

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Presentado por:

Br. EDITH ROSALUZ HUAMÁN ROSALES

**CAPACIDAD ANTIOXIDANTE, COMPUESTOS FENÓLICOS
Y VITAMINA C EN FRUTOS FRESCOS Y LIOFILIZADOS
DE TRES VARIEDADES DE FRUTO DE TUNA (*Opuntia ficus
indica*).**

ASESOR:

Ing. Mg. FREDY TAIPE PARDO

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL
ANDAHUAYLAS – APURIMAC -PERÚ**

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Presentado por:

Br. EDITH ROSALUZ HUAMÁN ROSALES

**CAPACIDAD ANTIOXIDANTE, COMPUESTOS FENÓLICOS
Y VITAMINA C EN FRUTOS FRESCOS Y LIOFILIZADOS DE
TRES VARIEDADES DE FRUTO DE TUNA (*Opuntia ficus
indica*).**

ASESOR:

Ing. Mg. FREDY TAIPE PARDO

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL
ANDAHUAYLAS – APURIMAC -PERÚ**

2022



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 8:00 horas del día viernes 21 de enero del año 2022, se reunieron los docentes ordinarios: MSc. Carlos Alberto Ligarda Samanez, Dr. David Choque Quispe, MSc. Fidelia Tapia Tadeo, en condición de integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final del Tesis intitulado: “CAPACIDAD ANTIOXIDANTE, COMPUESTOS FENÓLICOS Y VITAMINA C EN FRUTOS FRESCOS Y LIOFILIZADOS DE TRES VARIEDADES DE FRUTO DE TUNA (*Opuntia ficus indica*)”, cuyo autor es el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial, **EDITH ROSALUZ HUAMÁN ROSALES**, y Asesor, Mg. Fredy Taípe Pardo, con el propósito de proceder a la sustentación y defensa de dicha tesis.

Luego de la sustentación y defensa de la Tesis, el Jurado Evaluador ACORDO: **APROBAR** por **UNANIMIDAD** al **Bachiller en Ingeniería Agroindustrial, EDITH ROSALUZ HUAMÁN ROSALES**, obteniendo la siguiente calificación y mención:

Nota en escala vigesimal		Mención
Números	Letras	
17	Diecisiete	Muy Bueno

En señal de conformidad, se procede a la firma de la presente acta en 03 ejemplares.

MSc. Carlos Alberto Ligarda Samanez
Presidente Jurado Evaluador

Ing^o Msc. David Choque Quispe
C.I.P. N° 75470

Dr. David Choque Quispe
Primer Miembro Jurado Evaluador

Fidelia Tapia T.

MSc. Fidelia Tapia Tadeo
Segundo Miembro Jurado Evaluador

DEDICATORIA

La presente tesis se la dedico a mis padres Francisco y Rosa por su apoyo y que me han dado la capacidad por superarme y desear lo mejor en cada paso que doy, porque su presencia y persona han ayudado a construir y forjar la persona que ahora soy. A mis hermanos Yesica y Henry, por su apoyo y sobre todo por estar a mi lado apoyándome siempre.

A Dios por ser el forjador de mi camino

A mis familiares, quienes siempre estuvieron apoyándome durante mi formación profesional, gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida, en especial a mis padrinos (Lourdes y Miguel) por sus sabios consejos, y a mis sobrinos (Hadriel, Alonso y Gimena) que siempre me contagio sus alegrías.

Edith.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional José María Arguedas por permitirme ser parte de ella y abrirme sus puertas de su ceno científico, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por haberme formado profesionalmente y permitido utilizar los laboratorios para la presente investigación.
- A mi familia especialmente a mis padres (Francisco y Rosa) por su amor, comprensión y por darme fuerza para seguir adelante con mi carrera universitaria en todo momento; asimismo a mis hermanos (Henry y Yesica) por su apoyo y consejo.
- A mi Asesor Ing. Mg. Fredy Taipe Pardo por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también por sus valiosos aportes, sugerencias, comprensión y paciencia durante la ejecución de la tesis.
- A los miembros del jurado evaluador, Ing. MSc. Carlos Alberto Ligarda Samanez, Ing. Dr. David Choque Quispe, e Ing. MSc. Fidelia Tapia Tadeo personas de gran sabiduría quienes se han esforzado en compartir sus conocimientos, para así tener una buena formación profesional.
- Al Ing. Herson Arone Palomino por el apoyo, recomendaciones valiosas durante el desarrollo de la tesis y por haber permitido el acceso a laboratorio.
- A cada uno de los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, mi eterna gratitud quienes me brindaron sus conocimientos a lo largo de mi formación profesional.
- A la Ing. Betsy Suri Ramos Pacheco, Ing. Elibet Moscoso Moscoso e Ing. Diego Elio peralta Guevara a ellos mi agradecimiento por haberme brindado su apoyo.
- A mis amigas y amigos, en especial a Natali, Deysi, Dannya, Lido, Mary y Susan gracias por su amistad y por darme ánimos para seguir.
- A Ezequiel por el apoyo y comprensión que me brindo durante la realización de la presente investigación.
- Agradecer al laboratorio de control de análisis de aguas y laboratorio de Nanotecnología de alimentos por haberme abierto las puertas y facilitado el uso de equipos.
- A mis compañeros de aula Mary Luz, Juan, Yolvi y Sergio por su ayuda y consejos durante toda nuestra carrera universitaria, por sus bromas y risas interminables.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ABREVIATURAS Y SIMBOLOS.....	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
CHUMASQA.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1 Situación problemática	2
1.2 Formulación del problema.....	3
1.3 Objetivos de la investigación.....	3
1.4 Justificación de la investigación	4
CAPITULO II: ANTECEDENTES	5
2.1. Antecedentes internacionales.....	6
2.2. Antecedentes nacionales	7
CAPITULO III MARCO TEÓRICO.....	10
3.1. Bases teóricas.....	10
3.1.1. Fruto de tuna:	10
3.1.2. Clasificación Taxonómica.	11
3.1.3. Descripción botánica:	11
3.1.4. Composición nutricional del fruto de tuna	12
3.1.5. Origen y Variedades	12
3.1.6. Color:.....	13
3.1.7. Antioxidante	15

3.1.8. Clasificación de los antioxidantes	15
3.1.9. Estrés oxidativo	16
3.1.10. Capacidad antioxidante	17
3.1.11. Métodos para la determinación de la capacidad antioxidante	17
3.1.12. Compuestos fenólicos:	19
3.1.13. Clasificación de los compuestos fenólicos	19
3.1.14. Importancia de los compuestos fenólicos	21
3.1.15. vitamina C	21
3.1.16. Estructura de la vitamina C o ácido ascórbico	22
3.1.17. Degradación de la vitamina C o ácido ascórbico	23
3.1.18. Contenido de ácido ascórbico en los alimentos	23
3.1.19. Importancia de la vitamina C en el ser humano	24
3.1.20. Liofilización	25
3.1.21. Etapas de la liofilización	26
3.2. Marco conceptual	27
CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	29
4. Materiales y métodos	29
4.1. Lugar de ejecución	29
4.2. Materiales, instrumentos y equipos	29
4.3. Muestra y Muestreo:	31
4.4. Tipo de investigación	32
4.5. Metodología experimental	32
4.6. Métodos de análisis	32
4.6.1. Análisis físico-químico de los frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna	32
4.7. Diseño experimental y análisis estadístico	43

4.7.1. Diseño experimental (variables y pruebas estadísticas)	43
4.7.2. Análisis estadístico	44
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES	47
5.1. Resultados de humedad de fruto fresco y liofilizado de tres variedades de tuna (morada, anaranjada y blanca).	47
5.2. Actividad de agua de tuna liofilizada.....	48
5.3. pH de frutos frescos y liofilizados de la tuna morada, anaranjada y blanca.....	49
5.4. Porcentaje de acidez de frutos frescos y liofilizados de la tuna morada, anaranjada y blanca	50
5.5. Sólidos solubles en frutos frescos y liofilizados de la tuna morada, anaranjada y blanca	51
5.6. Índice de madurez en frutos frescos y liofilizados de la tuna morada, anaranjada y blanca	52
5.7. Índice de color de frutos frescos y liofilizados de las tres variedades de tuna morada, anaranjada y blanca.....	53
5.8. Capacidad antioxidante en frutos frescos y liofilizados de tuna morada, anaranjada y blanca	54
5.9. Fenoles totales en frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna morada, anaranjada y blanca.....	55
5.10. Vitamina C en frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna morada, anaranjada y blanca.....	57
5.11. Correlación de variables de la tuna morada, blanca y anaranjada	59
5.11.1. Correlación de variables de la tuna morada.....	59
5.11.2. Correlaciones de la tuna anaranjada	63
5.11.3. Correlaciones de la tuna blanca	67
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	74
ANEXOS	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los Antioxidantes	16
Tabla 2: Clasificación de antioxidantes de acuerdo a su solubilidad.....	16
Tabla 3: Clasificación de los compuestos fenólicos	20
Tabla 4: Contenido de ácido ascórbico en alimentos.....	24
Tabla 5: Equipos e instrumentos.....	29
Tabla 6: Lista de materiales	30
Tabla 7: Reactivos e insumos:	31
Tabla 8: Preparación de la recta de calibración	36
Tabla 9: Curva de calibración	37
Tabla 10: Curva de calibración	39
Tabla 11 :Arreglo experimental del tipo DBCA.....	43
Tabla 12: Diseño en bloques completos al azar.....	45
Tabla 13: Interpretación de Rs de Pearson	46
Tabla 14: Porcentaje de humedad (% b.h.) de la tuna en estado fresco y liofilizado	47
Tabla 15: Actividad de agua de tuna liofilizada de tres variedades.....	48
Tabla 16: pH de tuna morada, anaranjada y blanca en estado fresco y liofilizado.....	49
Tabla 17: Porcentaje de acidez de frutos frescos y liofilizados de la tuna morada, anaranjada y blanca	50
Tabla 18: Solidos solubles en frutos frescos y liofilizados de la tuna morada, anaranjada y blanca	51
Tabla 19: Índice de madurez en frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna	52
Tabla 20: Índice de color de frutos frescos y liofilizados	53
Tabla 21: Capacidad antioxidante en frutos frescos y liofilizados de tres variedades.....	54
Tabla 22: Fenoles totales en frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna.....	56
Tabla 23: Vitamina C en frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna	57
Tabla 24: Correlación de variables del fruto de tuna morada	59
Tabla 25: Correlación de variables de tuna anaranjada fresca y liofiliza	63
Tabla 26: Correlación entre variables de la tuna blanca	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Variedades de tuna	13
Figura 2: Representación en el plano horizontal de color L^* a^* b^*	14
Figura 3: Estructura del L-ácido ascórbico	22
Figura 4: Diagrama de fases	25
Figura 5: Etapas de liofilización	26
Figura 6. Diagrama de flujo de la metodología experimental para la determinación de la capacidad antioxidante fenoles totales y vitamina C para cada una de las variedades.....	42
Figura 7: Diseño experimental.....	43

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1. Porcentaje de humedad de tuna fresca y liofilizada	84
Anexo 2. pH, Acidez, ° Brix y Índice de madurez de tuna fresca y liofilizada	85
Anexo 3. Color de la tuna morada, anaranjada y blanca en estado fresco y liofilizada *L a* b*	86
Anexo 4. Capacidad antioxidante $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ de muestra en b.s	87
Anexo 5. Compuestos fenólicos totales mg EAG/100g de muestra en bs	88
Anexo 6. Vitamina C mg de ácido ascórbico/ 100 g de muestra bs	89
Anexo 7. Curva Estándar para la capacidad antioxidante.....	90
Anexo 8. Curva Estándar ajustada para la capacidad antioxidante.	90
Anexo 9. Curva Estándar para los compuestos fenólicos totales.....	91
Anexo 10. Curva Estándar para vitamina C.....	91
Anexo 11. Análisis de Varianza de porcentaje humedad entre la variedad y estado.....	92
Anexo 12. Análisis de Varianza de actividad de agua.....	92
Anexo 13. Análisis de Varianza de pH entre variedad y estado	92
Anexo 14: Análisis de Varianza del porcentaje de acidez entre variedad y estado	92
Anexo 15. Análisis de Varianza de sólidos solubles entre la variedad y estado	93
Anexo 16. Análisis de Varianza de índice madurez entre la variedad y estado	93
Anexo 17. Análisis de Varianza de índice de color entre la variedad y estado	93
Anexo 18. Análisis de Varianza $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ muestra bs	94
Anexo 19. Análisis de Varianza mg EAG/100g bs.....	94
Anexo 20. Análisis de Varianza mg AA/100g mg AA/100 g b.s.	94
Anexo 21. T Estudent para el porcentaje de humedad de tuna morada fresca y liofilizada	95
Anexo 22. T Estudent para el porcentaje de humedad de tuna anaranjada fresca y liofilizada	95
Anexo 23. T Estudent para el porcentaje de humedad de tuna blanca fresca y liofilizada.....	96
Anexo 24. T Estudent para pH de tuna morada fresca y liofilizada	96
Anexo 25. T Estudent para pH de tuna anaranjada fresca y liofilizada.....	97
Anexo 26. T Estudent para pH de tuna blanca fresca y liofilizada.....	97
Anexo 27. T Estudent para acidez de tuna morada fresca y liofilizada.....	98
Anexo 28. T Estudent para acidez de tuna anaranjada fresca y liofilizada.....	98

Anexo 29. T Estudent para acidez de tuna blanca fresca y liofilizada	99
Anexo 30. T Estudent para °Brix de tuna morada fresca y liofilizada	99
Anexo 31. T Estudent para °Brix de tuna anaranjada fresca y liofilizada	100
Anexo 32. T Estudent para °Brix de tuna blanca fresca y liofilizada	100
Anexo 33. T Estudent para índice de madurez de tuna morada fresca y liofilizada.....	101
Anexo 34: T Estudent para índice de madurez de tuna anaranjada fresca y liofilizada	101
Anexo 35. T Estudent para índice de madurez de tuna blanca fresca y liofilizada	102
Anexo 36. T Estudent para índice de color de tuna morada fresca y liofilizada	102
Anexo 37. T Estudent para índice color de tuna anaranjada fresca y liofilizada.....	102
Anexo 38. T Estudent para índice color de tuna blanca fresca y liofilizada.....	103
Anexo 39. T Estudent para capacidad antioxidante de tuna morada fresca y liofilizada	103
Anexo 40. T Estudent para capacidad antioxidante de tuna anaranjada fresca y liofilizada .	104
Anexo 41. T Estudent para capacidad antioxidante de tuna blanca fresca y liofilizada	104
Anexo 42. T Estudent compuestos fenólicos totales tuna morada fresca y liofilizada.....	105
Anexo 43. T Estudent para compuestos fenólicos totales de tuna anaranjada fresca y liofilizada	105
Anexo 44. T Estudent para compuestos fenólicos totales de tuna blanca fresca y liofilizada	106
Anexo 45. T Estudent para vitamina C tuna morada fresca y liofilizada	106
Anexo 46. T Estudent para vitamina C de tuna anaranjada fresca y liofilizada	107
Anexo 47. T Estudent para vitamina C de tuna blanca fresca y liofilizada	107
Anexo 48. Panel fotográfico - fotos de la realización de la parte experimental	108
Anexo 49. Matriz de consistencia.....	113

ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

DBCA	: Diseño de bloques completos al azar
ANVA	: Análisis de varianza
NaOH	: Hidróxido de sodio
mg	: Miligramo
AA	: Ácido ascórbico
ml	: Mililitro
pH	: Potencial de hidrogeno
μm	: Micro mol
Abs	: Absorbancia
EAG	: Equivalente de ácido gálico
ET	: Equivalente trolox
IM	: Índice de madurez
IC	: Índice de color
μl	: Micro litro
FD	: Factor de dilución
kg	: Kilogramos
Ho	: Hipótesis nula
HA	: Hipótesis alterna
meq.	: Miliequivalente
N	: Normalidad
S	: Desviación estándar
p- valué	: Probabilidad evaluada
Aw	: Actividad de agua
CV	: Coeficiente de variabilidad
msnm	: Metros sobre el nivel del mar
FD	: Factor de dilución
L	: Litro
DPPH	: Radical libre 1,1- difenil-2- picrilhidrazilo
\bar{X}	: Promedio
R	: Repeticiones
V	: Volumen de muestra

P	:	Peso de la muestra
g	:	Gramo
FRAP	:	Ferric ion Reducing Antioxidant Power
bs	:	Base seca
°C	:	Temperatura en grados Celsius.
ORAC	:	Oigen Radical Absorbance Capacity
ABTS	:	acido 2,2 - azinobis 3 – etilbenzotiazolín
Pms	:	Peso de la muestra seca
Pmh	:	Peso de la muestra húmeda
nm	:	Nanómetros
L*	:	Luminosidad
a*	:	Intensidad de color verde - rojo
b*	:	Intensidad de color azul - amarillo
T	:	Tratamientos

RESUMEN

Los compuestos antioxidantes, compuestos fenólicos y vitamina C estos compuestos ejercen un efecto beneficioso en el organismo humano, produciendo una mejora en su alimentación y así aprovechar sus propiedades fisicoquímicas del fruto de tuna, la investigación tuvo como objetivo determinar la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C de los frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna (*Opuntia ficus indica*). La metodología utilizada para la capacidad antioxidante, fenoles totales y vitamina C se determinaron utilizando métodos espectrofotométricos. Los resultados por triplicado, fueron evaluados a través del análisis de varianza ANVA, t student y coeficiente de correlación de Pearson con un nivel de significancia del 5%. Se observó que la capacidad antioxidante de frutos frescos y liofilizados de las tres variedades de tuna oscilan de 0.98 a 1.62 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g muestra bs}$ en estado fresco mientras que en estado liofilizado oscilan de 3.05 a 3.41 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g muestra bs}$ esto indica que hay diferencia significativa donde el ($p\text{-valué} < 0.05$), respectivamente los compuestos fenólicos totales de frutos frescos y liofilizados de las tres variedades de tuna, oscilan de 1026.74 a 1221.33 mg EAG/100 g bs en estado fresco mientras que en estado liofilizado oscilan de 1247.91 a 1323.67 mg EAG/100 g bs en donde, la tuna morada fresca y liofilizada no presentan diferencias significativas ($p\text{-valué} > 0.05$), en la tuna anaranjada y blanca en fruto fresco y liofilizado existe diferencia significativa ($p\text{-valué} < 0.05$). Los resultados de vitamina C en frutos frescos y liofilizados de las tres variedades de tuna, oscilan de 27.51 a 39.29 mg de ácido ascórbico/ 100 g. de muestra bs en estado fresco mientras que en estado liofilizado oscilan de 47.01 a 52.33 mg de ácido ascórbico/100 g de muestra bs, donde la vitamina C en las tres variedades de tuna en estado fresco y liofilizado existe diferencia significativa ($p\text{-valué} < 0.05$). Se concluye que los productos liofilizados incrementan en su capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C.

Palabras claves: Acido ascórbico, tuna fresca, tuna liofilizada.

ABSTRACT

The antioxidant compounds, phenolic compounds and vitamin C have had good benefits on the human body, they can produce an improvement in the human diet, so it can be good if people take advantage of the physicochemical properties of the prickly pear fruit. This research has tried to determine the antioxidant capacity, phenolic compounds and Vitamin C from fresh and freeze-dried fruits of three varieties of prickly pear (*Opuntia ficus indica*). It has been developed through the spectrophotometric methods in order to know the antioxidant capacity, total phenols and vitamin C.

The results have been evaluated through the analysis of variance ANOVA, t student and Pearson's correlation, using a coefficient with a significance level of 5%. According to the results the antioxidant capacity of fresh of the three varieties of prickly pear have been between 0.98 and 1.62 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g sample bs}$, while freeze-dried sample have been from 3.05 to 3.41 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g sample bs}$, these result have shown that there is a significant difference where the ($p\text{-value} < 0.05$).

In regard to total phenolic compounds the results has been between 1026.74 and 1221.33 mg EAG/100 g bs for fresh samples and from 1247.91 to 1323.67 mg EAG/100 g bs for lyophilized samples, it been shown that fresh and lyophilized purple prickly pear have not present significant differences ($p\text{-value} > 0.05$) while the orange and white prickly pear (fresh and lyophilized) have been had significant difference ($p\text{-value} < 0.05$).

In regard to total phenolic compounds the results has been between 1026.74 and 1221.33 mg EAG/100 g bs for fresh samples and from 1247.91 to 1323.67 mg EAG/100 g bs for lyophilized samples, it been shown that fresh and lyophilized purple prickly pear have not present significant differences ($p\text{-value} > 0.05$) while the orange and white prickly pear (fresh and lyophilized) have been had significant difference ($p\text{-value} < 0.05$).

As far as vitamin C the results have been between 27.51 and 39.29 mg of ascorbic acid/100 g of sample bs for fresh samples, while the results for lyophilized sample have been from 47.01 to 52.33 mg of ascorbic acid/100 g of sample bs. The results for fresh and lyophilized sample have shown that there is a significant difference ($p\text{-value} < 0.05$). To conclude, lyophilized sample of prickly pear fruit have had better values of antioxidant capacity, phenolic compounds and vitamin C.

Keywords: Ascorbic acid, prickly pear fruit, fresh sample, lyophilized sample

CHUMASQA

Wakin huñunchasqa antioxidantesnisqa, compuestos fenólicosnisqa hinaspa kallpachaq C nisqapiwan kaykunam huñunchasqa rurarin allin qawarichiyta runapa kurkunpi, qawarikun allinniraq mikusqanpi, chaymanhina ima kasqanta challpariy fisicoquímicasnisqa tunaspa rurunpi, Kay taqwiriy llamkaymi aypayta munarqa taripananpaq atiynta, hinaspa huñunchasqa fenólicosnisqa hinaspa kallpachaq C nisqa chayllaraq uqarisqa rurukunamanta hinaspa liofilizadosnisqa kimsa laya tunasmanta (*Opuntia ficus indica*). *Qatipanapaq ñañmi karqa chay* atiyntin antioxidantesnisqapa, llapan fenólicosnisqa hinaspa kallpachaq C chay taripananpaq rurakurqa chay qatipay métodos espectrofotométricosnisqawan. Chuymaynin kimsachasqapi, qatipasqa karqa chay análisis de varianza ANVA nisqawan, t student y coeficiente de correlación de Pearson imayna kasqa sayanin chay significancia del 5% nisqawan. Qawakurqa atiyntin antioxidantesnisqapa chay chakisqa rurukunapi hinaspa liofilizadosnisqapi kimsan laya tunaspi liwiykachasqan 0.98 a 1.62 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ muestra bs chayllaraq uqarimusqapi, ichaqa imayna kasqan chay liofilizadonisqa liwiykacharqa chay 3.05 a 3.41 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ muestra bs kaymi qawarichin huknimanta allin hukniraqkasqanta maypichus chay (p-valué < 0.05), Qawarisqamahina huñunchasqa fenólicos totalesnisqa chayllaraq huqarisqa rurukunamanta hinaspa liofilizadosnisqa chay kimsan laya tunasmanta liwiykacharqa chay 1026.74 a 1221.33 mg EAG/100 g bs chayllaraq huqarisqapi ichaqa chay tarikusqa liofilizadonisqapitaq liwiykacharqa chay 1247.91 a 1323.67 mg EAG/100 g bs nisqakama, chay kulliniraq tunas hinaspa chayraq huqarisqa ruru liofilizadonisqa manam ancha hukmanniraqchu qawakurqa (p-valué > 0.05), qillupukaniraq tunas hinaspa yuraqniraq chayllaraq huqarisqa rurupi hinaspa liofilizadonisqapi tarikurqa chanin hukniraq (p-valué < 0.05). Llapan chuymaynin chay kallpachaq C chayraq huqarisqa ruru liofilizadonisqa chay kimsan laya tunasmanta liwikachan chay 27.51 a 39.29 mg de ácido ascórbico/ 100 g. chay muestra bs chayraq huqarisqapi ichaqa chay estado liofilizadonisqapi liwiykachan chay 47.01 a 52.33 mg de ácido ascórbico/100 g de muestra bs, maypichus Kallpachaq C kimsan laya tunaspi chayraq huqarisqapi hinaspa liofilizadonisqapi tarikun hukniraq kaq (p-valué < 0.05). Pallwayninman chayay lliw rurukuna liofilizadosnisqaqa achkachan chay atiyntin antioxidantesnisqa, huñunchasqa fenólicosnisqa hinaspa Kallpachaq C.

Pisi rimayllapi: Acido ascórbiconisqa, chayraq hurarisqa tunas, tunas liofilizadonisqa.

