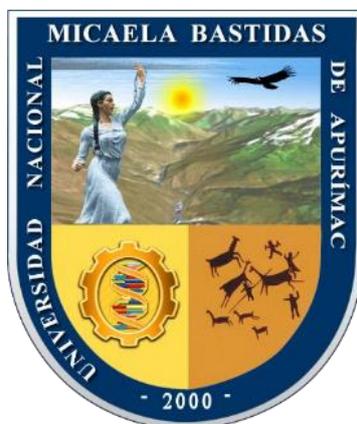


UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial



TESIS

Compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y ácidos orgánicos de tres variedades de tuna (*Opuntia ficus-indica*) de la Comunidad Mutca - Aymaraes

Presentado por:

Fray Huamani Arone

Para optar el Título de Ingeniero Agroindustrial

Abancay, Perú

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

“COMPUESTOS FENÓLICOS, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y ÁCIDOS
ORGÁNICOS DE TRES VARIEDADES DE TUNA (*Opuntia ficus-indica*) DE LA
COMUNIDAD MUTCA - AYMARAES”

Presentado por Fray Huamani Arone, para optar el Título de:

Ingeniero Agroindustrial

Sustentado y aprobado el 9 de marzo del 2023, ante el jurado evaluador:

Presidente:

Dr. Juan Silver Barreto Carbajal

Primer miembro:

M. Sc. Alfredo Fernández Ayma

Segundo miembro:

Ing. Abel Jesús Enrique Mujica Paredes

Asesor:

Ing. Jorge Beltrán Mendoza Cáceres

Agradecimientos

Expresar mi agradecimiento a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios profesionales y a los docentes por su amistad y conocimientos compartidos.

Al Ing. Jorge Beltrán Mendoza Cáceres por su comprensión, amistad, apoyo y guía en la elaboración del presente trabajo de investigación.

A la Ing. Beethssy Zzussy Hurtado Soria por su amistad, consejos y apoyo durante en el desarrollo de los ensayos en laboratorio y la redacción de esta investigación, así como al encargado de los laboratorios al Ing. Justo Flavio Arias Motta, por su apoyo en el desarrollo de los análisis en mi investigación.

A todas aquellas personas quienes me incentivaron a realizar este trabajo amigos, compañeros y familiares.



DEDICATORIA

A mi padre Saturnino, quien tuvo fe siempre en mí. Aunque ya no esté en este plano, su amor seguirá conmigo todos los días de mi vida.

A mi madre Narcisa, por motivarme siempre, por su apoyo a lo largo de mi vida y ser ejemplo de fortaleza para todos.

A mis hermanos Dina, José, Gilber, Marilina y Dilmer Pedro, con gratitud por apoyarme y ser inspiración para seguir creciendo.



“Compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y ácidos orgánicos de tres variedades de tuna (*Opuntia ficus-indica*) de la Comunidad Mutca – Aymaraes”

Línea de investigación: Caracterización, desarrollo de procesos e innovación en la Agroindustria

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



INDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Descripción del problema	4
1.2 Enunciado del problema	5
1.2.1 Problema general	5
1.2.2 Problemas específicos	5
1.3 Justificación de la investigación	6
CAPITULO II	7
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	7
2.1 Objetivos de la investigación	7
2.1.1 Objetivo general	7
2.1.2 Objetivos específicos.....	7
2.2 Hipótesis de la investigación	7
2.2.1 Hipótesis general	7
2.2.2 Hipótesis específicas	7
2.3 Operacionalización de variables	8
CAPITULO III	9
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	9
3.1 Antecedentes	9
3.2 Marco teórico	11
3.2.1 Generalidades de la tuna.....	11
3.2.2 Clasificación taxonómica	11
3.2.3 Características morfología.....	12
3.2.4 Variedades de tuna	14
3.2.5 Composición química.....	15
3.2.6 Usos y aplicaciones	16
3.2.7 Maduración y cosecha	17
3.2.8 Contenido de cenizas	18
3.2.9 Ácidos orgánicos	19
3.2.10 Compuestos fenólicos.....	21



3.2.11	Los antioxidantes.....	23
3.2.12	Tipos de antioxidantes.....	24
3.2.13	Métodos para la determinación de capacidad antioxidante.....	26
3.3	Marco conceptual.....	28
CAPITULO IV.....		30
METODOLOGÍA.....		30
4.1	Tipo y diseño de la investigación.....	30
4.1.1	Tipo y nivel de investigación.....	30
4.1.2	Diseño de la investigación.....	30
4.2	Población y muestra.....	31
4.3	Procedimiento.....	31
4.4	Materiales de investigación.....	37
4.5	Análisis estadístico.....	38
CAPITULO V.....		40
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		40
5.1	Análisis de resultados.....	40
5.1.1	Características fisicoquímicas de la tuna.....	40
5.1.2	Cuantificación de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante.....	41
5.1.3	Determinación del contenido de ácidos orgánicos.....	42
5.2	Contrastación de hipótesis.....	45
5.3	Discusión.....	47
5.1.1.	Características fisicoquímicas de la pulpa del fruto de tuna.....	47
5.1.2.	Contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante.....	49
5.1.3.	Contenido de ácidos orgánicos.....	50
CAPITULO VI.....		52
CONCLUSIONES Y RECOMENTACIONES.....		52
6.1	Conclusiones.....	52
6.2	Recomendaciones.....	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		55
ANEXOS.....		62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 — Operacionalización de variables	8
Tabla 2 — Composición química de la pulpa de frutos de tuna en 100 g	16
Tabla 3 — Clasificación de los polifenoles y ejemplos de ellos	22
Tabla 4 — Antioxidantes conocidos que eliminan.....	25
Tabla 5 — Diseño de experimento, Diseño en Bloques.....	30
Tabla 6 — Concentraciones de agua y ácido gálico para elaborar la curva estándar.....	34
Tabla 7 — ANOVA para el diseño en Bloques Completo al Azar	39
Tabla 8 — Características fisicoquímicas de tres variedades de tuna.....	40
Tabla 9 — Resultados de contenido fenoles total y capacidad antioxidante DPPH	42
Tabla 10 — Resultados del contenido de ácidos orgánicos de tres variedades de tuna .	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 — Estructura de la planta de tuna	13
Figura 2 — Fruto de la tuna.....	13
Figura 3 — Frutos de tuna variedades: Morada, Amarilla	15
Figura 4 — Frutos de tuna variedades: Morada, Amarilla	15
Figura 5 — Estructura de principales ácidos orgánicos presentes	20
Figura 6 — Estructura química del grupo fenol.....	22
Figura 7 — Reacción entre el DPPH y la sustancia antioxidante	26
Figura 8 — Cromatograma de 5 estándares de ácidos orgánicos (50ppm).....	43
Figura 9 — Cromatograma de ácidos orgánicos presentes en tuna de la variedad Morada en 3 canales.....	43
Figura 10 — Cromatograma de ácidos orgánicos presentes en tuna de la variedad de Amarilla en 3 canales.	44
Figura 11 — Cromatograma de ácidos orgánicos presentes en tuna de la variedad de Blanca en 3 canales.....	44

INTRODUCCIÓN

El consumo de productos de origen vegetal como la tuna ha incrementado exponencialmente en los últimos años, debido al efecto protector de sus principios activos y la preocupación por mantenerse en buen estado de salud por parte de los seres humanos. El efecto protector de las frutas y verduras generalmente se ha atribuido a sus componentes antioxidantes, que incluyen vitamina C (ácido ascórbico), vitamina E (α-tocoferol), carotenoides, flavonoides y ácidos fenólicos; compuestos vinculados a una disminución en el riesgo de contraer enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer por su capacidad a inhibir el efecto de los radicales libres (LIN *et al.* 2016).

La tuna (*Opuntia ficus-indica*) es una fruta no climatérica proveniente del nopal, producida en varias regiones del Perú y se encuentra bien adaptada a climas áridos y semiáridos, donde el agua puede ser una limitante para el cultivo. La tuna es una baya de muchas semillas con una cascara gruesa que encierra una pulpa de semillas de sabor muy delicado y agradable (AMAYA, 2009). La región de Apurímac es uno de los principales productores de tuna, en la provincia de Aymaraes y específicamente en la comunidad de Mutca es una de las frutas más consumidas, sin embargo, la población tiene poco conocimiento de las propiedades y atributos del fruto.

Para el presente estudio, los objetivos de investigación fueron determinar las características fisicoquímicas, el contenido de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y ácidos orgánicos de tres variedades de tuna en estado de madures de consumo, provenientes de la comunidad de Mutca, distrito de Chalhuanca, provincia de Aymaraes. Para determinar los compuestos fenólicos se empleó el método folin ciocalteu, la capacidad antioxidante se determinó con el método DPPH ambos métodos espectrofotométricos, el contenido de ácidos orgánicos se determinó utilizando el UPLC-QDa.

La secuencia de la investigación según reglamento fue la siguiente: Capítulo I: planteamiento de problema, Capítulo II: Objetivos e Hipótesis, Capítulo III Marco Teórico Referencial, Capítulo IV: Metodología, Capítulo V: Resultados y Discusiones, Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones.



RESUMEN

La tuna (*Opuntia ficus-indica*) es una fruta no climatérica proveniente del nopal, se encuentra bien adaptada a climas áridos y semiáridos en varias regiones del Perú, y es ampliamente apreciada por sus atributos sensoriales y por la presencia de componentes bioactivos tales como vitamina C y los compuestos fenólicos. En la presente investigación se realizó una caracterización fisicoquímica, de componentes antioxidantes y el perfil de ácidos orgánicos en tres variedades de tuna (Morada, Amarilla y Blanca) procedentes de la Comunidad de Mutca, Chalhuanca, Aymaraes, Apurímac. Se encontraron diferencias significativas en porcentaje de humedad, rendimiento de pulpa, pH, sólidos solubles, °Brix, acidez titulable, índice de madurez y cenizas entre las tres variedades de tuna. Con respecto a los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante DPPH, se encontraron diferencias significativas entre las variedades de tuna, siendo la tuna de la variedad Morada la que presentó los mayores niveles (69.10 ± 1.98 mg AGE/100 g, 278.38 ± 5.47 μ mol TE/100g), seguido de la variedad Amarilla y Blanca, respectivamente. En relación a los ácidos orgánicos en las tres variedades de tuna, se determinó en orden descendente al ácido cítrico, ascórbico, málico e isocítrico. El contenido de ácidos orgánicos mostró diferencias significativas entre las variedades de tuna, siendo la variedad Blanca con mayor contenido de ácido ascórbico (257.87 ± 70.25 mg/100 g b.h.), la variedad Morada con mayor contenido de ácido cítrico (342.63 ± 60.8 mg/100 g b.h.) y málico (76.12 ± 13.25 mg/100 g b.h.).

Palabras clave: ácidos orgánicos, capacidad antioxidante, compuestos fenólicos, tuna.



ABSTRACT

The TUNA (*Opuntia ficus-Indica*) is a non-climacteric fruit from the cactus, is well adapted to arid and semi-arid climates in several regions of Peru, and is widely appreciated by its sensory attributes and by the presence of bioactive components such as vitamin C and phenolic compounds. In the present investigation, a physicochemical characterization, antioxidant components and the organic acid profile in three varieties of tuna (purple, yellow and white) from the community of Mutca, Chalhuanca, Aymaraes, Apurímac, Significant differences were found in moisture percentage, pulp yield, pH, soluble solids, ° Brix, acidity titled, index of matures and ashes between the three varieties of tuna. With respect to phenolic compounds and DPPH antioxidant capacity, significant differences were found between the tuna varieties, being the tuna of the purple variety that presented the highest levels (69.10 ± 1.98 mg Age/100 g, 278.38 ± 5.47 $\mu\text{mol te /100g}$), followed by the yellow and white variety, respectively. The content of total phenolic compounds and DPPH antioxidant capacity showed a high correlation of Pearson ($R^2 = 0.98$). In relation to organic acids in the three varieties of TUNA, it was determined in order descending to citric acid, malic and isocitric ascorbic. The organic acid content showed significant differences between the varieties of TUNA, being the white variety with higher ascorbic acid (257.87 ± 70.25 mg/100 g b.h.), the purple variety with the highest citrus acid content (342.63 ± 60.8 mg/ 100 g b.h.) and Málico (76.12 ± 13.25 mg/100 g b.h.).

Keywords: *organic acids, antioxidant capacity, phenolic compounds, tuna.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La tuna (*Opuntia ficus – indica*) es una fruta proveniente del nopal, que se encuentra con una tendencia creciente en el consumo por el mercado mundial. Debido a sus valores nutricionales, así como también, por sus características sensoriales, proporcionados por el aroma y sabor características de la especie. Además, por el incremento de su producción debido a la rápida adaptación y desarrollo en regiones áridas y semiáridas, especialmente en los valles interandinos del Perú (AMAYA, 2009). En la actualidad, la región Apurímac está consolidado como uno de los principales productores de tuna (8% de la producción nacional) en las variedades Morada, Amarilla y Blanca, variedades que tienen gran adaptación en el mercado nacional e internacional (SIERRA Y SELVA EXPORTADORA, 2021). Sin embargo, el consumo mayoritario de esta fruta es de forma natural en los mercados locales, y el incremento de su demanda está condicionado a la disponibilidad de información relativa de las propiedades de los compuestos bioactivos y su procesamiento.

La tuna está adquiriendo relevancia como alimento funcional y nutraceutico. Esta fruta posee un alto contenido de agua, cualidad que potencia su aplicación en la industria alimenticia para la elaboración de zumos de fruta; también posee carbohidratos, fibra, proteínas y lípidos en menores proporciones, pero importantes cantidades de minerales (KHATABI *et al*, 2016). Existen escasos estudios en compuestos bioactivos y su actividad antioxidante en la pulpa de tuna producidos en Apurímac, además, el contenido de estos bioactivos, así como la composición nutricional varían de acuerdo a factores genéticos, condiciones ambientales, grado de maduración y condiciones de almacenamiento postcosecha (SÁENZ y SEPÚLVEDA, 2001). Por lo tanto, es la oportunidad de estudiar las características fisicoquímicas, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante DPPH y el contenido de ácidos orgánicos en las variedades de tuna Morada, Amarilla y Blanca producidos en Apurímac, haciendo uso de tecnología de análisis espectrofotométricas y cromatográficas.



EL presente estudio se realizó debido a que hay un desconocimiento de las características fisicoquímicas (Contenido de compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante y contenido de ácidos orgánicos) en las tres variedades de tuna estudiadas. Los resultados obtenidos se informarán a los comuneros de Mutca y toda la provincia de Aymaraes, en un boletín o algún evento académico a cargo de la UNAMBA.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuáles son las características fisicoquímicas, contenido de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y contenido de ácidos orgánicos de tres variedades de frutos de tuna (*Opuntia ficus-indica*) de la comunidad de Mutca - Aymaraes?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de frutos de tuna (*Opuntia ficus - indica*) de las variedades Morada, Amarilla y Blanca?
- ¿Cuál es el contenido de compuestos fenólicos totales de frutos de tuna (*Opuntia ficus - indica*) variedades Morada, Amarilla y Blanca?
- ¿Cuál es la capacidad antioxidante de frutos de tuna (*Opuntia ficus - indica*) variedades Morada, Amarilla y Blanca?
- ¿Cuál es el contenido de ácidos orgánicos de frutos de tuna (*Opuntia ficus - indica*) variedades Morada, Amarilla y Blanca?

1.3 Justificación de la investigación

La presente investigación es importante y desde el punto de vista social, los resultados de la investigación beneficiarán a todos los consumidores de tuna del país, especialmente a las familias de la comunidad de Mutca y a toda la población de todas las cuencas y microcuencas de Apurímac.

En la justificación económico, los costos de laboratorio, son aportes significativos de la UNAMBA y UNAJMA el resto de los costos: la materia prima e insumos hasta la publicación final son aportes del tesista, la investigación no ocasionó mayores inversiones, justificada económicamente.

En referencia al aspecto tecnológico la UNAMBA Y UNAJMA cuentan con equipos adecuados que hicieron posible la realización de este trabajo de investigación, además, se tuvo el apoyo de los encargados de laboratorios y de los docentes quienes fueron soporte en la realización de los ensayos.

Finalmente, en el aspecto ambiental, la determinación de las características fisicoquímicas, contenido de compuestos fenólicos capacidad antioxidante y contenido de ácidos orgánicos no produjo sustancias tóxicas que afecten al medio ambiente, los sub productos fueron manejados convenientemente



CAPITULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Determinar las características fisicoquímicas, contenido de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y contenido de ácidos orgánicos de tres variedades de frutos de tuna (*Opuntia ficus - indica*) de la comunidad de Mutca - Aymaraes.

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas de frutos de tuna (*Opuntia ficus - indica*) de las variedades Morada, Amarilla y Blanca.
- Analizar el contenido de compuestos fenólicos totales de frutos de tuna (*Opuntia ficus - indica*) de las variedades Morada, Amarilla y Blanca.
- Determinar la capacidad antioxidante de frutos de tuna (*Opuntia ficus - indica*) de las variedades Morada, Amarilla y Blanca.
- Determinar el contenido de ácidos orgánicos de frutos de tuna (*Opuntia ficus - indica*) de las variedades Morada, Amarilla y Blanca.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

Los frutos de tuna (*Opuntia ficus - indica*) de las variedades Morada, Amarilla y Blanca de la comunidad de Mutca, Chalhuana, Aymaraes. presentan diferentes características fisicoquímicas, contenido de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y contenido de ácidos orgánicos.

2.2.2 Hipótesis específicas

- Los frutos de tuna (*Opuntia ficus - indica*) de las variedades Morada, Amarilla y Blanca, presentan diferentes características fisicoquímicas.

- Los frutos de tuna (*Opuntia ficus - indica*) de las variedades Morada, Amarilla y Blanca, presentan diferente contenido de compuesto fenólicos totales.
- Los frutos de tuna (*Opuntia ficus - indica*) de las variedades Morada, Amarilla y Blanca, presentan diferente capacidad antioxidante.
- Los frutos de tuna (*Opuntia ficus - indica*) de variedades Morada, Amarilla y Blanca, presentan diferente contenido de ácidos orgánicos.

2.3 Operacionalización de variables

La operacionalización de las variables independientes y dependientes del presente estudio se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 — Operacionalización de variables

	Indicador	Índice
Independiente		
Variedades de frutos de tuna	Morada	Adimensional
	Amarilla	Adimensional
	Blanca	Adimensional
Dependiente		
Características fisicoquímicas	Humedad	%
	Rendimiento de pulpa	%
	pH	Valor numérico
	Acidez Total	% de acidez
	Sólidos solubles	°Brix
	Índice de madurez	°Brix/Acidez titulable
	Cenizas	%
Compuestos fenólicos	Contenido de compuestos fenólicos totales	mg AGE/100 g
Actividad antioxidante	Capacidad de absorción de radicales libres DPPH	µmol ET/100g
Contenido de ácidos orgánicos	Ácidos orgánicos	mg/100g

CAPITULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

En la actualidad, son escasas las investigaciones que abarquen las características fisicoquímicas, contenido de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante por los ensayos DPPH y contenido de ácidos orgánicos en la tuna (*Opuntia ficus-indica*) de las variedades Morada Amarilla y Blanca, producidas en la comunidad de Mutca - Aymaraes, a continuación, se muestra algunas investigaciones realizadas en la tuna.

JORGE y TRONCOSO (2016), cuantificaron los compuestos fenólicos, la vitamina C y evaluaron la capacidad antioxidante en tuna de la variedad roja de (*Opuntia ficus-indica*) provenientes del departamento de Huancavelica. Todos los análisis fueron determinados por métodos espectrofotométricos; el contenido de compuestos fenólicos totales y vitamina C se determinaron utilizando el reactivo Folin-Ciocalteu, mientras que la capacidad antioxidante lo determinaron por medio de ensayo de la capacidad de reducción de hierro (FRAP). Los resultados reportados para el contenido de compuestos fenólicos. Vitamina C y la capacidad antioxidante FRAP en pulpa de tuna roja fueron de 68.7 ± 2.3 mg equivalente de ácido gálico en 100 gramos de pulpa de tuna fresca, 36.1 ± 1.7 mg de ácido ascórbico en 100 gramos de pulpa fresca y 0.7 ± 0.0 mM de Fe-II en 100 gramos de pulpa fresca; respectivamente.

ORTIZ (2018), en su tesis de pregrado, determinó el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante de tres variedades (color Amarilla, Rojo y Verde) de pulpa (Téran, 2015) de tuna provenientes de la ciudad de Caraz, previamente secados a 40°C, durante 20 días. Los compuestos fenólicos fueron extraídos con etanol y cuantificados por el método Folin - ciocalteu obteniendo resultados para la variedad Amarilla, verde y roja de 18.53 ± 0.38 , 16 ± 0.26 y 16.33 ± 0.16 µg de ácido gálico equivalente en 100 g de producto secado, respectivamente. La capacidad antioxidante que reporta el autor son valores no comparables.



