

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

ESCUELA PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA



TESIS:

Contenido de carotenoides y actividad antioxidante de diez variedades de semillas de *Chenopodium quinoa* Willd. “quinua”, Ayacucho 2024.

Para optar el título profesional de:
QUÍMICO FARMACÉUTICO

PRESENTADO POR:
Bach. Joselin Edwin HUAMANI HUAMAN

ASESOR:
Dr./Mg./Q.F. Enrique Javier AGUILAR FELICES

AYACUCHO - PERÚ

2025

Dedico este trabajo a Dios, por ser mi guía y fortaleza. A mi madre y hermana, por su cariño y apoyo incondicional, y a mi familia, por ser mi refugio y motor en los momentos difíciles. Este logro también les pertenece.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por ofrecerme la formación y los recursos que hicieron posible esta investigación. También a todas las personas que, de alguna manera, contribuyeron a este logro, mi sincero agradecimiento.

A la Facultad de Ciencias de la Salud y a la Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica, así como a su destacada plana docente que fueron pilar de mi formación profesional.

Expreso un especial reconocimiento al Dr. Enrique Javier Aguilar Felices, quien, con su asesoría, su orientación, paciencia y compromiso durante todo este proceso. Estoy muy agradecido por su constante apoyo, que fue fundamental para la realización de este trabajo.

Agradecimiento al proyecto FOCAM: “Fortalecimiento de las capacidades para realizar estudios genómicos, fitoquímicos, farmacológicos y toxicológicos de la semilla de *Chenopodium quinoa* Willd. “quinua” y su uso como alimento funcional”.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Marco Referencial	3
2.1.1. <i>Antecedentes Internacionales</i>	3
2.1.2. <i>Antecedentes Nacionales</i>	4
2.1.3. <i>Antecedentes locales</i>	6
2.2. Marco Teórico	7
2.2.1. <i>Chenopodium quinoa Willd. “quinua”</i>	7
2.2.2. <i>Antioxidantes y radicales libres</i>	10
2.2.3. <i>Carotenoides</i>	11
2.2.4. <i>Compuestos fenólicos y fenoles totales</i>	12
2.2.5. <i>Metodología de determinación de la actividad antioxidante</i>	13
2.3. Marco conceptual	14
2.4. Marco Ético y Legal	15
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Alcance de investigación	17
3.2. Diseño de investigación	17
3.3. Unidad de análisis	17
3.4. Población de estudio	17
3.5. Muestra	17
3.6. Criterios de Selección	17
3.7. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	17
3.8. Análisis de datos	20
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	21
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN	27
CAPITULO VI. CONCLUSIONES	35
CAPITULO VII. RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXOS	45

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Denominaciones comunes de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.	7
Tabla 2. Composición química de las semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.	8
Tabla 3. Variedades comerciales peruanas y características principales de calidad y región de adaptación	9
Tabla 4. Presencia de carotenoides en diferentes alimentos	11
Tabla 5. Clasificación de los compuestos fenólicos	12
Tabla 6. Descripción comparativa de metodologías empleadas en la cuantificación de la actividad antioxidante	13
Tabla 7. Prueba de correlación de Pearson para el contenido de carotenoides, fenoles totales y la actividad antioxidante en las semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. (quinoa)	26

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Estructura química de β -caroteno4.	11
Figura 2. Grupo fenol característico de la estructura de los compuestos fenólicos	12
Figura 3. Contenido de carotenoides en las semillas de diferentes variedades de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.	23
Figura 4. Contenido de fenoles totales en las semillas de diferentes variedades de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.	24
Figura 5. Actividad antioxidante mediante metodología DPPH, ABTS+ y FRAP de diferentes variedades de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd	25

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Constancia de identificación taxonómica	47
Anexo 2 Diagrama de flujo para la determinación del contenido de carotenoides en semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. (quinua)	48
Anexo 3 Curva de calibración de β -caroteno para la determinación del contenido de carotenoides	49
Anexo 4 Curva de calibración de ácido gálico para la determinación del contenido de fenoles totales	50
Anexo 5 Diagrama de flujo para la determinación de la actividad antioxidante por el ensayo de DPPH	51
Anexo 6 Curva de calibración para la determinación de la actividad antioxidante acorde al ensayo de DPPH en función de la concentración de Trolox en semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. (quinua)	52
Anexo 7 Diagrama de flujo para la determinación de la actividad antioxidante por el ensayo de ABTS+ en semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. (quinua)	53
Anexo 8 Curva de calibración para la determinación de la actividad antioxidante acorde al ensayo de ABTS+ en función de la concentración de Trolox	54
Anexo 9 Diagrama de flujo para la determinación de la actividad antioxidante por el ensayo de FRAP en semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. (quinua)	55
Anexo 10 Curva de calibración para la determinación de la actividad antioxidante acorde al ensayo de FRAP en función de la concentración de Trolox	56
Anexo 11 Resultados de la determinación del contenido de carotenoides extraídos con el método de Biswas et al. en semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. (quinua).	57
Anexo 12 Resultados de la determinación del contenido de fenoles totales con el método de Swain y Hillis en semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. (quinua).	58
Anexo 13 Resultados de la determinación de la actividad antioxidante mediante el ensayo de DPPH en semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. (quinua).	59
Anexo 14 Resultados de la determinación de la actividad antioxidante mediante el ensayo de ABTS+ en semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. (quinua).	60