INTRODUCCIÓN

La tuna es una fruta perecedera, por lo que se hace necesario realizar estudios para darle un adecuado valor agregado, en este caso muy en particular se propuso presentar a la tuna como un producto liofilizado para poder alargar la vida útil, sin embargo, a la actualidad no se cuenta con estudios sobre la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C de la tuna liofilizada. El trabajo se divide en cinco capítulos, en el primer capítulo se presenta el problema de investigación, seguida el objetivo general que es Evaluar la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C de los frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna. En el capítulo dos presenta antecedentes de la investigación donde los estudios son significativos y relevantes para el tema desarrollado respectivamente, el capítulo tres que es el marco teórico aborda sobre el fruto de tuna, que es la materia prima con la que se trabajó, también presenta un panorama general del proceso de liofilización, y una descripción de la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C, en el capítulo cuatro se desarrolla los métodos y técnicas estadísticas que se utilizó.

Asimismo, en capítulo cinco se considera la discusión de resultados nos muestra el aporte real al conocimiento en el campo del saber en el cual se estudia.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El consumo de alimentos elaborados a base de insumos naturales, que contengan componentes bioactivos, tales como polifenoles, flavonoides y pigmentos, en alimentos industrializados se ha incrementado en los últimos años (Ruiz, 2014).

En la región de Apurímac existen muchos frutos silvestres, entre ellos está la tuna (*Opuntia ficus indica*), su característica principal es que, es un fruto no estacional y que por las coloraciones debe presentar compuestos bioactivos, existen diferentes variedades de tuna en la sierra de nuestro país, específicamente en la región de Apurímac, las cuales todavía no se están aprovechando como alimentos procesados y menos como productos funcionales. Generalmente la tuna es consumida en estado fresco y se caracterizan por tener una corta vida de anaquel y es una fruta de temporada lo cual hace que la obtención sea limitada. Además, este es un fruto altamente perecedero, si se deja la piel, ya sea entero o en rodajas, será más susceptible a la contaminación de microorganismos que puedan provocar su descomposición con mayor rapidez y causando riesgos para la alimentación es por esta razón que, se propuso darle un valor agregado como un producto liofilizado para poder alargar su vida útil; la intención es que sus componentes bioactivos permanezcan, así como su capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C.

Por tanto, se realizó el estudio de la tuna de tres variedades, evaluando sus propiedades funcionales en condiciones de fresco y liofilizado ya que este alimento reúne el contenido en las propiedades de capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Problema general

- ¿Cuál es la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C en frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna (*Opuntia ficus indica*)?

Problemas específicos

- ¿Cómo serán las propiedades fisicoquímicas del fruto fresco y liofilizado de tres variedades de tuna (*Opuntia ficus indica*)?
- ¿Cuál es la capacidad antioxidante de tuna en frutos frescos y liofilizados en tres variedades de tuna (*Opuntia ficus indica*)?
- ¿Cuál es el contenido de fenoles totales en frutos frescos y liofilizados en tres variedades de tuna (*Opuntia ficus indica*)?
- ¿Cuál es el contenido de la vitamina C en frutos frescos y liofilizados en tres variedades de tuna (*Opuntia ficus indica*)?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general

- Evaluar la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C de los frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna (*Opuntia ficus indica*).

Objetivos específicos

- Determinar las propiedades fisicoquímicas del fruto fresco y liofilizado de tres variedades de tuna (*Opuntia ficus indica*).
- Determinar la capacidad antioxidante de frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna (*Opuntia ficus indica*).
- Determinar los compuestos fenólicos de frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna (*Opuntia ficus indica*).

- Determinar la vitamina C de frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna (*Opuntia ficus indica*).

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El fruto de tuna (*Opuntia ficus indica*) tiene alto valor nutricional y promueve efectos benéficos al consumidor, debido a su contenido polifenólico y de pigmentos, los cuales además representan una fuente potencial de pigmentos naturales para la industria alimentaria. La máxima actividad biológica y el efecto benéfico dependen de la máxima estabilidad de los compuestos bioactivos (Ruiz, 2014).

Hoy en día el desarrollo de nuevos alimentos a partir de productos naturales con altos contenidos en propiedades funcionales se ha convertido en los principales objetivos de la industria alimentaria, por lo tanto, están en la búsqueda de nuevos productos; la tuna es una de las frutas que cumple nutricionalmente con las propiedades funcionales, es decir que presenta un adecuado balance en proteínas, minerales y carbohidratos (Sáenz, 2006).

La capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C estos compuestos ejercen un efecto beneficioso en el organismo humano, produciendo una mejora en la salud o reduciendo riesgos de enfermedades como la obesidad, cáncer, problemas cardiovasculares y neurodegenerativas esto se debe a la capacidad antioxidante que poseen a través de la cual inhiben o neutralizan la generación de radicales libres. También por sus propiedades biológicas, tales como: actividades antiinflamatorias y la capacidad antioxidante (Coavoy, 2015). Siendo la principal razón de esta investigación, que se oriente a la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C en frutos frescos y liofilizados de la tuna de las diferentes variedades (blanca, anaranjada y morada), como alternativa para sus diferentes usos en la industria alimentaria y como una nueva oportunidad para su comercialización utilizando nuestros recursos naturales como materia prima.

La investigación de estas propiedades funcionales ya mencionadas, nos dará a conocer más a la materia prima (tuna), para su industrialización según a la cantidad y en el estado que más reúna las propiedades funcionales de este fruto y dándole a futuro un mayor aprovechamiento de la fruta en procesos Agroindustriales, utilizando tecnología adecuada para darle un valor agregado y ser transformado en productos con alto contenido de capacidad antioxidante, fenoles y vitamina C.

CAPITULO II: ANTECEDENTES

2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Aquino, Chavarría, Guzmán, & Silva (2012) determinó las características de siete variedades de tuna (*Opuntia* spp.) color rojo-violeta y estabilidad del pigmento de las dos variedades con mayor concentración Universidad Autónoma de Aguascalientes, México. El color se determinó a través de los parámetros L^* , a^* y b^* usando un espectrofotómetro Minolta donde L^* describe la luminosidad ($L^*=0$ para negro, a $L^*=100$ para blanco), a^* describe la intensidad de color rojo ($a^*>0$) a verde ($a^*<0$) y del parámetro b^* la intensidad de color es de amarillo ($b^*>0$) a azul ($b^*<0$). El contenido de humedad varia de 81.34 a 85.29%, y asimismo la acidez titulable de 0.074 que esta expresada en ácido cítrico por ultimo los Sólidos solubles totales (°Brix) varía desde 9.67 a 14.12.

Sáenz (2006) estudió la utilización agroindustrial en la tuna en donde describe el porcentaje de humedad y la vitamina C y cuanta importancia tiene los sólidos solubles, el porcentaje de humedad de la tuna blanca es de 83.8, morada o purpura 85.98 y la tuna anaranjada de 85.1 asimismo la vitamina C de las tres variedades ya mencionadas es de 20.33, 20.00 y 24.1. Concluyo que las variaciones observadas pueden atribuirse a la distinta procedencia de las plantas o a factores agronómicos del cultivo como la fertilización o el riego, clima o a diferencias genéticas de las variedades.

Manzur (2017), determino capacidad antioxidante y propiedad funcional de la fibra de cascara de tuna purpura (morada) (*Opuntia Ficus-indica*) ultrasonificada para el desarrollo de una gelatina en la Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo. La investigacion utilizo el metodo espectofotometrico para la deterrminacion de la capacidad antioxidante respectivamente, utilizo el radical DPPH y reporto valores de 719.88 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ y 669.64 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$. concluyo que al realizar la extracción por ultrasonido en cascara de tuna purpura se obtiene mayor capacidad antioxidante.

2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Coavoy (2015), desarrolló la capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos de la tuna morada (*Opuntia ficus-indica*) del distrito de San Bartolomé, Huarochirí, Lima, en la Universidad Peruana Unión. El contenido de fenoles y capacidad antioxidante de la tuna morada determinó con el método espectrofotometría utilizando el indicador (Folin Ciocalteu) para fenoles y asimismo determinó las propiedades fisicoquímicas (pH, sólidos solubles, porcentaje de acidez que está expresado (ácido cítrico), e índice de madurez). Se reportó que los compuestos fenólicos de la tuna morada fue 1002.467 ± 0.897 mg de ácido gálico /ml y como también de las características fisicoquímicas reportó pH de 6.61, acidez de 0.06 de ácido cítrico, 11.67° Brix y un índice de madurez de 182.86 ± 8.96 respectivamente, concluyó que la madurez en el fruto influye en forma directamente proporcional en su contenido de compuestos fenólicos.

Bernal & Tunqui (2020) determinó la vitamina C del extracto de los frutos liofilizados de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) “roja, naranja y verde” en la Universidad Católica de Santa María en Arequipa. El contenido de vitamina C se determinó utilizando con el indicador 2,6 diclorofenolindofenol y reportó dando como resultado de la tuna roja 31.25 mg/100 g de fruto, naranja 28.75 mg/100 g de fruto y verde 23.75 mg/100 g de fruto respectivamente concluyó que la tuna roja tiene mayor contenido de vitamina C.

Moya, (2018) el efecto del tratamiento térmico en la cinética de deterioro de la vitamina C y color en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad blanca y morada en la universidad nacional de santa. determinó el color dando como resultado el índice de color respectivamente la vitamina C con el método espectrofotométrico obtuvo valores de 22.37 ± 0.083 y 21.85 ± 0.093 . concluyó que el color y la concentración de ácido ascórbico son parámetros de calidad críticos que sufren cambios significativos a lo largo del tratamiento de la pulpa de tuna para ambas variedades estudiadas.

(Lopez, Olivos, Oliveros, & Martinez, 2020) estudió el porcentaje de humedad del fruto silvestre de cactaceae (cactus) deshidratado por diferentes métodos para la conservación de su contenido de vitamina C, en la Universidad César Vallejo. En los procesos de deshidratación se logró obtener niveles de humedad promedio de la siguiente manera: secado por convección 11.78%, por liofilización 2.25%, por liofilización más deshidratación osmótica 1.74% y por liofilización con maltodextrina más deshidratación osmótica 1.88 y concluyo que los cuatro métodos de deshidratación evaluados permitieron obtener un producto de baja humedad.

Valderrama (2019), desarrolló el efecto de la temperatura en la cinética de vitamina C y capacidad antioxidante en zumo de tuna (*Opuntia ficus – Indica*) variedad amarilla, en la Universidad Nacional de Trujillo. El contenido de vitamina C en la tuna amarilla, se determinó con el método de espectrofotometría utilizando el indicador de 2,6 diclorofenolindofenol que reporto 31.08 mg/100g de vitamina C, respectivamente concluyo que en el zumo de la tuna amarilla en función a la temperatura de almacenamiento (5, 20 y 35 °C), encontrando que la vitamina C es la de mayor energía de activación.

Meza (2014), evaluó el efecto de la temperatura de concentración en los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en pulpa concentrada de tuna anaranjada (*Opuntia spp.*) en la Universidad Nacional del centro del Perú. Determino el porcentaje de humedad, Acidez expresado en (% de ácido cítrico), pH, Índice de madures como también compuestos fenólicos y vitamina C con el método de espectrofotometría. Reporto que la humedad es de 85%, acidez titulable de 0.07% expresado en ácido cítrico, pH 5.2, sólidos soluble 12 °Brix, e índice de madurez 171 con respecto a los compuestos fenólicos presento una concentración de 159.67 mg de ácido gálico/100 g de muestra, y la pulpa concentrada a temperaturas al vacío de 40°C, 50°C y 60 °C presentaron 98.72, 85.06 y 79.04 mg de ácido gálico/100 g de muestra respectivamente la vitamina C reporto que la pulpa de tuna sin concentrar presentó 35 mg de

ácido ascórbico/100 g de muestra fresca, las pulpas concentrada a temperaturas al vacío de 40°C, 50°C y 60 °C presentaron 30.6, 29.89 y 28.93 mg de ácido ascórbico/100 g de muestra. Concluyo que en los compuestos fenólicos existe diferencia significativa entre los tratamientos de temperatura; la vitamina C depende básicamente de la temperatura de trabajo.

Apaza (2017), desarrolló la influencia de parámetros fisicoquímicos en la extracción de pigmentos de ayrampo (*Opuntia soehrensii* b.), sobre la capacidad antioxidante, en la Universidad Nacional de Moquegua. El contenido de capacidad antioxidante se determinó con el método espectrofotometría y se reportó valores de 0.82 a 2.02 $\mu\text{mol Trolox/g}$ en bs, respectivamente concluyo que los parámetros de temperatura, el % del solvente y tiempo influyen en la extracción de pigmentos de ayrampo sobre el contenido de la capacidad antioxidante.

Mostacero (2018), evaluó la madurez y características fisicoquímicas y sensoriales en poscosecha de tuna (*Opuntia ficus-indica*) variedad amarilla almacenada en refrigeración en la universidad Nacional Orge Basadre Grohmann – Tacna. La investigación determinó el índice de madurez con el resultado de solidos solubles entre la acidez titulable de la fruta y reporto como resultado que varía de 171.3 a 252.9.

Jorge & Troncoso (2016) en su investigacion determinó la Capacidad antioxidante y vitamina C del fruto de la *Opuntia apurimacensis* (ayrampo) y de la *Opuntia ficus-indica* (tuna) en la Universidad nacional la Molina-Lima. La investigación determino la vitamina C con la metodología por espectofotometria donde obtuvo valores de la tuna que es de $36,1 \pm 1,7$ y del ayrampo $49,9 \pm 6,3$ y concluyo que el fruto de ayrampo tiene mayor cantidad de vitamina C.

CAPITULO III MARCO TEÓRICO

3.1. BASES TEÓRICAS

3.1.1. Fruto de tuna:

El fruto de la tuna es una baya carnosa simple formada por un ovario inferior hundido en el tejido del tallo del receptáculo. La cascara se origina en el receptáculo y presenta la misma morfología del cladodio:

- Epidermis con hojas efímeras y areolas perfectas, con gloquidias más o menos permanentes en los cladodios.
- Hipodermis esbelta y córtex voluminoso.
- Abundantes células mucilaginosas, pero no cristales.

La pulpa está formada del crecimiento exterior de los tricomas que se originan en las células epidermales del funículo y la envoltura funicular, el tamaño del fruto depende del número de óvulos fecundados y del número de semillas que abortan. Los frutos de tuna son dulces, jugosos, de color amarillo, anaranjado, rojo o púrpura, con mucha pulpa y cáscara de grosor variable, pero generalmente delgada (Sáenz, 2018).

La forma y tamaño de los frutos es variable, los tipos de frutos; los hay ovoides, redondos, elípticos y oblongos, con los extremos aplanados, cóncavos o convexos. Los colores son diversos: hay frutos rojos, anaranjados, púrpuras, amarillos y verdes, con pulpas también de los mismos colores. La epidermis de los frutos es similar a la del cladodio, incluso con aréolas y abundantes gloquidios y espinas, que, a diferencia del cladodio, persisten aún después de la sobre madurez del fruto. La cáscara de los frutos difiere mucho en grosor, siendo también variable la cantidad de pulpa. Esta última presenta numerosas semillas, que se consumen junto con la pulpa. Hay frutos que presentan semillas abortadas, lo que aumenta la proporción de pulpa comestible (Sáenz, 2006).

La mayor producción de tuna en los andes del Perú, se encuentra en los valles interandinos, en las regiones de Ayacucho, Huancavelica, Apurímac, Arequipa, Ancash, Lima, Cusco, entre otras (Existe tres especies de tuna: tuna anaranjada, tuna morada y tuna blanca) (Tineo, 2004)

3.1.2. Clasificación Taxonómica.

La clasificación taxonómica de *opuntia ficus indica* es la siguiente según (Sáenz, 2006):

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Sub – clase: Caryophyllidae

Orden: Caryophyllales

Familia: Cactáceas

Género: Opuntia

Especie: ficus - Indica

Nombre científico: Opuntia ficus_ Indica (L.)

3.1.3. Descripción botánica:

La “tuna” el cactus más conocido, son plantas arbustivas a arborescentes, de 1.70 m a 3.0 m de altura, con tallo primario lignificado, bien definido, castaño oscuro, verde o gris, cladodios usualmente elípticos, circulares, oblongos o romboidales con espinas, hasta 10 flores por cladodio, fruto esférico, cilíndrico o elíptico, amarillo o rojo, pulposa, jugosa y dulce, semillas duras, lenticulares, de 200 a 300 por fruto.

3.1.4. Composición nutricional del fruto de tuna

Dentro de la composición química del fruto de tuna, se debe mencionar inicialmente el alto contenido de agua. Entre los minerales que contiene, los principales son el calcio y el potasio además del sílice, sodio y pequeñas cantidades de hierro, aluminio, y magnesio, entre algunos otros (La tuna es considerado como una buena fuente de calcio, ya que en 100 g de hay cerca de 80 miligramos de este mineral). La tuna contiene, también, en varias proporciones, diferentes glúcidos o carbohidratos y componentes nitrogenados. El nopal es rico en fibras, vitaminas (A, B, B2, C y K), riboflavina, vitamina B6, clorofila y proteínas. En lo que respecta al valor nutricional, de los cladodios, se puede decir que en 1 taza de cladodios crudos (86 g aproximadamente) hay 2.9 g de hidratos de carbono y 1.1g de proteína y solamente 17 kcal (Amaya, 2009).

3.1.5. Origen y Variedades

La tuna o nopal es originaria de América tropical y subtropical y hoy en día se encuentra en una gran variedad de condiciones agroclimáticas en forma silvestre o cultivada, en todo el continente americano (Chile, Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Estados Unidos, México, Perú, Venezuela y otros países más, además se ha difundido a África, Europa y Oceanía, donde también se encuentra en forma silvestre o cultivada. Se conocen las siguientes variedades: tuna blanca la cáscara es verde amarillo y pulpa blanca, la tuna anaranjada se conoce como la cáscara amarilla anaranjada y pulpa naranja; la tuna tiene la cáscara morada y pulpa morada como se muestra en la Figura 1. (Rodríguez et, al. 2012)

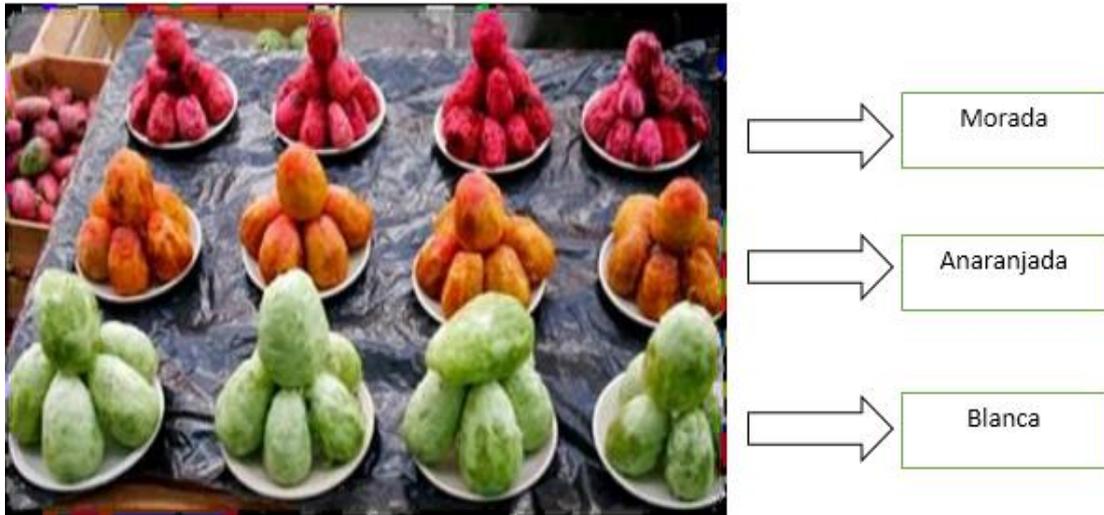


Figura 1: Variedades de tuna

Fuente: (Tineo, 2004)

3.1.6. Color:

El color es una de las principales características de calidad de los alimentos y la principal percibida por los consumidores. Los diversos pigmentos que se encuentran en los alimentos se correlacionan con el contenido de compuestos bioactivos como fenoles, carotenoides, betalaínas y vitaminas. Han revelado en varios estudios que su consumo diario promueve la salud humana al reducir los niveles de colesterol, endurecimiento coronario, factores de riesgo cardiovascular, entre otros efectos beneficiosos. El color se describe por valor, que es la intensidad o la claridad de un color, o la cantidad relativa de negro o blanco en un tono. Si el blanco se agrega gradualmente a uno de los colores, obtenemos valores más claros del tono llamados sombras. Aumentar el gris dentro de un tono da como resultado valores de sombreado más oscuros conocidos como tintes. El método más utilizado en la industria alimentaria para la medición del color es el método colorimétrico triestímulo. El colorímetro triestímulo consiste en luz blanca proveniente de una fuente estándar CIE (Committee International Illumination), que incide en la muestra en un ángulo de 0° y se refleja en un ángulo de 5° (reflexión difusa) u opuesta. La luz reflejada pasa a través de los filtros y se mide con una fotocélula (Ferreira, 1981).

El espacio de color $L^* a^* b^*$ (también conocido como CIELAB) es uno de los espacios de color más utilizados para medir la composición de color de un objeto y se utiliza ampliamente en todos los campos. Este es el espacio de color definido por el CIE en 1976 para reducir uno de los principales problemas con el espacio de color original de Yxy . En este espacio de color, L^* indica luminancia, a^* y b^* son coordenadas de color, la Figura 2 muestra la dirección del color: a^* es la dirección del rojo, a^* es la dirección del verde, b^* es la dirección del amarillo y b^* es la dirección azul, como se puede ver en la Figura 2.

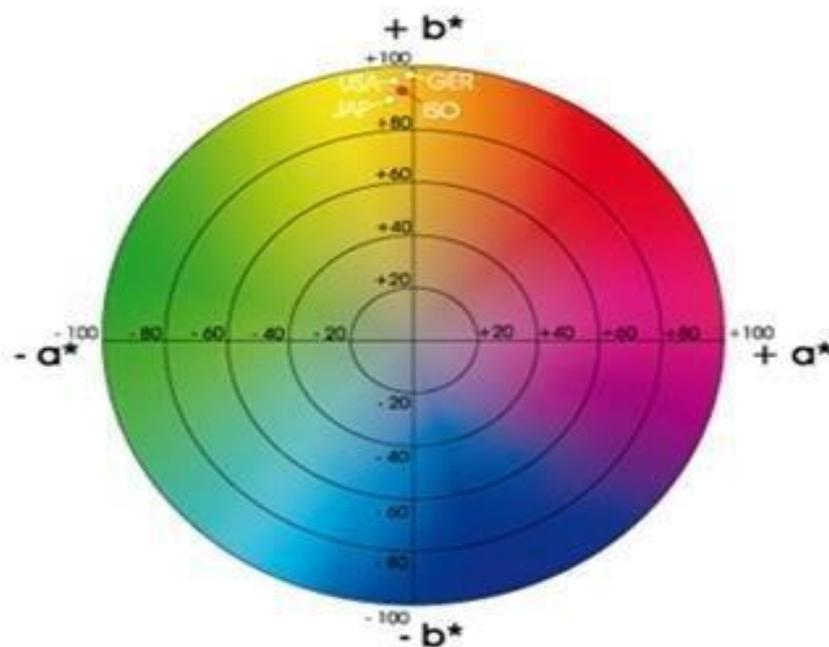


Figura 2: Representación en el plano horizontal de color $L^* a^* b^*$

Fuente: (Ferreira, 1981)

3.1.7. Antioxidante

Los antioxidantes son compuestos que inhibe o retrasan la oxidación de otras moléculas mediante la inhibición de la propagación de la reacción de oxidación (pérdida de uno o más electrones); y estos pueden clasificarse en naturales o sintéticos, estando estos últimos en desuso debido a estudios que les atribuyen efectos carcinógenos. Este hecho ha despertado un creciente interés en el estudio de los antioxidantes naturales entre los que se encuentran distintos compuestos fenólicos (Sánchez & Paniagua, 2008)

Existen diferentes mecanismos de acción, unos impiden la formación de los radicales libres y/o especies reactivas (sistema de prevención), otros inhiben la acción de los radicales libres, algunos favorecen la reparación y la reconstitución de las estructuras biológicas dañadas (Armenteros et. al. 2012)

Los antioxidantes, por lo tanto, son un grupo amplio de compuestos: vitaminas, compuestos fenólicos, minerales, colorantes naturales y enzimas. Muchos de los antioxidantes se encuentran en alimentos vegetales, por lo que es recomendable incluir frutas, legumbres, tubérculos, verduras y hortalizas o cereales integrales en nuestra dieta (Hayasida et al. 2008).

3.1.8. Clasificación de los antioxidantes

En la Tabla 1 podemos observar la clasificación de los antioxidantes como compuestos endógenos producidos por el organismo o compuestos exógenos suministrados con la ingesta de alimentos.