TÉRAN (2015), determinó el contenido de vitamina c y las características químicas de la variedad anaranjada de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en madurez de consumo; frutas que fueron recolectados de una plantación comercial, ubicado en la ciudad de El Tocuyo, municipio Moran del estado de Lara – Valenzuela. Los resultados reportados fueron los siguientes, Vitamina C (19.59 mg de ácido ascórbico /100 g de pulpa fresca), Solidos totales (8.33 °Brix), pH (5.9), Acidez titulable (0.12 por ciento de ácido cítrico)

COAVOY (2016), determinó las características fisicoquímicas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de la variedad Morada de tuna (*Opuntia ficus – indica*) en la madurez de consumo, recolectados en el distrito de San Bartolomé de la provincia de Huarochirí, Lima. Dentro de los resultados establecieron el valor del pH (6.61), la acidez (0.06 ± 0.01 g de ácido cítrico /100 ml de muestra), Solidos Solubles (11.67 ± 0.47 °Brix) y un índice de madurez de 182.86 ± 8.96 . El contenido de compuestos fenólicos totales extraídos con etanol y determinados por el método Folin-Ciocalteu fluctuó entre 850.29 y 1002.47 mg de ácido gálico equivalente en litro de muestra y la capacidad antioxidante expresado como porcentaje de inhibición del radical DPPH vario entre 36.11 y 40.18%.

REPO DE CARRASCO y ENCINO (2008), estudiaron la pulpa de la tuna procedentes de Ayacucho. En las tunas de variedad roja se determinó el contenido de compuestos fenólicos totales por el método del Folin-Ciocalteu y en las variedades de color Rojo, Verde y Anaranjada se determinó la capacidad antioxidante por el ensayo DPPH (2,2 difenil-picril hidrazilo). Los resultados reportados fueron los siguientes: Compuestos fenólicos totales en tuna Roja, 52 ± 5 mg de equivalente ácido gálico/100g de pulpa fresca. Capacidad antioxidante como porcentaje de inhibición del radical DPPH en tuna de color rojo (77.65%) fue mayor comparado con las tunas de color Anaranjado (41.65%) y Verde (34.20%)

KUTI (2004), en su investigación determinó el contenido de ácidos ascórbico y capacidad antioxidante por el ensayo ORAC de tuna Verde, cosechadas en el huerto de nopales de la universidad de Texas A&M University - Kingsville. Adicionalmente, reportado el rendimiento en pulpa equivalente a 58%. El contenido ácido ascórbico fue de 458 μ g por gramo de pulpa fresca, y la capacidad antioxidante ORAC reportada, fue de 26.3 ± 1.8 μ mol Equivalente en troles por gramo de pulpa en peso fresco.



3.2 Marco teórico

3.2.1 Generalidades de la tuna

La tuna (*Opuntia ficus-indica*) pertenece a la familia de las cactáceas, es una planta originaria de las zonas áridas y semiáridas de México, posteriormente introducidos y cultivados en América, África, Asia, Europa y Oceanía (GRIFFITH, 2004). La especie de cactus *Opuntia ficus-indica*, es considerado la de mayor importancia económica en el mundo debido a sus múltiples usos, tales como fruta, forraje y como hospedante de la cochinilla; solo en México se consumen sus cladodios tiernos como verdura. Esta planta cuenta con mecanismos especiales de adaptación y alta capacidad de producción de biomasa, lo que le permite desarrollarse en condiciones desfavorables, como temperaturas altas y suelos nutricionalmente pobres expuestos a la erosión (GRIFFITH, 2004)

Cabe mencionar que la tuna se produce en 16 departamentos del Perú, entre ellos los de mayor producción con: Ayacucho (20,25%), Huancavelica (14.65%), Arequipa (14.84%), Lima (14.02%) y Apurímac (8.25%) (SIERRA Y SELVA EXPORTADORA, 2016). Esta fruta, por lo general es consumida en forma natural por los pobladores locales, Aunque también pueden aprovecharse para la industria alimentaria, cosmética, bioenergética entre otras. Actualmente, su comercialización se está incrementándose en los principales mercados del país, debido a las tendencias de consumo de productos saludables y sus propiedades organolépticas.

3.2.2 Clasificación taxonómica

El primer nombre español es higo de las indias, que alude a su origen. “las Nuevas Indias” y de allí su primer nombre científico; *Cactus ficus – indica* L. El nombre *ficus-indica* había sido usado en “frases diagnósticas” ya mucho antes de Linneo, para designar varias especies (SIERRA Y SELVA EXPORTADORA, 2016).



De acuerdo con SÁENZ *et al.* (2006), la clasificación taxonómica de la tuna es como sigue:

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Caryophyllales*

Familia: *Cactaceae*

Tribu: *Opuntiae*

Género: *Opuntia*

Especie: *Opuntia ficus-indica* Mill

Nombres comunes: *tuna, nopal, higuera, palera, penca*

3.2.3 Características morfológica

La tuna es un arbusto perenne, con un sistema radical superficial y muy extenso, alcanzando una profundidad cercana a los 80 cm, su tallo primario o tronco es lignificado de color verde oscuro con forma cilíndrica que mide entre 3 a 5 m de altura entre 20 a 50 cm de diámetro (RAMÍREZ *et al.*, 2012). En general, las variedades de tuna adaptados en el Perú, desarrollan tamaños entre 1.5 a 2,00 m de altura aproximadamente, las ramas son conocidos como cladodios (también conocidos como pencas, paletas u hojas), cumplen la condición fotosintética y de almacenamiento de agua en los tejidos, poseen una cutícula gruesa de color verde pálido a oscuro con areolas que contienen numerosas espinas, los cladodios tiene forma ovoide y planada con un tamaño de 30 a 60 cm de largo, de 20 a 40 cm de ancho y de 2 a 3 cm de espesor (AMAYA *et al.*, 2009; RAMÍREZ *et al.*, 2012; GAVILÁN, 2014). Las flores de la tuna son hermafroditas, solitarias y sésiles, se encuentran localizados en la parte superior de los colores vivos como el Amarilla, anaranjado, rojo, rosa, y Blanca (RAMÍREZ *et al.*, 2012) La estructura morfológica de la planta de tuna se muestra en la Figura 1.



Figura 1 — Estructura de la planta de tuna
(Mutca, Chalhuanca, Aymaraes)

Los frutos de tuna son bayas con un largo de hasta 15 cm de forma ovoide esférica de pigmentación verde que pueden variar a diferentes colores (Amarilla, Rojo, Púrpura, etc.) cuando maduran según la variedad. Tiene una cascara gruesa que representa aproximadamente de 30-40% y en la superficie se encuentran areolas con espinas finas. La pulpa es agradable y dulce, representa aproximadamente de 40-55% del fruto y envuelve numerosas semillas de color variable que representa entre 5-10% de la pulpa (RAMIREZ *et al.*, 2012).



Figura 2 — Fruto de la tuna
(Variedad Amarilla)

3.2.4 Variedades de tuna

De acuerdo con AMAYA (2009), en el Perú existen 4 variedades de tuna.

- **Variedad Blanca**

Esta variedad de tuna se produce en la sierra y en la costa. La cascara de esta variedad es de color verde claro, es dura, gruesa y con espinas pequeñas; La pulpa es de color verde claro cristalino o Blanca, tienen una consistencia firme, es jugosa, dulce y envuelve pocas semillas. Esta variedad de tuna es la más comercial como fruta fresca debido a su buena calidad de pulpa y su gran aceptabilidad en el mercado (GAVILÁN , 2014; AMAYA, 2009).

- **Variedad Amarilla**

En la variedad Amarilla, existen dos tipos; la Amarilla serrana (monte o de huerta) y la Amarilla costera. La tuna Amarilla serrana es más pequeña que la variedad Blanca, mientras que la tuna costera Amarilla tiene aproximadamente el mismo tamaño que la variedad Blanca. En ambos casos la cascara es gruesa y de color Amarilla con tonos anaranjados, la pulpa también es de color Amarilla-Anaranjado y ligeramente más harinosos que la tuna Blanca (GAVILÁN , 2014; AMAYA, 2009)

- **Variedad Morada**

Esta variedad de tuna se produce principalmente en la sierra. Tiene una cascara gruesa con alguna espina pequeñas. El color de la fruta varía desde un rojo brillante a un rojo oscuro Morada, es grande, dulce, jugosa y de buena calidad (GAVILÁN , 2014; AMAYA, 2009).

- **Variedad Roja**

Esta variedad de tuna es originaria de la sierra. El fruto es grande y muy perecible por la rápida maduración que presenta, no es apropiado para el transporte debido a su cáscara delgada lo que dificulta su amplia comercialización (GAVILÁN , 2014; AMAYA, 2009).





Figura 3 — Frutos de tuna variedades: Morada, Amarilla y Blanca, en estudio.



Figura 4 — Frutos de tuna variedades: Morada, Amarilla y Blanca sin cascara, en estudio.

3.2.5 Composición química

La composición química de la tuna está en función de la variedad, grado de madurez y las condiciones agroclimáticas de producción. De acuerdo con la tabla 2, el componente mayoritario en la tuna es el agua (entre 82.27 - 91.18%) y el segundo componente mayoritario son los carbohidratos (entre 9.72 - 17%), principalmente glucosa y fructosa en cantidades similares, responsables del sabor dulce de la fruta (FEUGANG *et al.*, 2006). En cuanto al contenido de cenizas (0.28 - 1.00%), fibra (0.02 - 3.60%), Proteínas (0.90 - 1.60%) y lípidos (0.09 - 0.70%), en general, se reportan cantidades bajas

en literatura, además, es una fuente importante de minerales como potasio, magnesio, calcio, hierro y fósforo (COTA, 2016)

De acuerdo con TÉRAN (2015); JORGE y TRONCOSO (2016), el contenido de ácidos ascórbico o vitamina C presente en la pulpa de tuna puede variar entre 19.59 hasta 36.1 ± 1.7 mg de ácido ascórbico en 100 g de pulpa fresca. Además, contiene componentes importantes de compuestos bioactivos como los flavonoides (Kaempferol, quercetina, narcisina, dihidrokaempferol, dihidroquercetina y eriodictiol), pigmentos como las betalainas, betacantinas responsables de la coloración del fruto en concentraciones variables dependiendo de la variedad de la tuna.

Tabla 2 — Composición química de la pulpa de frutos de tuna en 100 g por peso fresco

Componente	Cota-Sánchez (2016)	Khatabi <i>et al.</i> (2016)	Medina <i>et al.</i> (2007)
Agua (g)	84.00 – 90.00	89.13 - 91.18	82.27
Carbohidratos (g)	12.00 – 17.00	9.72 - 16.58	14.58
Cenizas (g)	0.3-1.00	0.28 - 0.42	0.39
Fibra (g)	0.02-3.15	ND	3.60
Proteína (g)	0.21-1.60	0.11 - 0.23	0.90
Lípidos (g)	0.09 – 0.70	ND	0.50
Potasio (mg)	90.00 – 220.00	124.30 - 211.40	158.30
Magnesio (mg)	16.10 – 98.40	11.50 - 21.20	25.10
Calcio (mg)	12.80 – 59.00	16.60 - 31.40	26.30
Hierro (mg)	0.40 - 1.50	0.76 - 1.06	0.20

Extraído de (JORGE y TRONCOSO, 2016)

ND: No determinado.

3.2.6 Usos y aplicaciones

Por lo general, el fruto de la tuna es consumida en estado fresco, aunque también pueden aprovecharse en las industrias como, por ejemplo: industrias cosmética, farmacéutica, bioenergética y alimenticia (productos

con valor agregado como frutas confitadas, jugos, mermeladas y vinos). Las semillas pueden ser fuente de aceites para la aplicación como materia prima para la industria cosmética. Particularmente en México, además de consumirlos en fresco y procesados las frutas, se consumen los cladodios tiernos o nopalitos como verduras, crudos o cocidos previamente desespinados, y hasta procesados en mermeladas (AMAYA, 2009; COTA, 2016).

Esta planta también se puede cultivar para la alimentación animal, debido al alto contenido de agua en los cladodios, impórtate para animales en zonas desérticas. Investigaciones demostraron que los cladodios tienen alto contenido de agua azúcares, pero bajo nivel de proteínas y fibra, recomendándole combinar la alimentación d los animales (AMAYA, 2009).

3.2.7 Maduración y cosecha

El proceso de maduración está acompañado de un conjunto de cambios visibles en el fruto, este proceso desarrolla una serie de propiedades Físico-químicos que permiten identificar dos etapas de maduración fisiológica y de consumo. En el estado de madurez fisiológica, el fruto alcanza su máximo crecimiento y es de donde acumula la mayor parte de las reservas, y el estado de madurez de consumo corresponde a la etapa donde el fruto ha desarrollado las características de sabor, aroma y color deseadas por los consumidores (AMAYA, 2009; COTA, 2016).

La tuna es una fruta no climatérica y muy perecedera, por lo tanto, deben ser cosechada una vez hayan alcanzado la madurez comercial o de consumo. Existen diferentes parámetros para determinar la madurez de consumo acorde a la variedad, como el color de la cascara, el tamaño y llenado del fruto, la firmeza y sobre todo el contenido de sólidos solubles. Mayores a 12°Brix (CANTWELL, 1999)

La cosecha de la tuna debe realizarse con mucho cuidado, ya que los frutos cosechados de forma inadecuada por lo general presentan daños físicos que provocan deshidratación y favorecen el ataque de los hongos *penicillium spp* y *alternaria spp* (CANTWELL, 1999). Se recomienda realizar la cosecha de la tuna en las madrugadas, cuando la temperatura ambiental sea la más



baja pasible para disminuir la actividad fisiológica y conservar por mayor tiempo la fruta, aunque no supere los 5 días en anaquel a temperatura ambiente. Parra prolongar el tiempo en anaquel de la tuna conservando sus cualidades que determinan su calidad, es necesario el almacenamiento en refrigeración a condiciones de 6°C y 90 - 95% de humedad relativa lo que permite prolongar la calidad de las tunas por hasta 4 semanas (CANTWELL, 1999)

3.2.8 Contenido de cenizas

Las cenizas son el residuo inorgánico que queda después de calcinar la materia orgánica. Cuando los alimentos son tratados térmicamente a temperatura entre 500 y 600°C, el agua y otros constituyentes volátiles son expulsados como vapores en tanto los constituyentes orgánicos son transformados en presencia del oxígeno del aire en dióxido de carbono (CO_2) y óxido de nitrógeno (NO_2) mientras el hidrogeno es expulsado en forma de vapor de agua. Los minerales constituyentes (cenizas) permanecen en el residuo en forma de óxidos, sulfatos, silicatos y cloruros, en dependencia de las condiciones de incineración y la composición del producto (KIRK, *et al.*, 1996).

Las cenizas representan el contenido en minerales del alimento; en general, las cenizas suponen menos del 5% de la materia seca delos alimentos. Los minerales, junto con el agua, son los unicos componentes de los alimentos que no se pueden oxidar en el organismo para producir energia; por lo contrario, la materia organica comprende los nutrientes (proteina, carbohidratos y lipidos) que se pueden quemar (oxidar) en el organismo para obtener energia, y se calcula como la diferencia entre el contenido en materia seca del alimento y el contenido de cenizas (KIRK, *et al.*, 1996).

Al realizar la determinación del contenido de cenizas en un alimento deben tenerse en cuenta un conjunto de precauciones durante el proceso de preparacion de las muestra y durante la manipulacion de cenizas, con el objetibo de minimizar los errores y obtener resultados confiables. Algunas de estas precauciones se relacionan a contunucion

- Los productos que contienen mucha agua se deben secar primero sobre a temperaturas menores a temperatura de ebullición, debido a que el alimento genera espumas al aplicar tratamiento brusco hace que las burbujas de vapor de la espuma se rompan y salpiquen generando pérdidas en la masa de la muestra.
- Luego el crisol con la muestra ceca se precalcina hasta que la muestra no emita humo.
- Luego se calcina en la mufla por 12 horas a 550°C.
- En general, la temperatura adecuada de la mufla es de 550°C. sin embargo, los cloruros, pueden volatilizar a esta temperatura.
- Las cenizas se utilizan muchas veces para la determinación de constituyentes individuales, por ejemplo cloruros, fosfatos, hierro y calcio (KIRK, *et al.*, 1996).

3.2.9 Ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos son un grupo de componente orgánicos definidos por la presencia de grupos de ácidos carboxílico, se clasifican en alifáticos (cadena lineal) y aromáticos. Los principales ácidos orgánicos, presentes en frutas con los alifáticos. Como los ácidos málico, cítrico y tartárico (Exclusivo en uvas), mientras que los ácidos aromáticos se encuentran relativamente en bajas concentraciones en la mayoría de las frutas (BELITZ, *et al.*, 2008; VICENTE *et al.*, 2014). La estructura de los ácidos orgánicos presentes en frutas y verduras se muestran en la Figura 5. Durante las primeras etapas de desarrollo de las frutas, los ácidos orgánicos tienden acumularse, mientras que en el proceso de maduración estos disminuyen debido a que son utilizados como sustrato para el proceso de respiración. La disminución en el contenido de los ácidos orgánicos ocurre junto con la calidad del contenido de almidón y el incremento con el contenido de azúcares, los azúcares solubles junto a los ácidos orgánicos son componente importante del sabor final de las frutas y la relación del contenido de azúcar y ácidos es ampliamente utilizando como un indicador de estado de madurez para frutas (SHANGGUAN, 2015; KADER, 2008).



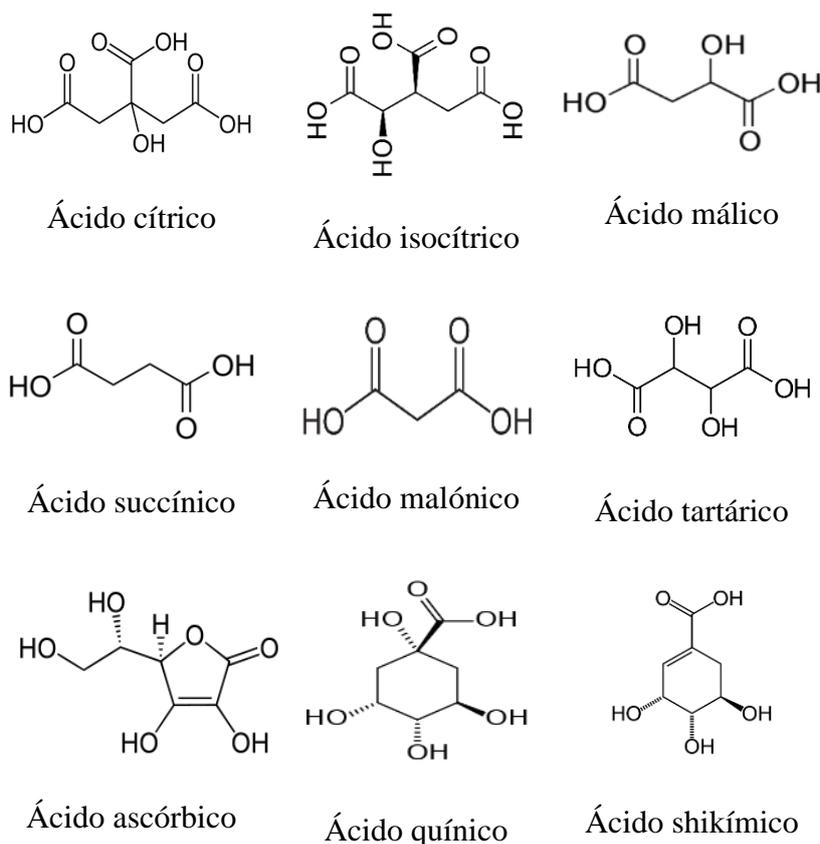


Figura 5 — Estructura de principales ácidos orgánicos presentes en frutas y verduras

Extraído de (SHANGGUAN, 2015)

El principal valor nutricional de los ácidos orgánicos es como precursor de la síntesis de aminoácidos, en la fruta pueden ayudar a estabilizar algunas vitaminas y prevenir la oxidación de compuestos fenólicos durante el procesamiento. Además, algunos compuestos importantes desde el punto de vista nutricional, como la vitamina C, son ácidos estrictamente orgánicos (HOUNSOME, 2008). El ácido L-ascórbico o vitamina C, es un ácido orgánico que posee propiedades antioxidantes, el consumo de este ácido está relacionado con la prevención de enfermedades degenerativas (catarata, desordenes cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer). Además, está relacionado con la síntesis de neurotransmisores, hormonas esteroideas, colágeno, y en la absorción de minerales como el hierro y calcio. Ayuda en la cicatrización de heridas y quemaduras, en la prevención de la formación de coágulos sanguíneos y hematomas, y en el fortalecimiento de las paredes

de los capilares (HOUNDOME, 2008). Las verduras ricas en ácido ascórbico incluyen espinacas, cebollas, berros, brócoli, coliflor, pimientos dulces, guisantes y frijoles.

