.3.1. Evaluación del ° Brix, acidez titulable, pH, contenido de humedad, y capacidad antioxidante de la pulpa de tuna variedades roja, naranja y blanca

Las características físicas y químicas se presentan en la tabla 6, estos promedios son similares a los reportados por otros trabajos de investigación que indican que la tuna presenta un alto contenido de humedad (~86 a 89 %), los °Brix varían de 12 a 15 % y la acidez varía entre 0,05 a 0,07 % (Nadia, Hayette, Safia, Yasmina, Yasmina y Abderezak, 2013; López, 2014; Tomás et al., 2012).

El ácido orgánico mayoritario en la tuna es el ácido cítrico, seguido por el ácido málico (~0,02 %), shikimico (~0,015 %) y ácidos oxálicos Nadia et al. (2013). Con respecto los sólidos solubles los azúcares mayoritarios son la glucosa y fructosa, por ello el fruto de esta fruta es dulce, donde es común que las variedades de color naranja y blanca sean las más dulces en comparación con los colores rojos y verdes (Stintzing, Schieber y Carle, 2001). El alto contenido de pH se ve reflejado por el bajo contenido de ácidos orgánicos, este valor es un problema en la conservación de la tuna, ya que esta propenso al ataque de microorganismos.

4.3.2. Evaluación del contenido de las características físicas y químicas en función de la temperatura y tiempo de almacenamiento

4.3.2.1. Contenido de humedad.

Al respecto la pérdida de humedad en las frutas se da en dos etapas, la primera ocurre al momento de la cosecha debido a los cambios bioquímicos por la aceleración en la tasa de respiración de la fruta se estima que un 2 % del contenido de agua se pierde en las primeras 24 horas (Gurrieri et al. 2000). La segunda etapa es la pérdida de agua en forma de vapor (y no en estado líquido), a través de rutas primarias tales como heridas, estomas y cutícula (Figura 2), el agua libre se encuentra en células estrechamente unidas entre sí y se mueve a través de espacios intracelulares interconectados, donde el agua se vaporiza y satura el ambiente intercelular (López-Castañeda, Corrales-García, Terrazas-Salgado, y Colinas-León, 2010).

Asimismo un reciente estudio demostró que las bajas temperaturas de entre 5 a 10 °C frena la tasa de respiración de las frutas, por tanto a nivel celular se frena la producción de enzimas que son las que finalmente rompen los tejidos de la fruta evitando que el agua lixivie al exterior (Loss y Force, 2012), esto explicaría porque las temperatura de 5 y 15 °C tuvieron la menor pérdida de humedad. Por ejemplo, la tuna variedad naranja almacenada a temperaturas de 5, 21 y 30 °C presenta constantes de pérdida de agua (k) de -0,021, -0,0336 y -0,0529 respectivamente, esto nos permite indicar que la mayor pérdida de humedad se da a 30°C con k: -0,0529 g agua/día. No obstante, otro estudio encontró que a temperaturas bajas (~5°C) si bien es cierto no hay variación en la

pérdida de peso, se puede presentar daño por frío, el cual puede afectar el color de la tuna, los resultados del estudio sugieren una pérdida del color en un 12 % en un periodo de almacenamiento de 20 días (Sáenz, Sepúlveda, Araya, y Calvo, 1993).