Tabla 1: Clasificación de los Antioxidantes

Exogenos	Endógenos	Cofactores
Vitamina E	Glutación	Cobre
Vitamina C	Coenzima Q	Zinc
Beta-caroteno	Ácido tiótico	Manganeso
	Enzimas: superoxido dismutasa (SOD), catalasa, glutación, peroxidasa	Hierro

Fuente: (Criado & Moya, 2009)

Clasificación de antioxidantes de acuerdo a su solubilidad: De acuerdo a su solubilidad podemos diferenciar entre antioxidantes hidrofóbicos (vitamina E y carotenoides) o hidrofílicos como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Clasificación de antioxidantes de acuerdo a su solubilidad

Hidrofilicos	Hidrofóbicos
Vitamina C	Vitamina E
(Ácido ascórbico)	(α -tocoferol)
Fenólicos	Carotenoides

Fuente: (Armenteros et. al. 2012)

3.1.9. Estrés oxidativo

Es una reacción química de transferencia de electrones de una sustancia a un agente oxidante. Esta reacción puede provocar la producción de radicales libres lo cual ocasiona daño a las células (Galleano, 2016). La reacción de oxidación puede ser iniciada por dos tipos de especies reactivas: los radicales libres, y las especies reactivas derivadas del oxígeno (ROS).

- **Radicales libres:** Es cualquier especie química capaz de existir de forma independiente y que presenta uno o más electrones desapareados en su estructura. como consecuencia son altamente reactivos lo que hacen que tenga una vida media de orden de milisegundos, aunque varía según el tipo de radical libre (Balsano & Alisi, 2018).
- **Especies reactivas derivadas del oxígeno (ROS).**
Que proviene de los términos “Reactive Oxygen Species”: Término que alcanza a todas aquellas especies reactivas que siendo o no radicales libres, centran su reactividad en un átomo de oxígeno (Zaro, 2014).

3.1.10. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante es la cuantificación del compuesto antioxidante, que determina su capacidad para evitar la oxidación del sustrato. Las técnicas utilizadas para medir la capacidad antioxidante total de muestras biológicas valoran la habilidad de los compuestos antioxidantes presentes en la muestra para reducir los tipos de oxidantes introducidos en el sistema del ensayo (Caisahuana, 2012).

La medición de la capacidad antioxidante de los alimentos proporciona información sobre la capacidad antioxidante, la contribución de los antioxidantes o la actividad antioxidante que puede exhibir en el cuerpo cuando se ingiere. La naturaleza y concentración de los compuestos naturales que se encuentran en alimentos determinan su capacidad antioxidante. En otras palabras, los niveles de compuestos antioxidantes variaron entre alimentos y otros alimentos, marcando una diferencia en su capacidad para prevenir enfermedades crónicas no transmisibles relacionadas con el estrés oxidativo (Quintanar & Calderón, 2009).

3.1.11. Métodos para la determinación de la capacidad antioxidante

En la actualidad, debido a la complejidad de los procesos de oxidación, no existe un método que refleje de forma completa el perfil antioxidante de una muestra, por tanto, es bueno trabajar

con varios métodos para facilitar la comparación e interpretación de los resultados. Las características “ideales” que debe reunir un método de determinación de capacidad antioxidante son: sencillez, mecanismo químico definido y punto final fijo, reproducibilidad a sustancias antioxidantes hidrofílicas y lipofílicas y elevado rendimiento de análisis (Agudo, 2010).

Las medidas de la actividad antirradicalaria se pueden realizar mediante dos estrategias distintas, en función de la información que se desea obtener.

Determinación directa: el radical se emplea como un factor de cuantificación (produce una señal analítica). La adición del antioxidante, antes o después de la generación del radical, provoca una disminución de la señal. En el ensayo de post-adición se forma el radical en ausencia de la muestra y así, cuando se añade la sustancia antioxidante se produce un descenso en la señal debido a la disminución de la concentración del radical. En ensayos de inhibición, la muestra se añade a los sustratos de oxidación antes que sea generado el radical, la reacción comienza con la adición del oxidante (ABTS●+, DPPH, etc.)

Determinación indirecta: la presencia de radicales libres produce la pérdida o aparición de un reactivo y, por tanto, en presencia de un antioxidante se provoca el aumento o disminución de la señal (métodos, ORAC, FRAP, etc.).

Método del ABTS (Ácido 2,2'-azinobis (3- etilbenzotiazolín)-6- sulfónico): La ventaja de este ensayo es que puede realizarse tanto en muestras hidrosolubles como liposolubles, eligiendo el disolvente apropiado en cada caso (Ronald, 2005).

Método ORAC (Oxigen Radical Absorbance Capacity): El fundamento del método ORAC se basa en la habilidad que tienen los compuestos antioxidantes para bloquear radicales libres por donación de un átomo de hidrógeno:



En este método, el radical artificial AAPH (2,2'-Azobis-(2-aminopropano)-dihidrocloreuro) oxida a la fluoresceína de forma que esta pierde su fluorescencia. De esta forma, las sustancias antioxidantes presentes en el extracto obtenido a partir del alimento disminuirían dicha pérdida de fluorescencia (Agudo, 2010)

Método DPPH: El fundamento del método desarrollado por (Brand-Williams et al. 1997). Este método se fundamenta en el que el electrón desapareado del radical DPPH (radical libre) se aparea con el electrón donador de un antioxidante, entonces el DPPH se reduce dando como resultado decoloración del DPPH de color púrpura a amarillo, siendo su máxima a 520 nm.

Método FRAP: en este método se determina la capacidad antioxidante de forma indirecta el mecanismo de FRAP es de transferencia de electrones a diferencia de otros métodos donde produce captura de radicales libres.

3.1.12. Compuestos fenólicos:

Están formados por C, H y O, y difieren de los alcoholes en que tienen el grupo oxhidrilo unido directamente a un anillo aromático con uno más sustituyentes al grupo hidroxilo y que se ve a glucósidos combinados con unidades de azúcar. Son relativamente polares y tienden a ser solubles en agua. Es por esta naturaleza aromática que tienen los compuestos fenólicos tienden a mostrar una intensa absorción de la región de UV del espectro, siendo este método utilizado para su identificación y un próximo análisis en lo cualitativo, también los compuestos fenólicos engloban a todas aquellas sustancias que poseen varias funciones fenol, cuyo nombre popular del hidroxibenceno, que está unido a estructuras aromáticas o alifáticas (Sánchez & Paniagua, 2008)

3.1.13. Clasificación de los compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos tienen una variación desde la molécula más simple como los ácidos benzoicos cada una de las familias agrupa un número de compuestos fenólicos más o menos

variado, siendo la familia de los flavonoides, con cerca de 4000 estructuras diferentes una de las más estudiadas (Sánchez & Paniagua, 2008). La clasificación de los compuestos fenólicos se realiza de acuerdo al número de carbonos dentro de sus moléculas como consecuencia de la gran diversidad de los compuestos fenólicos que están presentes en la naturaleza, tal como se muestra en la Tabla 3. La aplicación y las propiedades varían, estos pueden ser de efecto tóxico como también beneficiosos para la salud (Sánchez & Paniagua, 2008).

Tabla 3: Clasificación de los compuestos fenólicos

Estructura	Clasificación
C6	Fenólicos simples
C6-C1	Ácidos fenólicos y compuestos relacionados
C6-C2	Acetofenonas y ácidos fenilacéticos
C6-C3	Ácido cinámico, cinamil aldehído, alcoholes cinamílicos
C6-C3	Cumarinas, isocumarinas y cromonas
C15	Chalconas, auronas, dihidrochalconas
C15	Flavanos
C15	Flavonas
C15	Flavononas
C15	Flavonoles
C15	Antocianidinas
C15	Antocianinas
C30	Biflavonilas
Lignanós, neolignanós	Dímeros o oligómeros
Lignina	Polímeros
Taninos	Oligómeros o polímeros
Flobáfenos	Polímeros

Fuente: (Grotewold, 2005).

3.1.14. Importancia de los compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son importantes para entender su amplio rango de propiedades benéficas a la salud, los estudios epidemiológicos, clínicos e in vitro reportaron actividad antialérgica, antiinflamatoria, antimicrobiana, anticancerígena, cardioprotectora, entre otras (Beer, Joubert, Gelderblom, & Manley, 2003)

El perfil poli fenólico de los vegetales puede emplearse para su caracterización y control de calidad de los alimentos, como indicador químico del procesado de los alimentos elaborados, ya que pueden producirse alteraciones de su contenido durante los procesos tecnológicos, en la detección y evaluación de posibles adulteraciones o modificaciones genéticas, aplicaciones en la industria agroalimentaria como pueden ser uso de alternativas a los antioxidantes sintéticos para preservar a los alimentos del daño oxidativo ó como aprovechamiento de sub productos de derivados menos hidrofílicos con características farmacológicas mejoradas. (Gomez, 2010)

3.1.15. vitamina C

La vitamina C o ácido L-ascórbico (AA), es una vitamina, hidrosolubles que actúa como cofactor en diversas reacciones enzimáticas que tienen lugar en el organismo. Es sintetizada internamente por casi todos los organismos de los animales y plantas, excepto el hombre. Por ello es un nutriente esencial para el ser humano. El hombre carece de la enzima L-gulonolactona oxidasa debido a un defecto genético, esta enzima cataliza la etapa terminal de la síntesis de ácido ascórbico que convierte la glucosa en ácido ascórbico, por lo que debe adquirirlo a través de la alimentación, se degrada fácilmente por cambios de temperatura, radiación y alta concentración de oxígeno. Esta vitamina se encuentra biodisponible en frutas, hortalizas, zumos y alimentos fortificados. La mayor actividad biológica se debe a su estructura en forma de ácido ascórbico, no obstante, también puede estar presente el ácido dehidroascórbico, el cual se produce por el estrés oxidativo que se presenta en la fruta. La

importancia de esta vitamina radica en su capacidad de fortalecer el sistema inmune y en requerirse para la síntesis de colágeno, porque se considera un nutriente esencial para los humanos. Además, tiene un efecto protector en la oxidación celular y es capaz de reducir el número de radicales libres producidos durante procesos metabólicos. La vitamina C es un importante antioxidante hidrosoluble intracelular por su gran capacidad para donar electrones. Su deficiencia se conoce como escorbuto y se asocia a una mayor susceptibilidad a infecciones, debilidad muscular y fatiga. En niños puede causar anomalías y hemorragias óseas (Figuroa & Mollinedo, 2017).

3.1.16. Estructura de la vitamina C o ácido ascórbico

Estructuralmente el L-ácido ascórbico es una de las vitaminas más simples, está relacionado con los azúcares C6 que es la aldono-1,4-lactona de un ácido hexónico (L-galactónico o L-ácido glucónico) y contiene un grupo enediol en los carbonos 2 y 3 que lo hace un agente muy reductor (Davey et al. 2000) tal como se aprecia en la Figura 3.

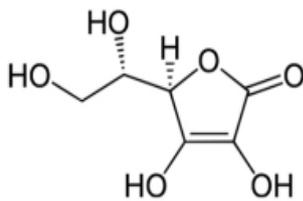


Figura 3: Estructura del L-ácido ascórbico

Fuente: (Davey et. al. 2000)

La vitamina C es un compuesto inestable, debido a la facilidad con la que se oxida e hidroliza. Se descompone con facilidad en el procesamiento y conservación de los alimentos, por lo que se utiliza como indicador de la pérdida vitamínica de un alimento durante su procesamiento y almacenamiento. Por otra parte, el calor y los cationes metálicos degradan la vitamina C.

3.1.17. Degradación de la vitamina C o ácido ascórbico

Se han determinado alrededor de 50 productos de bajo peso molecular procedentes de la degradación del ácido ascórbico, se han generados tres tipos de productos de descomposición:

- ✓ Intermediarios polimerizados.
- ✓ Ácidos carboxílicos insaturados de una longitud de cadena de 5 y 6 átomos de carbono.
- ✓ Productos de fragmentación con 5 o menos átomos de carbono.

Se ha descrito también la generación del formaldehído durante la degradación térmica del ascorbato a pH neutro. La cinética de degradación se ve afectada significativamente por factores ambientales como el pH, temperatura, luz, presencia de enzimas, oxígeno, metales y catalizadores metálicos. Existe dos diferentes tipos de degradación: aeróbica y anaeróbica. El mecanismo de anaeróbica es complejo y no ha sido completamente establecido, este tipo de degradación es relativamente insignificante en la mayoría de los productos alimenticios (Santos & Silva, 2008).

3.1.18. Contenido de ácido ascórbico en los alimentos

El L-ácido ascórbico es un constituyente universal de todas las plantas verdes tal como se muestra en la Tabla 4, con la excepción de las semillas latentes, por ello, no es difícil obtener un suministro adecuado en la dieta diaria en países desarrollados; sin embargo, el alcoholismo y la pobreza afectan su biodisponibilidad. Para adultos, las necesidades dietéticas se satisfacen con una ingesta mínima de 60 mg por día.

Tabla 4: Contenido de ácido ascórbico en alimentos.

Alimento	mg/100 gramos
Plátano	10-30
Palta	15-20
Manzana	2-10
Zanahoria	6
Lechuga	15
Limón	50
Lima	25
Melón	10-35
Naranja	30
Tánguelo	30
Pera	7-31
Piña	12-25
Espinaca	51
Fresa	59-60
Tomate	20-25

Fuente: (Davey et al. 2000)

3.1.19. Importancia de la vitamina C en el ser humano

La vitamina C es esencial para la síntesis del colágeno, en concreto actúa como coenzima en la síntesis del pro-colágeno favoreciendo la hidroxilación de los residuos de prolina y lisina. En este sentido, la vitamina C es importante para el mantenimiento del tejido conjuntivo normal, para la curación de heridas y para la formación del hueso, ya que el tejido óseo contiene una matriz orgánica con colágeno. También interviene en la síntesis de lípidos, proteínas, norepinefrina, serotonina, y en el metabolismo de tirosina y fenilalanina, etc.

Finalmente, la vitamina C es un antioxidante biológico que protege al organismo del estrés oxidativo provocado por las especies reactivas del oxígeno. La vitamina C es ampliamente utilizada en el tratamiento de ciertas enfermedades, como el escorbuto, el resfriado común, la anemia, los trastornos hemorrágicos, trastornos de la cicatrización de heridas e infertilidad. Además, previene las cataratas y glaucoma (Zhongwei, 2017).

3.1.20. Liofilización

La liofilización es un proceso de secado mediante sublimación que se ha desarrollado con el fin de reducir la pérdida de los compuestos responsables de sabor y aroma de los alimentos, los cuales se afectan en gran medida durante los procesos convencionales de secado, el proceso de liofilización consta principalmente de dos pasos; el primero consiste en congelar el producto y en el segundo paso el producto es secado por sublimación directa del hielo bajo presión reducida (Orrego, 2008)

El cambio de fases del agua puede ser explicado con el diagrama de fases como se muestra en la Figura 4, dando importancia a la sublimación, que se cumple cuando el agua se encuentra en fase sólida y con aplicación de baja presión pasa a fase gaseosa. Las condiciones de operación como la velocidad de congelación, presión de la cámara y la velocidad de calentamiento son factores fundamentales en la calidad de los productos liofilizados, donde también intervienen las características de la materia prima como el grado de madurez (Grajales, 2005).

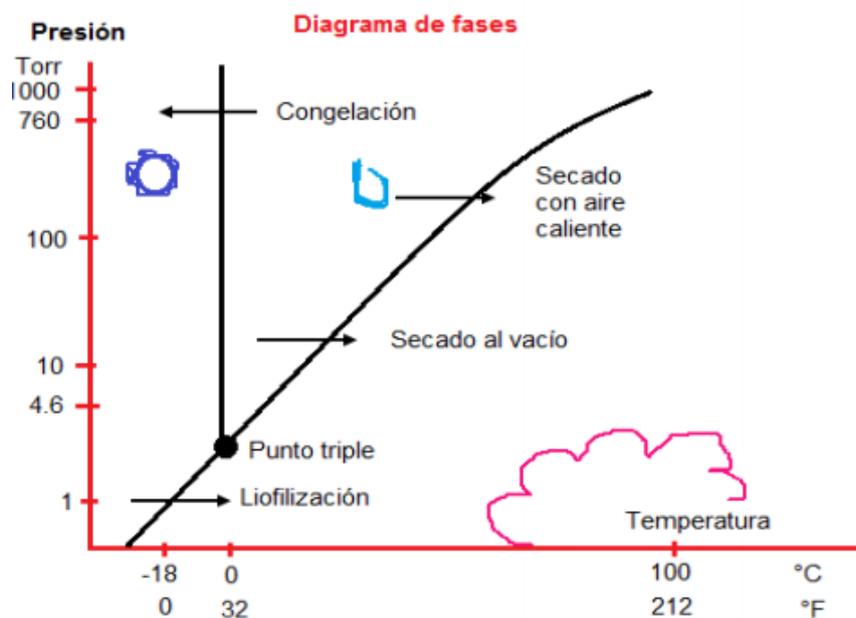


Figura 4: Diagrama de fases

Fuente: (Grajales, 2005).

3.1.21. Etapas de la liofilización

La liofilización consta de tres etapas: congelación, sublimación o secado primario y desorción o secado secundario como se muestra en la Figura 5.

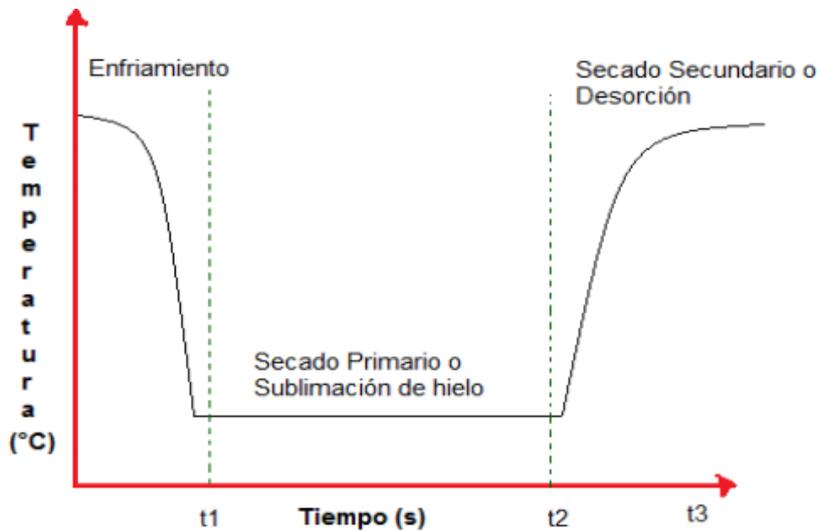


Figura 5: Etapas de liofilización

Fuente: (Ayala A. S., 2010)

Congelación: La congelación es la etapa donde se establece la estructura y las características del producto a obtener después de la etapa de secado, lo cual le da importancia a conocer variables de congelación como la frecuencia, temperatura mínima de congelación, temperatura de la capa de congelación durante el secado, velocidad óptima de enfriamiento y temperatura mínima de fusión incipiente (Ayala A. S., 2010).

Sublimación o secado primario: En el secado primario, el producto congelado se calienta bajo condiciones de vacío para retirar el agua por sublimación mientras la fruta se mantiene por debajo del punto eutéctico (Ayala A. S., 2010).

Desorción o secado secundario: El secado secundario se realiza por evaporación del agua que no se sublima en la etapa de secado primario, donde se eleva la temperatura de la matriz de

alimento, para el inicio de esta etapa el producto debe contener menos del 3% del contenido de agua inicial (Welti et. al. 2005).

3.2. MARCO CONCEPTUAL

Fruto de Tuna: Es una baya polisperma de forma ovoide esférica de color verde y toma diferentes colores cuando maduran, son comestibles, agradables y dulces; la pulpa es gelatinosa conteniendo numerosas semillas, sus dimensiones y coloración varían según la especie (Sáenz C. , 2018).

Antioxidante: Un antioxidante es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de un sustrato oxidable, actuando como donador de electrones (agente reductor).

Capacidad antioxidante: La capacidad antioxidante es la actividad inhibitoria de radicales libres que poseen ciertos componentes de los alimentos.

Compuestos fenólicos: Son compuestos formados por C, H y O, y difieren de los alcoholes en que tienen el grupo oxhidrilo unido directamente a un anillo aromático con uno más sustituyentes al grupo hidroxilo cuyo nombre popular de hidroxibenceno (Sánchez & Paniagua, 2008).

Radicales libres: Es una molécula de oxígeno que ha perdido un electrón, quedándose inestable, reactiva, con capacidad de producir daño. Normalmente, siendo esenciales para la supervivencia aeróbica. Poseen una estructura birradicálica, son muy reactivos, tienen una vida media corta. Desde el punto de vista molecular (Álvarez & Bague, 2011)

Vitamina C: La vitamina C o ácido L-ascórbico (AA), es una vitamina hidrosoluble que actúa como cofactor en diversas reacciones enzimáticas que tienen lugar en el organismo (Zhongwei, 2017).

Liofilización: La liofilización es un proceso de secado mediante sublimación que se ha desarrollado con el fin de reducir la pérdida de los compuestos responsables de sabor y aroma de los alimentos (Orrego, 2008).

DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo): Este método se fundamenta en que el electrón desapareado del radical DPPH (radical libre) se aparea con el electrón donador de un antioxidante, entonces el DPPH se reduce, dando como resultado decoloración del DPPH de color púrpura amarillo, siendo su máxima a 520 nm.

Compuestos fenólicos totales: Los compuestos fenólicos totales se caracterizan por ser antioxidantes activos y abundantes, especialmente, en tejidos vegetales. Estos antioxidantes pertenecen a un grupo heterogéneo de moléculas que tienen la misma característica de poseer en su estructura varios grupos bencénicos, sustituidos por funciones hidroxílicas.

CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en la Universidad Nacional José María Arguedas, en los laboratorios de Control y Análisis de Aguas, Química, Nanotecnología de Alimentos, y Control de Calidad de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, ubicado en la Unidad vecinal de Santa Rosa, Distrito de Talavera, Provincia Andahuaylas, Región Apurímac.

4.2. Materiales, instrumentos y equipos

Los instrumentos y equipos que se utilizó en el desarrollo experimental se describen en la Tabla 5.

Tabla 5: Equipos e instrumentos

Cantidad	Equipos e instrumentos	Marca
01	Espectrofotómetro UV-Visible	PG-Instruments
01	Potenciómetro	Hanna
01	Balanza analítica	Abs 200-4
01	Centrifuga con temporizador digital, Velocidad 1420 RPM.	Funke gerber
01	Estufa	Kert lab
01	Refractómetro	ATC
01	Liofilizador	Ílshin bioBase
01	Colorímetro	Minolta CR-400
01	Congelador	Coldex
01	Refrigeradora	Samsung

En la Tabla 6 se describen la lista de materiales que se utilizó en el desarrollo experimental.

Tabla 6: Lista de materiales

Cantidad	Materiales	Marca
6	Vasos precipitados 30 ml	JOANLAB
100	Puntas de micro pipetas de 100 μ l y de 5000 μ l	S/M
6	Tubos de centrifuga	Schott
6	Mortero con pilón	Schott
10	Fiolas (10 a 250 ml)	Schott
4	Probetas de 50, 100 ml.	Schott
1	Rotulador	Faber Castell
2	Rollos de papel aluminio	Diamont
1	Papel filtro (Whatman)	S/M
18	Placa Petri	Schot
2	Micro pipetas de 10 a 100 μ l y de 1000 a 5000 μ l	JOANLAB
1	Paquete papel tissue	Elite
18	Tubos de ensayo	Schott
8	Cubetas de espectrofotómetro	Cuarzo
1	Piseta	S/M
3	Goteros	S/M
6	Bagueta de vidrio	S/M
1	Soporte universal	S/M

En la Tabla 7 se describen los reactivos e insumos que se utilizó en el desarrollo experimental.

Tabla 7: Reactivos e insumos:

Cantidad	Reactivos
40 ml	Ácido Clorhídrico
7.4 mg	Radical libre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil).
25 mg	Reactivo Trolox (Ácido-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametil-croman-2-carboxílico)
50 mg	Ácido gálico
3 l	Metanol (96 %)
50 g	Carbonato de sodio
10 l	Agua destilada
50 ml	Follin Ciocalteu
25 mg	Trolox
10 g	2-6-dicloroindofenol sódico
Cantidad	Material vegetal
1kg	<i>Opuntia ficus-indica</i> tuna morada
1kg	<i>Opuntia ficus-indica</i> tuna anaranjada
1kg	<i>Opuntia ficus-indica</i> tuna blanca

4.3. Muestra y Muestreo:

➤ Muestra

Se consideró como muestra a 1 kg de tuna fresca de cada variedad blanca morada y anaranjada.

➤ Muestreo

El tipo de muestreo fue no probabilístico a criterio del investigador.

➤ Unidad de análisis

La unidad de análisis es el fruto de tuna fresca y liofilizada.

4.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Aplicada: La investigación se considera aplicada por qué estudia los aspectos de la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C los cuales son temas abordados durante la formación del ingeniero agroindustrial.

Experimental: Porque se manipulan deliberadamente las variables (las variedades y el proceso de liofilización).