3.2.10 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son un conjunto de metabolitos secundarios que se encuentran ampliamente distribuidos en el reino vegetal, su estructura contiene un anillo aromático unido a uno o más grupos hidroxilo, y pueden variar desde una molécula fenólica sencilla hasta un polímero de alto peso molecular (BALASUNDRAM, *et al.*, 2006).

Estos compuestos se encuentran en cada parte de las plantas y su contenido cambia a lo largo de su desarrollo vegetativo, desempeñando roles importantes como la defensa de la planta, el balance hormonal, el sabor, la coloración de los frutos, y propiedades de señalización, particularmente en las interacciones entre las plantas y su entorno (BOUDET, 2007). Por lo general la acumulación de los compuestos fenólicos es mayor en la cascara de la fruta comparada con la pulpa (VICENTE, 2014). El término de compuestos fenólicos incluye más de 8000 compuestos con gran diversidad estructural, en donde cada compuesto contiene un anillo aromático con uno o más grupos hidroxilo. En la tabla 3, se muestran las principales familias de compuestos fenólicos, la mayoría de los cuales se encuentran en la naturaleza asociados a monosacáridos o polisacáridos (Glucósidos) o derivados funcionales como ésteres o ésteres metílicos (VERMERRIS, y NICHOLSON, 2007).



Tabla 3 — Clasificación de los polifenoles y ejemplos de ellos

Estructura química	Tipo	Ejemplo de polifenol
C ₆	Fenol simple	Eugenol
C ₆ -C ₁	Ácido fenólico Ácido benzoico	Ácido gálico Ácido elágico
(C ₆ -C ₁) _n	Taninos hidrolizables	
C ₆ -C ₂	Ácido fenil acético	
C ₆ -C ₃	Ácido hidroxicinámico Cumarinas	Ácido cafeico Ácido ferúlico
(C ₆ -C ₃) ₂	Lignan	
C ₆ -C ₁ -C ₆	Benzofenonas Xantanas	
C ₆ -C ₂ -C ₆	Estilbenos	Resveratrol
C ₆ -C ₃ -C ₆	Flavonoides Chalcanos	Antocianinas Flavonas Flavonoles Flavanonas Isoflavonas Flavanoles
(C ₆ -C ₁ -C ₆) _n	Proantocianinas (taninos 4 ≤ n ≤ 11)	

Extraído de (VERMERRIS, y NICHOLSON, 2007).

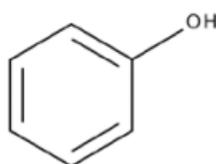


Figura 6 — Estructura química del grupo fenol
Extraído de (HERNÁNDEZ, *et al.*, 2015)

Los compuestos fenólicos son un grupo de moléculas mejor conocidos con importante capacidad antioxidante. Estos compuestos se encuentran presentes en frutas y verduras y la actividad antioxidante depende de las posiciones y el número de los grupos hidroxilos y de la naturaleza de las sustituciones en los anillos aromáticos (BALASUNDRAM, *et al.*, 2006).

Los compuestos fenólicos tienen un gran interés científico debido a la gran cantidad de beneficios en la salud humana, tales como anti alergénico, antiinflamatorio antimicrobiano, antioxidante, antitrombótico, cardioprotector y efecto vasodilatador, estos beneficios están asociados al incremento en el consumo de frutas y verduras (LIN, 2016).

Los compuestos fenólicos que se encuentran en mayor proporción en la dieta son los ácidos fenólicos (Ácidos benzoicos y cinámico) con 30% y los flavonoides con un 60% del total (BALASUNDRAM *et al.*, 2006). El contenido de compuestos fenólicos en las frutas está determinado por factores genéticos, condiciones ambientales, grado de maduración y condiciones de almacenamiento y postcosecha.

3.2.11 Los antioxidantes

Los antioxidantes son compuestos químicos que pueden disminuir significativamente los efectos adversos de las especies químicamente reactivas (radicales libres) sobre las funciones fisiológicas normales en los seres vivos (PATTHAMAKANOK, 2008). El cuerpo humano produce algunos compuestos antioxidantes (antioxidantes endógenos), sin embargo, depende de fuentes externas (antioxidantes exógenos) como la dieta para obtener el resto de antioxidantes que necesita. Los antioxidantes también son importantes en la industria alimentaria para retrasar los procesos de oxidación, en el caso de las grasas previenen el inicio de la rancidez oxidativa (PASTENE, 2009)

La actividad antioxidante de un compuesto está determinada por la estructura química, por lo tanto, la efectividad antioxidante entre los diferentes grupos de compuestos es considerablemente diferentes (MARCUCCI y CAIEIRO, 2010). Los polifenoles son conocidos como compuestos con mayor actividad antioxidante, proporcionando bases de hidrogeno para inactivar los radicales libres que inician las reacciones de autooxidación, estos compuestos actúan específicamente como inhibidores de radicales peróxi (RO_2^-), alquilo (R-) y alcoxi (RO-) debido a su acción reductora mediante dos mecanismos antirradicales y como quelantes de metales (MARCUCCI, *et al.*, 2010).



3.2.12 Tipos de antioxidantes

Se sabe que los antioxidantes como la vitamina C y E suprimen de forma independiente las reacciones dañinas que involucran al oxígeno, estos antioxidantes se encuentran a menudo en sustancias con bajo peso molecular y a menudo provocan una reacción que detiene los radicales de oxígeno o los radicales derivados de ellos, no solo reaccionan directamente con los radicales, sino que a menudo ayudan en las reacciones antioxidantes relacionados con las enzimas, como se describe a continuación, cuando un antioxidante de molécula pequeña está directamente involucrado en la reacción, la selectividad de la reacción es baja y varios oxidantes reacciona con el antioxidante (HUANG y PRIOR, 2005).

Por otro lado, los antioxidantes de alto peso molecular se pueden dividir ampliamente en oxidasas y proteínas de transporte/almacenamiento de minerales. Es decir, hay una amplia variedad de oxidasas en el organismo vivo, y algunas de estas enzimas metabolizan la propia especie de oxígeno activo como sustrato, mientras que otras descomponen y metabolizan los peróxidos nocivos generados. También hay enzimas que reciclan “antioxidantes inactivos” como las vitaminas C y E, que se oxidan al reaccionar con oxidantes, devolviéndolos a su forma reducida. Por lo tanto, algunas oxidasas que están directamente involucradas en el reciclaje y tienen un efecto antioxidante también se consideran como antioxidantes (HUANG y PRIOR, 2005).



Tabla 4 — Antioxidantes conocidos que eliminan especies de oxígeno activo

Sustancias Antioxidantes	Especies de oxígeno activo			
	O_2^-	H_2O_2	$*OH$	1O_2
Superóxido dismutasa	Si	No	No	No
Peroxidasa de glutatión	No	Si	No	No
Peroxidasa	No	Si	No	No
Catalasa	No	Si	No	No
Ácido ascorbico	Si	Si	No	Si
Cisteína	No	No	Si	No
Glutatión	No	No	Si	No
Ácido linoleico	No	No	Si	No
α -tocoferol	No	No	Si	Si
α -caroteno	No	No	Si	No
β -caroteno	No	No	Si	Si
Flavonoide	No	No	Si	No
Riboflavina	No	No	No	Si
Bilirrubina	Si	No	No	No
Ácido úrico	No	No	Si	Si

O_2^- : Anion superóxido, $*OH$: Radical hidróxilo, H_2O_2 : Peroxido de hidrogeno, 1O_2 : Oxígeno singulete (Agentes oxidantes)

Extraido de (GONZALEZ, *et al.*, 2005)

Muchas de estas oxidasas, que se consideran antioxidantes, consumen receptores de electrones como el glutatión y la vitamina C como sustratos. Es decir, la presencia de un antioxidante como agente reductor es indispensable para el metabolismo del peróxido por la enzima. Es necesario prestar atención a la característica de la enzima de que la reacción enzimática es una reacción reversible y solo aumenta la velocidad de reacción. Es otras palabras, la reacción inversa no importa porque hay abundantes receptores de electrones en el cuerpo vivo (GONZALEZ, *et al.*, 2005)

3.2.13 Métodos para la determinación de capacidad antioxidante

Los métodos para la determinación de capacidad antioxidante es extractos de diferentes matrices alimentarias están basados en la verificación como un agente oxidante induce daño oxidativo sobre un sustrato oxidante. También, existen ensayos basados en la cuantificación de los productos generados posterior al proceso oxidativo. Los diferentes métodos que existen varían en el sustrato, agente oxidativa, la técnica instrumental utilizada y sobre todo en los mecanismos de reacción (FERNÁNDEZ *et al.*, 2006) a continuación, se presenta los métodos más utilizados para determinar la capacidad antioxidante *in vitro* en muestras alimentarias.

a) Método DPPH

El ensayo DPPH (2,2-difenil-1picril hidrazilo) es un método espectrofotométrico, utilizado para medir el poder antirradical de compuestos antioxidante o extractos de plantas y un sistema modelo (Disolvente orgánico, Temperatura ambiente). Mide la capacidad de un antioxidante (AH, Generalmente compuesto fenólicos) para reducir el radical libre (DPPH°) por transferencia de un átomo de hidrogeno (HAT) a 515nm. El radical DPPH°, que inicialmente es violeta, se convierte en DPPH-H de color Amarilla pálido (Figura 7), Este cambio de color ocurre junto con la disminución en la absorbancia, proporcional a la capacidad antioxidante y la cantidad de la muestra (BRAND-WILIAMS, *et al.*, 1995).

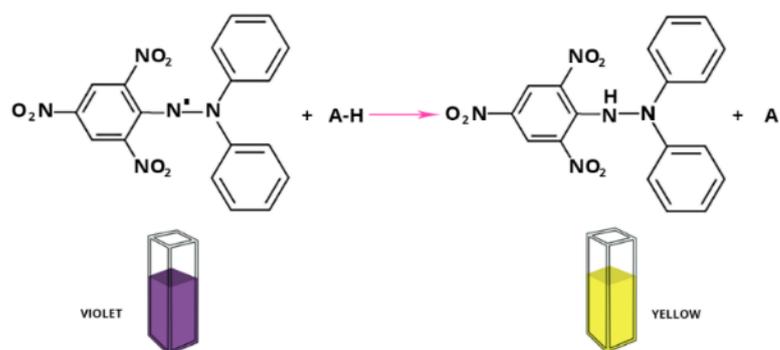


Figura 7 — Reacción entre el DPPH y la sustancia antioxidante
Extraído de (PYRZYNSKA, *et al.*, 2013)

b) Método ABTS

Este método (ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) sirve para la detección de la actividad antioxidante de una sustancia. se destaca como ensayo de decoloración aplicable tanto a los antioxidantes lipofílicos como a los hidrofílicos, comprendidos los flavonoides, hidroxicinamatos, carotenoides y antioxidantes plasmáticos. la monicacion radical preformada del ácido 2,2'-azinobis-(ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) ($abts^+$) se forma por oxidación de abts son persulfato de potasio y se reduce en presencia de tales antioxidantes donadoras de hidrogeno. al determinar la actividad antioxidante, se tiene en cuenta la concentración de antioxidante como la duración de la reacción sobre la inhibición de la absorción de cationes radicales, (PELLIGRINI, *et al.*, 1999).

El ABTS se utiliza con frecuencia por la industria alimentaria y los investigadores agrícolas para medir la capacidad antioxidante de los alimentos. ABTS se convierte en su cation radical mediante la adición de persulfato de sodio. Este cation radical es de color azul y absorbe la luz a 734 nm. El ABTS cation radical reactivo frente a la mayoría de los antioxidantes, incluyendo compuestos fenólicos, tioles y vitaminas C (WALKER y EVERETTE, 2009). Durante esta reacción, el radical cation azul ABTS se convierte de nuevo en su forma neutra incolora. La reacción puede controlarse espectrofotométricamente. Este ensayo es menudo se denomina e Ensayo de capacidad antioxidante equivalente de trolox – TEAC (ROGINSKY y LISSI, 2005).

c) Método ORAC

Se define este método de nombre Oxygen Radical Absorbance Capacity o Capacidad de absorción de Radicales de Oxígeno, como un método de medición de capacidad antioxidante, el cual mide la actividad o capacidad global que tienen todos los antioxidantes presentes en una muestra para apagar o neutralizar radicales peróxidos. (ZAPATA, *et al.*, 2014). Otros autores dan detalles adicionales como que este método se emplea ampliamente para la determinación de antioxidantes de los



alimentos y utiliza fluoresceína como sonda para la oxidación de los radicales peróxido (BISBY, *et al.*, 2008)

El método calcula la degradación oxidativa de la molécula luminiscente (ya sea beta-ficoeritrina o fluoresceína) posteriormente de mezclar con productores de radicales libres como compuestos azoiniciadores. Se considera que los azoiniciadores y da como resultado la pérdida de luminiscencia. Se considera que los antioxidantes resguardan la molécula fluorómetro. Actualmente, la fluoresceína se utiliza principalmente con sonda fluorescente. Los equipos que pueden medir y calcular automáticamente la capacidad están disponibles comercialmente. La intensidad fluorescente se acorta a medida que progresa la degeneración oxidativa, y esta intensidad se muestra típicamente durante 35 minutos después de la adición de azoiniciador (Generador de radicales libre).

d) Método FRAP

Es un método (Ferric Reducing Ability of plasma o ferric ion reducing Antioxidant power) es un simple y automatizado que mide la capacidad reductora férrica del plasma, la reducción de iones férricos a ferrosos a pH bajo que provoca la formación de un complejo ferroso – tripiridil triazina colorado (BENZIE y STRAIN, 1996).

Es muy sencillo y económico, pueden reducir varios antioxidantes no enzimáticos como es el caso de vitaminas C y otros como ácido úrico, entre otros. Pero no determina los antioxidantes que tienen grupos SH, tal como la glutatión, ácido tióctico y algunos aminoácidos, ya que estos no reducen de forma eficiente el Fe^{3+} a Fe^{2+} (BENZIE y STRAIN, 1996).

3.3 Marco conceptual

- **Actividad antioxidante:** Los compuestos antioxidantes actúan principalmente debido a su capacidad para reaccionar con los radicales libres, también, son conocidos como antioxidantes determinadores de cadena (LONDOÑO, 2012).
- **Acidez titulable:** El grado de acidez indica la cantidad de ácidos libres presentes en las muestras, se determina por titulación volumétrica y los



resultados se expresan como el porcentaje del ácido predominante en la muestra (JIMENEZ, *et al.*, 2000)

- **Ácidos orgánicos:** Son metabolitos primarios definidos por la presencia de grupos de ácidos carboxilo, se clasifican en alifáticos y aromáticos. Los ácidos orgánicos principales que se encuentran en la mayoría de las frutas son los alifáticos, principalmente los ácidos málico cítrico, ascórbico y tartárico, mientras que el contenido de los ácidos aromáticos en las frutas se encuentra relativamente en bajas concentraciones (BELITZ, *et al.*, 2008).
- **Compuestos fenólicos;** Son un grupo de compuestos orgánicos que se encuentran ampliamente distribuidos en el reino vegetal, su estructura contiene un anillo aromático unido a uno o más grupos hidroxilo, y pueden variar desde una molécula fenólica sencilla hasta un polímero de alto peso molecular (BALASUNDRAM, *et al.*, 2006).
- **Cromatografía líquida de ultra performance (UPLC):** Es un tipo de cromatografía de líquidos de ultra presión en columna, ampliamente utilizado en química analítica y bioquímica para separar, identificar y cuantificar componentes de una mezcla o metabolitos de interés (PÀSSARO, 2016).
- **Índice de madurez (IM)**
Indica el estado de madurez del fruto, se expresa por la relación entre sólidos solubles (°Brix) y la acidez total del fruto. Se determina para determinar el momento apropiado de la cosecha.
- **Potencial de iones de hidrógeno (pH):** Es una unidad de medida que sirve para establecer el nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia, el pH no es más que el indicador de potencial de hidrógenos. Su medida va de 0 a 14 donde menores que 7 es ácido y mayores 7 es alcalino.
- **Sólidos solubles totales (°Brix):** representa el contenido de azúcares, además, incluye carbohidratos, ácidos orgánicos, proteínas y minerales del fruto donde los más abundantes son los azúcares y los ácidos orgánicos se expresa en °Brix.

CAPITULO IV METODOLOGÍA

4.1 Tipo y diseño de la investigación

4.1.1 Tipo y nivel de investigación

La metodología de investigación es hipotético deductivo por que empieza desde lo general hasta llegar a lo específico usando el razonamiento lógico además de hipótesis que puedan darle credibilidad a las conclusiones.

De acuerdo con el propósito de la investigación planteada y en función de las variables, la investigación se enmarca en el enfoque cuantitativo, la investigación desarrollada es de tipo *básica* y nivel de investigación *descriptivo* al describir aspectos de estudio como cantidad de polifenoles, capacidad antioxidante y contenidos de ácidos orgánicos en tres variedades de tuna Morada, Amarilla y Blanca.

4.1.2 Diseño de la investigación

Para realizar los análisis y determinar el contenido de ácidos orgánicos, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en tres variedades de tuna, se utilizó el diseño que se muestra en la siguiente figura.

Tabla 5 — Diseño de experimento, Diseño en Bloques Completo al Azar (DBCA)

Repeticiones	Variedad Morada	Variedad Amarilla	Variedad Blanca
1	$r_{1,1}$	$r_{1,2}$	$r_{1,3}$
2	$r_{2,1}$	$r_{2,2}$	$r_{2,3}$
3	$r_{3,1}$	$r_{3,2}$	$r_{3,3}$
4	$r_{4,1}$	$r_{4,2}$	$r_{4,3}$
5	$r_{5,1}$	$r_{5,2}$	$r_{5,3}$

En cada tratamiento se realizó el análisis fisicoquímico, contenido de polifenoles, capacidad antioxidante y contenido de ácidos orgánicos en las variedades de frutos de tuna (r : repeticiones)

4.2 Población y muestra

a. Población

La población de estudio en esta investigación fueron frutos de tuna (*Opuntia ficus-indica*) de las variedades: Morada, Amarilla y Blanca provenientes de la comunidad de Mutca. 50 unidades de fruto, 7.0 Kg de la variedad Morada, 6.3 Kg de la variedad Amarilla y 4.3 Kg de la variedad Blanca.

b. Muestra

Se separó la pulpa de la cascara y semillas para realizar los análisis. La cantidad de extracto de pulpa de tuna utilizado de cada variedad en la determinación de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante fue 2 g, para determinar contenido de ácidos orgánicos de utilizó 5 ml de pulpa de tuna para cada variedad.

4.3 Procedimiento

a. Rendimiento de pulpa

Se determinó por medio de una balanza de precisión. El rendimiento de pulpa se determinó de la relación de pulpa de frutos de tuna respecto al peso total de la fruta multiplicado por cien, los resultados serán expresados en porcentaje (%).

$$\% \text{ de pulpa} = \frac{PP}{PT} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ec. (01)}$$

Donde:

PP: Peso de pulpa de frutos de tuna

PT: Peso total del fruto de tuna

b. Humedad (%)

Se determinó por el método desecación por estufa.

$$\% H = \left(\frac{w_1 - w_2}{w_1} \right) \times 100 \dots\dots\dots \text{Ec. (02)}$$

Donde:

w₁: Peso de placa más muestra inicial

w₂: Peso de placa más muestra final



c. Determinación de potencial de iones de hidrogeno (pH)

Se realizo por el método 981.12 (AOAC, 2016), utilizando un potenciómetro, la lectura del pH.

d. Determinación de solidos solubles (°Brix)

Se realizó por refractómetro de acuerdo al Método 932.14 (AOAC, 2016). Una porción de muestra de tuna extracto de pulpa de tuna se llevará sobre la placa de un refractómetro portátil y será observado por el ocular del instrumento. Los resultados son expresados en °Brix.

e. Acidez total

Se realizó por el método de titulación potenciométrica, Método 942.15 (AOAC, 2016) con NaOH 0.1N. para determinar la acidez titulable se obtendrá una mezcla de la muestra de tuna (Pulpa) con agua destilada libre de CO_2 . La mezcla se tituló manteniéndose en agitación hasta alcanzar una coloración rosa pálido y/o un pH de 8.1. la acidez se expresó como ácido cítrico (g/100 g)

$$\% \text{Acidez Total (Á. cítrico)} = \frac{G \times N \times M \times 100}{V} \dots\dots\dots \text{Ec. (03)}$$

Donde:

G: Gasto o consumo de la solución NaOH de la alícuota

N: Normalidad de NaOH

M: Peso molecular del ácido considerado como referencia

V: Volumen de la alícuota tomada para el análisis (muestra)

f. Determinación de índice de madurez.