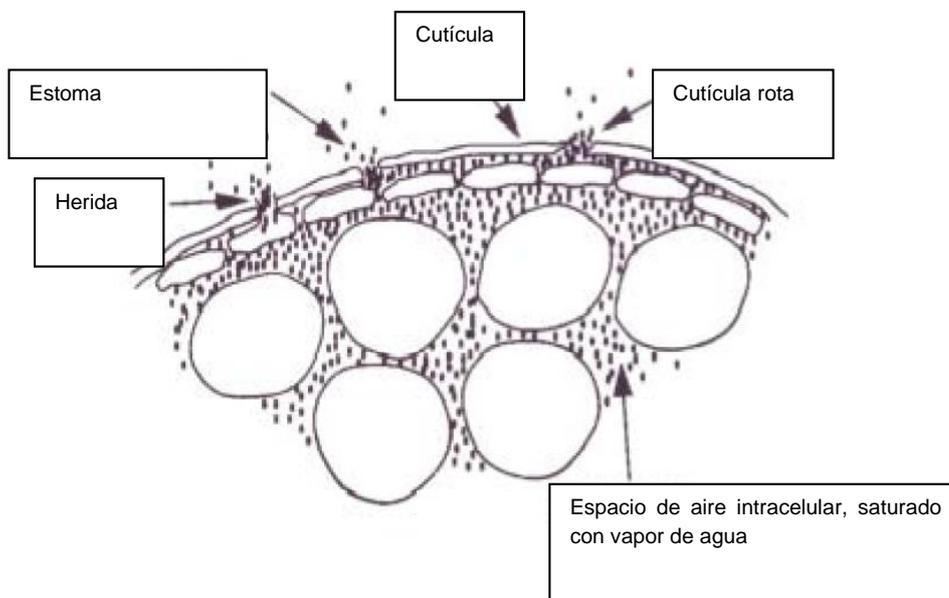


Figura 20. Esquema de la pérdida de humedad para frutas
Fuente: Singh y Rajkumar, 1999

4.3.2.2. •Brix.

Al respecto primero debemos mencionar que durante la conservación de frutas no climatéricas tales como uva, naranja, tuna, entre otros, se pueden presentarse cambios graduales en su composición química debido a la acción enzimática, esta intensidad es marcada por la producción de ácidos en el sistema y la concentración de iones hidrógeno, más que por la acidez titulable, este efecto se debe a que los azúcares como glucosa y fructosa son usados por las células de la fruta para generar ATP (Singh y Rajkumar, 1999).

Diversos estudios indican que los productos no climatéricos tienen una baja tasa de respiración, sin embargo las células del tejido inician un proceso catabólico conocido como senescencia con la finalidad de poder sobrevivir al entorno no favorable liberando enzimas que promueven el consumo los azúcares, ácidos orgánicos y aminoácidos libres necesarios para su sobrevivencia (Thompson, 2008). Por ello las figuras 10 a 12 muestran una disminución en el contenido de °Brix o sólidos solubles, sin embargo a menores temperaturas bajan la actividad de las células, esto explicaría porque las temperatura de 5 y 21 °C tuvieron la menor pérdida de °Brix. Por ejemplo, la tuna variedad naranja almacenada a temperaturas de 5, 21 y 30 °C presenta constantes de pérdida de Brix (k) de -0,06, -0,093 y -0,1358 respectivamente, esto nos permite indicar que la temperatura mayor será el descenso de los Brix (25 °C con k: -0,1358 g brix/día). Sin embargo, es importante resaltar que los °Brix no solo incluyen azúcares libres como glucosa y fructosa, sino compuestos orgánicos solubles de bajo peso molecular como ácidos orgánicos, aminoácidos libre, por ello el margen de error en este tipo de mediciones es de un 5 %. Asimismo otros estudios mencionan que la contaminación microbiológica juega un papel importante en el deterioro y/o pérdida de calidad de frutas, debido a que estos microorganismos segregan enzimas y por un mecanismo de difusión a través de su membrana celular consumen los azúcares presentes azúcares en la fruta produciendo ácidos, la tuna en particular por su alto contenido de humedad (~85 %) y pH (~ 6,4) esta propensa al ataque de estos patógenos.

4.3.2.3. Acidez.

Al respecto primero debemos mencionar que durante la conservación de frutas no climatéricas tales como uva, naranja, tuna, entre otros, se pueden presentarse cambios graduales en su composición química de sus ácidos orgánicos, en el caso particular de la tuna (*Opuntia ficus indica*) diversos autores señalan que el contenido de ácidos estaría entre 60 y 120 mg /100 peso fresco expresado como ácido cítrico (Stintzing et al., 2001).

Se puede apreciar en las figuras 13 a 15 que la concentración de ácidos se incrementa en el tiempo. Al respecto diversos autores señalan que los frutos no climatéricos presentan una tasa de respiración baja, sin embargo una vez cosechados debido a las condiciones del entorno (temperatura y humedad) las células del tejido de la fruta comienzan a consumir azúcares liberando ácidos con la finalidad de generar ATPs (Thompson, 2008). No obstante un reciente estudio menciona que esta etapa de incremento de ácidos es relativamente corta y que es posible que se dé un descenso de la acidez esto por la descarboxilación anaerobia de los ácidos orgánicos, esto para mantener la condición fisiológica de las células (Singh y Rajkumar, 1999).