4.5. Metodología experimental

Proceso de liofilizado

Las variedades de tuna: blanca, anaranjada y morada fueron lavados asépticamente con agua destilada y secados al medio ambiente por último se retiró la cascara que contiene el fruto, luego fueron trozados en forma de láminas una vez de trozarlos se colocaron en una fuente de cada variedad protegidos de luz con papel aluminio en seguida se congelaron a (- 20 °C) por 24 horas y posteriormente se llevó al liofilizador (Ílshin bioBase) antes de poner las muestras se configura el equipo a una temperatura de - 40 °C luego se puso en sus respectivos vasos precipitados de 150 ml del equipo de liofilizador y se dejó por 24 horas una vez que paso el tiempo se retira las muestras y se almacena en una bolsa hermética de cada variedad hasta su posterior análisis.

4.6. Métodos de análisis

4.6.1. Análisis físico-químico de los frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna.

a) Humedad

Este análisis se realizó mediante el método gravimétrico según (AOAC, 2003) Método 934.06 la cual está basado en la pérdida de peso de la muestra, utilizando la estufa a 60 °C hasta obtener peso constante. El resultado obtenido se realizó por la ecuación (01):

$$\% \text{ de humedad} = \left(\frac{pmh - pms}{pmh} \right) \times 100 \dots \dots \dots \text{Ec. (01)}$$

Donde:

pms: Peso de muestra seca

pmh: Peso de muestra húmeda

b) pH: Para medir el nivel de pH se utilizó el Método 981.12 (AOAC, 2000). El valor de pH es medido de pH (Potenciómetro).

Se inició calibrando el potenciómetro utilizando soluciones tampón de pH 4.0 y 7.0 antes de proceder con la determinación de la muestra.

Se hizo una dilución de 1:10 luego se agitó la mezcla en forma moderada durante 5 minutos y luego se procedió a la lectura en el potenciómetro.

c) Sólidos solubles (° Brix): Se realizó según el método 932.14 12 (AOAC, 2000) los °Brix se determinó con ayuda de un refractómetro (0 - 30) °Brix, tomando 1 mililitro de muestra, directamente por la lectura en el refractómetro de precisión. Mientras en la pulpa liofilizada se rehidrató de acuerdo al agua que perdió durante la liofilización. Por triplicado

d) Acidez: La medición del porcentaje de acidez se expresa en ácido cítrico y se realizó utilizando el método de la AOAC (942.15) (2000) por titulación de neutralización, para esto se utilizó fenolftaleína como indicador e hidróxido de sodio 0.1 N como solución titulante, se hizo una dilución 1:10. Para determinar el porcentaje de ácidos totales se utilizó la siguiente ecuación (02):

$$\% \text{ de Ácidos totales} = \left(\frac{N \times Meq \times F}{m} \right) \times 100 \dots \dots \dots \text{EC. (02)}$$

Donde:

N = Normalidad del NaOH

Meq = Peso mili equivalente del ácido cítrico (0.006404)

m = Peso de la muestra en g.

F = Volumen en mililitros del Álcali utilizado.

e) Índice de madurez

Es la relación entre solidos solubles totales y el porcentaje de Acidez titulable la medición del índice de madurez se realizó utilizando el método de (Sulbarán et al. 2013), el índice de madurez se calcula con la ecuación (03):

$$\text{Índice de madurez (IM)} = \left(\frac{\text{°brix}}{\% \text{ de acidez}} \right) \dots \dots \dots \text{EC(03)}$$

f) Índice de color

Para la determinación de índice de color se utilizó un colorímetro Minolta CR-400, el cual fue calibrado, antes de realizar las mediciones usando una placa de cerámica blanca donde las muestras estuvieron triturados para poder apoyar sobre la placa. Se realizaron 3 repeticiones en cada estado (fresco y liofilizado) por variedad, los resultados se expresaron en la escala CIE L* a* b; con estos datos se determinó del índice de color IC* que el parámetro L proporciona un valor de la Luminancia o brillo de la muestra. El parámetro a indica la zona de variación entre el rojo y el verde del espectro. El parámetro b se refiere a la zona de variación entre el amarillo y el azul el índice de color es determinada por la ecuación (04) según (Vignoni, Césari, Forte, & Mirábile, 2006).

$$IC = \frac{a \times 1000}{L \times b} \dots \dots \dots \text{EC(04)}$$

El IC* por sus características de variación puede utilizarse como variable de control de la calidad organoléptica de alimentos:

- Si IC* es negativo (-40 a -20), su valor relaciona los colores que van desde el azul-violeta al verde profundo.
- Si IC* es negativo (-20 a -2), su valor relaciona los colores que van del verde profundo al verde amarillento.
- Si IC* está entre -2 a +2, representa el amarillo verdoso.

- Si IC* es positivo (+2 a +20), se relaciona con los colores que van desde el amarillo pálido al naranja intenso.
- Si IC* es positivo (+20 a +40), se relaciona con los colores que van desde el naranja intenso al rojo profundo.

g) Determinación de la capacidad antioxidante por DPPH

Se utilizó el Método DPPH (Radical 2, 2-difenil-1-picrylhydrazyl). Implementado por (Brand-Williams et. al., 1995) este método se fundamenta en que el electron desapareado de radical DPPH (radical libre) se aparea con el electrón donador de un antioxidante, entonces el DPPH se reduce, dando como resultado decoloración del DPPH de color purpura a amarillo.

- **Preparación de la disolución del radical DPPH (7.4 mg/ml):** se pesó 7,4 mg de DPPH y se disuelven en 100 ml de metanol. La disolución preparada es estable durante 12 h a temperatura ambiente, protegido de la luz.

Preparación de la disolución de trabajo DPPH: esta disolución debe prepararse a diario. Se diluye con metanol hasta que la medida en el espectrofotómetro a 520 nm se sitúa en 1,8 unidades de absorbancia. El ajuste del instrumento se fija con metanol.

- **Preparación de la solución madre de trolox**

Para ello se disolvió 25 mg del reactivo Trolox (Ácido – 6 – hidroxil – 2, 5, 7, 8 – tetrametil – croman – 2- carboxilo), en 25 ml de metanol al 80%.

Preparación de trolox a 4 µM (micro mol): Para preparación de trolox a 4 micro mol se utilizó 25 mg de Trolox en 25 ml de metanol al 80%, en una fiola de 25 ml, de capacidad, con sumo cuidado se homogenizo bien y se almaceno en refrigeración a -20°C para su posterior uso.

Preparación de trolox a 0.4 μM (micro mol): Para preparar trolox a 0.4 μm, se utilizó la solución a 4 μm a partir de esa solución se preparó utilizando 5ml de trolox a 4μm y se afora en fiola de 50 ml, para los cálculos se utilizó la ecuación (05).

$$C_i * V_i = C_f V_F$$

$$4mM * V_i = 0.4mM * 50$$

$$V_i = 5ml \dots \dots \dots EC (05)$$

➤ **Preparación de la recta de calibración:** Se preparó la solución a diferentes concentraciones de 0.02, 0.04, 0.08, 0.16, 0.24, 0.32, 0.40 μm (micro mol trolox/ml). Para ello se utilizó la solución trolox a 0.4 μm se tomaron alícuotas de 0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10 mililitros de solución y se afora con metanol en una fiola de 10ml, se realiza los cálculos de las concentraciones para cada punto utilizado con la ecuación (06).

$$C_i * V_i = C_f V_F$$

$$0.4 mM * 0.5 ml = C_i * 10 ml$$

$$C_f = 0.02 mM \dots \dots \dots EC(06)$$

Tabla 8: Preparación de la recta de calibración

Puntos	C_i	V_i	V_F	C_f
1	0.4	0.5	10	0.02
2	0.4	1	10	0.04
3	0.4	2	10	0.08
4	0.4	4	10	0.16
5	0.4	6	10	0.24
6	0.4	8	10	0.32
7	0.4	10	10	0.4

Posteriormente se toman 400 μL de cada solución preparada y se añade 3 ml de disolución de trabajo DPPH, se agita por 30 segundos y se deja por 60 minutos, y posteriormente se realizó la lectura en el espectrofotómetro a 520 nm, cabe aclarar que los tubos donde reaccionan las

soluciones fueron forrados con papel aluminio asimismo se protegió de la luz, puesto que el reactivo reacciona con la luz.

Cada concentración es un punto de la recta, para la elaboración de la curva se tiene 7 puntos en la recta, así mismo se usa como blanco el metanol al 80%, para ello se describe la siguiente Tabla 9.

Tabla 9: Curva de calibración

Nº de tubo	Concentración μM (micromol)	Trolox	DPPH diluido
1	0.02	400 μl	3ml
2	0.04	400 μl	3ml
3	0.08	400 μl	3ml
4	0.16	400 μl	3ml
5	0.24	400 μl	3ml
6	0.32	400 μl	3ml
7	0.40	400 μl	3ml
Blanco	0	Metanol al 80 %	

- **Medida de la capacidad antioxidante de las muestras:** Se peso la muestra 2 g muestra previamente trituradas, fueron homogenizadas con 20 ml de metanol acuoso al 80 %, luego se toma 400 μL del extracto metanólico de la muestra a ensayar y se añade DPPH 3 ml del radical. Se agita y se deja en oscuridad a temperatura ambiente, procediendo a la medida de su absorbancia a los 60 minutos, el blanco contiene metanol se agita y se deja en oscuridad a temperatura ambiente, todas las medidas se realizaron por triplicado.

h) Determinación de compuestos fenólicos

El método Folin- Ciocalteau se utiliza como medida del contenido en compuestos fenólicos totales. Se basa en que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo de Folin- Ciocalteau a pH básico dando lugar de una coloración azul intenso, este reactivo contiene una mezcla de

wolframato sódico y molibdato sódico en ácido fosfórico y reacciona con los compuestos fenólicos presentes en la muestra, se realizará utilizando el método Folin- Ciocalteau (Cárdenas, 2016).

- **Solución de carbonato de sodio 20%:** La disolución de carbonato de sodio se pesó 5 g de Na_2CO_3 y se aforo en una fiola de 25 ml, y se agitó hasta diluir totalmente.
- **Solución de folin ciocalteu 0.25 N:** Se midió 3.125 ml de la solución folin ciocalteu y se aforo en una fiola de 25 ml con agua destilada. Para ello se utilizó una fiola color ámbar para protegerla de la luz.
- **Solución de ácido gálico (1 g/l):** Se peso 25 mg de ácido gálico y se aforo en una fiola de 25 ml con agua destilada, luego se midió 5 ml de esta solución y se aforo en una fiola de 50 ml con agua destilada.
- **Elaboración de los estándares de trabajo:** Para la elaboración de la curva estándar se utilizó ácido gálico al 1 g/l, en segundo lugar, se procedió a preparar otra solución de ácido gálico a 0.1 g/l, posteriormente tomando la segunda solución de ácido gálico se prepara otras 7 soluciones a diferentes concentraciones 2,4,8,12,16,20,24, mg/l, la cual fue utilizado para la elaboración de la curva estándar.
- **Curva de calibración:** Se realizo la solución madre de ácido gálico y se realizó diluciones a diferentes concentraciones de 2,4,8,12,16,20,24, mg/l como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10: Curva de calibración

Nº de tubo	Ácido gálico (mg/L)	Stamdares de trabajo (μ l)	NA ₂ CO ₃ 20% P/V(μ l)	Folin C. 0,25 N (μ l)	agua (μ l)	total (μ l)
1	2	3300	150	300		3750
2	4	3300	150	300		3750
3	8	3300	150	300		3750
4	12	3300	150	300		3750
5	16	3300	150	300		3750
6	20	3300	150	300		3750
7	24	3300	150	300		3750
Blanco	-	-	150	-	3600	3750

Determinación de fenoles totales en muestra: La muestra de tuna fue extraída con metanol y se diluyó en 2:20 v/v en un matraz, luego en un vial color ámbar se adiciono 900 μ l de muestra diluida, 2400 μ l de agua destilada, 150 μ l de NA₂CO₃ y 300 μ l de la solución folin ciocalteu. El blanco de la muestra fue 900 μ l de muestra diluida y 2850 μ l de agua destilada. Se agitaron los viales y se dejaron reposar 15 min y luego se procedió a leer en el espectrofotómetro a 726 nm.

i. Determinación de vitamina C

Para la determinación de ácido ascórbico, se empleó el método espectrofotométrico propuesto por el (Departamento de Agricultura de Canadá, s.f.), este método se basa en la reducción del colorante 2,6 Diclorofenolindofenol por efecto del ácido ascórbico en solución, el contenido de ácido ascórbico es directamente proporcional a la capacidad de un extracto de muestra, para reducir una solución estándar de colorante la cual es determinada con un espectrofotómetro se detalla a continuación:

➤ **Preparación de reactivos**

a) Solución de ácido oxálico al 0.4% se preparó esta solución y se pesó 4 g de ácido oxálico, diluir y enrasar a 1000 ml con agua destilada.

b) Solución standard de ácido ascórbico al 0,1% Se peso 0,1g de ácido ascórbico, se disolvió y se enraso a 100ml con la solución de ácido oxálico al 0,4%.

c) Estándares de trabajo (E.T)

Se tomó alícuotas de 1, 2, 3, 4 y 5 ml de ácido ascórbico al 0,1 % en 5 fioles de 100 ml y enrasar con una solución de ácido oxálico al 0,4%. Estas soluciones serán enumeradas del 1 al 5, contendrán 1, 2, 3, 4 y 5 mg de ácido ascórbico por 100 ml respectivamente.

d) Solución coloreada

Se pesó 12 mg de 2,6-Diclorofenolindofenol, disolver y llevar a 1000 ml con agua destilada caliente a 25 °C, esta solución se puede almacenar por 15 días en un frasco oscuro y en refrigeración.

Preparación de la curva estándar

Tomar 4 tubos de prueba, enumeradas del I al IV y se agregó lo siguiente a cada tubo:

Tubo I: 10 ml de agua destilada.

Tubo II: 1 ml de ácido oxálico al 0,4 % más 9 ml de solución coloreada.

Tubo III: 1 ml de E.T. N°1 más 9 ml de agua destilada. Tubo

IV: 1 ml de E.T. N°1 más 9 ml de solución coloreada. Posteriormente se realizó la lectura de absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 520 nm, el procedimiento se realizó de la siguiente manera.

- Ajustar a 0,00 de absorbancia usando la solución del tubo I.
- Leer la absorbancia de tubo II (L1).
- Ajustar a 0,00 de absorbancia usando la solución del tubo III.
- Leer la absorbancia del tubo IV (L2).

Las lecturas L1 y L2 se realizó de 15 segundos después de su preparación y se debe registrar L1 y L2 para cada estándar de trabajo (E.T.), posteriormente se construirá la curva standard con las concentraciones 1, 2, 3, 4 y 5 de ácido ascórbico (mg/100 ml), en la abscisa (eje X) y la absorbancia (L1 – L2) en la ordenada (eje Y), para cada E.T.

Preparación de la muestra

Se macero 10 g de muestra triturada con 100 ml de ácido oxálico al 0,4%, se dejó en reposo por algunos minutos y luego se procederá a filtrar con papel whatman N°4.

- Determinar L1 como se describió anteriormente.
- En el tubo III colocar 1ml del filtrado (muestra) más 9ml de agua destilada y con esta se ajustó a cero la absorbancia.
- En el tubo IV se colocó 1ml del filtrado (muestra) más 9ml de solución coloreada y se registró la absorbancia L2, después de 15 segundos.

Calcular (L1-L2) y obtener la concentración de ácido ascórbico a partir de la curva standard y la ecuación es:

$$\text{mg. A. Ascorbico} = \left(\frac{(L1-L2) - \text{intercepto}}{\text{pendiente}} \right) \times \text{FD} \dots \dots \dots \text{EC. (07)}$$

j) Diagrama de resumen de los analisis analisis

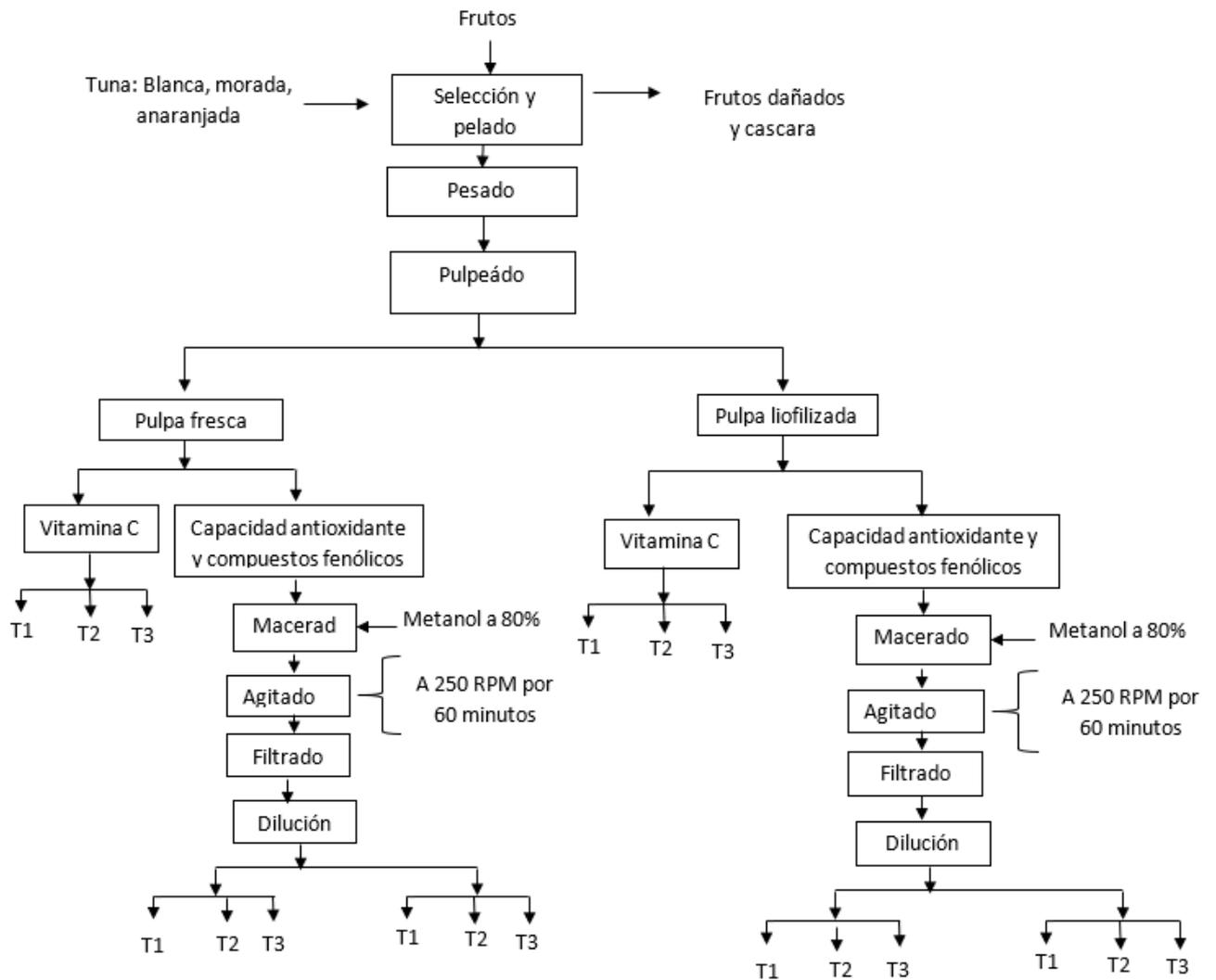


Figura 6. Diagrama de flujo de la metodología experimental para la determinación de la capacidad antioxidante fenoles totales y vitamina C para cada una de las variedades.

4.7. Diseño experimental y análisis estadístico

4.7.1. Diseño experimental (variables y pruebas estadísticas)

Variables de entrada y salida, se describen en la (Figura 7).

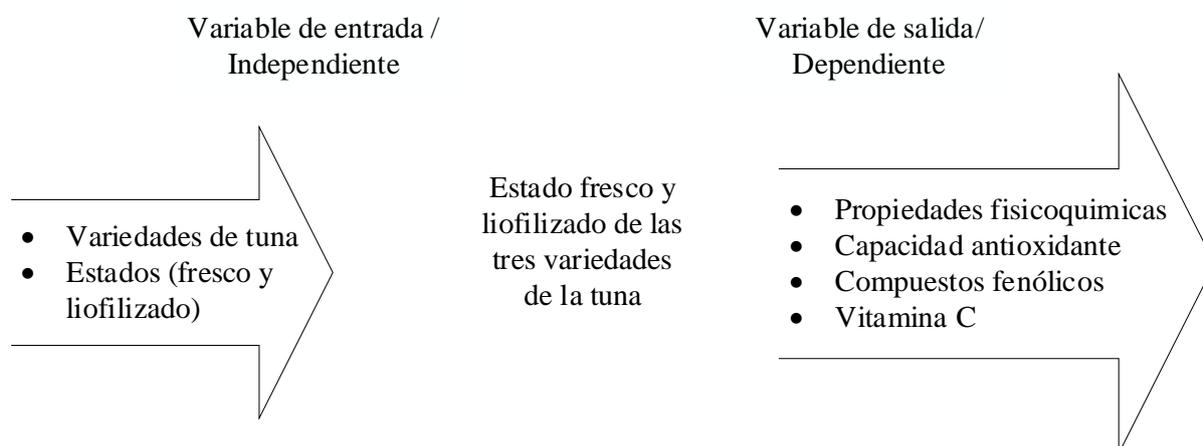


Figura 7: Diseño experimental

Se aplicó un arreglo experimental del tipo DBCA, debido a que tenemos tres fuentes de variabilidad, factor tratamientos (estado fresco y liofilizado), factor bloque (variedades) y el error aleatorio, es decir que tenemos tres posibles culpables de la variabilidad de los datos, el arreglo se ve en la Tabla 11.

Tabla 11 : Arreglo experimental del tipo DBCA.

variedades (Bloque)	Estado (tratamiento)	Propiedades fisicoquímicas (humedad, pH, acidez, porcentaje de sólidos solubles, índice de madures y color)	Capacidad antioxidante	Compuestos fenólicos	Vitamina C
Morada	Fresco	—	—	—	—
	Liofilizado	—	—	—	—
Anaranjada	Fresco	—	—	—	—
	Liofilizado	—	—	—	—
Blanca	Fresco	—	—	—	—
	Liofilizado	—	—	—	—

* La prueba se realizó por triplicado

4.7.2. Análisis estadístico

En esta investigación se empleó las siguientes pruebas estadísticas: Prueba ANVA, T de Student, y correlación de Pearson, con el objetivo de comparar los datos de propiedades fisicoquímicas (humedad, pH, acidez, porcentaje de sólidos solubles, índice de madurez y índice color), capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C en tres variedades de tuna en estado fresco y liofilizado.

a. Análisis de varianza ANOVA con dos factores.

Se aplicó el ANOVA bifactorial porque se manipulan dos factores: el estado (fresco y liofilizado), el factor de bloqueo (variedades de la tuna) y el error aleatorio. Cada una de las muestras fueron con tres repeticiones, para evaluar las Propiedades fisicoquímicas (humedad, pH, acidez, porcentaje de sólidos solubles, índice de madures y color), capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C de las muestras frescas y liofilizadas de la tuna. Esta realiza la medición de las medias y la desviación estándar.

Para evaluar las variables de entrada se aplicó un ANVA, cuya Hipótesis a probar es:

- Hipótesis nula (H_0): Para los tratamientos, la media de los resultados de la determinación de la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos totales y vitamina C de tres variedades de tuna en estado fresco y liofilizado no hay diferencia significativa $H_0 p > 0.5$.
- Hipótesis alterna (H_a): Para los tratamientos, la media de los resultados de la determinación de la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos totales y vitamina C de tres variedades de tuna en estado fresco y liofilizado si hay diferencia significativa $H_a p < 0.5$.

Tabla 12: Diseño en bloques completos al azar

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	de cuadrado medio	F_0	Valor - p
Tratamientos	$SCTRAT$	$k-1$	CM_{TRAT}	$F_0 = \frac{CM_{TRAT}}{CME}$	$P(F > F)$
Bloques	SC_B	$b-1$	CMB	$F_0 = \frac{CMB}{CME}$	$P(F > F_0)$
Error	SC_E	$(k-1)(b-1)$	SM_E		
Total	SC_T	$kb-1$			

b) Comparación de parejas por T de Student

Cuando se rechaza la hipótesis de igualdad de los dos tratamientos, es natural preguntarse cuáles de ellos son diferentes entre sí. Para ello se utiliza “comparaciones o pruebas de rango múltiples” (Gutiérrez & De La Vera, 2008).

Prueba de hipótesis

Se realiza la prueba de hipótesis con T de student con la finalidad de probar cuál de ellos son diferentes entre las medias muestrales de dos tratamientos para concluir que estos son diferentes, con la hipótesis estadística.

- **Hipótesis nula H_0 :** La media X_i de los resultados de propiedades fisicoquímicas, capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C de tres variedades de tuna en estado fresco y liofilizado son iguales.

$$X_i = X_j$$

- **Hipótesis Alterna H_a :** La media X_i de los resultados de propiedades fisicoquímicas, capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C de tres variedades de tuna en estado fresco y liofilizado son diferentes.

$$X_i \neq X_j$$

Para algún i, j (Tratamientos)

Nivel de significancia (α) para el caso de las comparaciones de condiciones habitualmente se emplea $\alpha = 0.05$.