Se realizó utilizando la metodología de (SULBARÀN, *et al.*, 2013). El estado de índice de madurez se calcula con la relación de los °Brix respecto al porcentaje de acidez titulable

$$\text{Índice de madurez} = \frac{^{\circ}\text{Brix}}{\% \text{ acidez titulable}} \dots\dots\dots \text{Ec. (04)}$$

g. Determinación de cenizas (%).

(Método AOAC 942.05, 2016): en un crisol de porcelana de peso conocido, se pesa 5 gramos de pulpa de fruto, se realiza un previo secado y precalcinado, luego se coloca en una mufla a 600 °C por un tiempo de 6 horas, al término del tiempo se retira y coloca en un desecador hasta su enfriamiento registrando su

peso final, y por diferencia se calcula el contenido de cenizas. El contenido de cenizas se calcula aplicando la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P-P1}{M} * 100 \dots\dots\dots \text{Ec. (05)}$$

Donde:

P: Masa del crisol con las cenizas en gramos.

P1: Masa de crisol vacío en gramos.

M: Masa de la muestra en gramos.

h. Determinación de compuestos fenólicos totales

La extracción de compuestos fenólicos fue de acuerdo con la metodología descrita por MABROUKI, *et al*, (2015).

• **Preparación de diluciones para la curva patrón de ácido gálico**

Se realizó una dilución de ácido gálico de concentración 0.4 mg/ml (Solución madre) con agua ultra pura a partir de esta dilución se prepararon concentraciones de ácido gálico de 0.05 y 0.40 mg/ml. Según se detalla en la tabla 6.

Para ello se procedió de la siguiente manera:

- Se preparó los tubos de ensayo rotulados.
- Añadió a los tubos de ensayo la cantidad correspondiente de solución madre ácido gálico.
- Se añadió a cada tubo de ensayo la cantidad correspondiente del reactivo folin-ciocalteu.
- Se dejó reposar por 5 a 8 minutos.
- Se agregó a cada tubo de ensayo la solución de carbonato sódico de 7.5%
- Se dejó reposar durante 60 minutos en temperatura ambiente, en oscuridad para luego realizar la lectura de las absorbancias a 750 nm.



Tabla 6 — Concentraciones de agua y ácido gálico para elaborar la curva estándar

Reactivos	Concentración (mg/ml) de la curva patrón de ácido gálico				
	0.05	0.1	0.15	0.2	0.4
Acido gálico (Solución madre)	1.25	2.5	3.75	5	10
Agua (ultra pura)	8.75	7.5	6.25	5	0

Adaptado de (MABROUKI, *et al.*, 2015).

- **Preparación del extracto de la muestra de la pulpa de fruto de tuna**

Se extrajo la de pulpa de tuna para luego pesar 2 gramos de muestra y mezclar con 10 ml de metanol al 80% Homogenizar por 1 hora con agitación magnética en oscuridad, posteriormente se centrifugó a 6000 rpm por 20 min, el residuo se almacenó en oscuridad a -20°C para los posteriores análisis y el sobrenadante se elimina.

- **Ensayo y lectura de la absorbancia de la muestra problema**

Se coloca en los tubos de ensayo 500 µl de extracto con 250 µl de reactivo folin-ciocalteu 1N y 1250 µl de carbonato de calcio 7.5% se reposa durante 30 m en oscuridad, posteriormente se realiza lectura a 750 nm.

Los cálculos se efectuaron en la siguiente ecuación

$$CFT \left(\frac{\text{mg ácido gálico}}{100\text{g}} \right) = \left(\frac{ABS_{\text{muestra}} - B}{A} \right) * \frac{FD}{M} * 100 \dots \text{Ec. (05)}$$

Donde:

CFT: Compuestos fenólicos totales

ABS *muestra*: Absorbancia de la muestra

B: Intercepto de la ecuación de la curva estándar

A: Pendiente de la ecuación de la curva estándar

FD: Factor de dilución

M: Peso de la muestra (g)

i. Determinación de la capacidad antioxidante por espectrofotometría

La determinación de capacidad antioxidantes se realizó por el método propuesto por (BRAND-WILIAMS, *et al.*, 1995).



- **Solución madre DPPH.**
Se pesó 24 mg de DPPH y mezcló con 100 mL de metanol almacenar a 20°C en oscuridad.
- **Solución de trabajo DPPH**
Dejar que la solución madre se atempere, posteriormente se prepara una solución de trabajo de DPPH para ello se mezclan 10 ml de solución madre de DPPH con 45 ml de metanol para obtener una absorbancia de 1.1 ± 0.002 (1.08-1.12) a 515 nm.
- **Preparación de la curva de calibración de Trolox**
Prepara 20 mg de Trolox y enrasar con 10 ml de metanol al 80% (Solución madre), se extrae 1.25 ml de la solución madre y se enrasa a 10 ml con metanol al 80% para obtener una solución de trabajo con una concentración de 1 $\mu\text{mol/ml}$. Realizar las diluciones a concentraciones 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 $\mu\text{mol/ml}$ para la construcción de una curva estándar.
- **Lectura de la absorbancia de la curva estándar Trolox.**
En tubos de reacción agregar 300 μl de las diferentes diluciones 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1 $\mu\text{mol/ml}$ y en el Blanca 300 μl de metanol al 80%, añadir 5.7 ml de solución de trabajo de DPPH a cada tubo dejar 20 min en oscuridad para que se realice la reacción de manera de correcta.
- **Extracción de la muestra**
Se extrae el extracto de pulpa de tuna para luego pesar 2 gramos de muestra y mezclar con 10 ml de metanol al 80% Homogenizar por 1 hora con agitación magnética en oscuridad, posteriormente centrifugar a 6000 rpm a 20 min a 10°C, el residuo se almacena en oscuridad a -20°C para los posteriores análisis y el sobrenadante se elimina.
- **Lectura de la absorbancia de las muestras**
Añadir 300 μl de extracto de muestra de cada variedad de tuna posteriormente se adiciona 5.7 ml de solución DPPH realizar la lectura a 515 nm.

La concentración de antioxidantes se determinó mediante la siguiente ecuación

$$CA \left(\frac{\mu\text{mol eq. Trolox}}{100\text{g}} \right) = \left(\frac{ABS_{\text{muestra}} - B}{A} \right) * \frac{FD}{M} * 100 \dots \text{Ec. (06)}$$



Donde:

CA: Capacidad antioxidante

ABS *muestra*: Absorbancia de la muestra

B: Intercepto de la ecuación de la curva estándar

A: Pendiente de la ecuación de la curva estándar

FD: Factor de dilución

M: Peso de la muestra (g)

El porcentaje de atrapamiento de las muestras sobre el radical DPPH se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\%I = \left(1 - \frac{ABS_{muestra515nm}}{ABS_{Control515nm}}\right) \times 100 \dots \dots \text{Ec. (07)}$$

Donde:

%I: Es el porcentaje de inhibición o de atrapamiento

ABS *muestra*: Corresponde a la absorbancia de la muestra a 515 nm

ABS *control*: Es la absorbancia inicial de la solución o blanco de DPPH a 515 nm

j. Determinación del contenido de ácidos orgánicos.

Los ácidos orgánicos fueron determinados en un cromatógrafo de líquido de alto rendimiento equipado con un detector de masa simple (UPLC – QDa), de acuerdo con la metodología descrita por (TÓTH, *et al.*, 2022). La pulpa de tuna se diluyó en una relación de 1 a10 (1 ml de jugo con 9 ml de agua destilada), posteriormente se filtró con un filtro de membrana de microfibra de vidrio de 0.45 µm y puestos en viales para su inyección, los ácidos orgánicos fueron identificados por la comparación de los tiempos de retención y la relación masa/carga de los estándares puros y conocidos previamente inyectados y cuantificados mediante curvas estándares. Los resultados se expresan en mg de ácidos orgánicos por ml de pulpa de tuna.

$$AO \left(\frac{mg}{100 g} \text{ b.h.} \right) = \left(\frac{ANC_{\text{Ácido orgánico}} - B}{A} \right) * \frac{FD}{M} * 100/1000 \dots \dots \text{Ec. (08)}$$

Donde:

AO: Acido orgánico

ANC *Ácido orgánico*: Área neto bajo la curva del ácido orgánico

B: Intercepto de la ecuación de la curva estándar

A: Pendiente de la ecuación de la curva estándar

FD: Factor de dilución (10 ml)



M: Peso de la muestra (1g)

4.4 Materiales de investigación

a. Materia prima

Para la obtención de las muestras de tunas se recolectaron 50 unidades de cada variedad de tuna Morada, Amarilla y Blanca. Provenientes de la comunidad de Mutca, Chalhuanca, ubicado a 3208 m s.n.m, 14°12'59" sur y 73°18'30" oeste, de la provincia de Aymaraes, departamento de Apurímac. La cosecha se realizó en el mes de mayo.

b. Instrumentos

- Vasos precitado 50 ml, 100 ml y 500 ml
- Matraz Erlenmeyer 250 ml de capacidad
- Pipetas de 5 ml y 10 ml de capacidad
- Micropipetas de 100 - 1000 μ l de capacidad
- Placas Petri
- Crisoles
- Tubos de ensayo con capacidad 15 ml
- Tubos falcón 50 ml de capacidad
- Gradilla
- Pinzas.

c. Equipos

- Refractómetro (JERS, modelo ATC, USA)
- Balanza de precisión (Sartorius, modelo Antris224-1S, USA)
- Agitador vortex (VWR, modelo mixer, USA)
- Potenciómetro (SIANALYTICS, model Lab. 850, Alemania)
- Estufa (MENMERT, modelo UN 30, Alemania)
- Mufla (THEMCONCEPT, model KLE 05/11, Alemania)
- Espectrofotómetro (THERMO SPECTRONIC, Model 4001/4, USA)
- Cromatógrafo líquido de ultra performance (UPLC) con detector de masas (QDa) (Waters, modelo ACQUITY UPLC H-Class; USA)



- Purificador de agua Tipo II (THERMO SCIENTIFIC, modelo Smart2Pure 6, Suecia)

d. Reactivos e insumos

- Hidróxido de sodio (Merck KGaA, Alemania)
- Metanol (Biopack, Argentina)
- Ácido gálico (Spectrum Chemical Mfg. Corp, EE. UU)
- Folin – Ciocalteu (Merck KGaA, Alemania)
- Carbonato de sodio (Merck KGaA, China)
- Trolox (Merck KGaA, Suiza)
- 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl-hydrate (DPPH) (Merck KGaA, India)

4.5 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño en bloques completamente al azar (DBCA), el factor a evaluar será el tipo de variedad de tuna; Morada, Amarilla y Blanca. Las variables de respuesta son; las características fisicoquímicas, contenido de compuestos fenólicos, contenido de ácidos orgánicos y la capacidad antioxidante. La unidad muestral es representada por una tuna, el análisis se realizó en 10 tunas para cada variedad.

Las medias de los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANVA) en caso cumplan los supuestos de normalidad y homocedasticidad posteriormente serán sometidos a pruebas Tukey. Se considera un valor $P < 0.05$. todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando El software Statgraphics Centurion XVII Versión 18.1.06 (Statgraphics Technologies Inc., Warrenton, Estados Unidos).

- Diseño en bloques completamente al azar (DBCA). Se utiliza para comparar varios tratamientos.
- Análisis de varianza (ANVA). El objetivo del ANVA es probar la hipótesis de igualdad de los tratamientos.
- Se utilizo la prueba Tukey para determinar que variedad es diferente al resto.
- Requisitos para aceptar hipótesis nula, $P < 0.05$ y $\alpha = 95\%$

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij} \dots \dots \dots \text{Ec. (09)}$$

Donde:

Y_{ij} ; j-ésima observación del tratamiento i

i ; 1, 2, ..., k

j ; 1, 2, ..., n_i .

μ ; Media global

τ_i ; Efecto del tratamiento i

ε_{ij} ; Efecto del error experimental de la medición Y_{ij}

Tabla 7 — ANOVA para el diseño en Bloques Completo al Azar

	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	F_0	Valor- <i>P</i>
Tratamiento	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_{i.}^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{SC_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
Bloques	$SC_B = \sum_{j=1}^k \frac{Y_{.j}^2}{k} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$B - 1$	$CM_B = \frac{SC_B}{k - 1}$	$\frac{CM_B}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
Error	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
Total	$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$N - 1$			

SC: Suma de cuadrados, *GL*: Grados de libertad, *CM*: Cuadrado medio, F_0 : Estadístico de prueba, Valor - *P*: Significancia observada

Para un nivel de significancia α prefijado se rechaza H_0 si $F_0 > F_{\alpha, k-1, N-k}$ o también se rechaza H_0 si el valor-p > 0.05 y $\alpha \neq 95\%$.

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUCIONES

5.1 Análisis de resultados

5.1.1 Características fisicoquímicas de la tuna

En la Tabla 8, se muestran los resultados de las características fisicoquímicas de las variedades de color Morada, Amarilla y Blanca.

Tabla 8 — Características fisicoquímicas de tres variedades de tuna

Características fisicoquímicas	Variedades de tuna		
	Morada	Amarilla	Blanca
Humedad (%)	86.76 ± 0.47 ^a	85.75 ± 0.27 ^b	83.53 ± 0.59 ^c
Rendimiento de pulpa (%)	39.25 ± 3.05 ^b	42.79 ± 1.17 ^a	34.80 ± 0.88 ^c
pH	6.18 ± 0.01 ^b	6.31 ± 0.02 ^a	6.08 ± 0.02 ^c
Solidos solubles (°Brix)	9.60 ± 0.42 ^b	11.40 ± 0.22 ^a	11.60 ± 0.42 ^a
% acidez	0.10 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.00 ^b	0.04 ± 0.00 ^b
Índice de madurez	92.03 ± 6.48 ^c	234.93 ± 13.62 ^b	284.31 ± 23.45 ^a
Cenizas (%)	0.19 ± 0.04 ^b	0.50 ± 0.11 ^a	0.16 ± 0.04 ^b

Valores promedio de 5 determinaciones independientes ± error estándar (p<0.05). Letras diferentes por fila indican diferencia significativa entre las variedades de tuna.

El contenido de humedad (%) de la pulpa de frutos de tuna de las tres variedades mostraron diferencias estadísticamente significativas (p<0.05). La tuna variedad Morada presentó mayor contenido de humedad seguido por las variedades Amarilla y Blanca, ver anexo N° 2, p. 62.

El porcentaje de rendimiento de la pulpa de las tres variedades de tuna estudiadas mostraron diferencias estadísticamente significativas (p <0.05). La tuna variedad Amarilla presento el mayor rendimiento en pulpa, seguido por las variedades Morada y Blanca, ver anexo N° 2, p. 62.

El potencial de hidrógeno (pH), mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). La tuna de la variedad Amarilla mostró el mayor pH, seguido por la variedad de Amarilla y Blanca, ver anexo N° 2, p. 62.

El contenido de sólidos solubles (°Brix) de pulpa de tuna de las tres variedades estudiadas, mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). La tuna de variedades: Amarilla y Blanca mostraron el mayor contenido de sólidos solubles, mientras que la variedad de Morada presentó la menor cantidad, ver anexo N° 2, p. 62.

El porcentaje de acidez titulable de tuna de las tres variedades en estudio, mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). La tuna de la variedad Morada presentó mayor porcentaje de acidez. Sin embargo, la tuna de las variedades: Amarilla y Blanca, mostraron menores niveles de acidez, y entre ambos no mostraron diferencias significativas, ver anexo N° 2, p. 62.

Con respecto al índice de madurez (IM) de tuna de las tres variedades evaluados, presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), siendo la tuna de la variedad Blanca la que presentó un mayor IM, seguido de las variedades: Amarilla y Morada, ver anexo N° 2, p. 62.

El contenido de cenizas expresado en porcentaje de las tres variedades de tuna, mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). La tuna de la variedad Amarilla mostró el mayor contenido de cenizas, seguido de las variedades de tuna Morada y Blanca, ver anexo N° 2, p. 62.

5.1.2 Cuantificación de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante

En la Tabla 9, se presenta el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante *in vitro* de tuna (*Opuntia ficus-indica*) de las variedades: Morada, Amarilla y Blanca proveniente de la comunidad de Mutca, Chalhunca, Aymaraes.



Tabla 9 — Resultados de contenido fenoles total y capacidad antioxidante DPPH de tres variedades de tuna

Variedad	CFT (mg AGE/100 g)	CA (μ mol ET/100g)	I (%)
Morada	69.10 \pm 1.98 ^a	278.38 \pm 5.47 ^a	47.14 \pm 0.88 ^a
Amarilla	36.78 \pm 2.09 ^b	148.57 \pm 3.30 ^b	23.93 \pm 0.53 ^b
Blanca	28.43 \pm 0.94 ^c	126.41 \pm 7.93 ^c	19.95 \pm 1.27 ^c

Valores promedio de 5 determinaciones independientes \pm error estándar ($p < 0.05$). Letras diferentes por columna indican diferencia significativa entre las variedades de tuna. CFT: Contenido de compuestos fenólicos, CA: Capacidad antioxidante, I: inhibición.

El contenido de compuestos fenólicos totales de las tres variedades de tuna en estudio, mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). La tuna de la variedad Morada presentó un mayor contenido de compuestos fenólicos totales; mientras que las variedades Amarilla y Blanca mostraron menores niveles, respectivamente, ver Anexo 5, P. 65.

La capacidad antioxidante DPPH de las tres variedades de tuna, mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Las tunas de la variedad Morada presentaron la mayor capacidad antioxidante seguido por las variedades: Amarilla y Blanca, ver Anexo 5, P. 65.

5.1.3 Determinación del contenido de ácidos orgánicos

En la Tabla 10, se muestran el contenido de los ácidos orgánicos presentes en tuna (*Opuntia ficus-indica*) de las variedades: Morada, Amarilla y Blanca. Se muestran los cromatogramas obtenidos por cromatografía líquida de ultra performance (UPLC) con detector de masas (QDa) de los estándares de ácidos orgánicos como muestra la Figura 8; y de los ácidos orgánicos determinados en tuna, como muestra las Figuras 9, 10 y 11.

Tabla 10 — Resultados del contenido de ácidos orgánicos de tres variedades de tuna

Variedad de tuna	Ácido ascórbico (mg/100 g b.h.)	Ácido cítrico (mg/100 g b.h.)	Ácido málico (mg/100 g b.h.)
Morada	106.45 ± 14.87 ^a	342.63 ± 60.81 ^a	73.68 ± 14.05 ^a
Amarilla	111.21 ± 18.99 ^a	249.18 ± 61.17 ^b	37.61 ± 7.69 ^b
Blanca	135.37 ± 19.59 ^a	241.84 ± 25.84 ^b	42.06 ± 9.63 ^b

Valores promedio de 5 determinaciones independientes ± error estándar (p<0.05). Letras diferentes por columna indican diferencia significativa entre las variedades de tuna. (b.h; Base húmeda).

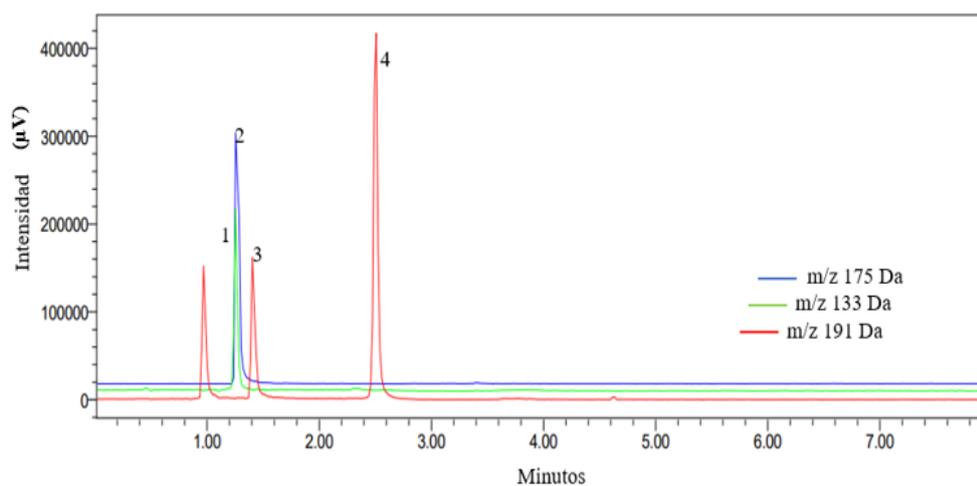


Figura 8 — Cromatograma de 5 estándares de ácidos orgánicos (50ppm) en 3 canales. Picos: 1, Ácido málico; 2, Ácido ascórbico; 3, Ácido isocítrico; 4, Ácido cítrico (m/z: Relación masa carga, Da; Dalton).