Por otro lado, se determinó la constante de incremento de acidez (k : g ácido / día), esta variable nos indica la velocidad con la que los ácidos se están formando en un determinado periodo de tiempo y nos permite indicar cuál fue la temperatura donde se produjo el menor incremento. Por ejemplo, para la tuna variedad naranja, se puede observar que las temperaturas de almacenamiento de 5 y 21 °C son las que menores valores de k presentan con 0,0013 y 0,0146

respectivamente, mientras que la temperatura de 30 °C es la que mayor formación de ácidos presenta con k: 0,023 g ácido / día.

4.3.2.4. pH.

Delgado (1985) citado por Pinedo, Franco y Hernández (2010) menciona que existe una amplia variación en la composición química de la pulpa y semillas encontrando un pH que oscila entre 6,4 y 7,1; valores semejantes a los encontrados en el presente trabajo. Al respecto no se sabe si el pH aumenta como consecuencia de los efectos del CO₂ sobre el metabolismo natural o es una reacción directa por el tejido vegetal a contrarrestar los efectos de acidificación ocasionado por el CO₂ (Kader, 1986, citado por García, 2003). Aunque se sugiere, que las razones del incremento del pH durante el almacenamiento podría ser efecto de la disminución en la actividad respiratoria, aumento en la fijación de CO₂ ó debido a la presencia de una enzima menos activa que convierte el ácido málico en piruvato oxalacetato (Pantastico, 1979: citado por Pinedo et al., 2010).

4.3.2.5. Capacidad antioxidante.

Diversos autores señalan que la alta capacidad antioxidante de la tuna (*Opuntia ficus indica*) se debe a la alta concentración de polifenoles que posee (~8 a 16 mg/100 g peso fresco), dentro de los polifenoles mayoritarios se presentan la isorhamnetin 3-glucoside, isorhamnetin-3-galactoside, quercetin 3-rhamnoside, myricetin, vitexin, quercetin y kaempferol y los pigmentos naturales de la fruta betacianinas (López, 2014; Nadia et al., 2013; Tomás et al., 2012). Esta ventaja de la tuna sobre otras frutas se debe particularmente a los pigmentos que posee

(betacianinas) que actuarían como un barrera de protección frente a la radiación UV, evitando la pérdida de polifenoles (Loss y Force, 2012). Por ello, la tuna es un alimento que ofrece una lata capacidad antioxidante para el organismo y por ende para la prevención de enfermedades causadas por el estrés oxidativo Nadia et al. (2013).

Las figuras 17, 18 y 19, muestran la variación de la capacidad antioxidante en las distintas variedades de tuna (naranja, blanca y roja), la capacidad antioxidante se expresa como mg de equivalente Trolox (ET) por gramo de peso fresco de tuna. Al respecto es importante resaltar que la tuna presenta una alta capacidad antioxidante ($\sim 1,77$ mg ET/g) con respecto a otras especies de alto consumo como manzana, chirimoya y ciruela con valores de 0,458, 0,946 y 1,23 mg ET/g respectivamente (Araya, Clavijo y Herrera, 2006). Por otro lado, se determinó la constante de pérdida de capacidad antioxidante (k : mg ET / día), esta variable nos indica la velocidad con la que se pierde la capacidad antioxidante de la tuna en un determinado periodo de tiempo y nos permite indicar cuál fue la temperatura donde se produce la menor pérdida. Por ejemplo, para la tuna variedad naranja, se puede observar que las temperaturas de almacenamiento de 5 y 21°C son las que menores valores de k presentan con de -0,0026 y -0,0314 respectivamente, mientras que la temperatura de 30 °C es la que mayor pérdida presenta con k : -0,0588 mg ET / día.

El análisis de varianza (apéndice F) realizado con 95 % de confiabilidad de la capacidad antioxidante nos indica que existe influencia estadística significativa del tipo de variedad de tuna, temperatura de almacenamiento y

tiempo de almacenamiento (P -valor $< 0,05$), asimismo los efectos de la interacción de los factores principales presentan diferencias estadísticas significativas entre sí, la prueba de comparación de Tukey nos muestra cuáles medias son significativamente diferentes de otras, dicho análisis nos indica que la variedades son diferentes entre sí. Por lo tanto, podemos mencionar que el tipo de variedad, temperatura y tiempo (días) influyen sobre el contenido de ácidos orgánicos en la tuna.