Anexo 15	Resultados de la determinación de la actividad antioxidante mediante el ensayo de FRAP en semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. (quinua).	61
Anexo 16	Contenido de carotenoides y fenoles totales en las semillas de diferentes variedades de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.	62
Anexo 17	Actividad antioxidante equivalente a Trolox (TEAC) del radical DPPH, ABTS y reductor de hierro (FRAP) de las semillas de diferentes variedades de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.	63
Anexo 18	Análisis de la varianza del contenido de carotenoides y fenoles totales en las semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. (quinua).	64
Anexo 19	Prueba de comparaciones múltiples de Scheffé para establecer diferencia significativa en el contenido de carotenoides y fenoles totales en las semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. (quinua).	65
Anexo 20	Análisis de la varianza de la actividad antioxidante mediante los ensayos de DPPH, ABTS y FRAP en las semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. (quinua).	66
Anexo 21	Prueba de comparaciones múltiples de Scheffé para establecer diferencia significativa de la actividad antioxidante mediante los ensayos DPPH y ABTS en las semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. (quinua).	67
Anexo 22	Prueba de comparaciones múltiples de Scheffé para establecer diferencia significativa de la actividad antioxidante mediante el ensayo FRAP en las semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. (quinua).	68
Anexo 23	Operacionalización de las variables	69
Anexo 24	Matriz de consistencia	70

RESUMEN

La semilla de *Chenopodium quinoa* Willd., es utilizada como un alimento por su alto valor nutritivo, rico en proteínas, minerales, vitaminas, asimismo, en compuestos bioactivos como flavonoides, ácidos fenólicos, saponinas tocoferoles, ácidos grasos y carotenoides; por la cual, es considerada como un nutraceutico. Por tanto, esta investigación tuvo como objetivo determinar el contenido de carotenoides y fenoles totales; así como la actividad antioxidante de 10 variedades de semillas de quinua. El contenido de fenoles totales se determinó por el método de Folín - Ciocalteu y los carotenoides según Biswas y col. Las variedades Junín (7,364 mg GAE/g de muestra) y Blanca (7,052 mg GAE/g de muestra), tuvieron mayor contenido de fenoles totales; mientras que, las variedades negras Ccoito (14,970 µg/g de muestra) y negra Ccollana (10,955 µg/g de muestra), tuvieron mayor contenido de carotenoides, respectivamente. Asimismo, las variedades negra Ccollana, blanca Junín y roja Pasankalla tuvieron mayor actividad frente a los ensayos DPPH, ABTS y FRAP; y se halló una correlación positiva entre el contenido de fenoles y la actividad antioxidante, superior al contenido de carotenoides. Se concluye que las semillas de *Chenopodium quinoa* Willd. presentan diferente contenido de fenoles totales y carotenoides; y están relacionados al color y variedad, mientras que, su actividad antioxidante se relacionó con su contenido de fenoles totales y carotenoides

Palabras clave: *Chenopodium quinoa* Willd., fenoles totales, carotenoides, actividad antioxidante.

ABSTRACT

The seed of *Chenopodium quinoa* Willd., is used as a food for its high nutritional value, rich in proteins, minerals, vitamins, also, in bioactive compounds such as flavonoids, phenolic acids, saponins tocopherols, fatty acids and carotenoids; for which, it is considered a nutraceutical. Therefore, this research aimed to determine the content of carotenoids and total phenols; as well as the antioxidant activity of 10 varieties of quinoa seeds. The total phenol content was determined by the Folin - Ciocalteu method and carotenoids according to Biswas et al. The Junín (7,364 mg GAE / g of sample) and Blanca (7,052 mg GAE / g of sample) varieties had the highest total phenol content; Meanwhile, the black varieties Ccoito (14,970 µg/g of sample) and black Ccollana (10,955 µg/g of sample) had higher carotenoid contents, respectively. Likewise, the black Ccollana, white Junín, and red Pasankalla varieties had greater activity in the DPPH, ABTS, and FRAP assays; and a positive correlation was found between phenol content and antioxidant activity, higher than that of carotenoids. It is concluded that *Chenopodium quinoa* Willd. seeds have different contents of total phenols and carotenoids, and these are related to color and variety, while their antioxidant activity was related to their total phenol and carotenoid contents.