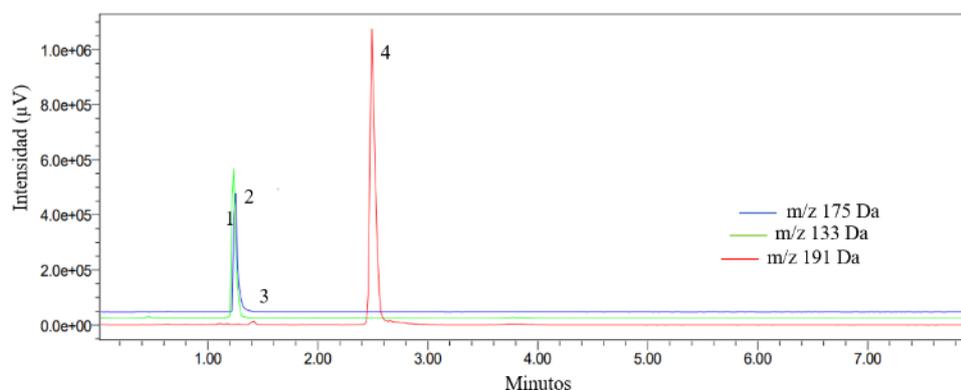


Figura 9 — Cromatograma de ácidos orgánicos presentes en tuna de la variedad Morada en 3 canales. Pico: 1, ácido málico; 2, ácido ascórbico; 3, ácido isocítrico; 4 ácido cítrico (m/z: Relación masa carga, Da; Dalton).



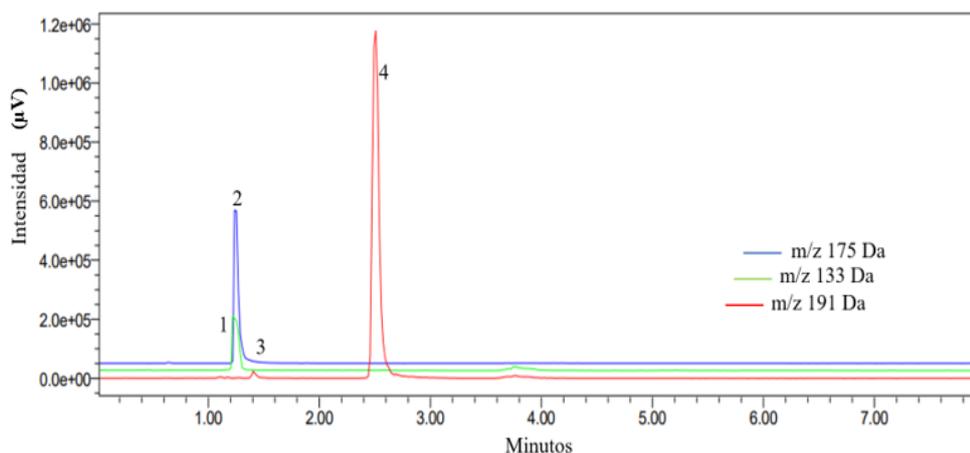


Figura 10 — Cromatograma de ácidos orgánicos presentes en tuna de la variedad de Amarilla en 3 canales. Picos: 1, Ácido málico; 2, Ácido ascórbico; 3, Ácido isocítrico; 4, Ácido cítrico (m/z: Relación masa carga, Da; Dalton).

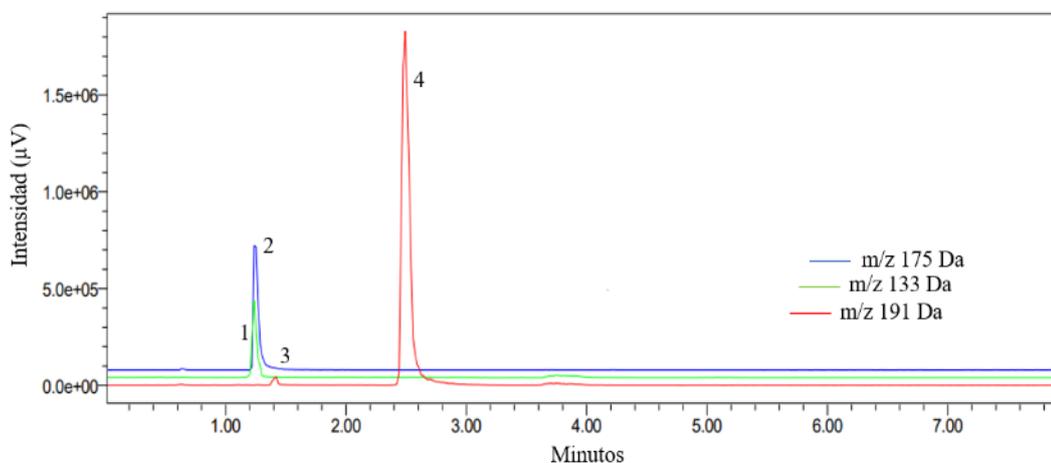


Figura 11 — Cromatograma de ácidos orgánicos presentes en tuna de la variedad de Blanca en 3 canales. Picos: 1, ácido málico; 2, ácido ascórbico; 3 ácido isocítrico; 4, ácido cítrico (m/z: Relación masa carga, Da; Dalton).

Con respecto a la naturaleza de los ácidos orgánicos presentes en pulpa de frutos de tuna, el análisis cromatográfico permitió la determinación de 4 compuestos principales en las tres variedades, las cuales presentan un cromatograma similar a la Figura 8. Los ácidos orgánicos fueron identificados y cuantificados en función a su tiempo de retención y espectro de masas comparado con un estándar autentico, ver Anexo 7, P. 67.

El contenido de ácido ascórbico determinados en las tres variedades de tuna no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$).

El contenido de ácidos cítrico determinados en las tres variedades de tuna mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). La tuna de la

variedad Morada presento el mayor contenido de ácido cítrico, seguido de las variedades: Amarilla y Blanca. No obstante, la variedad Morada presento el mayor contenido de ácido málico, seguido de las variedades: Amarilla y Blanca.

5.2 Contrastación de hipótesis

Hipótesis General: Existen diferencias en las características fisicoquímicas, contenido de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y contenido de ácidos orgánicos en tuna (*Opuntia ficus-indica*) variedades Morada, Amarilla y Blanca de la Comunidad de Mutca, Chalhuanca, Aymaraes. Ver Anexo 8, P. 67 análisis estadístico de resultados.

a. Características fisicoquímicas

Hipótesis específicas 1

Existen diferencias en las características fisicoquímicas (contenido de humedad rendimiento de pulpa, pH, solidos solubles, Acidez total, índice de madurez (IM) y contenido de cenizas) de tres variedades de tuna: Morada, Amarilla y Blanca.

Ho: No existen diferencias significativas entre medias de las características fisicoquímicas de pulpa de frutos de tuna de variedades: Morada, Amarilla y Blanca.

Ha: Existen diferencias significativas de las medias de las medias de características fisicoquímicas de pulpa de frutos de tuna de variedad Morada, Amarilla y Blanca.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

$$p\text{-valor} < 0.05$$

Se acepta la hipótesis alterna para valores de $p < 0.05$, rechazándose la hipótesis nula.

b. Contenido de compuestos fenólicos

Hipótesis específica 2

Ho: No existe diferencias significativas entre medias del contenido de polifenoles totales de pulpa de tuna de variedades: Morada, Amarilla y Blanca.



Ha: Existen diferencias significativas de medias de contenido de polifenoles totales de pulpa de tuna de variedades: Modado, Amarilla y Blanca.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

$$p\text{-valor} < 0.05$$

Se acepta la hipótesis alterna para valores de $p < 0.05$, rechazándose la hipótesis nula

c. Capacidad antioxidante

Hipótesis específica 3

Ho: No existe diferencias significativas entre medias capacidad antioxidante de pulpa de frutos de tuna de variedades: Morada, Amarilla y Blanca.

Ha: Existe diferencias significativas de las medias de la capacidad antioxidante de pulpa de frutos de tuna de variedades: Morada, Amarilla y Blanca.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

$$p\text{-valor} < 0.05$$

Se acepta la hipótesis alterna para valores de $p < 0.05$, rechazándose la hipótesis nula

d. Contenido de ácidos orgánicos

Hipótesis específica 4

• **Ácido ascórbico**

Ho: No existe diferencias significativas entre medias del contenido de ácidos ascórbico de pulpa de frutos de tuna de variedades: Morada, Amarilla y Blanca.

Ha: Existe diferencias significativas de medias del contenido de ácidos ascórbico de pulpa de frutos de tuna de variedades: Morada, Amarilla y Blanca.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

$$p\text{-valor} < 0.05$$

Se acepta la hipótesis nula debido a que valores de $p > 0.055$, rechazando la hipótesis alterna, no hay diferencia de medias de los datos del contenido de ácido ascórbico de las variedades.



- **Ácido cítrico y málico**

Ho: No existe diferencias significativas entre medias del contenido de ácidos cítrico y málico de pulpa de frutos de tuna de variedades: Morada, Amarilla y Blanca.

Ha: Existe diferencias significativas entre las medias del contenido de ácidos cítrico y málico de pulpa de frutos de tuna de variedades: Morada, Amarilla y Blanca.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

$p\text{-valor} < 0.05$

Se rechaza la hipótesis nula para valores de $p < 0.05$, aceptando la hipótesis alterna

5.3 Discusión

5.1.1. Características fisicoquímicas de la pulpa del fruto de tuna

Los resultados del contenido de humedad de las tres variedades de pulpa de frutos de tuna oscilan 83.53 – 86.76%, corroborando con lo reportado por HERRERA (2018) quien muestra 83.34% variedad naranja, 85.081% variedad Blanca y 84.21% en la variedad roja además, TÉRAN (2015) reportó contenido de humedad 83.07% en la variedad española, siendo similares con los resultados obtenidos. sin embargo, REPO DE CARRASCO y ENCINO (2008). Reportó 81.7% en la tuna variedad verde(Blanca), 78.4% en la variedad roja y 80.6% difiriendo ligeramente de los resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos en el presente estudio el porcentaje de rendimiento de las tres variedades de pulpa de frutos de tuna, fluctuó entre 34.80 - 42.79%, siendo consistentes con los reportados por, CEREZAL y DUARTE, (2005), mostró rendimiento de 38.3% para tuna de variedad color Blanca. No obstante, PIGA (2004) reportó rendimientos de pulpa de tuna que varían entre 43-57%, siendo estos rendimientos mayores a los resultados obtenidos en esta investigación. Las diferencias en el porcentaje de rendimiento de pulpa de tuna están relacionados con la variedad; además,

podrían estar relacionados con las condiciones agroclimáticas de producción y el grado de desarrollo de la fruta (SÁENZ y SEPULVEDA, 2001).

El pH determinado de las variedades de tuna (Tabla 7), fueron ligeramente diferentes con los reportados con la literatura. COAVOY, (2016) reportó un valor de pH de 6.61 ± 0.22 para tuna variedad Morada, resultado que se encuentra ligeramente por encima al obtenido en esta investigación. No obstante, TÉRAN (2015) reportó 5.99 ± 0.379 de pH en la variedad roja española, siendo ligeramente menor al obtenido en esta investigación. Las diferencias en el valor del pH se ven influenciado por el índice de madurez, un incremento de este, ocasiona un aumento en el pH (para la mayoría de los frutos) y una disminución de la acidez (TORRES *et al.*, 2013).

Los resultados obtenidos en el presente estudio para el contenido de sólidos solubles de las tres variedades de pulpa de frutos de tuna, fluctuó entre 9.60 - 11.60 °Brix, siendo soportados con los reportados por CEREZAL y DUARTE (2005) quienes reportaron valores entre 11.2 - 14.8 °Brix para pulpa de tuna de la variedad Verde (Blanca), No obstante, COAVOY (2016) reportó 11.67 ± 0.47 °Brix en tuna de la variedad Morada, siendo ligeramente superior al resultado de este estudio para tuna Morada. Además, TÉRAN (2015) reportó 8.33 °Brix en tuna de variedad roja Española, siendo ligeramente inferior a los resultados en esta investigación. Las diferencias en el contenido de sólidos solubles podrían estar relacionados con las condiciones agroclimáticas de producción y el grado de desarrollo de la fruta (SÁENZ y SEPULVEDA, 2001).

El porcentaje de acidez titulable (expresado en ácido cítrico) de los frutos de tuna 0.04 – 0.1 %, los cuales fueron similares a los valores reportados que fluctúan entre 0.01 – 0.18% de acidez en tuna de variedad de Blanca (SÁENZ y SEPULVEDA, 2001) y 0.07% reportado para la variedad Blanca (CEREZAL y DUARTE, 2005). además, COAVOY (2016) reportó 0.06% de acidez para la variedad Morada, sin embargo, TÉRAN (2015) determinó 0.012 % de acidez titulable, resultado inferior a los resultados obtenidos en esta investigación. Las diferencias en el porcentaje de acidez podrían estar



relacionados con las condiciones agroclimáticas de producción y el grado de desarrollo del fruto (SÁENZ y SEPULVEDA, 2001).

El índice de madures (IM) en la presente investigación fue de 92.03, 234.93 y 284.31 para las variedades Morada, Amarilla y Blanca, respectivamente, los cuales son similares a lo reportado por CANTWELL (1999), quien reporto valores que fluctúan entre 160 - 384 de IM. No obstante, COAVOY (2016) es su investigación con la tuna de la variedad Morada reporto 182.86 ± 8.96 de IM, siendo valores superiores para los resultados obtenidos en el presente estudio para la variedad Morada.

El contenido de cenizas totales determinado en las variedades de tuna, fueron acorde a los reportados por REPO DE CARRASCO y ENCINO (2008), quienes reportaron niveles de 0.4, 0.4 y 0.5 % para tuna de las variedades: Blanca, rojo y Amarilla, respectivamente. Además, BERNAL y TUNQUI (2020), indican que en general el fruto de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) contiene aproximadamente 0.3% de cenizas. Sin embargo, CERZAL y DUARTE (2005), reportaron 0.07% en la variedad Verde (Blanca) el cual es inferior al obtenido en la investigación.

5.1.2. Contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante

Los resultados obtenidos en el presente estudio para el contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) de las tres variedades de pulpa de tuna, fluctuó entre 28.43 – 69.10 mg AGE/ 100 g de pulpa fresca, siendo consistentes con los reportados por STINTZING, *et al.* (2005), quienes reportaron valores de 66 ± 35.8 , 33.5 ± 19.3 y 24.2 ± 134 mg de AGE/100 g de extracto de pulpa de tuna de variedades: Morada, Anaranjado (Amarilla) y Verde (Blanca) respectivamente. Además, GALATI, *et al* (2003), reporta valor similar de 74.6 mg de AG/100 g de jugo (pulpa) de tuna entera variedad Siciliana. Sin embargo, ORTIZ (2018) en su investigación presentó niveles de 18.53, 16.33 y 16 mg AG/100 g en tunas de variedades: Amarilla, Roja y Verde (Blanca) los cuales son relativamente bajas a las obtenidas en la presente investigación.



REPO DE CARRASCO y Encino (2008), concluyeron que el contenido de compuestos fenolicos está en función de la variedad de tuna y que estos son los principales responsables de la actividad antioxidante.

La capacidad antioxidante de las tres variedades de pulpa de tuna, fluctuó entre 126.41 - 278.38 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ (19.95 - 47.14 % de inhibición) de pulpa fresca, siendo consistentes con los reportados por, COAVOY, (2016) en su estudio de la tuna variedad Morada obtuvo una capacidad antioxidante de 36-40% de inhibición, la cual es similar a la obtenida en esta investigación. además, REPO DE CARRASCO y ENCINO, (2008), obtuvieron los siguientes resultados al analizar capacidad antioxidante de tres variedades de tuna; La tuna Roja (77,65%) tiene la mayor capacidad antioxidante en comparación que las otras, le sigue la tuna Anaranjada (41.65%) y finalmente la tuna Verde con un valor de (34.20%) como porcentaje de inhibición del radical DPPH.

5.1.3. Contenido de ácidos orgánicos

Los ácidos cítrico, ascórbico y málico son los principales ácidos orgánicos determinados en la pulpa de la tuna, siendo consistente con lo mencionado por HERNÁNDEZ *et al.* (2020), CHOUGUI, *et al.*, (2012) y STINTZING, *et al.*, (2005). No obstante, también se encontró ácido isocítrico en concentraciones de trazas.

Los resultados obtenidos en la presente investigación para el contenido de ácidos ascórbico, osciló entre 106.45-135.37 mg/100 g de pulpa fresca, siendo valores superiores a los reportados en frutos de diferentes variedades de tuna que fluctuaron entre 28-79.2 mg/100 g (HERNÁNDEZ *et al.* 2020), entre 1-48 mg /100 g (BELHADJ *et al.*, 2020), entre 4.68 – 30.32 mg /100 g (MONROY-GUTIÉRREZ *et al.*, 2017), entre 0 - 37.16 mg/100 g (Ramírez-Ramos *et al.*, 2015), 36.1 \pm 1.7 mg /100 g (Jorge y Troncoso, 2016), 22.75 \pm 0.6 mg/100g (REPO y ENZINA, 2008), 36.1 \pm 1.7 mg /100 g (Jorge y Troncoso, 2016), 19.59 mg/100g (TERÁN *et al.*, 2015). Además, SÁENZ y SEPULVEDA (2001) reportaron valores de 20.33, 20.0 y 24.1 mg/100g en peso fresco en pulpa de las variedades: Verde (Blanca), Purpura (Morada) y naranja (Amarilla) respectivamente. El ácido ascórbico o

vitamina C es un nutriente esencial para los humanos que proporciona una alta actividad antioxidante y previene el estrés oxidativo en los humanos.

Es ácido orgánico más predominante en las tres variedades de tuna fue el ácido cítrico, con valores que varían entre 241.84 y 342.63 mg/100 g de pulpa fresca. Estos resultados fueron ligeramente superiores a los resultados reportados por HERNÁNDEZ *et al.* (2020), con valores que fluctúan entre 30 – 161 mg/100 g de pulpa fresca.

Con respecto al contenido de ácido málico, se determinó valores que fluctuaron entre 42.06 – 73.68 mg/100 g peso fresco en pulpa de tuna de las tres variedades estudiadas. Estos resultados son ligeramente inferiores a los reportados por HERNÁNDEZ *et al.* (2020), con valores que fluctúan entre 120– 210 mg/100 g de pulpa fresca. No obstante, los resultados en esta investigación fueron superiores a los reportados por PIGA (2004), quien obtuvo 23.3 mg/100 g de ácido málico en pulpa fresca en la variedad Verde. Sin embargo, los cladodios muestran valores más altos de estos ácidos orgánicos, incluyendo la presencia de ácido succínico (HERNÁNDEZ *et al.*, 2020).

Los ácidos orgánicos se acumulan en la vacuola durante la noche y sufren una acumulación recíproca de carbohidratos de reserva durante la fase diurna. Las diferencias en la concentración de ácidos orgánicos pueden estar relacionados con la instrumentación y condiciones de análisis, en esta investigación las muestras fueron analizadas con un equipo de alta sensibilidad y selectividad mediante un cromatografo líquido (UPLC) y un detector de masas (QDa). Además, las muestras fueron expuestas lo menor posible a la luz y el oxígeno. No obstante, el contenido de ácidos orgánicos difiere en las frutas por su grado de madurez, manejo poscosecha y condiciones agroclimáticas de producción, puesto que el género *Opuntia* al estar adaptado a condiciones limitantes de suelo y agua, podría modificar su composición, principalmente la del fruto (CHOUGUI *et al.*, 2013).



CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENTACIONES

6.1 Conclusiones

- Las características fisicoquímicas determinados fueron; El contenido de humedad difieren significativamente para valores de $P < 0.05$ y $\alpha = 95\%$, la variedad Morada muestra mayor contenido ($86.76 \pm 0.47 \%$), la variedad Amarilla ($85.75 \pm 0.27 \%$) y la variedad Blanca ($83.53 \pm 0.59 \%$).

Los Rendimientos de pulpa mostraron diferencias significativas para un valor $P < 0.05$ y $\alpha = 95\%$, siendo la variedad Amarilla de mayor rendimiento ($42.79 \pm 1.17 \%$), luego la variedad Morada ($39.25 \pm 3.05 \%$) y la variedad Blanca ($34.80 \pm 0.59 \%$).