La pérdida de calidad de la mayor parte de alimentos puede ser representada por las constantes cinéticas de reacción. Sin embargo uno de los inconvenientes al evaluar las constantes cinéticas es verificar el orden de reacción 0 y 1, es decir si el comportamiento es lineal o exponencial, para tal propósito se debe realizar el ajuste de la curva mediante R^2 (coeficiente de variabilidad) este valor nos proporciona una mayor fiabilidad al momento de determinar el orden de la reacción y el valor de la constante cinética de reacción (Fu y Labuza, 1993). Los resultados de la tabla 8 presentan un ajuste lineal con R^2 entre 0,85 y 0,92. Donde el mayor descenso pertenece a los °Brix a 30°C con constantes cinéticas k entre -0,1358 y -0,0938, esto nos indica la pérdida de azúcares en la tuna por efecto de la temperatura y el tiempo de almacenamiento, por otro lado los incrementos en las constantes cinéticas corresponden a la acidez con valores de 0,0098 a 0,0233 a 30°C que indica el incremento de ácidos en la tuna producto de la etapa de senescencia de la fruta. Por tanto, podemos mencionar que la tasa de variación de los compuestos químicos de la tuna es lineal.

4.3.3. Evaluación de las constantes de cinética de reacción

No se encontraron valores de constantes de reacción en otros trabajos de investigación, debido a ello no es posible realizar discusiones acerca de los valores obtenidos en la presente investigación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Primera. Los resultados del efecto de la temperatura sobre las propiedades físicas y químicas demostraron que la tuna blanca es la que contiene menos acidez a comparación con la tuna naranja, ya que contiene mayor acidez con 0,069 mg ácido cítrico/ gr de muestra. Con respecto a los °Brix, las tunas naranja y roja presentan el mismo contenido, a comparación de la tuna blanca que presenta un contenido de 14,1667 °Brix. Así mismo el pH en las tunas blanca y naranja presentan el mismo contenido, a diferencia de la tuna roja que presenta un pH de 6,29.

Segunda. La evaluación del comportamiento de las variedades de la pulpa de tuna (roja, blanca y naranja), se determinó que la pérdida de humedad es menor a temperaturas de 5 y 21 °C durante los días de almacenamiento para todas las variedades de tuna en estudio, efecto contrario sucede con la temperatura de 30 °C donde se observó una pérdida de humedad de ~15 %, el análisis estadístico demostró el

efecto de la temperatura sobre esta variable en estudio. La variación de °Brix también mostro que las temperaturas de 5 y 21 °C ofrecen las menores pérdidas de solidos solubles, no obstante, la condición de 30 °C presenta la mayor tasa de pérdida en todas las variedades estudio a los 12 días de almacenamiento, Con respecto a los días de almacenamiento los valores fueron incrementándose desde 13,66 al 0 día hasta los 14,49 al día 8. Las tres variables en estudio presentaron diferencias entre si tanto variedad, temperatura y días de almacenamiento, probablemente este efecto se deba a que, a bajas temperaturas se frena la actividad celular inhibiendo el crecimiento microbiológico del entorno, el análisis estadístico mostro la influencia de los factores en estudio sobre esta propiedad. Con respecto a la acidez se demostró que las temperaturas de 5°C, reduce el incremento de acidez en las variedades de tuna durante los días de almacenamiento. Asimismo, el análisis de capacidad antioxidante mostró que la variedad de tuna roja presenta la mayor capacidad antioxidante (~1,77 mg ET/g) con respecto a las otras variedades de tuna, la temperatura de 5°C fue la mejor condición para minimizar las pérdidas de esta propiedad en la fruta. El análisis estadístico mostró que existe efecto de la temperatura y los días de almacenamiento sobre la capacidad antioxidante.

Tercera. El análisis realizado a cada una de las variedades de tuna (roja, blanca y naranja) recolectadas muestra promedios de °Brix (13,3 a 13,4), humedad (83,3 a 85,01 %), acidez (0,058 a 0,069 %) y capacidad

antioxidante (1,75 a 1,87) dichos promedios se encuentran de los rangos establecidos por otros trabajos de investigación.

Cuarta. Las constantes cinéticas de reacción de las variedades de tuna en estudio mostrando un orden de reacción cero (comportamiento lineal), donde el indicador crítico (variable que presenta los mayores cambios en el tiempo) fue la acidez con valores de 0,0098 a 0,0233 (g ácidos/día) a una temperatura de 30°C. Por lo tanto, el presente estudio demostró el efecto de la temperatura sobre cada una de las propiedades en estudio, encontrando que la mejor temperatura de almacenamiento esta entre 13 y 14 °C.