Criterio de significancia se rechaza (H_0) si $\alpha > p - value$.

c) Correlación de Pearson

Se aplicó porque las nuestras variables de investigación son cuantitativos continuos, donde se evalúa el grado de covariación que tienen dos variables al mismo tiempo (propiedades fisicoquímicas, capacidad antioxidante fenoles totales y vitamina C), es decir si el cambio de una variable está acompañado en relación de la otra. La correlación nos va dar dos indicadores las cuales son:

- fuerza de correlación (que se mide por proporciones de -1 a 1).
- Dirección (entendida como positiva o negativa)

Correlación positiva: Se dice cuando una variable aumenta, puede aumentar la otra.

Correlación negativa: Se dice cuando una variable aumenta, la otravariante disminuye.

Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

➤ Interpretación del coeficiente de Pearson R_s

El valor de R_s es de -1 a +1 y se interpretan de la siguiente manera en la Tabla 13.

Tabla 13: Interpretación de R_s de Pearson

Valor del coeficiente de Pearson	Sí se encuentra de	Grado de correlación entre variables
R_s	-1	Hay una correlación negativa perfecta
R_s	-1 y -0.5	Hay una fuerte correlación negativa
R_s	-0.5 y 0	Hay una débil correlación negativa
R_s	0 y 0.5	Hay una débil correlación positiva
R_s	0.5 y 1	Hay una Fuerte correlación positiva
R_s	1	Hay una correlación positiva perfecta

*Sí $\alpha = 0$, se acepta la hipótesis nula, en los casos contrarios se rechaza

CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. Resultados de humedad de fruto fresco y liofilizado de tres variedades de tuna (morada, anaranjada y blanca).

En la Tabla 14 se observan los resultados del contenido de humedad en estado fresco y liofilizado de las tres variedades de tuna, se observó que la variedad Morada en estado fresco presento mayor humedad, mientras que el producto liofilizado se reportó humedades para la variedad Morada, Anaranjada, y Blanca de 5.67, 5.74, y 5.17% bh respectivamente, observándose que muestran diferencia significativa ($p\text{-valué} < 0.05$, evaluado a través del ANVA, Anexo 11)

Tabla 14: Porcentaje de humedad (% b.h.) de la tuna en estado fresco y liofilizado

Variedad	Estado	\bar{x}	\pm	S	CV	p-valué*
Morada	Fresco	82.43	\pm	0.86	1.04	1.05×10^{-8}
	Liofilizado	5.67	\pm	0.02	0.4	
Anaranjada	Fresco	82.17	\pm	0.94	1.14	1.50×10^{-8}
	Liofilizado	5.74	\pm	0.05	0.87	
Blanca	Fresco	78.65	\pm	0.86	1.09	1.23×10^{-8}
	Liofilizado	5.17	\pm	0.03	0.5	

Donde \bar{x} es la media, S es la desviación estándar y CV es el coeficiente de variación. Evaluado a través de la prueba T de Student al 5% de significancia.

Según Aquino et al., (2012) los valores encontrados en el % de humedad de siete variedades de tuna estudiadas en su investigación fue de 81.34 a 85.29 estos valores son similares al % de humedad encontrados en la presente investigación, en tanto (Sáenz, 2006) encontró valores de humedad de la tuna de las tres variedades estudiadas en su investigación que varía de 83.8 a 85.98% estos valores es similar al % de humedad de tuna morada y anaranjada estudiadas, lo cual podemos decir que la tuna morada, anaranjada y blanca en estudio del % de humedad está dentro de los límites evaluados.

El % de humedad se debe a que diversos factores afectan, entre ellos el tipo de variedad y el ambiente (clima, precipitación pluvial, región, periodo de luz, época de cosecha), afectan

considerablemente en las características físicas y químicas de los frutos de tuna (Felke et al., 2005).

Según (Lopez, Olivos, Oliveros, & Martinez, 2020) los valores encontrados en el % de humedad en el un fruto silvestre de cactaceae en estado liofilizado estudiadas en su investigación fue de 2.25 ± 0.04 %, estos valores son menores a los obtenidos en la tuna morada, blanca y anaranjada estudiados, en tanto (Carpio & Figueroa, 2017) encontró valores de humedad de 6.45 % en extracto de sancayo liofilizado estos valores no son similares a los encontrados a las 3 variedades de la tuna estudiados, ya que influye la temperatura y el tiempo de liofilizado y el espesor de muestra (Lopez et al., 2020). El porcentaje de humedad de la tuna fresca y liofilizada influye significativamente en el proceso de liofilizado se produce una eliminación del agua contenida en el fruto mediante la sublimación bajo presiones reducidas.

5.2. Actividad de agua de tuna liofilizada

En la Tabla 15 nos muestra la actividad de agua en las tres variedades de tuna liofilizada en la variedad morada menor actividad de agua de 0.324 respectivamente en la anaranjada y Blanca obtuvo valores de 0.443 y 0.420 en donde se observa que hay diferencia significativa (p -value < 0.05 , evaluado a través del ANVA, Anexo 12)

Tabla 15: Actividad de agua de tuna liofilizada de tres variedades

Estado	variedad	\bar{x}	\pm	S	p-valué*
Liofilizado	Morada	0.324	\pm	0.001	0.000
	Anaranjada	0.443	\pm	0.000	
	Blanca	0.420	\pm	0.002	

Según (Ayala et. al.2010) los alimentos con actividad de agua inferiores a 0,4 son seguros en el almacenamiento contra microorganismos y reacciones de oxidación, hidrolíticas, y actividad enzimática, entre otros. La actividad de agua de la tuna morada liofilizada se encuentra dentro de lo establecido mientras las dos variedades que es la tuna anaranjada y blanca se encuentran superior esto se debe al tiempo de proceso de liofilización.

5.3. pH de frutos frescos y liofilizados de la tuna morada, anaranjada y blanca

En la Tabla 16 se observan los resultados del pH en estado fresco y liofilizado de las tres variedades de tuna, se observó que la variedad Anaranjada en estado liofilizado presento mayor pH, mientras que el fruto fresco reportó pH para la variedad Morada, Anaranjada, y Blanca de 5.98, 6.21, y 5.9 respectivamente, observándose que muestran diferencia significativa (p-value < 0.05, evaluado a través del ANVA, Anexo 13)

Tabla 16: pH de tuna morada, anaranjada y blanca en estado fresco y liofilizado

Variedad	Estado	\bar{x}	\pm	S	CV	p-valué*
Morada	Fresco	5.98	\pm	0.00	0.02	6.5×10^{-8}
	Liofilizado	6.04	\pm	0.00	0.01	
Anaranjada	Fresco	6.21	\pm	0.00	0.02	2.25×10^{-5}
	Liofilizado	6.23	\pm	0.00	0.00	
Blanca	Fresco	5.9	\pm	0.001	0.02	1.64×10^{-8}
	Liofilizado	6.1	\pm	0.002	0.03	

Donde \bar{x} es la media, S es la desviación estándar y CV es el coeficiente de variación. Evaluado a través de la prueba T de Student al 5% de significancia

Coavoy, (2015) en su investigación de la tuna morada encontro valores de 6.61 ± 0.22 estos valores se encuentran por encima de los resultados obtenidos en estado fresco y liofilizado de la tuna, asimismo Sáenz (2006) reporto valores de pH de los frutos de tuna que oscilan de 5.85 a 6.37 estos valores están dentro de los límites evaluados de tres variedades de tuna estudiadas en la presente investigación que presento valores que oscilan de 5.97 a 6.09 en estado fresco de las tres variedades.

Moya, (2018) En su investigación en la tuna blanca y morada obtuvo valores de pH 4.52 ± 0.15 y 4.61 ± 0.12 en donde se encuentra inferior a los resultados encontrados como en fruto fresco y liofilizado. Según (Santarrosa, 2013) la diferencia es concordante con el estado fresco ya que en el estado de liofilizado fue sometido a un tipo de deshidratación, en donde el pH en productos deshidratados se aproxima a la neutralidad debido a que existe una concentración de

los solutos que origina a que se produzca una cierta obstrucción con las sales que existe en el medio.

5.4. Porcentaje de acidez de frutos frescos y liofilizados de la tuna morada, anaranjada y blanca

En la Tabla 17 se observan los resultados del contenido de porcentaje de acidez en estado fresco y liofilizado de las tres variedades de tuna, se observó que la variedad Morada en estado fresco y liofilizado no muestra diferencia significativa ($p\text{-valué} > 0.05$), respectivamente en la tuna anaranjada y blanca en estado fresco y liofilizado muestran diferencia significativa ($p\text{-valué} < 0.05$, evaluado a través del ANVA, Anexo 14)

Tabla 17: Porcentaje de acidez de frutos frescos y liofilizados de la tuna morada, anaranjada y blanca

Variedad	Estado	\bar{x}	\pm	S	CV	p-valué*
Morada	Fresco	0.06	\pm	0.01	9.12	0.52
	Liofilizado	0.07	\pm	0.01	8.66	
Anaranjada	Fresco	0.06	\pm	0.01	9.12	0.02
	Liofilizado	0.09	\pm	0.01	11.11	
Blanca	Fresco	0.06	\pm	0.00	0.00	0.002
	Liofilizado	0.08	\pm	0.01	6.93	

Donde \bar{x} es la media, S es la desviación estándar y CV es el coeficiente de variación. Evaluado a través de la prueba T de Student al 5% de significancia

Según Aquino et al., (2012) reporto valores de acidez que oscilan de 0.03 a 0.07 estos valores están expresado en ácido cítrico por otra parte (Coavoy, 2015) encontró valores de % de acidez de la tuna morada 0.06 ± 0.01 estos valores, es similar al % de acidez estudiados en la presente investigación.

Moya, (2018) En su investigación en la tuna blanca y morada obtuvo valores de acidez titulable, (0.061 ± 0.03) y esta expresada en ácido cítrico estos valores es igual al porcentaje de acidez encontrados en los frutos frescos de la tuna en las tres variedades. Según (Santarrosa 2013) en su investigación de pitahaya fresca y liofilizada menciona que en las muestras liofilizadas

existe un aumento, esto se debe al estado de madurez, es decir, que exista menos agua que extraer y más solutos a obtener.

5.5. Sólidos solubles en frutos frescos y liofilizados de la tuna morada, anaranjada y blanca

En la Tabla 18 se observan los resultados de los °Brix en estado fresco y liofilizado de las tres variedades de tuna, se observó que la variedad Morada no presenta diferencia significativa (p-valor > 0.05) en estado fresco y liofilizado, mientras que en la tuna Anaranjada y Blanca, muestran diferencia significativa (p-valor < 0.05, evaluado a través del ANVA, Anexo 15).

Tabla 18: Sólidos solubles en frutos frescos y liofilizados de la tuna morada, anaranjada y blanca

Variedad	Estado	\bar{x}	\pm	S	CV	p-valor*
Morada	Fresco	10.02	\pm	0.03	0.29	0.3
	Liofilizado	9.92	\pm	0.13	1.34	
Anaranjada	Fresco	14.03	\pm	0.03	0.21	1.02×10^{-6}
	Liofilizado	15.87	\pm	0.06	0.36	
Blanca	Fresco	13.02	\pm	0.03	0.22	0.000
	Liofilizado	13.9	\pm	0.1	0.72	

Donde \bar{x} es la media, S es la desviación estándar y CV es el coeficiente de variación. Evaluado a través de la prueba T de Student al 5% de significancia

Según Coavoy (2015), reporto valores de sólidos solubles totales (°Brix) 11.67 ± 0.47 estos valores comparados con los frutos frescos y liofilizados de la tuna morada se encuentra superior, mientras en la tuna liofilizada de la variedad blanca y morada es similar al encontrado, mientras en el estado fresco se encuentra superior al encontrado, (Aquino et. al. 2012) reporto valores de siete variedades de tuna (*Opuntia* spp.) de Sólidos solubles totales (°Brix) de 9.67 a 14.12 estos valores comparados en estado fresco y liofilizado son similares.

Las variaciones en estado fresco y liofilizado se deben al estado de madurez de la fruta, los sólidos solubles se encuentran asociada con los azúcares disueltos en el jugo celular la cantidad

de azúcares en el fruto depende principalmente de la variedad, del rendimiento asimilatorio de las hojas, de la relación hoja/fruto, de las condiciones climáticas durante el desarrollo del fruto, del estado de desarrollo y de la madurez (Pinzón, Fischer, & Corredor, 2007).

5.6. Índice de madurez en frutos frescos y liofilizados de la tuna morada, anaranjada y blanca

En la Tabla 19 se observan los resultados del índice de madurez en estado fresco y liofilizado de las tres variedades de tuna, se observó que la variedad Morada no presenta diferencia significativa ($p\text{-valué} > 0.05$), respectivamente en la tuna anaranjada y blanca muestran diferencia significativa ($p\text{-valué} < 0.05$, evaluado a través del ANVA, Anexo 16), observando que la tuna fresca tiene mayor índice de madurez en las tres variedades.

Tabla 19: Índice de madurez en frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna

Variedad	Estado	\bar{x}	\pm	S	CV	p-valué*
Morada	Fresco	158.97	\pm	13.34	8.39	0.40
	Liofilizado	149.52	\pm	11.53	7.71	
Anaranjada	Fresco	222.74	\pm	19.08	8.57	0.04
	Liofilizado	177.81	\pm	20.4	11.47	
Blanca	Fresco	216.95	\pm	0.48	0.22	0.01
	Liofilizado	167.31	\pm	11.22	6.71	

Donde \bar{x} es la media, S es la desviación estándar y CV es el coeficiente de variación. Evaluado a través de la prueba T de Student al 5% de significancia.

Según Coavoy (2015) reporto valores de índice de madurez de la tuna de 182.86 ± 8.96 este valor es inferior para la tuna anaranjada y blanca en estado fresco mientras que el estado liofilizado se encuentra superior y la tuna morada en estado fresco y liofilizado se encuentra inferior al encontrado. (Mostacero, 2018), reporto valores que oscilan de 171.3 a 252.9 estos valores son similares como en estado fresco y liofilizado de la tuna anaranjada y blanca ya que en la tuna morada en estado fresco y liofilizado se encuentra inferior al reportado. La madurez del fruto varia con la planta y el cladodio productivo, debido principalmente la diferencia en tiempo desde la formación de la yema floral, el desarrollo y la floración. (Meza, 2014) reporto

valores de 171.42 este valor es similar a los frutos en estado liofilizado de las tres variedades de tuna y en muestra fresca de la tuna morada encontrado en la presente investigación.

5.7. Índice de color de frutos frescos y liofilizados de las tres variedades de tuna morada, anaranjada y blanca

En la Tabla 20 se observan los resultados del índice de color en estado fresco y liofilizado de las tres variedades de tuna, se observó que la variedad Morada y Blanca en estado fresco y liofilizado no presenta diferencia significativa ($p\text{-value} > 0.05$), respectivamente en la tuna anaranjada presenta diferencia significativa entre el estado fresco y liofilizado ($p\text{-value} < 0.05$, evaluado a través del ANVA, Anexo 17)

Tabla 20: Índice de color de frutos frescos y liofilizados

Variedad	Estado	\bar{x}	\pm	S	CV	p-value*
Morada	Fresco	209.80	\pm	1.49	0.71	0.40
	Liofilizado	202.20	\pm	14.21	7.03	
Anaranjada	Fresco	16.44	\pm	1.59	9.68	9.34×10^{-5}
	Liofilizado	1.90	\pm	0.06	3.07	
Blanca	Fresco	-13.37	\pm	0.15	-1.12	0.06
	Liofilizado	-14.31	\pm	0.61	-4.28	

Donde \bar{x} es la media, S es la desviación estándar y CV es el coeficiente de variación. Evaluado a través de la prueba T de Student al 5% de significancia

Según Aquino et. al. (2012) obtuvo valores de índice de color la tuna morada de 27.18 ± 0.34 este valor se aproxima a la tuna morada en estado fresco y liofilizado del índice de color en la tuna morada en donde indica que el índice de color es positivo (+20 a +40), y se relaciona con los valores que van desde el naranja intenso al rojo profundo, en la tuna anaranjada obtuvo índice de color de 7.14 ± 0.44 en el estudio realizado son similares con el fruto fresco que obtuvo un valor de 16.44 que estos valores van desde el amarillo pálido al naranja intenso mientras en el fruto liofilizado obtuvo un valor de 1.90 que representa amarillo verdoso estos

valores se debe a la velocidad de congelación afecta a la luminosidad de las muestras liofilizadas.

Moya, (2018) en la tuna blanca obtuvo valores de índice de color que es de 19.16 ± 0.9 este valor es diferente al estudio realizado porque en la tuna blanca en estado fresco y liofilizado donde se obtuvo valores de -13.37 a -14.37 en donde se relaciona con los colores que van del verde profundo al verde amarillento

5.8. Capacidad antioxidante en frutos frescos y liofilizados de tuna morada, anaranjada y blanca

En la Tabla 21 se observan los resultados de la capacidad antioxidante en estado fresco y liofilizado de las tres variedades de tuna, se observa que hay diferencia significativa (p-valué < 0.05), respectivamente entre la variedad de la tuna Morada, Anaranjada, y Blanca se observa que no muestran diferencia significativa (p-valué > 0.05 , evaluado a través del ANVA, Anexo 18)

Tabla 21: Capacidad antioxidante en frutos frescos y liofilizados de tres variedades

Variedad	Estado	\bar{x}	\pm	S	CV	p-valué*
Morada	Fresco	1.62	\pm	0.1	6.07	1.47×10^{-5}
	Liofilizado	3.05	\pm	0.01	0.19	
Anaranjada	Fresco	1.11	\pm	0.07	6.24	7.67×10^{-7}
	Liofilizado	3.25	\pm	0.01	0.36	
Blanca	Fresco	0.98	\pm	0.27	27.1	0.00
	Liofilizado	3.41	\pm	0.08	2.37	

Donde \bar{x} es la media, S es la desviación estándar y CV es el coeficiente de variación. Evaluado a través de la prueba T de Student al 5% de significancia

Apaza, (2017), encontró valores de capacidad antioxidante que oscilan de 0.8 a 2.02 ($\mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$ de muestra) estos valores son similares a los encontrados en estado fresco. (Manzur, 2017) reporto valores de $719.86 \mu\text{mol}$ de trolox/100gramos de muestra en la cascara

de la tuna y estos valores no son iguales en la pulpa de la tuna en estado fresco y liofilizado mientras que (Norshahida, et al., 2011) en su investigación de efectos de la liofilización sobre los compuestos antioxidantes y la actividad antioxidante de cinco frutas tropicales en donde el proceso de liofilización no ejerció ningún efecto entre las frutas frescas mientras que en la investigación realizada hubo efecto significativo referente al estado fresco de las tres variedades de tuna.

Según (Allan, 2017) la capacidad antioxidante de los arándanos liofilizados es significativamente mayor que el de los arándanos frescos en donde esta afirmación es igual en la presente investigación en donde se demuestra que el fruto liofilizado tiene mayor capacidad antioxidante que los frutos frescos.

La capacidad antioxidante está relacionada con el estado de madurez de la fruta si el estado de madurez aumenta, sus compuestos bioactivos (contenido de ácido ascórbico, compuestos fenólicos y ca) aumentan, obteniéndose una mayor capacidad antioxidante. Las variaciones son atribuidas al estado de madurez, lugar de procedencia del fruto. Las diferencias entre estado fresco y liofilizado, se deben a los factores tales como los parámetros de concentración de la pulpa, velocidad de congelación (Huachuilla, 2017).

5.9. Fenoles totales en frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna morada, anaranjada y blanca.

En la Tabla 22 se observan los resultados del contenido compuestos fenólicos totales en estado fresco y liofilizado de las tres variedades de tuna, se observó que la variedad Morada en estado fresco y liofilizado no muestran diferencia significativa (p -valué >0.05), respectivamente en la tuna anaranjada y blanca en estado fresco y liofilizado muestran diferencia significativa (p -valué < 0.05), en las variedades de la tuna morada anaranjada y blanca no hay diferencia significativa (p -valué >0.05 evaluado a través del ANVA, Anexo 19)

Tabla 22: Fenoles totales en frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna

Variedad	Estado	\bar{x}	\pm	S	CV	p-valué*
Morada	Fresco	1221.33	\pm	1.26	0.1	0.06
	Liofilizado	1247.91	\pm	17.58	1.41	
Anaranjada	Fresco	1163.3	\pm	13.19	1.13	3.01×10^{-5}
	Liofilizado	1323.67	\pm	0.61	0.05	
Blanca	Fresco	1026.74	\pm	4.38	0.43	8.99×10^{-6}
	Liofilizado	1320.58	\pm	17.3	1.31	

Donde \bar{x} es la media, S es la desviación estándar y CV es el coeficiente de variación. Evaluado a través de la prueba T de Student al 5% de significancia

Según Meza (2014) mostro valores de fenoles totales de 159.67 mg de ácido gálico/100 g de muestra de tuna anaranjada, los valores encontrados en la tuna de morada, anaranjada y blanca son mayores que oscila desde 1163.30 a 1323.67, asimismo (Ramos et. al. 2015) reporto que los compuestos fenólicos en las variedades verdes, amarillas, anaranjadas y en algunas rojas en la etapa de inmadurez hortícola (IH), y la variedad Alteña Blanca fue la que presentó la mayor concentración 153.1 a 165.5 mg EAG 100 g estos valores son menores a los encontrados, la variación del contenido de los compuestos fenólicos se debe las variantes genéticas entre especies y cultivares, así como a las condiciones de cultivo.

Según (Allan, 2017) el contenido fenólico de los arándanos liofilizados es significativamente mayor que el de los arándanos frescos en donde esta afirmación es igual en la presente investigación en donde se demuestra que el fruto liofilizado tiene mayores compuestos fenólicos que los frutos frescos.

5.10. Vitamina C en frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna morada, anaranjada y blanca.

En la Tabla 23 se observan los resultados del contenido de vitamina C en estado fresco y liofilizado de las tres variedades de tuna, se observó que la variedad Anaranjada en estado liofilizado presento mayor contenido de vitamina C, mientras que el fruto fresco reportó contenido de vitamina C para la variedad Morada, Anaranjada, y Blanca de 30.14, 39.29 , y 27.01 mg AA/100 g b.s. respectivamente, observándose que muestran diferencia significativa (p-value < 0.05, evaluado a través del ANVA, Anexo 20)

Tabla 23: Vitamina C en frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna

Variedad	Estado	\bar{x}	\pm	S	CV	p-valué*
Morada	Fresco	30.14	\pm	0.6	1.98	4.49×10^{-6}
	Liofilizado	50.01	\pm	0.82	1.64	
Anaranjada	Fresco	39.29	\pm	0.45	1.15	3.25×10^{-5}
	Liofilizado	52.33	\pm	1.00	1.91	
Blanca	Fresco	27.51	\pm	0.87	3.18	6.76×10^{-6}
	Liofilizado	47.01	\pm	0.67	1.43	

Donde \bar{x} es la media, S es la desviación estándar y CV es el coeficiente de variación. Evaluado a través de la prueba T de Student al 5% de significancia

Según Jorge & Troncoso (2016) determino la vitamina C del fruto fresco del ayrampo y tuna estudiada en su investigación fue de $36,1 \pm 1,7$ y $49,9 \pm 6,3$. Asimismo (Valderrama, 2019) reporto valores que oscilan 31.08 ± 0.72 mg de AA/100 g estos valores es similar a los resultados comparados de la vitamina C de la tuna en estado fresco. La vitamina C se debe a la temperatura de almacenamiento porque a bajas temperaturas (5 °C y 10 °C), retrasan la disminución en el contenido de ácido ascórbico (Sáenz, 2006).

Según Bernal & Tunqui (2020) determino la vitamina C en el extracto de los frutos liofilizados de la tuna roja, naranja y verde estudiadas en su investigación, que expresaron en mg AAE/100 g de fruto liofilizado, obteniendo como resultado de 31.25 mg AAE /100 g de fruto liofilizado

para tuna roja, 28.75 mg AAE /100 g de fruto liofilizado para la tuna naranja y 23.75 mg AAE/100g de fruto liofilizado para la tuna verde, estos valores son menores a los encontrados en la presente investigación.

Según (Allan, 2017) la vitamina C en arándanos liofilizados es significativamente mayor que el de los arándanos frescos en donde esta afirmación es igual en la presente investigación en donde se demuestra que el fruto liofilizado tiene mayor capacidad antioxidante que los frutos frescos.