El pH evaluado mostró diferencias significativas para valores $P < 0.05$ y $\alpha = 95\%$, la variedad Amarilla (6.31 ± 0.02), variedad Morada (6.18 ± 0.01) y la variedad Blanca (6.08 ± 0.02).

El contenido de solidos solubles en pulpa mostró diferencias significativas para valores $P < 0.05$ y $\alpha = 95\%$, siendo la variedad Blanca la de mayor contenido (11.60 ± 0.42), variedad Amarilla (11.40 ± 0.22) y variedad Morada (9.60 ± 0.42).

El porcentaje de acidez en las variedades mostraron diferencias significativas para valores $P < 0.05$ y $\alpha = 95\%$, siendo la variedad Morada con mayor contenido ($0.10 \pm 0.01 \%$), variedad Amarilla ($0.005 \pm 0 \%$) y variedad Blanca ($0.04 \pm 0 \%$).

El índice de madurez evaluado mostró diferencias significativas para valores $P < 0.05$ y $\alpha = 95\%$, la variedad Blanca resultó con mayor índice de madurez ($284.31 \pm 23.45 \%$), variedad Amarilla ($234.93 \pm 13.62 \%$) y variedad Morada ($92.03 \pm 6.48 \%$).

El Contenido de cenizas evidenció diferencias significativas para un valor $P < 0.05$ y $\alpha = 95\%$, Siendo la variedad Amarilla con mayor contenido ($0.50 \pm 0.11 \%$), variedad Morada ($0.19 \pm 0.04 \%$) y la variedad Blanca ($0.16 \pm 0.04 \%$).

- El contenido de compuestos fenólicos totales determinados por el método Folin-ciocalteu en las tres variedades de tuna, difieren significativamente para un valor $P < 0.05$ y $\alpha = 95\%$, la variedad Morada presentó mayor cantidad (69.10 ± 1.98



mg AGE/100 g), luego la variedad Amarilla (36.78 ± 2.09 mg AGE/100 g) y variedad Blanca (28.43 ± 0.94 mg AGE/100 g).

- La capacidad antioxidante *in vitro* evaluado mediante el ensayo DPPH determinó que las variedades de tuna estudiadas presentan diferencias significativas para un valor $P < 0.05$ y $\alpha = 95\%$, siendo la variedad Morada la que presentó mayor capacidad antioxidante (278.38 ± 5.47 $\mu\text{mol ET}/100\text{g}$), continuado por la variedad Amarilla (148.57 ± 3 $\mu\text{mol ET}/100\text{g}$) y variedad Blanca (126.41 ± 7 $\mu\text{mol ET}/100\text{g}$).
- El perfil cromatográfico de ácidos orgánicos de las tres variedades de tuna determinados mediante UPLC-QDa, evidenció la presencia de ácidos orgánicos tales como: ácido cítrico, ascórbico, málico e isocítrico. El contenido de ácidos cítrico mostró diferencias significativas para un valor $P < 0.05$ y $\alpha = 95\%$, la variedad Morada con el mayor contenido (342.63 ± 60.8 mg/100 g b.h), variedad Amarilla (249.18 ± 61.17 mg/100 g b.h), y variedad Blanca (241.84 ± 25.84 mg/100 g b.h). El contenido de ácido ascórbico presentó diferencias significativas para valores de $P < 0.05$ y $\alpha = 95\%$, siendo la variedad Blanca la de mayor contenido (135.67 ± 19.59 mg/100 g b.h.), seguido por la variedad Amarilla (111.21 ± 18.99 mg/100 g b.h.), y variedad Morada (106.45 ± 14.87 mg/100 g b.h.). de igual forma el contenido de ácido málico presentó diferencias significativas para valores de $P < 0.05$ y $\alpha = 95\%$, donde la variedad Morada mostró mayor contenido (73.68 ± 14.05 mg/100 g b.h), variedad Blanca (42.06 ± 9.63 mg/100 g b.h) y variedad Amarilla (37.61 ± 7.69 mg/100 g b.h). además, se demostró la existencia en trazas de ácido isocítrico en las tres variedades.

6.2 Recomendaciones

- Realizar estudios relacionados con la evolución del contenido de compuestos bioactivos (compuestos fenólicos, ácido ascórbico, carotenoides) en las diferentes variedades de frutos de tuna (*Opuntia ficus-indica*) durante el proceso de crecimiento y maduración.
- Realizar estudios de medición de las cantidades de hectáreas de desarrollo natural y plantaciones de tunas, variedades en las diferentes cuencas de la región Apurímac y la cantidad de personas involucradas en esta actividad económica.
- Estudiar el efecto de la refrigeración y congelamiento sobre el contenido de polifenoles, capacidad antioxidante y ácidos orgánicos en frutos de tuna para efectos de almacenamiento o transporte.
- Realizar investigaciones en mejora de cultivo y abonamiento con la finalidad de incrementar la producción de fruta tuna.
- Realizar estudios de compuestos bioactivos integrados en el nopal (Cladodios, pulpa, cascara y semillas) para evaluar su importancia y aplicaciones.
- Realizar trabajos de investigación de múltiples aplicaciones de la pulpa de tuna: helados, yogurt, bebidas y su aceptabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, A. GODOY, M., TORRES, M. REYES, J. Características fisicoquímicas del fruto de la tuna. *Alimentos Ciencia e Ingeniería*, México, 2007. 16(2):173-178. ISSN 0.0018-7568.

AMAYA ROBLES, Julio E. "El Cultivo de Tuna" *Opuntia ficus indica*. Gerencia Regional Agraria La Libertad, Trujillo-Perú. [online]. 2009 16p. [Consultado 16/08/2022] Disponible: <http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20TECNICO%20DE%20>

ARIAS, VELAZQUEZ, C.J y TOLEDO HEVIA, J. Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales (Papaya, piña, plátano, cítricos). FAO, [En línea], 2000. Roma, Italy : 136 [Consultado 06/08/2022]. Disponible en <https://www.fao.org/documents/card/es/c/3898a360-5ae8-4f64-a648-96ef9630b73b/>

BALASUNDRAM, Nagendran; SUNDRAM, Kalyana y SAMMAN, Samir. Phenolic compounds in plants and agro-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, [En línea]. enero 2006, 99(1), pp. 191–203. [consultado el 22/07/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042>.

BELHADJ SLIMEN, Imen; NAJAR, Taha y ABDERRABBA, Manef. Bioactive Compounds of Prickly Pear [*Opuntia ficus-indica*]. *Reference Series in Phytochemistry*, [En línea]. 2020, 1 – 40. [consultado el 21/07/2022]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-44578-2_12-1.

BELITZ, H D; GROSCH, Werner y SCRIEBERLE, Peter. 2008. *Food chemistry*. s.l. Springer science & Business Media, [En línea] 2008. [consultado el 2/07/2022]. Disponible en <https://books.google.com.cu/books?id=IPELBwAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>

BENZIE, Iris F y STRAIN, J. J. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, [En línea]. julio 1996 239(1), 70–76. [consultado el 20/06/2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.

BERNAL VELARDE, Carla A. y TUNQUI GARCIA, Maria K. 2020. Capacidad antioxidante del extracto de los frutos liofilizados de la *Opuntia ficus-indica* "tuna roja, naranja y verde". tesis para optar el Título de Ingeniero en industrias alimentarias. Universidad Católica Santa María, Arequipa, Perú 2020. [consultado el 09/10/2022], disponible en <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/9934>

BISBY, Roger H.; BROOKE, Rachel y NAVARATNAM, Suppiah. Effect of antioxidant oxidación potential in the exigen radical absorción capacity (ORAC) assay. *Food Chemistry*, [En línea], junio 2008, 108(3), 1002–1007. Disponible [consultado el 02/06/2022]. en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.012>.



BOUDET, Alain M. Evolución and current status of research in phenolic compounds. *Phytochemistry*. noviembre 2007, 68(22-24), 2722–2735. [consultado el 02/09/2022], Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.06.012>.

BRAND WILLIAMS, W.; **CUVELIER**, M. E. y **BERSET**, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, [En línea], enero de 1995, 28(1), 25–30. [consultado el 25/06/2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/s0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/s0023-6438(95)80008-5).

CANTWELL, M. Manejo postcosecha de tuna y nopalitos. s.l.: Estudio FAO Producción y protección vegetales, 1999. 132, 126-143. ISSN: 1014-1227

CEREZAL, P y **DUARTE**, G. Algunas características de tunas (*Opuntia ficus-indica*) L Miller, cosechadas en el altiplano andino de la segunda región de Chile. s.l. : Journal of the professional association for cactus Development, [En línea], 2005. 7:34-60. Disponible en <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2002404411>

CHOUGUI, Nadia, Abderezak **TAMENDJARI**, Wahiba **HAMIDJ**, Salima **HALLAL**, Alexandre **BARRAS** et al. Oil composition and characterisation of phenolic compounds of *Opuntia ficus-indica* seeds. *Food Chemistry*, [En línea], agosto 2013, , 139(1-4), 796–803. [consultado el 2/07/2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.054>.

CHOUGUI, Nadia, **LOUAILECHE**, Hayette; **MOHEDEB**, Safia; y **HAMMOU** Yasmina. Physico-chemical characterisation and antioxidant activity of some *Opuntia ficus-indica* varieties grown in North Algeria. *African Journal of Biotechnology*, [En línea], enero 2013, 12(3), 299–307. [consultado el 21/08/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.5897/ajb12.1946>.

COAVOY SÁNCHEZ, Ibeth A. Evaluación de la capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos de la tuna Morada (*Opuntia ficus - Indica*). 2016. P. 691-712, Tesis para optar el Título de Ingeniero de Industrias Alimentarias en Universidad Peruana Unión. Disponible en <https://repositorio.upeu.edu.pe/browse?type=author&value=Coavoy+S%C3%A1nchez%2C+Ibeth+Anny>

COTA SÁNCHEZ, Hugo J. Nutritional Composition of the Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica*) Fruit. Nutritional Composition of Fruit Cultivars, [En línea], 2016, 691–712. [consultado el 20/08/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-408117-8.00028-3>.

CRAFT, Brian D; **KERRIHARD**, Adrián L; **AMAROWICZ**, Ryszard y **PEGG**, Ronald B. . Phenol-Based Antioxidants and the In Vitro Methods Used for Their Assessment. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, [En línea], febrero 2012, 11(2), 148–173. [consultado el 20/08/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00173.x>.

FLOEGEL, Anna; **KIM**, Dae-Ok; **CHUNG**, Sang-Jin; **KOO**, Sung I. y **CHUN**, Ock K. Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, [En línea], noviembre 2011, 24(7), 043–1048. [consultado el 22/08/2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.01.008>.



GALATI, Enza M; **MONDELLO**, María R; **GIUFFRIDA**, Daniele; **DUGO**, Giacomo y **MICELI**, Natalicia. Chemical Characterization and Biological Effects of Sicilian *Opuntia ficus indica*(L.) Mill. Fruit Juice: Antioxidant and Antiulcerogenic Activity. Journal of Agricultural and Food Chemistry, [En línea], agosto 2003, 51(17), 4903–4908. [consultado el 05/08/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/jf030123d>.

GAVILÁN VALER, Anely M. Caracterización Morfológica, Productiva y determinación del contenido de betalainas de la tuna Morada. (*Opuntia Ficus Indica L. Mill*) a 2735 msnm. s.l. : Canaán - Ayacucho, 2014.

GÓMEZ RUIS, L.R. Evaluación de la actividad antioxidante en los extractos obtenidos por CO₂ supercrítico de dos especies vegetales plantago mayor (Plantaginaceae). 2017.

GONZÁLEZ, M. A., C. BERNAL, M. C. CONTINI, S. MAHIEU y M. C. CARRILLO. Rol de la Vitamina E en la Prevención del Daño Oxidativo en Hígados Regenerantes. FABICIB, [En línea], diciembre 2005, 9, 157–166. Disponible [consultado el 19/07/2022]. en: <https://doi.org/10.14409/fabicib.v9i1.773>.

GRIFFITH, M. P. The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): new molecular evidence. American Journal of Botany, [En línea], noviembre 2004, 91(11), 1915–1921. [consultado el 03/09/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3732/ajb.91.11.1915>.

HERNÁNDEZ GARCÍA, Francisca L.; **ANDREU COLL**, Marina; **CANO LAMADRID**, David y **LÓPEZ LLUCH**, Ángel A. Valorization of Prickly Pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill]: Nutritional Composition, Functional Properties and Economic Aspects. En: Invasive Species - Introduction Pathways, Economic Impact, and Possible Management Options. IntechOpen.

HERRERA YAÑEZ, Yanina N. Efectos de la temperatura de almacenamiento sobre las características físicas y químicas de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en la región Moquegua. s.l.: Universidad José Carlos Mariátegui, 2018. p. 12.

HOUNSOME, N.; HOUNSOME, B.; TOMOS, D. y EDWARDS-JONES, G. Plant Metabolites and Nutritional Quality of Vegetables. Journal of Food Science, [En línea], mayo 2008, 73(4), R48—R65. [consultado el 12/10/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00716.x>.

HUANG, Dejian; **OU**, Boxin y **PRIOR**, Ronald L. The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. Journal of Agricultural and Food Chemistry, [En línea], marzo 2005, 53(6), 1841–1856. [consultado el 08/08/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/jf030723c>.

IMÉNEZ LISO, María R; **TORRES**, Esteban; **GONZÁLEZ GARCÍA**, Francisco y **SALINAS LÓPEZ**, Francisco. La utilización del concepto de pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos: aplicaciones en el aula. Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas, [En línea], enero 2000, 18(3), 451. [consultado el 07/07/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4031>.



JORGE, Paola y **TRONCOSO**, Luzmila. Capacidad antioxidante del fruto de la *Opuntia apurimacensis* (ayrampo) y de la *Opuntia ficus-indica* (tuna). *Anales de la Facultad de Medicina*, [En línea], junio 2016, 77(2), 105. [consultado el 06/09/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/anales.v77i2.11812>.

KADER, Adel A. Flavor quality of fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, [En línea]. Agosto 2008, 88(11), 1863–1868. [consultado el 15/07/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3293>.

KHATABI, Omar; **HANINE**, Hafida; **ELOTHMANI**, Driss y **HASIB**, Aziz. Extraction and determination of polyphenols and betalain pigments in the Moroccan Prickly pear fruits (*Opuntia ficus indica*). *Arabian Journal of Chemistry*, [En línea], septiembre 2016, 9, 278—281. [consultado el 22/08/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.04.001>.

KIRK, R. S.; SAWYER, R. y EGAN, H. Composición y análisis de alimentos de Pearson, Compañía editorial continental SA, [En línea], 1996. 2, [consultado el 08/09/2022]. Disponible en https://books.google.com.pe/books/about/Composici%C3%B3n_y_an%C3%A1lisis_de_alimentos_de.html?id=HYTwpGAACAAJ

KUTI, Joseph O. Antioxidant compounds from four *Opuntia cactus pear* fruit varieties. *Food Chemistry*, [En línea], mayo 2004, 85(4), 527–533. [consultado el 06/09/2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(03\)00184-5](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(03)00184-5).

LIN, Derong; **XIAO**, Mengshi; **ZHAO**, Jingjing; **LI**, Zhuohao y **XING**, Baoshan. An Overview of Plant Phenolic Compounds and Their Importance in Human Nutrition and Management of Type 2 Diabetes. *Molecules*, [En línea], octubre 2016, 21(10), 1374. [consultado el 10/02/2022] Disponible en: <https://doi.org/10.3390/molecules21101374>.

LONDOÑO, Londoño J. Antioxidantes: Importancia biológica y métodos para medir su actividad, En desarrollo y transversalidad serie lasallista investigación y ciencia. Coperación Universitaria La Sallista, [En línea], 2012. Disponible en: <https://agriperfiles.agri-d.net/display/AS-pub-6AFC576AAC9570ABFCEB9B26DB09F330>

MABROUKI, Lamia; **BOUTHAYNA**, Zougari; y **BENDHIFI**, Monia. Evaluation of antioxidant capacity, Phenol and flavonoid contents of *Opuntia streptacantha* and *Opuntia ficus indica*. *Nature & Technology*, [En línea], Mayo 2015, 2, 02 - 08, [consultado el 8/08/2022], Disponible en: <https://www.univ-chlef.dz/revuenatec/issue-13>

MARCUCCI, M. C. y D. M. CAIEIRO. Composição Química e Atividade Antioxidante de Formulações Comerciais contendo *Ginkgo biloba* L. *Revista Fitos*, [En línea], septiembre 2010, 5(03), 64–72, [consultado el 22/08/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.32712/2446-4775.2010.121>.

MONROY GUTIÉRREZ, Teresa; **MARTÍNEZ DAMIÁN**, Alejandro F; **BARRIENTOS PRIEGO**; **GALLEGOS VÁZQUEZ**, Clemente y Oscar **CRUZ ALVAREZ**. compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en frutos de xocotuna, tuna y xoconostle (*Opuntia spp.*). *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, [En línea], 2017, consultado el [08/10/2022] Disponible en: <https://doi.org/10.4067/s0719-38902017005000704>.



NAKATANI, N; SHIMIZU, M y KAJO, S. Food and health food ingredients and functions - The open university of Japan teaching materials. s.l. : The society for the promotion of education, Broadcasting University, 2006. 1° ed., p. 236.

NOLLET, Leo M. L. (ed.). Handbook of Food Analysis. CRC Press, [En línea], 2004. ISBN 9780429182495. [consultado el 21/10/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1201/9781482276473>.

ORTIZ AGUILA, Pamela A. Compuestos fenoles y la capacidad antioxidante In Vitro del Extracto Etanólico En tres variedades de opuntia ficus indica. Tesis para optar el Título de Licenciado en Nutrición, 2018. Universidad Cesar Vallejo, Lima - Perú. Disponible en https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/25600/ortiz_ap.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PARADES PARDO, Elsa T. Estudio del proceso de horneado con microondas y su efecto sobre la textura instrumental del fruto de cuatro variedades de manzana (*Pyrus malus L*). s.l. : Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria de la Escuela Politécnica Nacional, 2012. p. 11.

PÀSSARO CARVALHO, Caterina P. Guia sobre principios basicos de cromatografia y sus aplicaciones. 2016. Disponible en https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/4694/1/guia_cromatograf%C3%ADa.pdf

PASTENE, Edgar R. 2009. Estado actual de la búsqueda de plantas con actividad antioxidantes. : Boletín Latinoamericano y del Caribe de plantas medicinales y aromáticas, [En línea], 2009. 8(6), 449-455. [consultado el 25/10/2022] Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/856/85617461001.pdf>

PATTHAMAKANOKPORN, Oruma; PUWASTIEN, Prapasri; NITITHAMYONG Anadi y SIRICHAKWAL Prapaisri P. Changes of antioxidant activity and total phenolic compounds during storage of selected fruits. Journal of Food Composition and Analysis, [En línea], mayo 2008, 21(3), 241–248. [consultado el 24/10/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2007.10.002>.

PELLEGRINI, Nicoletta; PROTEGGENTE, Anna; PANNALA, Ananth y YANG, Min. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology and Medicine, [En línea], mayo 1999, 26(9-10), 1231–1237. [consultado el 25/10/2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3).

PIGA, Antonio. Cactus pear: A Fruit of Nutraceutical and Funtional Importance. Dipartimento de Scienze ambientali Agrarie e Biotecnologie Agro-Alimentari. [En línea], 2004, 37, [Consultado 15/08/2022]. Disponible en <https://www.yumpu.com/en/document/view/19180865/cactus-pear-a-fruit-of-nutraceutical-and-functional-importance>.

PYRZYNSKA, Krystyna y PEKAL, Anna. Application of free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) to estimate the antioxidant capacity of food samples. Analytical Methods, [En línea], 2013, 5 (17), 4288. [consultado el 25/10/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/c3ay40367j>.



RAMIREZ RAFAEL, Hector; **ESPINO RODRIGUES**, Edgar P. y **TINGAL INFANTE**, Isolina. Morfología de la Tuna. Tesis para optar el Título de ingeniero Forestal, 2012, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca - Perú, Disponible en <https://1library.co/document/zwv65vvq-morfologia-de-tuna-opuntia-ficus-indica-mill.html>.

RAMÍREZ RAMOS, Marcos; **GARCÍA MATEOS**, Rosario; **CORRALES GARCÍA**, Joel; **YBARRA MONCADA**, Carmen y **CASTILLO GONZÁLEZ**, Ana. Compuestos antioxidantes en variedades pigmentadas de tuna (*Opuntia sp.*). Revista Fitotecnia Mexicana, [En línea], diciembre 2015, 38(3), 349. [consultado el 23/10/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.35196/rfm.2015.3.349>.