4.2. Recomendaciones

- Primera.** Evaluar el perfil de betacianinas y polifenoles en la tuna variedades roja, blanca y naranja
- Segunda.** Realizar un mapeo a la zona óptima de almacenamiento a temperaturas de 10 a 16 °C, con la finalidad de encontrar la zona óptima.
- Tercera.** Estudiar el efecto de la humedad relativa sobre las variables respuesta para establecer las mejores condiciones de almacenamiento.
- Cuarta.** Estimar la vida útil de la tuna en función a la normatividad vigente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, H., y Aguirre, I. (2014). *Caracterización fisicoquímica del fruto de la tuna*: Monografias.com. Obtenido de Monografias.comS.A.: <http://www.monografias.com/trabajos100/caracterizacion-fisicoquimico-del-fruto-tuna/caracterizacion-fisicoquimico-del-fruto-tuna.shtml>.
- Alam, Md. N., Bristi N.J. y Rafiquzzaman Md. (2012). Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal*; 21: 143-152.
- Araya, L., H., Clavijo R., C. y Herrera, C. (2006). *Capacidad antioxidante de frutas y verduras cultivados en Chile*. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 56(4), 361–365.
- Arnér, E. (2009). *Focus on mammalian thioredoxin reductases — Important selenoproteins with versatile functions*. *Biochimica et Biophysical Acta*; 1790: 495– 526.
- Castillo, I. (2013). *Estabilidad de betalaínas en una mezcla seca para bebidas refrescantes, a base de pulpa y extracto de tuna púrpura (Opuntia ficus indica) microencapsuladas*. Chile: Universidad de Chile.
- Cemeli, E., Baumgartner, A. y Anderson, D. (2009). *Antioxidants and the Comet assay*. *Mutat Res.* 681:51–67.

- Cerezal, P. y Duarte, G. (2005). *Utilización de cáscaras en la elaboración de productos concentrados de tuna (Opuntia ficus-índica)*. Journal of the Professional Association for Cactus Development. V7 – 4.
- Choi, C.W., Kim S.C., Hwang S.S., Choi B.K., Ahn H.J., Lee M.Y., Park S.H. y Kim S.K. (2002). *Antioxidant activity and free radical scavenging capacity between Korean medicinal plants and flavonoids by assay-guided comparison*. Plant Science; 163: 1161– 1168.
- Corrales Garcia, J. (2000). *Fisiología y tecnología poscosecha del fruto de la tuna y del nopal*. Reporte de investigación N° 54. Universidad Autónoma de Chapingo. CIESTAAM.
- Clarkson, P. M. (1995). *Antioxidants and physical performance*. Crit Review Food Science. 35, 131-41.
- Doria, E., Buonocore D., Focarelli A. y Marzatico F. (2012). *Relationship between human aging muscle and oxidative system pathway*. Oxidative Medicine and Cellular Longevity. Volume 2012: 13 paginas.
- Dirección Regional Agraria Moquegua. (2014). *Anuario Estadístico Agrario 2013: Dirección Regional Agraria - Moquegua*. Obtenido de Dirección Regional Agraria - Moquegua: www.agromoquegua.gob.pe.
- El-Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El Kebbaj, M. S. y Cherkaoui-Malki, M. (2014). *Nopal cactus (Opuntia ficus-indica) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and*

disease. Molecules, 19(9), 14879–14901.
<http://doi.org/10.3390/molecules190914879>.

Fu, B. y Labuza, T. P. (1993). *Shelf-life prediction: theory and application*. Food Control. [http://doi.org/10.1016/0956-7135\(93\)90298-3](http://doi.org/10.1016/0956-7135(93)90298-3).

Gil del Valle, L. (2011). *Oxidative stress in aging: theoretico outcomes and clinical evidences in humans*. Biomedicine and aging pathology; 1: 1-7.

Grández, G. (2008). *Evaluación sensorial y fisicoquímica de nectares mixtos de frutas a diferentes porciones*.

Guevara, J. C. (2009). *Efectos biofuncionales del Nopal y la Tuna*. Revista Horticultura .

Gurrieri, S., Miceli, L., Lanza, CM., Tomaselli, F., Bonomo, R.P. y Rizzarelli, E. (2000). *Chemical characterization of sicilian prickly pear (Opuntia ficus indica) and perspectives for the storage of its juice*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48(11), 5424–5431. <http://doi.org/10.1021/jf9907844>.