La vitamina C en estado fresco y liofilizado influye significativamente, se puede decir que la liofilización es un método de deshidratación que no altera el contenido vitamínico en la tuna en estado liofilizado teniendo en cuenta que el AA que es una vitamina termolábil; también se puede decir que la degradación de la vitamina C en muestras pulpeadas se debe en gran parte a la oxidación que se presenta por la incorporación de aire durante el despulpado en estado fresco (Castañeda, Arteaga, Siche, & Rodriguez, 2010)

5.11. Correlación de variables de la tuna morada, blanca y anaranjada

5.11.1. Correlación de variables de la tuna morada

Tabla 24: Correlación de variables del fruto de tuna morada

	Humedad %	% de Acidez	pH	° Brix	Índice de madurez	IC	C. Antioxidante	C. fenólicos
% de Acidez	-0.325							
Ph	-1	0.326						
° Brix	0.513	0.511	-0.51					
I. madurez	0.413	-0.993	-0.414	-0.408				
IC	0.418	-0.583	-0.418	-0.359	0.569			
C. Antioxidante	-0.996	0.383	0.995	-0.497	-0.473	-0.411		
C. fenólicos	-0.794	0.689	0.797	0.104	-0.716	-0.692	0.793	
Vitamina C	-0.998	0.303	0.999	-0.544	-0.393	-0.378	0.995	0.773

- Porcentaje de acidez y el porcentaje de humedad hay una débil correlación negativa (-0.325) esto quiere decir que, si aumenta el porcentaje de humedad, el porcentaje de acidez disminuye.
- pH y porcentaje de humedad hay una correlación negativa perfecta (-1) esto quiere decir que si aumenta el porcentaje de humedad el pH disminuye.
- pH y porcentaje de acidez hay una débil correlación positiva (0.326), esto nos quiere decir que si aumenta pH el porcentaje de acidez aumentan mínimamente.
- Sólidos solubles (°brix) y porcentaje de humedad hay una fuerte correlación positiva (0.513) esto quiere decir que si aumenta los sólidos solubles (°brix) el porcentaje de humedad aumenta
- Sólidos solubles (°brix) y porcentaje de acidez hay una fuerte correlación positiva (0.511) esto quiere decir que si aumenta los sólidos solubles (°brix) el porcentaje de acidez aumenta.
- Sólidos solubles (°brix) y pH hay una débil correlación negativa (-0.51) esto quiere decir que si aumenta los sólidos solubles (°brix) el pH disminuye minimamente.

- Índice de madurez y porcentaje de humedad hay una débil correlación positiva (0.413), esto nos quiere decir que si aumenta el índice de madurez el porcentaje de humedad aumentan mínimamente.
- Índice de madurez y porcentaje de acidez hay una fuerte correlación negativa (-0.993) esto quiere decir que si aumenta el índice de madurez el porcentaje de humedad disminuye.
- Índice de madurez y pH hay una débil correlación negativa (-0.414) esto quiere decir que, si aumenta el índice de madurez, el pH disminuye.
- Índice de madurez y sólidos solubles (°brix) hay una débil correlación negativa (-0.408) esto quiere decir que, si aumenta el índice de madurez, los sólidos solubles disminuyen.
- Índice de color (IC) y porcentaje de humedad hay una débil correlación positiva (0.418), esto nos quiere decir que si aumenta el índice de color el porcentaje de humedad aumentan mínimamente.
- Índice de color (IC) y porcentaje de acidez hay una débil correlación negativa (-0.583) esto quiere decir que, si aumenta el índice de madurez, el porcentaje de acidez disminuye.
- Índice de color (IC) y pH hay una débil correlación negativa (-0.418) esto quiere decir que, si aumenta el índice de color, el pH disminuye.
- Índice de color (IC) y sólidos solubles hay una débil correlación negativa (-0.359) esto quiere decir que, si aumenta el índice de color, los sólidos solubles disminuyen.
- Índice de color (IC) e índice de madurez hay una fuerte correlación positiva (0.569), esto nos quiere decir que si aumenta el índice de color el índice de madurez aumenta.
- Capacidad antioxidante y porcentaje de humedad hay una fuerte correlación negativa (-0.996) esto quiere decir que si aumenta la capacidad antioxidante el porcentaje de humedad disminuye.

- Capacidad antioxidante y porcentaje de acidez hay una débil correlación positiva (0.383), esto nos quiere decir que si aumenta la capacidad antioxidante el porcentaje de acidez aumentan mínimamente.
- Capacidad antioxidante y pH hay una fuerte correlación positiva (0.995), esto nos quiere decir que si aumenta la capacidad antioxidante el pH aumenta.
- Capacidad antioxidante y solidos solubles hay una débil correlación negativa (-0.497) esto quiere decir que, si aumenta la capacidad antioxidante los sólidos solubles disminuye
- Capacidad antioxidante e índice de madurez hay una débil correlación negativa (-0.473) esto quiere decir que, si aumenta la capacidad antioxidante, el índice de madurez disminuye.
- Capacidad antioxidante e índice de color hay una débil correlación negativa (-0.411) esto quiere decir que, si aumenta la capacidad antioxidante, el índice de color disminuye.
- Compuestos fenólicos totales y porcentaje de humedad hay una fuerte correlación negativa (-0.794) esto quiere decir que si aumenta los compuestos fenólicos el porcentaje de humedad disminuye.
- Compuestos fenólicos y porcentaje de acidez hay una fuerte correlación positiva (0.689), esto nos quiere decir que si aumenta los compuestos fenólicos el porcentaje de acidez aumentan.
- Compuestos fenólicos y pH hay una fuerte correlación positiva (0.797), esto nos quiere decir que si aumenta los compuestos fenólicos el pH aumenta.
- Compuestos fenólicos y solidos solubles hay una débil correlación positiva (0.114) esto quiere decir que, si aumenta los compuestos fenólicos los sólidos solubles aumentan mininamente.

- Compuestos fenólicos e índice de madurez hay una débil correlación negativa (-0.716) esto quiere decir que, si aumenta la compuestos fenolicos, el índice de madurez disminuye.
- Compuestos fenólicos e índice de color hay una débil correlación negativa (-0.692) esto quiere decir que, si aumenta los compuestos fenólicos, el índice de color disminuye.
- Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante hay una fuerte correlación positiva (0.793) esto quiere decir que, si aumenta los compuestos fenólicos, la capacidad antioxidante aumenta.
- Vitamina C y porcentaje de humedad hay una fuerte correlación negativa (-0.998) esto quiere decir que si aumenta la vitamina C el porcentaje de humedad disminuye.
- Vitamina C y porcentaje de acidez hay una débil correlación positiva (0.303), esto nos quiere decir que si aumenta la vitamina C el porcentaje de acidez aumentan mínimamente.
- Vitamina C y pH hay una fuerte correlación positiva (0.999), esto nos quiere decir que si aumenta la vitamina C el pH aumenta.
- Vitamina C y solidos solubles hay una débil correlación negativa (-0.544) esto quiere decir que, si aumenta la vitamina C los sólidos solubles disminuye.
- Vitamina C e índice de madurez hay una débil correlación negativa (-0.393) esto quiere decir que, si aumenta la vitamina C el índice de madurez disminuye.
- Vitamina C e índice de color hay una débil correlación negativa (-0.378) esto quiere decir que, si aumenta la vitamina C, el índice de color disminuye.
- Vitamina C y capacidad antioxidante hay una fuerte correlación positiva (0.995) esto quiere decir que, si aumenta la vitamina C, la capacidad antioxidante aumenta.
- Vitamina C y compuestos fenólicos hay una fuerte correlación positiva (0.773) esto quiere decir que, si aumenta la vitamina C, los compuestos fenólicos aumenta.

5.11.2. Correlaciones de la tuna anaranjada

Tabla 25: Correlación de variables de tuna anaranjada fresca y liofiliza

	%Humedad	% de Acidez	pH	° Brix	Índice de madurez	IC	C. antioxidante	C. fenólicos
% de Acidez	-0.896							
pH	-0.997	0.908						
° Brix	-0.999	0.884	0.995					
I. de madurez	0.815	-0.98	-0.84	-0.802				
Índice I de color	0.991	-0.897	-0.989	-0.994	0.824			
C. antioxidante	-1	0.9	0.998	0.998	-0.822	-0.989		
C. fenólicos	-0.994	0.88	0.986	0.995	-0.789	-0.995	0.991	
Vitamina C	-0.995	0.928	0.993	0.992	-0.853	-0.992	0.994	0.993

- Porcentaje de acidez y el porcentaje de humedad hay una fuerte correlación negativa (-0.896) esto quiere decir que, si aumenta el porcentaje de humedad, el porcentaje de acidez disminuye.
- pH y porcentaje de humedad hay una fuerte correlación negativa (-0.997) esto quiere decir que si aumenta el porcentaje de humedad el pH disminuye.
- pH y porcentaje de acidez hay una fuerte correlación positiva (0.908), esto nos quiere decir que si aumenta pH el porcentaje de acidez aumentan.
- Sólidos solubles (°brix) y porcentaje de humedad hay una fuerte correlación negativa (-0.997) esto quiere decir que si aumenta los sólidos solubles (°brix) el porcentaje de humedad disminuye.
- Sólidos solubles (°brix) y porcentaje de acidez hay una fuerte correlación positiva (0.884) esto quiere decir que si aumenta los sólidos solubles (°brix) el porcentaje de acidez aumenta.
- Sólidos solubles (°brix) y pH hay una fuerte correlación positiva (0.995) esto quiere decir que si aumenta los sólidos solubles (°brix) el pH aumenta.

- Índice de madurez y porcentaje de humedad hay una fuerte correlación positiva (0.815), esto nos quiere decir que si aumenta el índice de madurez el porcentaje de humedad aumentan.
- Índice de madurez y porcentaje de acidez hay una fuerte correlación negativa (-0.98) esto quiere decir que si aumenta el índice de madurez el porcentaje de humedad disminuye.
- Índice de madurez y pH hay una fuerte correlación negativa (-0.84) esto quiere decir que, si aumenta el índice de madurez, el pH disminuye.
- Índice de madurez y sólidos solubles (°brix) hay una fuerte correlación negativa (-0.802) esto quiere decir que, si aumenta el índice de madurez, los sólidos solubles disminuyen.
- Índice de color (IC) y porcentaje de humedad hay una fuerte correlación positiva (0.991), esto nos quiere decir que si aumenta el índice de color el porcentaje de humedad aumentan.
- Índice de color (IC) y porcentaje de acidez hay una fuerte correlación negativa (-0.897) esto quiere decir que, si aumenta el índice de madurez, el porcentaje de acidez disminuye.
- Índice de color (IC) y pH hay una fuerte correlación negativa (-0.989) esto quiere decir que, si aumenta el índice de color, el pH disminuye.
- Índice de color (IC) y sólidos solubles hay una fuerte correlación negativa (-0.994) esto quiere decir que, si aumenta el índice de color, los sólidos solubles disminuyen.
- Índice de color (IC) e índice de madurez hay una fuerte correlación positiva (0.824), esto nos quiere decir que si aumenta el índice de color el índice de madurez aumenta.

- Capacidad antioxidante y porcentaje de humedad hay perfecta correlación negativa (-1) esto quiere decir que si aumenta la capacidad antioxidante el porcentaje de humedad disminuye.
- Capacidad antioxidante y porcentaje de acidez hay una fuerte correlación positiva (0.9), esto nos quiere decir que si aumenta la capacidad antioxidante el porcentaje de acidez aumentan.
- Capacidad antioxidante y pH hay una fuerte correlación positiva (0.998), esto nos quiere decir que si aumenta la capacidad antioxidante el pH aumenta.
- Capacidad antioxidante y solidos solubles hay una fuerte correlación positiva (0.998) esto quiere decir que, si aumenta la capacidad antioxidante los sólidos solubles aumentan.
- Capacidad antioxidante e índice de madurez hay una fuerte correlación negativa (-0.822) esto quiere decir que, si aumenta la capacidad antioxidante, el índice de madurez disminuye.
- Capacidad antioxidante e índice de color hay una fuerte correlación negativa (-0.989) esto quiere decir que, si aumenta la capacidad antioxidante, el índice de color disminuye.
- Compuestos fenólicos totales y porcentaje de humedad hay una fuerte correlación negativa (-0.994) esto quiere decir que si aumenta los compuestos fenólicos el porcentaje de humedad disminuye.
- Compuestos fenólicos y porcentaje de acidez hay una fuerte correlación positiva (0.88), esto nos quiere decir que si aumenta los compuestos fenólicos el porcentaje de acidez aumentan.
- Compuestos fenólicos y pH hay una fuerte correlación positiva (0.986), esto nos quiere decir que si aumenta los compuestos fenólicos el pH aumenta.

- Compuestos fenólicos y sólidos solubles hay una fuerte correlación positiva (0.995) esto quiere decir que, si aumenta los compuestos fenólicos los sólidos solubles aumentan.
- Compuestos fenólicos e índice de madurez hay una débil correlación negativa (-0.789) esto quiere decir que, si aumenta los compuestos fenólicos, el índice de madurez disminuye.
- Compuestos fenólicos e índice de color hay una débil correlación negativa (-0.995) esto quiere decir que, si aumenta los compuestos fenólicos, el índice de color disminuye.
- Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante hay una fuerte correlación positiva (0.991) esto quiere decir que, si aumenta los compuestos fenólicos, la capacidad antioxidante aumenta.
- Vitamina C y porcentaje de humedad hay una fuerte correlación negativa (-0.995) esto quiere decir que si aumenta la vitamina C el porcentaje de humedad disminuye.
- Vitamina C y porcentaje de acidez hay una fuerte correlación positiva (0.928), esto nos quiere decir que si aumenta la vitamina C el porcentaje de acidez aumentan.
- Vitamina C y pH hay una fuerte correlación positiva (0.993), esto nos quiere decir que si aumenta la vitamina C el pH aumenta.
- Vitamina C y sólidos solubles hay una fuerte correlación positiva (0.992) esto quiere decir que, si aumenta la vitamina C los sólidos solubles aumentan.
- Vitamina C e índice de madurez hay una fuerte correlación negativa (-0.853) esto quiere decir que, si aumenta la vitamina C el índice de madurez disminuye.
- Vitamina C e índice de color hay una fuerte correlación negativa (-0.992) esto quiere decir que, si aumenta la vitamina C, el índice de color disminuye.
- Vitamina C y capacidad antioxidante hay una fuerte correlación positiva (0.994) esto quiere decir que, si aumenta la vitamina C, la capacidad antioxidante aumenta.

- Vitamina C y compuestos fenólicos hay una fuerte correlación positiva (0.993) esto quiere decir que, si aumenta la vitamina C, los compuestos fenólicos aumenta.

5.11.3. Correlaciones de la tuna blanca

Tabla 26: Correlación entre variables de la tuna blanca

	%Humedad	% de Acidez	pH	° Brix	Índice de madurez	IC antioxidante	C. fenólicos	C. s
% de Acidez	-0.962							
pH	-1	0.964						
° Brix	-0.99	0.953	0.992					
I. de madurez	0.968	-0.999	-0.969	-0.955				
Índice de color	0.794	-0.84	-0.798	-0.851	0.824			
C. antioxidante	-0.99	0.964	0.992	0.985	-0.968	-0.778		
C. fenólicos	-0.998	0.941	0.997	0.988	-0.948	-0.772	0.984	
Vitamina C	-0.997	0.949	0.998	0.991	-0.955	-0.777	0.994	0.997

- Porcentaje de acidez y el porcentaje de humedad hay una fuerte correlación negativa (-0.962) esto quiere decir que, si aumenta el porcentaje de humedad, el porcentaje de acidez disminuye.
- pH y porcentaje de humedad hay una perfecta correlación negativa (-1) esto quiere decir que si aumenta el porcentaje de humedad el pH disminuye.
- pH y porcentaje de acidez hay una fuerte correlación positiva (0.964), esto nos quiere decir que si aumenta pH el porcentaje de acidez aumentan.
- Sólidos solubles (°brix) y porcentaje de humedad hay una fuerte correlación negativa (-0.99) esto quiere decir que si aumenta los sólidos solubles (°brix) el porcentaje de humedad disminuye.
- Sólidos solubles (°brix) y porcentaje de acidez hay una fuerte correlación positiva (0.953) esto quiere decir que si aumenta los sólidos solubles (°brix) el porcentaje de acidez aumenta.
- Sólidos solubles (°brix) y pH hay una fuerte correlación positiva (0.992) esto quiere decir que si aumenta los sólidos solubles (°brix) el pH aumenta.

- Índice de madurez y porcentaje de humedad hay una fuerte correlación positiva (0.968), esto nos quiere decir que si aumenta el índice de madurez el porcentaje de humedad aumentan.
- Índice de madurez y porcentaje de acidez hay una fuerte correlación negativa (-0.999) esto quiere decir que si aumenta el índice de madurez el porcentaje de humedad disminuye.
- Índice de madurez y pH hay una fuerte correlación negativa (-0.969) esto quiere decir que, si aumenta el índice de madurez, el pH disminuye.
- Índice de madurez y sólidos solubles (°brix) hay una fuerte correlación negativa (-0.955) esto quiere decir que, si aumenta el índice de madurez, los sólidos solubles disminuyen.
- Índice de color (IC) y porcentaje de humedad hay una fuerte correlación positiva (0.794), esto nos quiere decir que si aumenta el índice de color el porcentaje de humedad aumentan.
- Índice de color (IC) y porcentaje de acidez hay una fuerte correlación negativa (-0.84) esto quiere decir que, si aumenta el índice de madurez, el porcentaje de acidez disminuye.
- Índice de color (IC) y pH hay una fuerte correlación negativa (-0.798) esto quiere decir que, si aumenta el índice de color, el pH disminuye.
- Índice de color (IC) y sólidos solubles hay una fuerte correlación negativa (-0.851) esto quiere decir que, si aumenta el índice de color, los sólidos solubles disminuyen.
- Índice de color (IC) e índice de madurez hay una fuerte correlación positiva (0.824), esto nos quiere decir que si aumenta el índice de color el índice de madurez aumenta.

- Capacidad antioxidante y porcentaje de humedad hay fuerte correlación negativa (-0.99) esto quiere decir que si aumenta la capacidad antioxidante el porcentaje de humedad disminuye.
- Capacidad antioxidante y porcentaje de acidez hay una fuerte correlación positiva (0.964), esto nos quiere decir que si aumenta la capacidad antioxidante el porcentaje de acidez aumentan.
- Capacidad antioxidante y pH hay una fuerte correlación positiva (0.992), esto nos quiere decir que si aumenta la capacidad antioxidante el pH aumenta.
- Capacidad antioxidante y sólidos solubles hay una fuerte correlación positiva (0.985) esto quiere decir que, si aumenta la capacidad antioxidante los sólidos solubles aumentan.
- Capacidad antioxidante e índice de madurez hay una fuerte correlación negativa (-0.968) esto quiere decir que, si aumenta la capacidad antioxidante, el índice de madurez disminuye.
- Capacidad antioxidante e índice de color hay una fuerte correlación negativa (-0.778) esto quiere decir que, si aumenta la capacidad antioxidante, el índice de color disminuye.
- Compuestos fenólicos totales y porcentaje de humedad hay una fuerte correlación negativa (-0.998) esto quiere decir que si aumenta los compuestos fenólicos el porcentaje de humedad disminuye.
- Compuestos fenólicos y porcentaje de acidez hay una fuerte correlación positiva (0.941), esto nos quiere decir que si aumenta los compuestos fenólicos el porcentaje de acidez aumentan.
- Compuestos fenólicos y pH hay una fuerte correlación positiva (0.997), esto nos quiere decir que si aumenta los compuestos fenólicos el pH aumenta.

- Compuestos fenólicos y sólidos solubles hay una fuerte correlación positiva (0.988) esto quiere decir que, si aumenta los compuestos fenólicos los sólidos solubles aumentan.
- Compuestos fenólicos e índice de madurez hay una débil correlación negativa (-0.948) esto quiere decir que, si aumenta los compuestos fenólicos, el índice de madurez disminuye.
- Compuestos fenólicos e índice de color hay una fuerte correlación negativa (-0.772) esto quiere decir que, si aumenta los compuestos fenólicos, el índice de color disminuye.
- Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante hay una fuerte correlación positiva (0.984) esto quiere decir que, si aumenta los compuestos fenólicos, la capacidad antioxidante aumenta.
- Vitamina C y porcentaje de humedad hay una fuerte correlación negativa (-0.997) esto quiere decir que si aumenta la vitamina C el porcentaje de humedad disminuye.
- Vitamina C y porcentaje de acidez hay una fuerte correlación positiva (0.949), esto nos quiere decir que si aumenta la vitamina C el porcentaje de acidez aumentan.
- Vitamina C y pH hay una fuerte correlación positiva (0.998), esto nos quiere decir que si aumenta la vitamina C el pH aumenta.
- Vitamina C y sólidos solubles hay una fuerte correlación positiva (0.991) esto quiere decir que, si aumenta la vitamina C los sólidos solubles aumentan.
- Vitamina C e índice de madurez hay una fuerte correlación negativa (-0.955) esto quiere decir que, si aumenta la vitamina C el índice de madurez disminuye.
- Vitamina C e índice de color hay una fuerte correlación negativa (-0.777) esto quiere decir que, si aumenta la vitamina C, el índice de color disminuye.

- Vitamina C y capacidad antioxidante hay una fuerte correlación positiva (0.994) esto quiere decir que, si aumenta la vitamina C, la capacidad antioxidante aumenta.
- Vitamina C y compuestos fenólicos hay una fuerte correlación positiva (0.997) esto quiere decir que, si aumenta la vitamina C, los compuestos fenólicos aumenta.

CONCLUSIONES

Al determinar las propiedades fisicoquímicas de tuna fresca y liofilizada de las variedades morada, anaranjada y blanca, se puede ver que existen diferencia significativa en cuanto a las propiedades evaluadas, puesto que más de una propiedad tubo diferencias estadísticas con un nivel de significancia (valor $-p < 5\%$).

Los resultados demuestran una tendencia estadísticamente relevante de mayor nivel de capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C en fruto de tuna liofilizada.

- Las propiedades fisicoquímicas (porcentaje de humedad, acidez, pH, solidos solubles, índice de madurez e índice de color) influyen significativa en estado liofilizado en las tres variedades de tuna.
- La capacidad antioxidante incremento considerablemente referente al fruto fresco en las tres variedades de tuna.
- El contenido de fenoles totales en el fruto fresco y liofilizado de la tuna morada no se observó un cambio significativo ($p > 0,05$) mientras en las dos variedades (anaranjada y blanca) presenta efecto significativo ($p < 0,05$)
- La vitamina C en el producto liofilizado incremento considerablemente referente al fruto fresco de las tres variedades de tuna.

RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio para identificar y cuantificar la mayor cantidad de compuestos fenólicos totales presentes en la tuna fresca y liofilizada por la metodología HPLC.
- Evaluar la capacidad antioxidante mediante otros métodos: ORAC, FRAP; así como también mediante técnicas in vitro; con el fin de tener un estudio más detallado de esta capacidad en la tuna en fresca y liofilizada.
- Estudiar otras partes del fruto como la cáscara, porque ahí se visualiza una coloración intensa, y de esta forma aprovechar los residuos de este fruto y así minimizar la contaminación ambiental.
- Analizar que sucede con la capacidad antioxidante en diferentes tiempos de almacenamiento en tuna fresca y liofilizada.
- Evaluar la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C en un producto elaborado de la tuna.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Agudo, L. (2010). Técnicas para la determinación de compuestos antioxidante en alimentos.

ISSN: 1989-9041 autodidacta.

Allan, S. a. (2017). Determination of vitamin C and total phenolic in fresh and freeze dried blueberries and the antioxidant capacity of their extracts. *Integr Food Nutr Metab*, 1-5.

Álvarez, N., & Bague, A. (2011). *Los alimentos funcionales, una oportunidad para una mejor salud* (1ra edición ed.). Madrid- España.

Amaya, R. J. (2009). Revaloración de cultivos nativos a la economía de pequeños y mediano agricultores. *El cultivo de Tuna Opuntia ficus indica. Gerencia Regional Agraria La Libertad*, (pág. 18). Trujillo-Perú.

AOAC. (1995). *Oficial Methods of Análisis*. Asociación of Oficial an. Washington Va, U.S.A. : (16 th Ed).

AOAC. (2000). Official Methods of Analysis. *Association of Official Analytical Chemists*.

AOAC. (2003). *Métodos de análisis de la asociación oficial de química analítica para determinar humedad, fibra, cenizas, grasa y proteína*. Washington, U.S.A.

Apaza, A. (2017). Influencia de parámetros fisicoquímicos en la extracción de pigmentos de ayrampo (opuntia soehrensii b.), sobre el contenido de fenoles totales, betacianinas totales y capacidad antioxidante. *Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional de Moquegua, Moquegua – Perú.

Aquino, Chavarría, Guzmán, & Silva, V. (2012). Caracterización fisicoquímica de siete variedades de tuna (Opuntia spp.) color rojo-violeta y estabilidad del pigmento de las dos variedades con mayor concentración. *redalyc. org*, 3-8.