REPO DE CARRASCO, Ritva y **ENCINO ZELA**, Cristian R. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas Peruanas. Revista de la sociedad química del Perú, [En línea], 2008. 74(2), 108-124. [consultado el 21/11/2022] Disponible en http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2008000200004

ROGINSKY, V. y **LISSI**, E. Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food. Food Chemistry, [En línea], septiembre 2005, 92(2), 35–254. [consultado el 21/10/2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.004>.

SÁENZ, C y **SEPÚLVEDA**, E. Cactus pear juice. s.l. : Journal of the professional Association for cactus Development, [En línea], 2001. 4(3-10). Disponible en <https://www.semanticscholar.org/paper/Cactus-Pear-Juices-S%C3%A1enz-Sep%C3%BAlveda/d72a56c3aeea768dc45e1b64184f1f750572240a>

SHANGGUAN, Lingfei; **SUN**, Xin; **ZHANG**, Changqing, **MU**, Qian y **LENG** Xiangpeng et al. Genome identification and analysis of genes encoding the key enzymes involved in organic acid biosynthesis pathway in apple, grape, and sweet orange. Scientia Horticulturae, [En línea], marzo 2015, 185, 22–28. [consultado el 24/10/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.01.012>.

SIERRA Y SELVA EXPORTADORA. Análisis de mercado de la tuna 2015-2021. Lima : Riego, Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2021. Disponible en <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2848443/An%C3%A1lisis%20de%20mercado%20Tuna%202015%20-%202021.pdf>

SULBARAN, B; **GONZÁLES**, B y **FERNÁNDEZ**, V. 2013. Caracterización química y actividad antioxidante del pseudo-fruto de caujil (*anacardium occidentales L.*). s.l. : Rev. Fac. Agron, 2013. Vol. 30, p. 454-469.

TSEGAY, Zenebe T. Total, titratable acidity and organic acids of wines produced from cactus pear (*Opuntia-ficus-indica*) fruit and Lantana camara (*L. Camara*) fruit blended fermentation process employed response surface optimization. Food Science & Nutritión, [En línea], julio 2020, 8(8), 4449–4462. Disponible [consultado el 26/10/2022]. en: <https://doi.org/10.1002/fns3.1745>.

TÉRAN, Yanira. Análisis de las características fisicoquímicas del fruto de *Opuntia ficus indica* (L) Miller, cosechados en Lara Venezuela. s.l. : Revista Iberoamericana de



Tecnología Postcosecha, 2015. Vol. 16, P, 69-74. Disponible en https://www.redalyc.org/pdf/813/Resumenes/Resumen_81339864010_1.pdf

TINTZING, Florian C.; **HERBACH** Kirsten M.; **MOSSHAMMER**, Reinhold; **CARLE**, Weiguang, et al. Color, Betalain Pattern, and Antioxidant Properties of Cactus Pear (*Opuntiaspp.*) Clones. Journal of Agricultural and Food Chemistry, [En línea], enero 2005, 53(2), 442–451. [consultado el 25/10/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/jf048751y>.

TORRES, Ramiro; **MONTES**, Everaldo J.; **PÉREZ**, Omar A. y **ANDRADE**, Ricardo D. Relación del Color y del Estado de Madurez con las Propiedades Fisicoquímicas de Frutas Tropicales. Información tecnológica, [En línea], 2013, 24(3), 51–56. [consultado el 15/10/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/s0718-07642013000300007>.

VERMERRIS Wilfred y **NICHOLSON**, Ralph. Phenolic Compound Biochemistry. Springer, [En línea], 2007. [consultado el 10/10/2022]. ISBN 9781402051630.

VINCENTE, Ariel R.; **MANGANARIS**, George A.; **ORTIZ**, Cristian M.; **SOZZI**, Gabriel O. y **CRISOSTO**, Carlos H. Nutritional Quality of Fruits and Vegetables. En: Postharvest Handling, [En línea], 2014., 69 – 122. [consultado el 11/10/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-408137-6.00005-3>.

WALKER, Richard B. y **EVERETTE** Jace D. Comparative Reaction Rates of Various Antioxidants with ABTS Radical Cation. Journal of Agricultural and Food Chemistry, [En línea], febrero 2009, 57(4), 1156–1161. [consultado el 07/10/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/jf8026765>.

TÓTH, Edgár; **TÖLGYESI**, Ádám; **BÁLINT**, Mária; **MA**, Xingmao y **SHARMA**, Virender K. Separación of fosetyl and phosphonic acid in food matrices with mixed-mode HPLC column coupled with tandem mass spectrometric detection and method application to other highly polar pesticides. Journal of Chromatography B, [En línea], enero 2022, 1189, 123083. [consultado el 08/10/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2021.123083>.

ZÁENZ, Carmen y **BERGER**, Hort. Utilización Agroindustrial del Nopall. : Food & Agriculture, 2006. 162, Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120301/Utilizacion-agroindustrial-del-nopall.pdf?sequence=1>

ZAPATA, Piedrahita S. y **ROJANO**, B. Capacidad atrapadora de radicales oxigenos (ORAC) y fenoles totales de frutos y hortalizas de colombia. Perspectivas en nutrición humana, [En línea], 2014.16, 25-36. [consultado el 05/09/2022]. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/nutrición/article/view/20310>

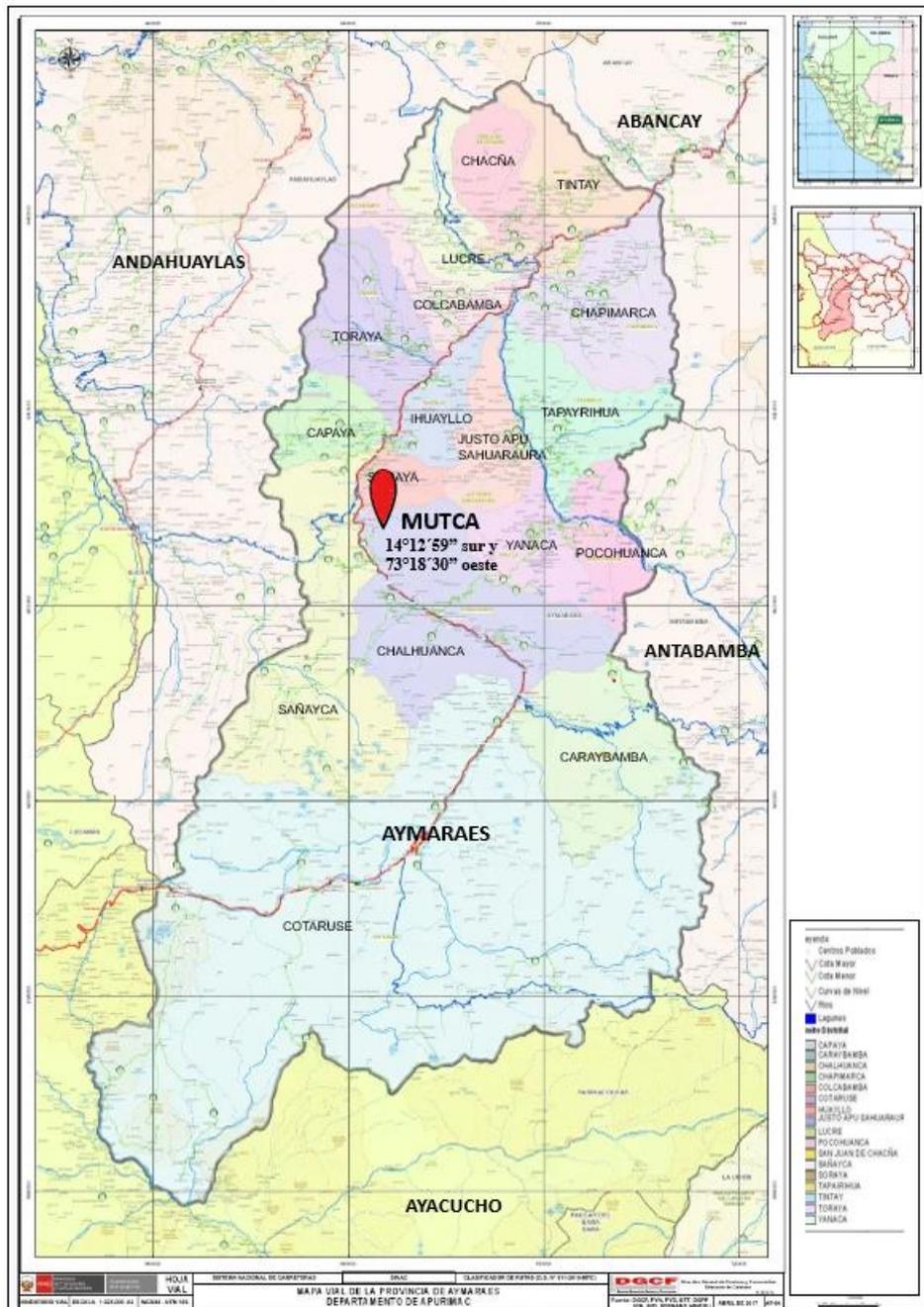
ZHEN, Jing; **VILLANI**, Thomas S; **GUO** Yue; **QI**, Yadong; **Kit CHIN** et al. Phytochemistry, antioxidant capacity, total phenolic content and anti-inflammatory activity of Hibiscus sabdariffa leaves. Food Chemistry, [En línea], enero 2016, 190, 673–680. [consultado el 30/09/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.006>.



ANEXOS



**Anexo 1 — Plano de ubicación de la comunidad Mutca distrito de Chalhuanca
Provincia de Aymaraes departamento de Apurímac.**



Coordenadas de la comunidad de colca (coordenadas. 14°12'59"S 73°18'30"O;
Altura. 3208 m s.n.m.)

Anexo 2 — Resultados de análisis de fisicoquímicos de tuna

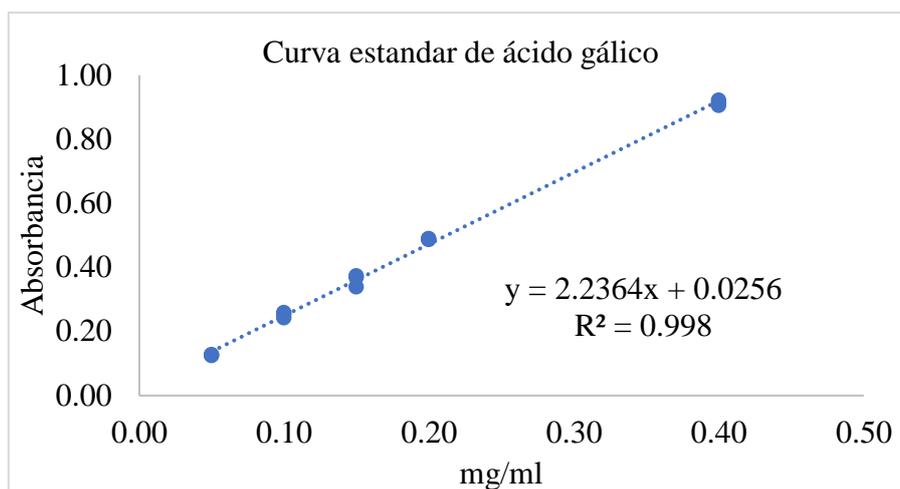
Variedad	Humedad (%)	Rendimiento de pulpa (%)	pH	Solidos Solubles (Brix°)	Acidez (%)	IM	Cenizas (%)
Morada	86.89	39.99	6.17	10	0.12	82.24	0.20
Morada	87.47	34.16	6.17	9.5	0.10	92.77	0.16
Morada	86.43	40.54	6.18	10	0.11	91.91	0.26
Morada	86.27	39.25	6.19	9	0.09	100.45	0.17
Morada	86.74	42.30	6.19	9.5	0.10	92.77	0.17
Amarilla	85.50	44.44	6.29	11.5	0.05	224.61	0.56
Amarilla	85.58	42.23	6.31	11.5	0.04	256.70	0.58
Amarilla	85.68	41.35	6.32	11	0.05	229.17	0.60
Amarilla	85.80	43.36	6.32	11.5	0.05	224.61	0.34
Amarilla	86.18	42.55	6.33	11.5	0.05	239.58	0.44
Blanca	82.81	34.42	6.06	11.5	0.04	299.48	0.18
Blanca	83.38	36.04	6.1	12	0.04	288.46	0.21
Blanca	83.28	34.02	6.09	12	0.04	312.50	0.16
Blanca	83.81	34.12	6.1	11.5	0.04	256.70	0.11
Blanca	84.37	35.40	6.05	11	0.04	264.42	0.13

Resultados de las repeticiones de los ensayos fisicoquímicos.

Anexo 3 — Curva estándar de ácido gálico

Concentración de Á gálico (mg/ml)	Absorbancia
0.05	0.13
0.05	0.13
0.05	0.13
0.10	0.26
0.10	0.25
0.10	0.24
0.15	0.37
0.15	0.37
0.15	0.34
0.20	0.49
0.20	0.49
0.20	0.49
0.40	0.91
0.40	0.92
0.40	0.90

Cuadro de resultados de absorbancia de la curva estándar en concentraciones 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 y 0.40 Á gálico mg/ml. A una longitud de onda a 650 Nm.

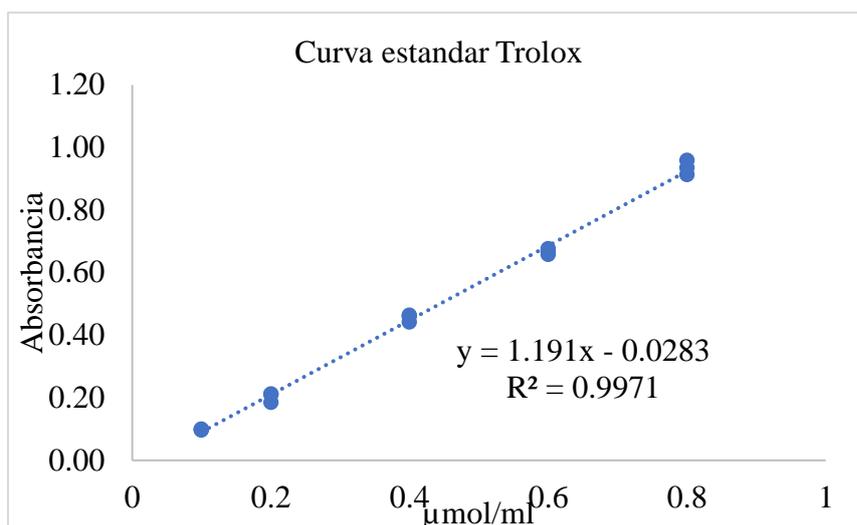


Curva de calibración de ácido gálico para la determinación de fenoles totales por el método de Folin – Ciocalteu.

Anexo 4 — Curva estándar de Trolox

Concentración de Trolox (µmol/ml)	Absorbancia	Absorbancia real
0.1	1.08	0.10
0.1	1.08	0.10
0.1	1.08	0.10
0.2	0.97	0.21
0.2	0.97	0.21
0.2	0.99	0.18
0.4	0.74	0.44
0.4	0.72	0.46
0.4	0.71	0.46
0.6	0.50	0.68
0.6	0.52	0.66
0.6	0.51	0.67
0.8	0.26	0.91
0.8	0.22	0.96
0.8	0.24	0.94

Cuadro de resultados de absorbancia de la curva estándar en concentraciones 0.1, 0.2, 0.4, 0.6 y 0.8 Trolox µmol/ml una Longitud de onda 515 Nm



Curva de calibración de Trolox para la determinación de capacidad antioxidante por el método DPPH

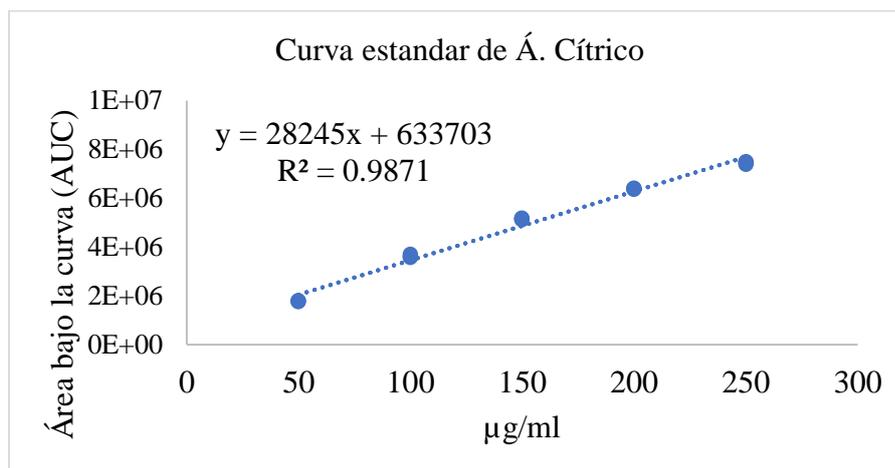
Anexo 5 — Resultados de contenido de fenoles totales (CFT) por método Folin-ciocalteu y capacidad antioxidante (CA) por método DPPH

Variedad	CFT (mg/100g)	CAoX ($\mu\text{mol eq Trolox}/100\text{g}$)
Morada	66.98	285.41
Morada	68.09	270.20
Morada	71.73	280.16
Morada	68.09	278.07
Morada	70.61	278.07
Amarilla	37.90	150.56
Amarilla	39.58	152.13
Amarilla	35.38	149.51
Amarilla	36.78	146.89
Amarilla	34.26	143.74
Blanca	29.49	126.52
Blanca	26.97	128.09
Blanca	28.37	120.75
Blanca	28.93	118.12
Blanca	28.37	138.58

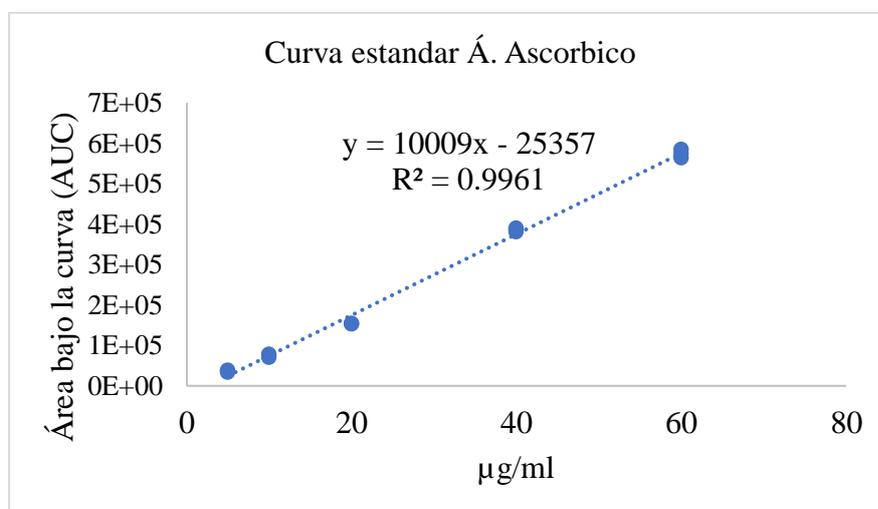
Contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante

Anexo 6 — Curvas estándar de ácidos orgánicos

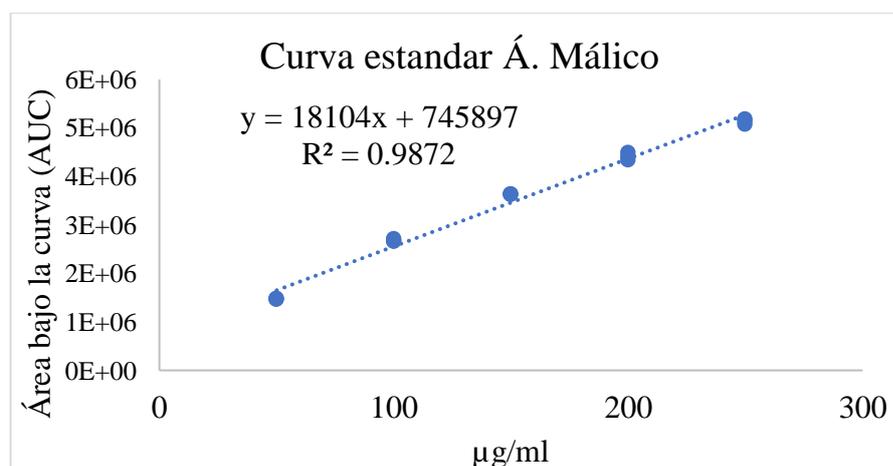
A. Curva estándar ácido cítrico



B. Curva estándar ácido Ascórbico



C. Curva estándar ácido málico



Anexo 7 — Resultados ácidos orgánicos en la tuna (mg/100 g b.h.)

variedad	Ascórbico	Cítrico	Málico
Morada	97.55	435.69	93.81
	88.38	361.75	65.87
	127.33	317.20	71.76
	112.97	325.28	79.99
	106.04	273.21	56.95
Amarilla	142.72	249.18	37.61
	111.21	156.53	34.12
	105.56	304.55	50.85
	104.72	304.04	33.55
	91.84	231.60	31.92
Blanca	132.16	241.84	36.25
	105.96	262.50	44.12
	135.37	263.38	52.31
	143.69	241.84	28.65
	159.66	199.65	48.97

Resultados del contenido de ácidos orgánicos presente en las tunas.