Hincapié, G. Mondragón F. y López D. (2011) *Conventional and in situ transesterification of castor seed oil for biodiesel production*.

Huang, D., Ou B. y Prior R.L. (2005). *The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays*. Journal of Agricultural and Food Chemistry; 53: 1841–1856.

Huamán, N., Ancco, T., y Allecca, E. (2011). *Vida en anaquel de los alimentos*. Aplicación didáctica.

- Jeantet, R., Croguennec, T., Schuk, P. y Brulé, G. (2006). *Ciencia de los alimentos. Bioquímica-Microbiología-Procesos-Productos. Volumen 1 Estabilización biológica y fisicoquímica. (Primera ed.)*. Zaragoza: Acribia S.A.
- Kader, A. (2005). *Increasing food availability by reducing postharvest losses of fresh produce*. *Acta Horticulture* 682:2169-2176.
- Katalinic, V., Modun D., Music I. y Boban M. (2005). *Gender differences in antioxidant capacity of rat tissues determined by 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline 6- sulfonate; ABTS) and ferric reducing antioxidant power FRAP assays*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*; 140: 47-52.
- Kuehl, R. (2001). *Diseño de Experimentos. (Segunda edición)*. México: THOMSON LEARNING. 680 p.
- Labuza, T. (2000). *Accelerated shelf-life testing of foods*, *Food Technology*, 39 (9) 57–62, 64.
- Latimer, G. (2012). *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL (Décimo novena ed., Vol. I y II)*. United States of America: AOAC INTERNATIONAL.
- Levenspiel, J. (2004). *Reaction kinetics and accelerated tests simulation as a function of temperature*. In *Application of Computers in Food Research*, Saguy I, ed., New York, Marcel Dekker.

- López, 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*. Universidad Nacional Mayor De San Marcos, 1–64. Recuperado de http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/4243/1/L?pez_gs.pdf.
- López Castañeda, J., Corrales-García, J., Terrazas-Salgado, T. y Colinas-León, T. (2010). *Effect of saturated air heat treatments on weight loss reduction and epicuticular changes in six varieties of cactus pear fruit (Opuntia spp.)*. Journal of the Professional Association for Cactus Development, 12, 37–47.
- Loss, W. y Force, B. (2012). *Quality of Cactus Stems (Opuntia ficus-indica) During Low-Temperature Storage*. Journal of the Professional Association for Cactus Development, 2(1), 142–151.
- MacKenzie, E.L., Ray P.D. y Tsuji Y. (2008). *Role and regulation of ferritin H in rotenone-mediated mitochondrial oxidative stress. Free Radical Biology and Medicine*; 44: 1762–1771.
- Marnett, L.J., (1999). *Lipid peroxidation—DNA damage by malondialdehyde. Mutation Research*; 424: 83–95.
- Martínez, N., A. Andrés, A. Chiralt y P. Fito (1998). *Termodinámica y cinética de sistemas alimento entorno*. Servicio de Publicaciones, Universidad Politécnica de Valencia. Referencia 98.4034.
- MINSA (2009) *Tablas Peruanas de Composición de Alimentos*. Ministerio de Salud. Perú.

- Montgomery DC. 2008. “*Diseño y análisis de experimentos*”. Universidad Estatal de Arizona. Ed. Limusa Wiley, Segunda edición.
- Mulder, A.M., Connellan P.A., Oliver C.J. y Morris C.A. (2008). *Bovine lactoferrin supplementation supports immune and antioxidant status in healthy human males*. Nutrition Research; 28: 583–589.
- Nadia, C., Hayette, L., Safia, M., Yasmina, M., Yasmina, H. y Abderezak, T. (2013). *Physico-chemical characterisation and antioxidant activity of some Opuntia ficus-indica varieties grown in North Algeria*. African Journal of Biotechnology, 12(3), 299–307. <http://doi.org/10.5897/AJB12.1946>.
- Norma Técnica Ecuatoriana INEN. (2009). *Norma Técnica Ecuatoriana. Frutas Frescas. Tomate de árbol.*, 1, 12. Quito, Ecuador: INEN, 8p.
- Ocampo, J. (2003). *Determinación de la vida de anaquel del café soluble elaborado por la empresa de café s.a. y evaluación del tipo de empaque en la conservación del producto* (tesis de pregrado) Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.
- Ochoa, C.E. y Guerrero, J.A. (2012). Efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre la calidad de tuna roja (*Opuntia “ficus” indica L. Miller*). Información Tecnológica. 23(1):117-128.
- Page, H., Salmon A., Leiser S., Robb E., Brown M., Milter R. y Stuart J. (2009). *Mechanisms of stress resistance in snell dwarf mouse fibroblast: enhanced antioxidant and DNA base excision repair capacity, but no differences in*

mitochondrial metabolism. Free Radical Biology and Medicine; 46: 1109-1118.