- Armenteros, A., Martínez, N., Domínguez, A., & Morales, E. (2012). Empleo de antioxidantes naturales en productos cárnicos. *Eurocarne*, (207): 63 – 73.
- Ayala, A. S. (2010). Liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Revista de la facultad farmacéutica*,, 121-127.
- Ayala, A., Serna, L., & Mosquera, E. (2010). Liofilizacion de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *VITAE*, 121-127.
- Balsano, C., & Alisi, A. (2018). Antioxidant effects of natural bioactive compounds. *Curr Pharm Des*, 15(26):3063-73.
- Barco, M., & Miranda, D. (2018). Torta desgrasada de semillas de tre variedades de uva (*Vitis Vinifera*), como fuente de antioxidantes fenólicos. *Tesis de Pregardo*. Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote – Perú.
- Beer, D., Joubert, E., Gelderblom, W., & Manley, M. (2003). Antioxidant activity of South African red and white cultivar wines. *free radical scavenging. Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(4), 902-909.
- Bernal, C., & Tunqui, M. (2020). Capacidad antioxidante del extracto de los frutos liofilizados de la opuntia ficus-indica “tuna roja, naranja y verde”. *Tesis de Pregrado*. Universidad Católica de Santa María de Arequipa, Arequipa-Perú.
- Brand-Williams. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Sci Technol*, 20: 25-30.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M., & Berset, C. (1997). Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *Lebensm. Wiss. U. Technol*.

- Caisahuana, M. (2012). Evaluación de vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante en dos estados de madurez del camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. Mc Vaugh) de Mazamari – Satipo. *Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Satipo -Perú.
- Cárdenas, K. (2016). Estudio químico bromatológico, compuestos bioactivos, y evaluación de la capacidad antioxidante de *Cynara scolymus* “alcachofa” procedente de Huaral. *Tesis de pregrado*. UNMSM, Lima-Perú.
- Carpio, E., & Figueroa, T. (2017). “Efecto de la adición de goma arábica y maltodextrina en el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante en extracto de sancayo (*Corryocactus brevistylus*) liofilizado. *Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa.
- Castañeda, J., Arteaga, H., Siche, R., & Rodríguez, G. (2010). Estudio comparativo de la pérdida de vitamina C en chalarina (*Casimiroa edulis*) por cuatro métodos. *Redalyc.Org*, 75-80.
- Coavoy, I. (2015). Evaluación de la capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos de la tuna morada (*Opuntia ficus-indica*) del distrito de San Bartolomé, Huarochirí, Lima. *Tesis de pregrado*. Universidad Peruana Unión, Lima.
- Cortez. (2020). *Análisis de los espectros de infrarrojo*.
- Criado, & Moya. (2009). Vitaminas y antioxidantes servicios de Medicina Interna y Urgencias. Actualizaciones el medico. Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Medicina .
- Davey, M. W., Montagu, M. V., Sanmartin, M., Kanellis, A., & Smirnoff, N. (2000). Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(7), 825–860.

- Espino, E., Rafael, H., & Tingal, I. (2012). Morfofisiología de tuna (*Opuntia ficus-indica* Mill.). *Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de ciencias Agrarias, Cajamarca – Perú .
- Evangelista, G. W., & Rivas, J. .. (2015). Efecto de los edulcorantes (sucralosa y stevia) sobre las características sensoriales de una bebida a base de sanky (*Corryocactus brevistylus*). *tesis de pregrado*. Universidad Nacional del Callao. Facultad de Ingeniería, Callao - Perú.
- Felker, Rodríguez, Casoliba, Filippini, Medina, & Zapata. (2005). Comparison of *Opuntia ficus-indica* varieties of Mexican and Argentine origin for fruit yield and quality in Argentina. *J Arid Environ* <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/>, 405-422.
- Ferreira, V. L. (1981). Princípios e aplicações da colorimetria em alimentos. Brasil.
- Figuroa, D. L., & Mollinedo, M. O. (2017). Actividad antioxidante del extracto etanólico del mesocarpio del fruto de *Hylocereus undatus* “pitahaya” e identificación de los fitoconstituyentes. *Tesis de pregrado*. Facultad de Farmacia Y BÍoquímica, Lima.
- Galleano, M. (2016). Antioxidant actions of flavonoids hermodynamic and kinetic analysis. *Arch Biochem Biophys*.
- Gomez, M. (2010). *desarrollo y evaluacion de estrategias analiticas para la caracterizacion de compuestos bioactivos en alimentos funcionales*. universidad de granada . granada: tesis doctoral.
- Grajales, L. C. (2005). Liofilización de carambola (*averrhoa carambola* L.). *Ingeniería y competitividad*, (págs. 19-26).
- Grotewold, E. (2005). *The Science of Flavonoids*. Springer.

- Gutiérrez, H., & Vara, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* (3ra ed.). Mexico: McGraw- Hill/Interamericana, S.A.de C.V.
- Hayasida, W., Sousa, S., Lima, P., Nascimento, C., & G., F. (2008). Proposta de Aproveitamiento em Resíduos de Paurinha (*Brosimum rubescens*) descartados pelo sector Madeireiro. *Acta Amazónica*, (págs. 749-752). Brasil.
- Huachuillca, D. (2017). Efecto de liofilización sobre los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en la pulpa de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.). *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional José María Arguedas, Andahuaylas- Perú.
- Huamani, D., & Paucar, P. (2018). Determinación del contenido de ácido ascórbico y capacidad antioxidante del fruto liofilizado de pitahaya amarilla (*Hylocereus megalanthus*) y pitahaya roja (*Hylocereus undatus*). *Tesis de pregrado*. Universidad Católica de Santa María, Arequipa.
- Jorge, P., & Troncoso. (2016). Capacidad antioxidante del fruto de la *Opuntia apurimacensis* (ayrampo) y de la *Opuntia ficus-indica* (tuna). *Redalyc.org*, 108-109.
- Lavado, M. C., Sun, & Castro. (2020). Biosorción del colorante azul de metileno usando los cladodios de la tuna (*Opuntia ficus indica*). *Rev. Soc. Quím. Perú vol.86 no.3 Lima jul-sep 2020*.
- Lezama, K. S. (2017). Determinación de los compuestos fenólicos y Capacidad Antioxidante de Aceite de uva (*Vitis vinífera*)obteniendo sin tratamiento enzimático. *Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima-Perú.
- López, C., García, G., Fernández, M., Jiménez, G., & Solano, G. (2018). Efecto de las condiciones de liofilización en propiedades fisicoquímicas, contenido de pectina y

- capacidad de rehidratación de rodajas de ciruela (*Spondias purpurea* L.). *SciELO Analytics*, 2521-9766.
- Lopez, N. (2010). Proyectos Educativos-Productivos e Industrialización de la tuna (*Opuntia ficus*) como estrategia de la enseñanza de la educación en industria alimentaria en la FAN y en la comunidad de San Bartolome. *tesis de pregrado*. Universidad Nacional de Educación, Lima.
- Lopez, Olivos, Oliveros, & Martinez. (2020). Caracterización fisicoquímica de un fruto silvestre de cactaceae (*Haageocereus pseudomelanostele*). Deshidratado por diferentes métodos para la conservación de su contenido de vitamina C. *Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on a Knowledge*, 1-7.
- Manzur, L. (2017). capacidad antioxidante y propiedad funcional de la fibra de la cascara de tuna purpura (*Opuntia Ficus- indica*) ultrasonificada para el desarrollo de una gelatina. *Tesis de Posgrado*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, San Agustín - Tlaxiaca Fgo.
- Meza, R. (2014). Evaluación del efecto de la temperatura de concentración en los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en pulpa concentrada de tuna anaranjada (*Opuntia spp.*). *Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Huancayo – Perú.
- Monroy, T. (2017). compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en frutos de xocotuna, tuna y xoconostle (*opuntia spp.*). *Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia* (2017) 33(3): 263-272. , 267-270.
- Mostacero, B. (2018). Evaluación de la madurez y características físicoquímicas y sensoriales en poscosecha de tuna (*opuntia ficus-indica*) variedad amarilla almacenada en

- refrigeración. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna.
- Moya, A. (2018). Efecto del tratamiento termico en la cinética de deterioro de la vitamina C y color en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii* de variedad blanca y morada). *Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional de Santa, Chimbote – Perú.
- Norshahida, S., H, A., Azizah, O., Nazamid, S., Farooq, A., Mohd, D., & Muhammad, H. (2011). Effect of Freeze-Drying on the Antioxidant Compounds and Antioxidant Activity of Selected Tropical Fruits. *Journal* .
- Orrego, A. C. (2008). *Congelación y liofilización de alimentos*. Colombia :Manizales Caldas.
- Ortiz, A. (2018). Compuestos Fenólicos Totales y la Capacidad Antioxidante in vitro del Extracto Etanólico en tres Variedades de *Opuntia Ficus-Indica*. *Tesis de Pregrado*. Universidad César Vallejo, Facultad de Ciencias Médicas, Trujillo - Perú.
- Pinedo, J., Franco, A., & Hernández, A. (2010). Comportamiento poscosecha de cultivares de tuna por efecto del manejo del huerto y temperatura de frigoconservación. *Redalyc Org*, 44 - 45.
- Pinzón, I., Fischer, G., & Corredor, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims.). 1-19.
- Quintanar, A., & Calderón, V. (2009). La Capacidad Antioxidante Total Bases y Aplicaciones. *Revista de Educación Bioquímica*, 89-101.
- Quiñones, S. (2017). Caracterización y determinación del contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del fruto de sanke (*Corryocactus brevistylus*). *Tesis de*

- pregrado*. Universidad Nacional de Huancavelica. Facultad de ciencias agrarias, Ocobamba-Huancavelica.
- Ramos, M., Mateos, M., García, J., Moncada, C., & A, G. (2015). Compuestos antioxidantes en variedades pigmentadas de tuna (*Opuntia* sp.). *SciELO Analytics*.
- Rodríguez, Ramírez, & Infante. (2012). Morfofisiología de tuna (*Opuntia ficus-indica* Mill.). *Tesis de pregrado*. Univesidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ciencias Agrarias., Cajamarca – Perú.
- Ronald, P. (2005). Standarized methods for the determination of Antioxidant Capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Agric. food chem.*, 53, 4290-4302.
- Ruiz, M. (2014). Estabilidad de componentes biactivos de tuna roja (*Opuntia Ficus Indica*) en la encapsulacion y desarrollo de productos extrudidos. *Tesis de Postgrado*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Monterrey - Nuevo León.
- Sáenz. (2006). Utilización agroindustrial del nopal. *Servicio de Tecnologías de Ingeniería Agrícola y Alimentaria (AGST) con la colaboración de la Red Internacional de Cooperación Técnica del Nopal (FAO-CACTUSNET)*, págs. 5-8.
- Sáenz C. (2018). Morfología y anatomía de Platiopuntia. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*, págs. 28-29.
- Sánchez, & Paniagua, L. (2008). Biosensores amperométricos de tirosinasa para la. *tesis de Doctorado*. Universidad Complutense de Madrid., España.
- Santarrosa, V. (2013). Evaluación nutricional comparativa de pitahaya (*Hylocereus triangularis*) deshidratada en deshidratador de bandejas con la liofilizada. *Tesis de pregrado*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba – Ecuador.

- Santos, P. H., & Silva, M. A. (2008). Retention of Vitamin C in Drying Processes of Fruits and Vegetables. *A Review. Drying Technology*, 26(12), 1421–1437.
- Scheinvar, L. (1999). Taxonomía de las Opuntias utilizadas. *FAO Producción y Protección Vegetal*, 21-28.
- Sulbarán, B., González, B., & Fernández, V. (2013). Caracterización química y actividad antioxidante del pseudofruto de cauñil (*Anacardium occidentale* L.). *Fac. Agron.* , 454-469.
- Sumaya, T., Suárez, T., Cruz, N. d., Alanís, E., & Sampedro, J. (2010). Innovación de productos de alto valor agregado a partir de la tuna Mexicana . *Revista Mexicana de Agronegocios*, 435-441.
- Thaiponga, K., Boonprakoba, U., Crosby, K., Zevallos, L., & Byrne, D. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 667-674.
- Tineo, J. (2004). *Evaluación y Caracterización del Banco Nacional de Germoplasma de tuna*. INIA, Perú.
- Valderrama. (2019). Efecto de la temperatura en la cinética de vitamina C y capacidad antioxidante en zumo de tuna (*Opuntia ficus –Indica*) variedad amarilla. *Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Trujillo - Perú.
- Vignoni, L., Césari, R., Forte, M., & Mirábile, M. (2006). Determinación de Índice de Color en Ajo Picado. *SciELO Analytics*, 63-67.

- Welti, J., Vergara, F., Pérez, E., & Reyes, A. (2005). Fundamentals and new tendencies of freeze-drying of foods. *Segundo Simposio Internacional de Innovación y Desarrollo de Alimentos*.
- Zaro, M. (2014). Análisis de factores que afectan la acumulación, distribución y estabilidad de antioxidantes de naturaleza fenólica en berenjena (*Solanum melongena* L.). *Tesis Doctoral*. Universidad Nacional de la Plata, Buenos Aire, Argentina.
- Zeghad, N., Ahmed, E., Belkhiri, A., Vander, Y., & Demeyer, K. (2019). Antioxidant activity of *Vitis vinifera*, *Punica granatum*, *Citrus aurantium* and *Opuntia ficus indica* fruits cultivated in Argelia. *Heliyon*, 7-14.
- Zhongwei, F. (2017). Métodos analíticos para la determinación de vitamina C en alimentos. *Tesis de pregrado*. Facultad de farmacia Universidad de Complutense.

ANEXOS

Resultados de las propiedades fisicoquímicas de la tuna fresca y liofilizada.

Anexo 1. Porcentaje de humedad de tuna fresca y liofilizada

Estado	Tuna	Replicas	%Humedad
Fresco	Morada	R1	82.10
	Morada	R2	81.79
	Morada	R3	83.41
Liofilizado	Morada	R1	5.67
	Morada	R2	5.65
	Morada	R3	5.69
Fresco	Anaranjada	R1	81.49
	Anaranjada	R2	81.79
	Anaranjada	R3	83.24
Liofilizado	Anaranjada	R1	5.79
	Anaranjada	R2	5.69
	Anaranjada	R3	5.74
Fresco	Blanca	R1	77.77
	Blanca	R2	79.48
	Blanca	R3	78.71
Liofilizado	Blanca	R1	5.19
	Blanca	R2	5.18
	Blanca	R3	5.14

Anexo 2. pH, Acidez, ° Brix y Índice de madurez de tuna fresca y liofilizada

Estado	Tuna	Replicas	Ph	% acidez	de ° Brix	Índice de madurez
Fresco	Morada	R1	5.98	0.06	10.00	166.67
	Morada	R2	5.98	0.06	10.00	166.67
	Morada	R3	5.98	0.07	10.05	143.57
Liofilizado	Morada	R1	6.04	0.07	10.00	142.86
	Morada	R2	6.04	0.07	10.00	142.86
	Morada	R3	6.04	0.06	9.77	162.83
Fresco	Anaranjada	R1	6.21	0.06	14.00	233.33
	Anaranjada	R2	6.22	0.07	14.05	200.71
	Anaranjada	R3	6.21	0.06	14.05	234.17
Liofilizado	Anaranjada	R1	6.24	0.08	11.60	145.00
	Anaranjada	R2	6.23	0.09	11.50	127.78
	Anaranjada	R3	6.24	0.10	11.60	116.00
Fresco	Blanca	R1	5.91	0.06	13.00	216.67
	Blanca	R2	5.91	0.06	13.05	217.50
	Blanca	R3	5.91	0.06	13.00	216.67
Liofilizado	Blanca	R1	6.09	0.08	11.50	143.75
	Blanca	R2	6.10	0.08	11.40	142.50
	Blanca	R3	6.10	0.09	11.50	127.78

Anexo 3. Color de la tuna morada, anaranjada y blanca en estado fresco y liofilizada *L a* b*

Variedad	Estado	Replicas	L*	a*	b*
Morada	Liofilizado	R1	24.07	20.63	4.59
		R2	25.24	19.68	3.8
		R3	25.09	19.66	3.65
	Fresco	R1	16.88	20.73	5.9
		R2	16.62	20.31	5.79
		R3	16.76	20.89	5.93
Anaranjada	Liofilizado	R1	32.42	1.06	17.81
		R2	32.57	1.13	17.93
		R3	32.37	1.12	17.84
	Fresco	R1	26	6.64	13.98
		R2	26.4	6.12	14.78
		R3	26.57	6.1	14.94
Blanca	Liofilizado	R1	34.16	-6	12.91
		R2	33.75	-6.45	13.02
		R3	33.73	-6.36	12.87
	Fresco	R1	37.17	-6.44	12.8
		R2	36.81	-6.07	12.38
		R3	36.44	-5.9	12.22

Anexo 4. Capacidad antioxidante $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ de muestra en b.s

Variedad	Estado	Masa en g	Abs blanco (520 nm)	Abs Muestra (520 nm)	Abs (blanco - Abs de la muestra) (520 nm)	Pendiente	Intercepto	concentración ($\mu\text{mol}/\text{ml}$)	$\mu\text{mol}/100\text{g}$ de muestra	$\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ muestra bs
Morada	Liofilizado	2.003	1.648	0.392	1.256	2.4229	0.0038	0.52	2.86	3.04
		2.003	1.648	0.387	1.261	2.4229	0.0038	0.52	2.87	3.05
		2.003	1.648	0.389	1.259	2.4229	0.0038	0.52	2.86	3.05
Blanca		2.001	1.648	0.251	1.397	2.4229	0.0038	0.58	3.18	3.36
		2.001	1.648	0.252	1.396	2.4229	0.0038	0.58	3.18	3.36
Anaranjada		2.001	1.648	0.195	1.453	2.4229	0.0038	0.60	3.31	3.50
		2.003	1.648	0.308	1.340	2.4229	0.0038	0.55	3.05	3.24
		2.003	1.648	0.303	1.345	2.4229	0.0038	0.56	3.06	3.26
Morada		2.003	1.648	0.302	1.346	2.4229	0.0038	0.56	3.06	3.26
	2.002	1.648	1.112	0.536	2.4229	0.0038	0.22	1.22	1.56	
	2.002	1.648	1.110	0.538	2.4229	0.0038	0.22	1.23	1.56	
Blanca	2.002	1.648	1.050	0.598	2.4229	0.0038	0.25	1.36	1.73	
	2.004	1.648	1.435	0.213	2.4229	0.0038	0.09	0.49	0.67	
	2.004	1.648	1.287	0.361	2.4229	0.0038	0.15	0.83	1.13	
Anaranjada	2.004	1.648	1.287	0.361	2.4229	0.0038	0.15	0.83	1.13	
	2.001	1.648	1.255	0.393	2.4229	0.0038	0.16	0.90	1.15	
	2.001	1.648	1.256	0.392	2.4229	0.0038	0.16	0.90	1.15	
		2.001	1.648	1.296	0.352	2.4229	0.0038	0.15	0.81	1.03

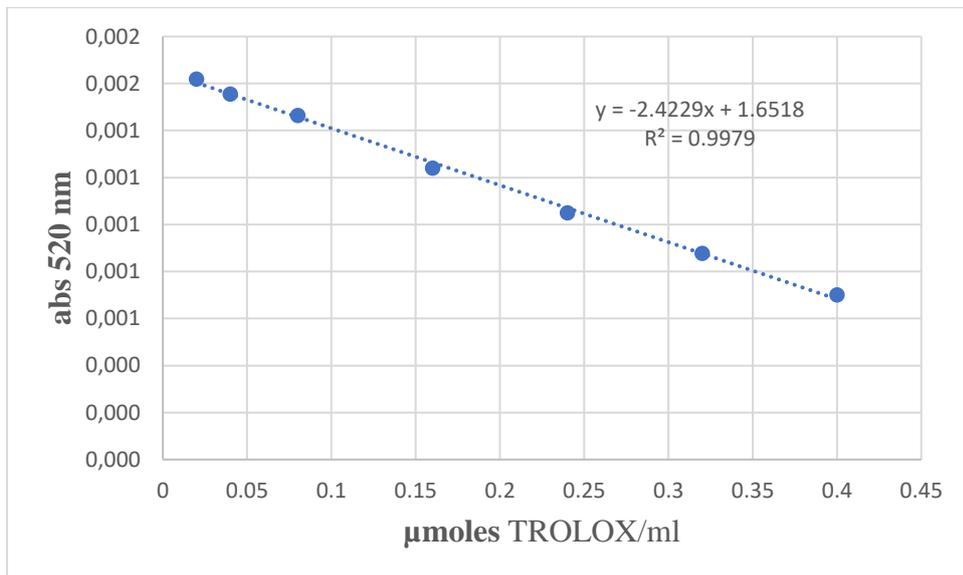
Anexo 5. Compuestos fenólicos totales mg EAG/100g de muestra en bs

Estado	variedad	ABS	Intercepto	Pendiente	FD	volumen del extracto	Peso M	Total, de µl	µl de muestra diluida	mg EAG/100g	mg EAG/100g bs
Fresco	Morada	0.928	0.0395	0.0461	11	20	2.002	3750	900	960.94	1221.33
Fresco	Morada	0.927	0.0395	0.0461	11	20	2.002	3750	900	959.95	1220.07
Fresco	Morada	0.929	0.0395	0.0461	11	20	2.002	3750	900	961.94	1222.59
Liofilizado	Morada	1.149	0.0395	0.0461	11	20	2.003	3750	900	1179.86	1255.30
Liofilizado	Morada	1.154	0.0395	0.0461	11	20	2.003	3750	900	1184.82	1260.58
Liofilizado	Morada	1.123	0.0395	0.0461	11	20	2.003	3750	900	1154.04	1227.84
Fresco	Anaranjada	0.871	0.0395	0.0461	11	20	2.001	3750	900	904.78	1155.68
Fresco	Anaranjada	0.871	0.0395	0.0461	11	20	2.001	3750	900	904.78	1155.68
Fresco	Anaranjada	0.889	0.0395	0.0461	11	20	2.001	3750	900	922.67	1178.53
Liofilizado	Anaranjada	1.213	0.0395	0.0461	11	20	2.003	3750	900	1243.39	1324.02
Liofilizado	Anaranjada	1.212	0.0395	0.0461	11	20	2.003	3750	900	1242.40	1322.97
Liofilizado	Anaranjada	1.213	0.0395	0.0461	11	20	2.003	3750	900	1243.39	1324.02
Fresco	Blanca	0.718	0.0395	0.0461	11	20	2.004	3750	900	751.61	1031.73
Fresco	Blanca	0.713	0.0395	0.0461	11	20	2.004	3750	900	746.65	1024.92
Fresco	Blanca	0.712	0.0395	0.0461	11	20	2.004	3750	900	745.66	1023.56
Liofilizado	Blanca	1.227	0.0395	0.0461	11	20	2.001	3750	900	1258.54	1331.09
Liofilizado	Blanca	1.226	0.0395	0.0461	11	20	2.001	3750	900	1257.55	1330.04
Liofilizado	Blanca	1.198	0.0395	0.0461	11	20	2.001	3750	900	1229.73	1300.61

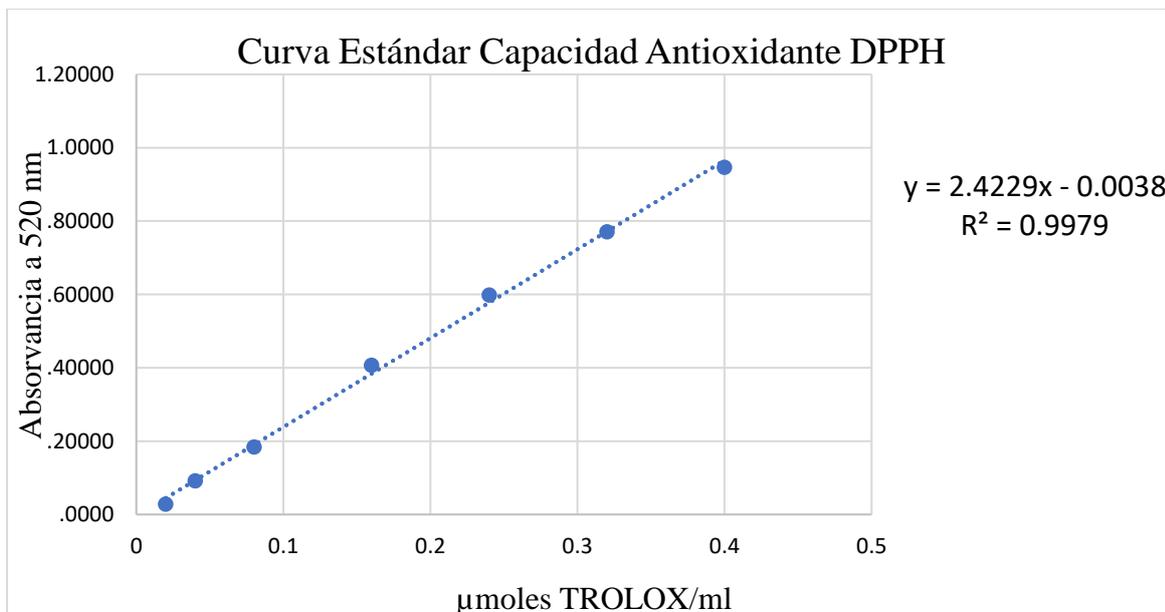
Anexo 6. Vitamina C mg de ácido ascórbico/ 100 g de muestra bs