Anexo 8 — Análisis estadístico de resultados

a) ANOVA para porcentaje de humedad por variedades de tuna

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón- F	Valor p
Variedad	27.276	2	13.6379	64.28	0.000
Error	2.546	12	0.2122		
Total	29.822	14			

Dónde: (Gl) = Grados de libertad, Razón-F (F_0) = Estadístico de prueba

En el ANOVA para el porcentaje de humedad de las variedades de tuna muestra diferencias estadísticamente significativa, con un nivel del 95.0% de confianza para un Valor – p < 0.05 y Razón – F = 64.28, es el cociente entre el estimado entre grupos (SC) y el estimado dentro de grupos (CM), que nos indica que el modelo es significativo.

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Variedad	N	Media	Agrupación
Morada	5	86.758	A
Amarilla	5	85.748	B
Blanca	5	83.530	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

b) ANOVA para rendimiento por variedad de tuna

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	160.131	2	80.0653	20.87	0.0001
Intra grupos	46.0272	12	3.8356		
Total (Corr.)	206.158	14			

Dónde: (Gl) = Grados de libertad, Razón-F (F_0) = Estadístico de prueba

En el ANOVA para el rendimiento de pulpa de las variedades de tuna muestra diferencias estadísticamente significativa, con un nivel del 95.0% de confianza para un Valor – p < 0.05 y Razón – F = 20.87, es el cociente entre el estimado entre grupos (SC) y el estimado dentro de grupos (CM), que nos indica que el modelo es significativo.

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Variedad	N	Media	Agrupación
Amarilla	5	42.785	A
Morada	5	39.25	B
Blanca	5	34.801	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

c) ANOVA para pH por variedad de tuna

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.137853	2	0.0689267	234.98	0.0000
Intra grupos	0.00352	12	0.000293333		
Total (Corr.)	0.141373	14			

Dónde: (Gl) = Grados de libertad, Razón-F (F_0) = Estadístico de prueba

En el ANOVA para el pH de las variedades de tuna muestra diferencias estadísticamente significativa, con un nivel del 95.0% de confianza para un Valor – p < 0.05 y Razón – F = 234.98, es el cociente entre el estimado entre grupos (SC) y el estimado dentro de grupos (CM), que nos indica que el modelo es significativo.

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Variedad	N	Media	Agrupación
Amarilla	5	6.31400	A
Morada	5	6.18000	B
Blanca	5	6.0800	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



d) ANOVA para solidos solubles por variedades de tuna

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	12.1333	2	6.06667	45.50	0.0000
Intra grupos	1.6	12	0.133333		
Total (Corr.)	13.7333	14			

Dónde: (Gl) = Grados de libertad, Razón-F (F_0) = Estadístico de prueba

En el ANOVA para el porcentaje de solidos solubles de las variedades de tuna muestra diferencias estadísticamente significativa, con un nivel del 95.0% de confianza para un Valor - p < 0.05 y Razón - F = 45.50, es el cociente entre el estimado entre grupos (SC) y el estimado dentro de grupos (CM), que nos indica que el modelo es significativo.

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Variedad	N	Media	Agrupación
Blanca	5	11.600	A
Amarilla	5	11.400	A
Morada	5	9.600	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

e) Prueba de Kruskal-Wallis: Acidez (%)

Estadísticas descriptivas

Variedad	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Amarilla	5	0.0480	7.9	-0.06
Blanca	5	0.0416	3.1	-3.00
Morada	5	0.1024	13.0	3.06
General	15		8.0	

Prueba

Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales

Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	12.25	0.002
Ajustado para empates	2	12.39	0.002

f) ANOVA para Índice de madurez por variedad de tuna



Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	99722.4	2	49861.2	192.42	0.0000
Intra grupos	3109.54	12	259.128		
Total (Corr.)	102832.	14			

Dónde: (Gl) = Grados de libertad, Razón-F (F_0) = Estadístico de prueba

En el ANOVA para el índice de madurez de las variedades de tuna muestra diferencias estadísticamente significativa, con un nivel del 95.0% de confianza para un Valor – p < 0.05 y Razón – F = 192.42, es el cociente entre el estimado entre grupos (SC) y el estimado dentro de grupos (CM), que nos indica que el modelo es significativo.

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Variedad	N	Media	Agrupación
Blanca	5	284.3	A
Amarilla	5	234.93	B
Morada	5	92.03	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

g) ANOVA para Cenizas por variedad de tuna

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.363693	2	0.181847	35.15	0.0000
Intra grupos	0.06208	12	0.00517333		
Total (Corr.)	0.425773	14			

Dónde: (Gl) = Grados de libertad, Razón-F (F_0) = Estadístico de prueba

En el ANOVA para contenido de cenizas de las variedades de tuna muestra diferencias estadísticamente significativa, con un nivel del 95.0% de confianza para un Valor – p < 0.05 y Razón – F = 35.15, es el cociente entre el estimado entre grupos (SC) y el estimado dentro de grupos (CM), que nos indica que el modelo es significativo.

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Variedad	N	Media	Agrupación
Amarilla	5	0.5043	A
Morada	5	0.1926	B
Blanca	5	0.1580	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

h) ANOVA para contenido de compuestos fenólicos totales por variedades de tuna

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4614.58	2	2307.29	755.48	0.0000
Intra grupos	36.6487	12	3.05406		
Total (Corr.)	4651.23	14			

Dónde: (Gl) = Grados de libertad, Razón-F (F_0) = Estadístico de prueba

En el ANOVA para compuestos fenólicos totales de las variedades de tuna muestra diferencias estadísticamente significativa, con un nivel del 95.0% de confianza para un Valor – $p < 0.05$ y Razón – $F = 755.48$, es el cociente entre el estimado entre grupos (SC) y el estimado dentro de grupos (CM), que nos indica que el modelo es significativo.

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Variedad	N	Media	Agrupación
Morada	5	69.101	A
Amarilla	5	36.779	B
Blanca	5	28.428	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

i) ANOVA para capacidad antioxidante por variedades de tuna

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	67396.5	2	33698.2	974.25	0.0000
Intra grupos	415.065	12	34.5888		
Total (Corr.)	67811.5	14			

Dónde: (Gl) = Grados de libertad, Razón-F (F_0) = Estadístico de prueba

En el ANOVA para capacidad antioxidante de las variedades de tuna muestra diferencias estadísticamente significativa, con un nivel del 95.0% de confianza para un Valor – $p < 0.05$ y Razón – $F = 974.25$, es el cociente entre el estimado entre grupos (SC) y el estimado dentro de grupos (CM), que nos indica que el modelo es significativo.

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Variedad	N	Media	Agrupación
Morada	5	278.38	A
Amarilla	5	148.56	B
Blanca	5	126.41	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

j) ANOVA para ácido ascórbico por variedades de tuna

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2403.75	2	1201.87	3.74	0.0548
Intra grupos	3860.99	12	321.749		
Total (Corr.)	6264.73	14			

Dónde: (Gl) = Grados de libertad, Razón-F (F_0) = Estadístico de prueba

En el ANOVA para el contenido de ácido ascórbico de las variedades de tuna no muestra diferencias estadísticamente significativas, con un nivel del 95.0% de confianza para un Valor – p > 0.05 y Razón – F = 3.74, es el cociente entre el estimado entre grupos (SC) y el estimado dentro de grupos (CM), que nos indica que el modelo es significativo.

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Variedad	N	Media	Agrupación
Blanca	5	135.37	A
Amarilla	5	111.21	A
Morada	5	106.45	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

k) ANOVA para ácido Cítrico por variedades de tuna

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	31572.4	2	15786.2	5.84	0.0169
Intra grupos	32431.9	12	2702.66		
Total (Corr.)	64004.3	14			

Dónde: (Gl) = Grados de libertad, Razón-F (F_0) = Estadístico de prueba

En el ANOVA para contenido de ácido cítrico de las variedades de tuna muestra diferencias estadísticamente significativa, con un nivel del 95.0% de confianza para un Valor – p < 0.05 y Razón – F = 5.84, es el cociente entre el estimado entre grupos (SC) y el estimado dentro de grupos (CM), que nos indica que el modelo es significativo.

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Variedad	N	Media	Agrupación
Morada	5	342.6	A
Amarilla	5	249.2	B
Blanca	5	241.8	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

l) Tabla ANOVA para ácido málico por variedad de tuna



Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3439.71	2	1719.85	16.61	0.0003
Intra grupos	1242.2	12	103.517		
Total (Corr.)	4681.91	14			

Dónde: (Gl) = Grados de libertad, Razón-F (F_0) = Estadístico de prueba

En el ANOVA para contenido de ácido málico de las variedades de tuna muestra diferencias estadísticamente significativa, con un nivel del 95.0% de confianza para un Valor – $p < 0.05$ y Razón – $F = 16.61$, es el cociente entre el estimado entre grupos (SC) y el estimado dentro de grupos (CM), que nos indica que el modelo es significativo.

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Variedad	N	Media	Agrupación
Morada	5	73.68	A
Blanca	5	42.06	B
Amarilla	5	37.61	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 9 — Panel fotográfico



Figura 12 — Tuna (*Opuntia ficus-indica*), variedad Amarilla Mutca, Chalhuanca, Aymaraes, Apurímac (3208 msnm)



Figura 13 — Variedades de tuna de estudiada: Amarilla Blanca y Morada



Figura 14 — Extracción de pulpa de tuna, variedad Morada



Figura 15 — Determinación de rendimiento de pulpa de tuna variedad Morada



Figura 16 — Determinación de sólidos solubles (°Brix) con refractómetro



Figura 17 — Determinación de pH de pulpa variedad Amarilla



Figura 18 — Determinación de acidez total titulable, viraje de la reacción rosa pálido.

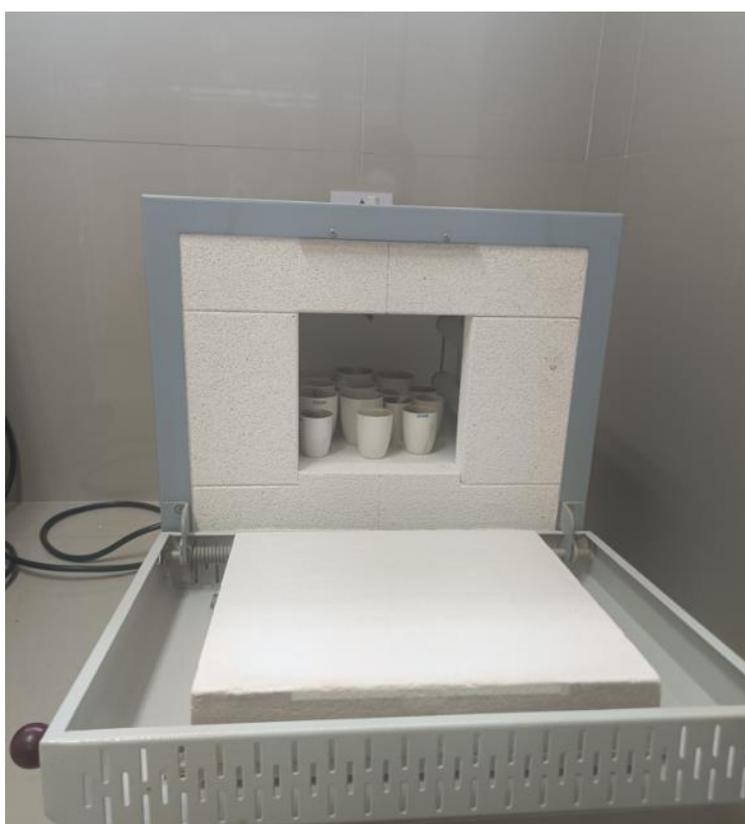


Figura 19 — Análisis de cenizas totales (Método calcinación en mufla)



Figura 20 — Cámara para mantener en oscuridad las reacciones de oxido reducción: compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante

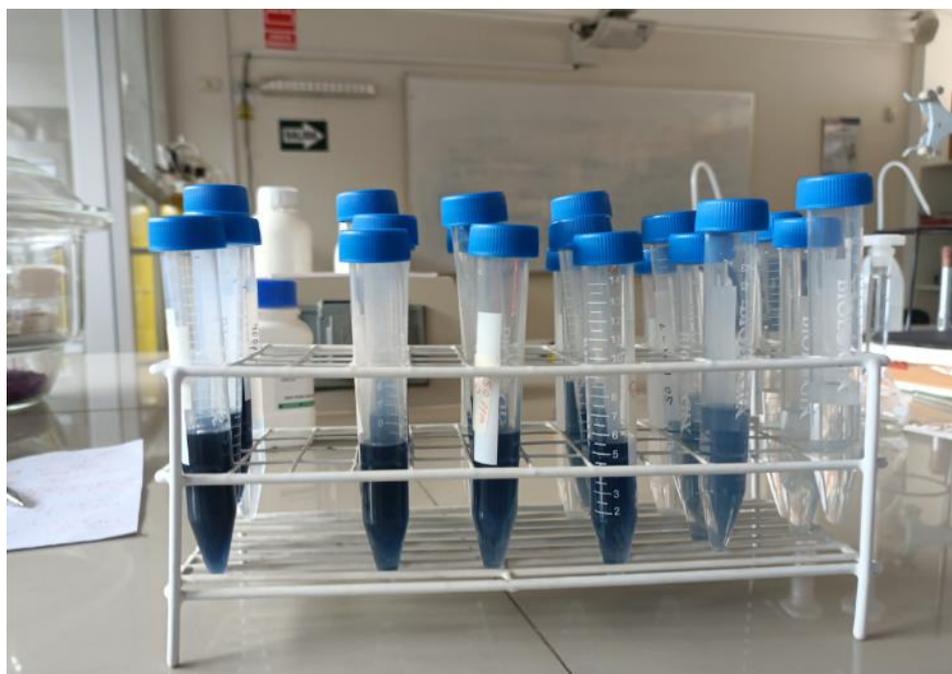


Figura 21 — Reacción de ácido folin-ciocalteu en ácido gálico para elaborar la curva estándar

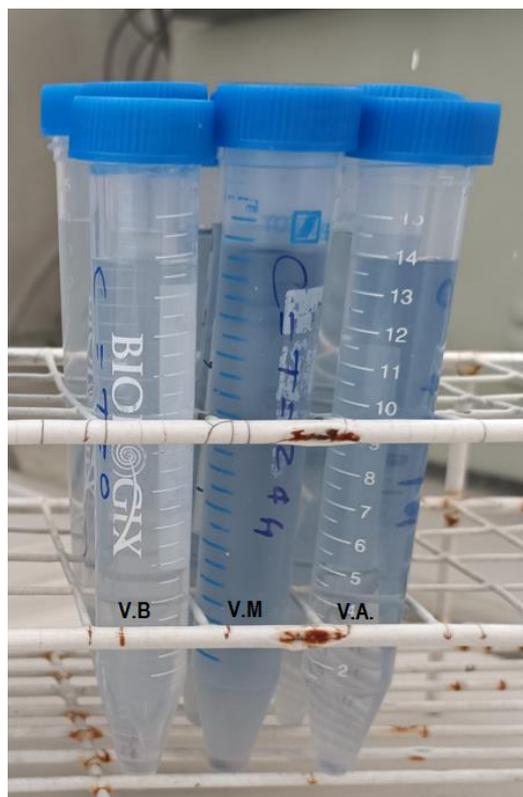


Figura 22 — Reacción de las muestras problema para determinar el contenido de compuestos fenoles totales

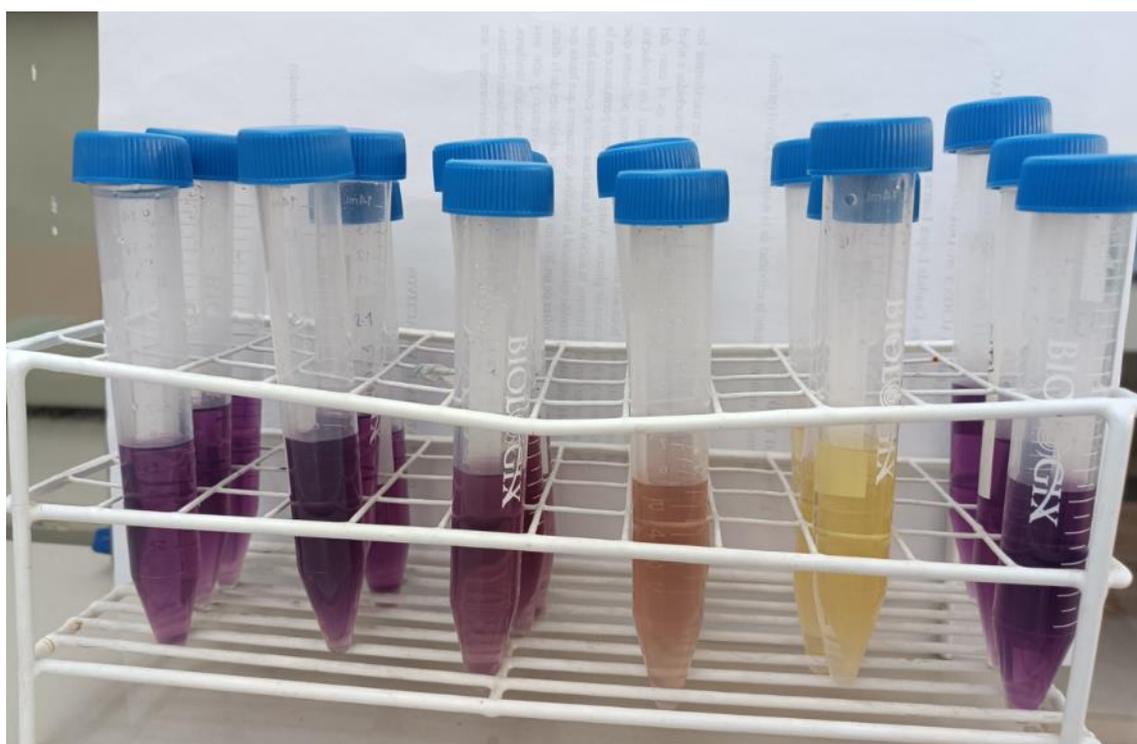


Figura 23 — Reacción de DPPH y Trolox para elaborar la curva estándar para determinar la capacidad antioxidante.

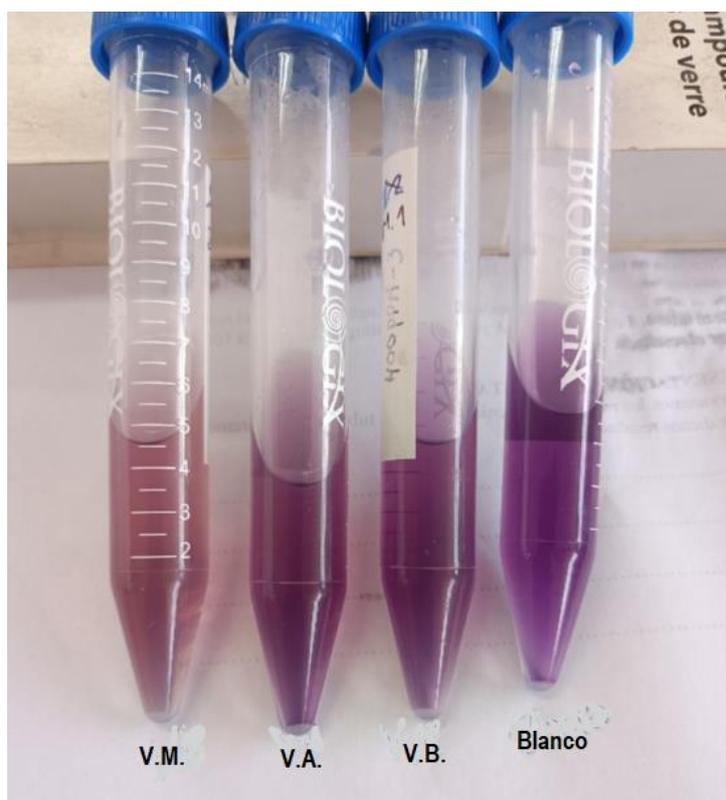


Figura 24 — Grado de inhibición de las tres variedades de tuna y el protón o Blanca DPPH.