Pinedo, J., Franco, A. y Hernández, A. (2010). *Comportamiento poscosecha de cultivares de tuna por efecto del huerto y temperatura de frigoconservacion*. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/813/81315093007.pdf>.

Piña, I. (1981). *Observaciones sobre la grana y sus nopales hospederos en el Perú*. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 26 (1): 10-15.

Ramírez-Ramos, Marcos, García-Mateos, Ma. del Rosario, Corrales-García, Joel, Ybarra-Moncada, Carmen, Castillo-González y Ana Ma. (2015). *Compuestos antioxidantes en variedades pigmentadas de tuna (Opuntia sp.)*. Revista fitotecnia mexicana, 38(4), 349-357. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000400002&lng=es&tlng=es.

Re, R., Pellegrini, N. Proteggente A., Pannala A., Yang M. y Rice-Evans C. (1999). *Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay*. Free Radical Biology and Medicine; 26: 1231–1237.

Repo, R. y Encina, C. (2008). *Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas*. Rev. Soc. Quím. Perú, 74(2), 108-124.

Roche, M., Rondeau, P., Singh, N.R., Tarnus, E. y Bourdon, E. (2008). *The antioxidant properties of serum albumin*. FEBS letters; 582: 1783–1787.

- Rodriguez, W. (2010) *Recent trends in food applications of antioxidants, en Autoxidation in foods and biological systems*, p. 295-365, M. Simic and G. Karel (Eds.), Plenum Press, New York.
- Saénz, C., Berger, H., Corrales, J., Galletti, L., García de Cortázar, V., Higuera, I. y Varnero, M. (2006). *Utilización agroindustrial del nopal*. Roma: FAO.
- Sáenz, C., Sepúlveda, E., Araya, E. y Calvo, C. (1993). *Colour Changes in Concentrated Juices of Prickly Pear (Opuntia ficus indica) During Storage at Different Temperatures*. *LWT - Food Science and Technology*, 26(5), 417–421. <http://doi.org/10.1006/fstl.1993.1082>.
- Siddhuraju, P. y Becker, K. (2007). *The antioxidant and free radical scavenging activities of processed cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp) seed extracts*. *Food Chemistry*; 101: 10–19.
- Singh, S. P. y Rajkumar. (1999). *Post harvest physiology of fruit and vegetable crops*. *Advances in Plant Physiology*, 2, 281–294.
- Sloan, E. (2000). *The Top Ten Functional Food*. *Food Tech.* 54 (4):33-62.
- Solano, C. E. (2000). *Sistemática del género Polianthes L. Agavaceae*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México.
- Soto, E, y Vilcapoma, D. (2012). *Evaluación de vida útil en anaquel de tres variedades de maíz (Zea Mays L.) nativo tostado y envasado en tres tipos de envases*.

- Stintzing, F. C., Schieber, A. y Carle, R. (2001). *Phytochemical and nutritional significance of cactus pear*. European Food Research and Technology, 212(4), 396–407. <http://doi.org/10.1007/s002170000219>.
- Thompson, K. (2008). *Postharvest technology of fruit and vegetables*. Fruit and Vegetables: Harvesting, Handling and Storage. [http://doi.org/10.1016/S0925-5214\(97\)87279-1](http://doi.org/10.1016/S0925-5214(97)87279-1).
- Tirira, P. (2014). *Secado al vacío mediante espumación del sistema de pulpa de mora con albúmina de huevo*.
- Tomás, G., Huamán, J., Aguirre, R., Bravo, M. y León, J. (2012). *Estudio químico y fitoquímico de Opuntia ficus-indica “tuna.”* Revista Peruana de Química e Ingeniería Química, 15(1), 70–74.
- Zuleta, A., Esteve M. y Frigola A. (2009). *ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products*. Food Chemistry; 114: 310-316-.