Estado	variedad	L1	L2	L1-L2	Pendiente	Intercepto	FD	$y=a-bx*FD$	mg de ácido ascórbico/ 100 g de muestra b. s
Fresco	blanca	0.19366667	0.126	0.06766667	0.0359	0.0046	11	19.32	26.53
	blanca	0.19366667	0.123	0.07066667	0.0359	0.0046	11	20.24	27.79
	blanca	0.19366667	0.122	0.07166667	0.0359	0.0046	11	20.55	28.21
	morada	0.19366667	0.11	0.08366667	0.0359	0.0046	11	24.23	30.79
	morada	0.19366667	0.113	0.08066667	0.0359	0.0046	11	23.31	29.62
	morada	0.19366667	0.112	0.08166667	0.0359	0.0046	11	23.61	30.01
	anaranjada	0.19366667	0.09	0.10366667	0.0359	0.0046	11	30.35	38.77
	anaranjada	0.19366667	0.088	0.10566667	0.0359	0.0046	11	30.97	39.55
	anaranjada	0.19366667	0.088	0.10566667	0.0359	0.0046	11	30.97	39.55
Liofilizado	blanca	0.175333	0.025	0.15033333	0.0359	0.0046	11	44.65	47.23
	blanca	0.175333	0.024	0.15133333	0.0359	0.0046	11	44.96	47.55
	blanca	0.175333	0.028	0.14733333	0.0359	0.0046	11	43.73	46.26
	morada	0.175333	0.02	0.15533333	0.0359	0.0046	11	46.19	49.14
	morada	0.175333	0.017	0.15833333	0.0359	0.0046	11	47.10	50.12
	morada	0.175333	0.015	0.16033333	0.0359	0.0046	11	47.72	50.77
	anaranjada	0.175333	0.013	0.16233333	0.0359	0.0046	11	48.33	51.46
	anaranjada	0.175333	0.011	0.16433333	0.0359	0.0046	11	48.94	52.12
	anaranjada	0.175333	0.007	0.16833333	0.0359	0.0046	11	50.17	53.42

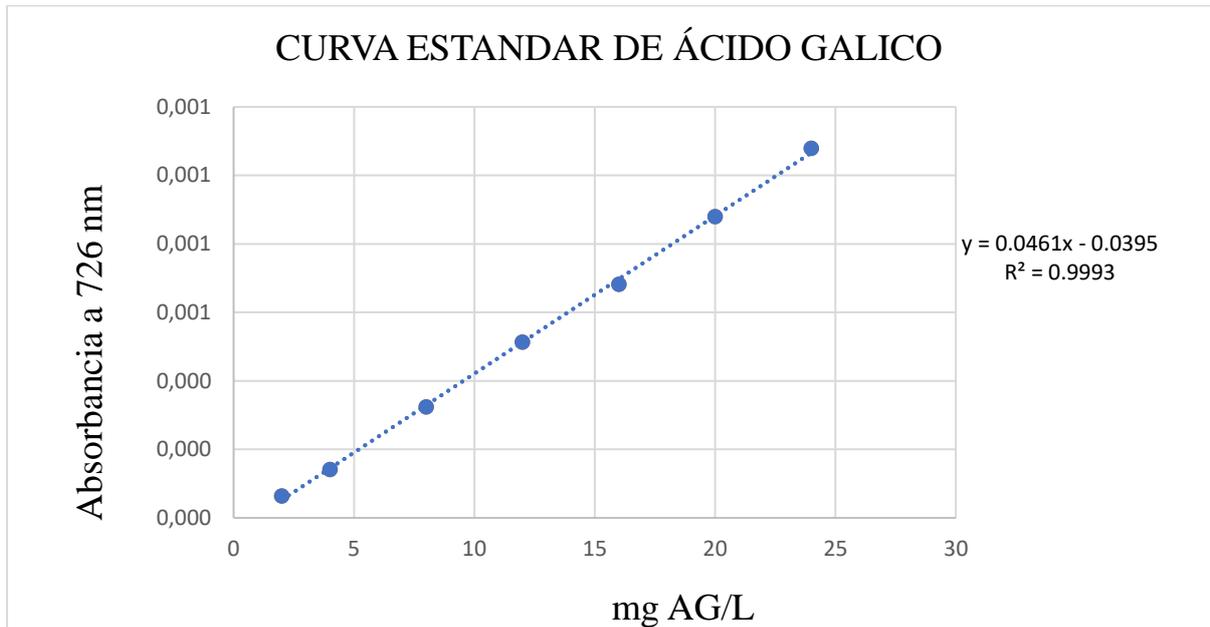
Anexo 7. Curva Estándar para la capacidad antioxidante.



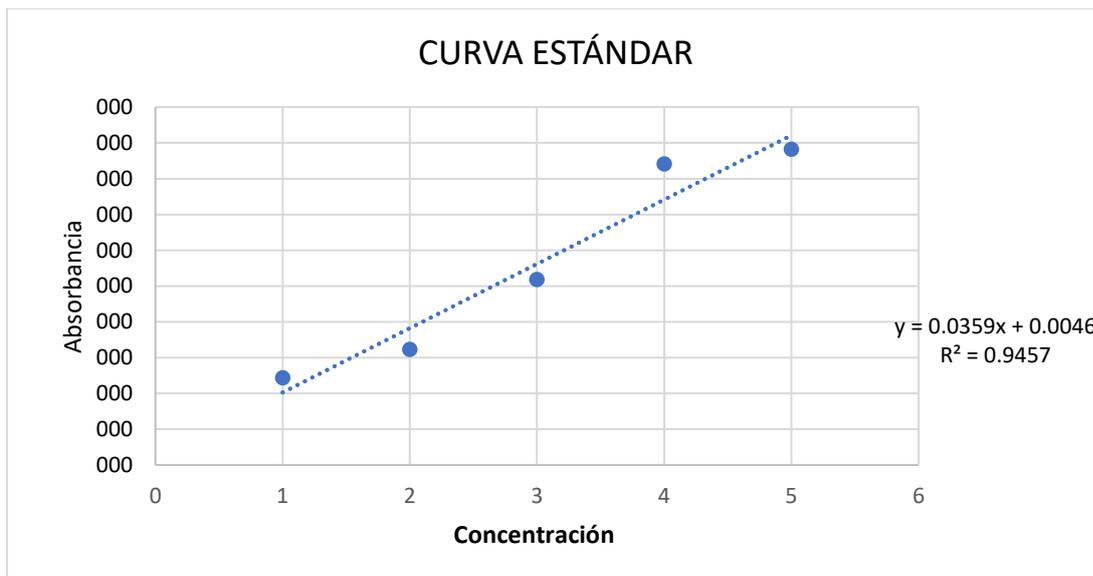
Anexo 8. Curva Estándar ajustada para la capacidad antioxidante.



Anexo 9. Curva Estándar para los compuestos fenólicos totales



Anexo 10. Curva Estándar para vitamina C



Análisis de varianza de propiedades físico químicas entre las variedades y estados

Anexo 11. Análisis de Varianza de porcentaje humedad entre la variedad y estado

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Variedad	2	17.5	8.8	8.47	0.004
Estado	1	25691.9	25691.9	24823.96	0.000
Error	14	14.5	1.0		
Falta de ajuste	2	9.8	4.9	12.48	0.001
Error puro	12	4.7	0.4		
Total	17	25723.9			

Anexo 12. Análisis de Varianza de actividad de agua

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Variedad	2	0.023311	0.011655	5521.00	0.000
Error	6	0.000013	0.000002		
Total	8	0.023324			

Anexo 13. Análisis de Varianza de pH entre variedad y estado

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Variedad	2	0.190332	0.095166	62.40	0.000
Estado	1	0.036721	0.036721	24.08	0.000
Error	14	0.021352	0.001525		
Falta de ajuste	2	0.021333	0.010667	6857.04	0.000
Error puro	12	0.000019	0.000002		
Total	17	0.248404			

Anexo 14: Análisis de Varianza del porcentaje de acidez entre variedad y estado

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Variedad	2	0.000411	0.000206	3.05	0.080
Estado	1	0.001422	0.001422	21.08	0.000
Error	14	0.000944	0.000067		
Falta de ajuste	2	0.000478	0.000239	6.14	0.015
Error puro	12	0.000467	0.000039		
Total	17	0.002778			

Anexo 15. Análisis de Varianza de sólidos solubles entre la variedad y estado

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Variedad	2	78.3879	39.1939	192.45	0.000
Estado	1	3.4409	3.4409	16.90	0.001
Error	14	2.8511	0.2037		
Falta de ajuste	2	2.7842	1.3921	249.58	0.000
Error puro	12	0.0669	0.0056		
Total	17	84.6800			

Anexo 16. Análisis de Varianza de índice madurez entre la variedad y estado

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Variedad	2	7241	3620.3	13.06	0.001
Estado	1	5410	5409.7	19.51	0.001
Error	14	3882	277.3		
Falta de ajuste	2	1448	723.8	3.57	0.061
Error puro	12	2434	202.8		
Total	17	16532			

Anexo 17. Análisis de Varianza de índice de color entre la variedad y estado

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Variedad	2	175199	87599.3	2217.89	0.000
Estado	1	266	266.3	6.74	0.021
Error	14	553	39.5		
Falta de ajuste	2	139	69.3	2.01	0.177
Error puro	12	414	34.5		
Total	17	176018			

Anexo 18. Análisis de Varianza $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ muestra bs

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Variedad	2	0.0844	0.0422	0.60	0.560
Estado	1	18.0200	18.0200	257.73	0.000
Error	14	0.9788	0.0699		
Falta de ajuste	2	0.7955	0.3978	26.03	0.000
Error puro	12	0.1833	0.0153		
Total	17	19.0833			

Anexo 19. Análisis de Varianza mg EAG/100g bs

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Variedad	2	17340	8670	2.20	0.148
Estado	1	115581	115581	29.32	0.000
Error	14	55181	3941		
Falta de ajuste	2	53574	26787	200.02	0.000
Error puro	12	1607	134		
Total	17	188102			

Anexo 20. Análisis de Varianza mg AA/100g mg AA/100 g b.s.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Variedad	2	227.85	113.93	31.20	0.000
Estado	1	1373.75	1373.75	376.25	0.000
Error	14	51.12	3.65		
Falta de ajuste	2	44.23	22.12	38.56	0.000
Error puro	12	6.88	0.57		
Total	17	1652.72			

Anexo 21. T Estudent para el porcentaje de humedad de tuna morada fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	82.43	5.67
Varianza	0.7394	0
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.3699	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	154.58	
P(T<=t) una cola	5E-09	
Valor crítico de t (una cola)	2.1318	
P(T<=t) dos colas	1E-08	
Valor crítico de t (dos colas)	2.7764	

Anexo 22. T Estudent para el porcentaje de humedad de tuna anaranjada fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	82.17	5.74
Varianza	0.87583333	0.0025
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.43916667	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	141.258225	
P(T<=t) una cola	7.5322E-09	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	1.5064E-08	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 23. T Estudent para el porcentaje de humedad de tuna blanca fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	78.6533333	5.17
Varianza	0.73343333	0.0007
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.36706667	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	148.546356	
P(T<=t) una cola	6.1595E-09	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	1.2319E-08	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 24. T Estudent para pH de tuna morada fresca y liofilizada

prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	5.976	6.04133333
Varianza	1E-06	3.3333E-07
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	6.6667E-07	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-98	
P(T<=t) una cola	3.2502E-08	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	6.5005E-08	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 25. T Estudent para pH de tuna anaranjada fresca y liofilizada

prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	6.21333333	6.23466667
Varianza	2.3333E-06	3.3333E-07
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	1.3333E-06	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-22.627417	
P(T<=t) una cola	1.1297E-05	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	2.2593E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 26. T Estudent para pH de tuna blanca fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	5.911	6.10
Varianza	1E-06	4.3333E-06
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	2.6667E-06	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-138.25	
P(T<=t) una cola	8.2094E-09	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	1.6419E-08	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 27. T Estudent para acidez de tuna morada fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	0.063333333	0.066666667
Varianza	3.33333E-05	3.3333E-05
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	3.33333E-05	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-0.707106781	
P(T<=t) una cola	0.259259259	
Valor crítico de t (una cola)	2.131846786	
P(T<=t) dos colas	0.518518519	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776445105	

Anexo 28. T Estudent para acidez de tuna anaranjada fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	0.063333333	0.09
Varianza	3.3333E-05	0.0001
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	6.6667E-05	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-4	
P(T<=t) una cola	0.00806504	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	0.01613009	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 29. T Estudent para acidez de tuna blanca fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	0.06	0.08333333
Varianza	0	3.3333E-05
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	1.6667E-05	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-7	
P(T<=t) una cola	0.00109606	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	0.00219213	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 30. T Estudent para °Brix de tuna morada fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	10.0166667	9.92333333
Varianza	0.00083333	0.01763333
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.00923333	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	1.18960601	
P(T<=t) una cola	0.14999311	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	0.29998623	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 31. T Estudent para °Brix de tuna anaranjada fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	14.0333333	15.86666667
Varianza	0.00083333	0.003333333
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.00208333	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-49.1934955	
P(T<=t) una cola	5.1085E-07	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	1.0217E-06	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 32. T Estudent para °Brix de tuna blanca fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	13.0166667	13.9
Varianza	0.00083333	0.01
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.00541667	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-14.6995552	
P(T<=t) una cola	6.2319E-05	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	0.00012464	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 33. T Estudent para índice de madurez de tuna morada fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	158.97	149.516667
Varianza	177.87	132.933633
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	155.401817	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	0.92875797	
P(T<=t) una cola	0.202793	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	0.405586	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 34: T Estudent para índice de madurez de tuna anaranjada fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	222.736667	177.806667
Varianza	364.056933	416.109633
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	390.083283	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	2.78614284	
P(T<=t) una cola	0.02475334	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	0.04950669	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 35. T Estudent para índice de madurez de tuna blanca fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	216.946667	167.3133333
Varianza	0.22963333	125.8545333
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	63.0420833	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	7.65603296	
P(T<=t) una cola	0.00078209	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	0.00156418	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 36. T Estudent para índice de color de tuna morada fresca y liofilizada

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	209.79847	202.198577
Varianza	2.2284777	202.014368
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	102.121423	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	0.92107426	
P(T<=t) una cola	0.2045679	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	0.4091358	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 37. T Estudent para índice color de tuna anaranjada fresca y liofilizada

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	16.44	1.90333333
Varianza	2.531469	0.00340433
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	1.26743667	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	15.8142037	
P(T<=t) una cola	4.6714E-05	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	9.3427E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 38. T Estudent para índice color de tuna blanca fresca y liofilizada

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	-13.3686667	-14.3113333
Varianza	0.02222533	0.37436233
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.19829383	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	2.59268154	
P(T<=t) una cola	0.03025634	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	0.06051267	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 39. T Estudent para capacidad antioxidante de tuna morada fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	1.62	3.05
Varianza	0.00963333	3.33333E-05
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.00483333	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	25.1917474	
P(T<=t) una cola	7.3712E-06	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	1.4742E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 40. T Estudent para capacidad antioxidante de tuna anaranjada fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	1.11	3.25
Varianza	0.0048	0.00013333
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.002466667	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-52.85427442	
P(T<=t) una cola	3.835E-07	
Valor crítico de t (una cola)	2.131846786	
P(T<=t) dos colas	7.67E-07	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776445105	

Anexo 41. T Estudent para capacidad antioxidante de tuna blanca fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	0.98	3.41
Varianza	0.07053333	0.00653333
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.03853333	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-15.1612013	
P(T<=t) una cola	5.5169E-05	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	0.0001103	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 42. T Estudent compuestos fenólicos totales tuna morada fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	1221.33	1247.90667
Varianza	1.5876	308.972933
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	155.280267	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-2.61208921	
P(T<=t) una cola	0.02964485	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	0.05928971	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 43. T Estudent para compuestos fenólicos totales de tuna anaranjada fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	1163.29667	1323.67
Varianza	174.040833	0.3675
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	87.2041667	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-21.0333848	
P(T<=t) una cola	1.51E-05	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	3.0199E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 44. T Estudent para compuestos fenólicos totales de tuna blanca fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	1026.73667	1320.58
Varianza	19.1624333	299.3763
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	159.269367	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-28.5164425	
P(T<=t) una cola	4.4997E-06	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	8.9995E-06	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 45. T Estudent para vitamina C tuna morada fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	30.14	50.01
Varianza	0.3549	0.6733
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.5141	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-33.940614	
P(T<=t) una cola	2.2477E-06	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	4.4953E-06	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 46. T Estudent para vitamina C de tuna anaranjada fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	39.29	52.33
Varianza	0.2028	0.99453333
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.59866667	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-20.6462739	
P(T<=t) una cola	1.6255E-05	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	3.251E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 47. T Estudent para vitamina C de tuna blanca fresca y liofilizada

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	27.51	47.01333333
Varianza	0.7644	0.451233333
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.60781667	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	30.6385474	
P(T<=t) una cola	3.3804E-06	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	6.7608E-06	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Anexo 48. Panel fotográfico - fotos de la realización de la parte experimental

Modo de obtención de los productos Liofilizados



Imagen 1: Proceso de liofilizado



Imagen 2: Producto liofilizada

Determinación de humedad de muestras liofilizada

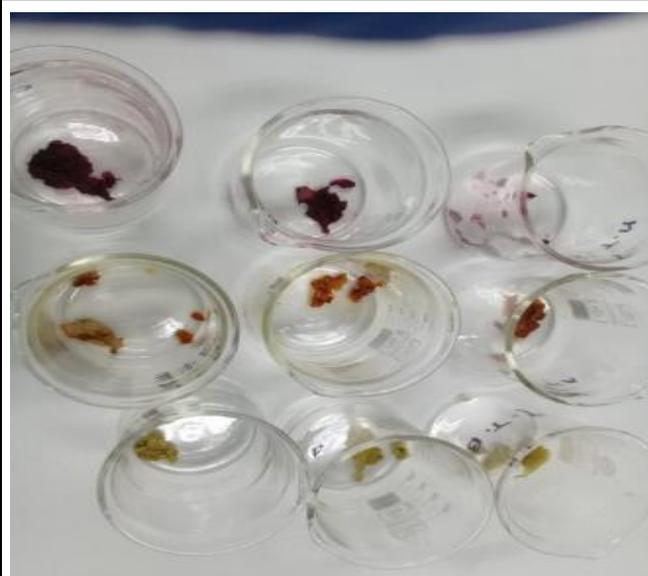


Imagen 3: Peso de la muestra



imagen 4: Muestra en estufa

Determinación de humedad de muestras fresca



Imagen 5: Peso de la muestra



imagen 6: Muestra en estufa

Determinación de pH



Imagen 7: Preparación de muestras



imagen 8: Lectura de pH

Determinación de acidez



Imagen 9: Preparación de las muestras



Imagen 10: Determinación de la acidez

Determinación de color



Imagen 11: lectura de producto liofilizado de tres variedades de tuna



Imagen 12: lectura de producto fresco de tres variedades de tuna

Determinación de la capacidad antioxidante

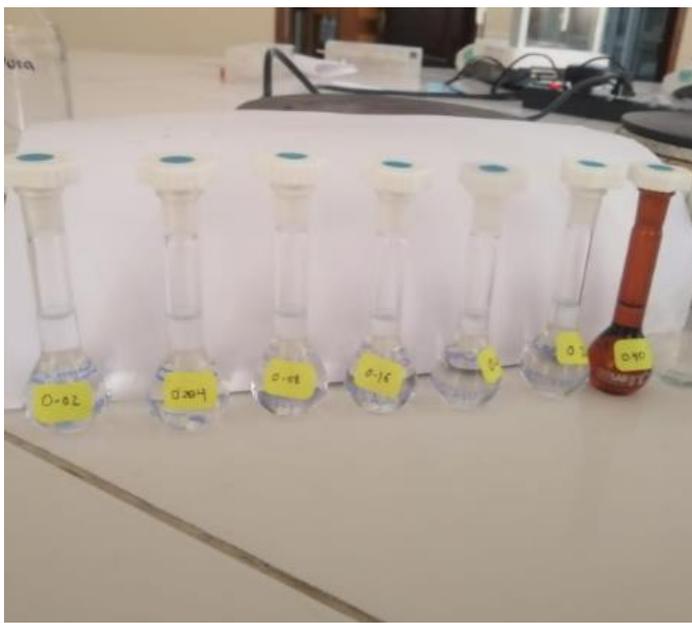


Imagen 13: Preparación de reactivo para la curva de calibración para determinar capacidad antioxidante.



Imagen 14: Preparación de reactivo para determinar capacidad antioxidante.

Determinación de compuestos fenólicos totales



Imagen 15: Preparación de muestra



Imagen 16: Lectura de absorbancia de fenoles totales.

Determinación de Vitamina C



Imagen 17: Filtrado de muestra para determinar vitamina c.

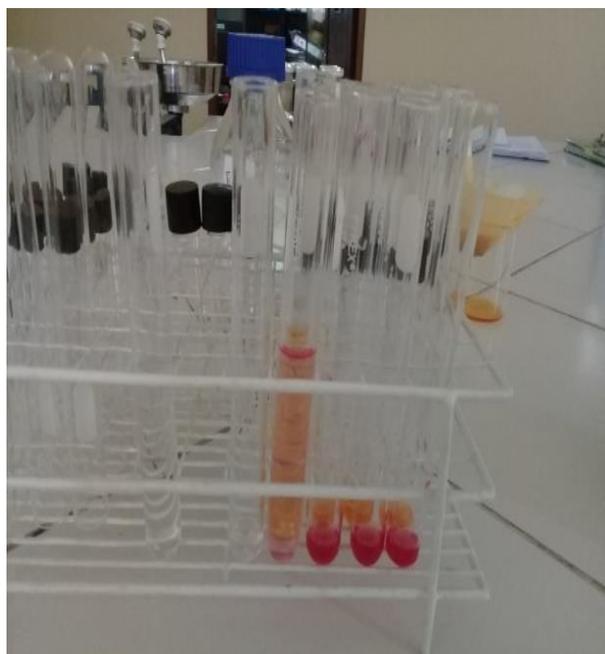


Imagen 18: Preparación de muestra para leer la absorbancia de vitamina c.

Anexo 49. Matriz de consistencia

	PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADOR	TECNICA	INSTRUMENTO
G	¿Cuál es la capacidad antioxidante, compuesto fenólicos y vitamina C en frutos frescos y liofilizados en tres variedades de tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>)?	Determinar la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C de los frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna (<i>opuntia ficus indica</i>).	En las variedades de frutos de tuna (<i>opuntia ficus indica</i>) frescos y liofilizados presentaran mayor contenido de capacidad antioxidante, fenoles totales y vitamina C.	Frutos frescos de tuna Frutos liofilizados de tuna	Frutos de tuna	Recolección	Observación
E 1	¿Cómo serán las propiedades fisicoquímicas del fruto fresco de tres variedades de tuna (<i>opuntia ficus indica</i>)?	Determinar las propiedades fisicoquímicas del fruto fresco de tres variedades de tuna (<i>opuntia ficus indica</i>)	Las propiedades fisicoquímicas de las tres variedades de frutos frescos de tuna, muestran diferencia significativa.	Propiedades fisicoquímicas	Propiedades fisicoquímicas	Análisis de laboratorio	Análisis de laboratorio
E 2	¿Cuál es la capacidad antioxidante de tuna en frutos frescos y liofilizados en tres variedades de tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>)?	Determinar la capacidad antioxidante de frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna (<i>opuntia ficus indica</i>).	En las variedades de frutos de tuna (<i>opuntia ficus indica</i>) frescos y liofilizados presentarán mayor capacidad antioxidante	Capacidad antioxidante	µg Eq* Trolox / 100 g fruto fresco	Espectrofotometría	Espectrofotómetro UV- visible
E 3	¿Cuál es el contenido de fenoles totales en frutos frescos y liofilizados en tres variedades de tuna de la tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>)?	Determinar los compuestos fenólicos de frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna (<i>opuntia ficus indica</i>).	En las variedades de frutos de tuna (<i>opuntia ficus indica</i>) frescos y liofilizados presentarán alto contenido de fenoles totales.	Compuestos fenólicos	Miligramos de á. Gálico (AGE) por cada 100 g de fruto fresco.	Espectrofotometría	Espectrofotómetro UV- visible
E 4	¿Cuál es el contenido de la vitamina C en frutos frescos y liofilizados en tres variedades de tuna de la tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>)?	Determinar la vitamina C de frutos frescos y liofilizados de tres variedades de tuna (<i>opuntia ficus indica</i>).	En las variedades de frutos de tuna (<i>opuntia ficus indica</i>) frescos y liofilizados presentarán alto contenido de vitamina C	Vitamina C	mg ácido ascórbico/100 g	Espectrofotometría	Espectrofotómetro UV- visible