Keywords: *Chenopodium quinoa* Willd., total phenols, carotenoids, antioxidant activity

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La “quinua” *Chenopodium quinoa* Willd. es un pseudocereal que pertenece a la familia Chenopodiaceae con aproximadamente 250 especies en todo el mundo, poseen un alto valor nutritivo debido a su contenido rico en proteínas y aminoácidos esenciales.(Sezgin & Sanlier, 2019) El Perú es un país con grandes potencialidades para el desarrollo agroexportador de la quinua debido al gran aporte alimenticio de esta, sumándose así al gran legado de productos andinos como lo son la maca, olluco, papa, cañihua, oca, kiwicha, yacón, lúcuma entre otros (Romero et al., 2015).

Posee también una gran variedad genética que le permite ser capaz de adaptarse a diversos medios y pisos ecológicos con diferentes condiciones de temperatura, altitud, y humedad relativa. En Perú se han determinados cinco subcentros de diversidad genética, uno ubicado en Puno que cuenta con la mayor diversidad genética de color, tamaño y sabores, seguido por las regiones de Junín, Cusco, Ayacucho y Apurímac (Apaza et al., 2013)

Las investigaciones avocadas al estudio del contenido de carotenoides y su función en el organismo son escasas, con un número limitado, sin embargo las existentes afirman que la variabilidad de color y su diversidad genética están relacionados con el contenido de carotenoides (Campos et al., 2022).

Los carotenoides son compuestos producidos por organismos fotosintéticos, localizados en hojas, tallos, semillas, flores, raíces, frutos, tubérculos (Rodríguez-Amaya, 2001). En la actualidad se conoce que los carotenoides incluyen alrededor de 700 compuestos (Rodríguez-Amaya, 2001). Donde 50 de estos están presentes en la dieta humana, principalmente, la luteína, el β -caroteno, α -caroteno, zeaxantina, β -criptoxantina, transluteína y el licopeno (Khachik et al., 1997).

El cuerpo humano produce a través del metabolismo sustancias conocidas como sustancias radicales o lo que es lo mismo, radicales libres y oxígeno singlete, responsables de procesos como el daño celular de proteínas y ADN. Esto es conocido como daño oxidativo asociado al envejecimiento, enfermedades degenerativas, cáncer, enfermedades

visuales y cardiovasculares.(Britton, 2008; Krinsky & Johnson, 2005; Rodríguez-Amaya, 2001)

Estos antecedentes motivaron la evaluación del contenido de carotenoides y la actividad antioxidante que poseen 10 variedades de semillas de *Chenopodium quinoa* Willd. “quinua” utilizando ensayos espectrofotométricos para cuantificar el contenido de carotenoides, fenoles totales y los ensayos DPPH, ABTS y FRAP.

Por tales consideraciones se planteó los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Determinar el contenido de carotenoides y la actividad antioxidante de diez variedades de la semilla de *Chenopodium quinoa* Willd. “quinua”, Ayacucho 2024.

Objetivos específicos

- Determinar el contenido de fenoles totales en las diez variedades de semillas.
- Determinar el contenido de carotenoides en las diez variedades de semillas.
- Determinar la actividad antioxidante de las diez variedades de semillas.
- Relacionar el contenido de fenoles y de carotenoides con la actividad antioxidante en las diez variedades de semillas.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Referencial

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Hagos et al. (2022) en la investigación titulada “Desarrollo de métodos analíticos para la determinación de β -caroteno en muestras de pulpa, cáscara y polvo de semillas de calabaza (*Cucurbita máxima* Duchesne (L.))”. Los autores tuvieron como objetivo determinar métodos analíticos específicos para cuantificar β -caroteno. Las metodologías utilizadas fueron: método UV-Vis, método espectroscópico NIR método espectroscópico FTIR. Los resultados demostraron que el método UV-Vis presentó mejor linealidad, precisión, exactitud y sensibilidad. Los autores concluyeron que los 3 métodos son aplicables para cuantificar las concentraciones de β -caroteno en pulpa, cáscara y semilla de calabaza.

Liu et al. (2020) en la investigación titulada “Actividades antioxidantes, antiinflamatorias y antitumorales de compuestos fenólicos de semillas de *Chenopodium quinoa* Willd.”, tuvo como objetivo investigar más a fondo los perfiles y actividad fisiológica de las sustancias fenólicas de la quinua. Se reveló que el contenido fenólico osciló entre 514,03 y 1409,54 mg EAG/100 g de muestra y entre 177,49 a 407,75 mg ERU/100 g de muestra; así mismo determinó la actividad antioxidante, donde la quinua roja presentó mayor grado de correlación entre el contenido fenólico y la actividad antioxidante. El autor concluye que la quinua es rica en componentes fenólicos y buena actividad antioxidante en especial la roja y la negra.

Tang et al. (2014) en su trabajo de investigación titulada “Caracterización de composiciones de ácidos grasos, carotenoides, tocoferol-tocotrienol y actividades antioxidantes en semillas de tres genotipos de *Chenopodium quinoa* Willd.”, los autores buscaron identificar los compuestos más representativos presentes en las variedades negra, roja y blanca; para la ejecución de las pruebas se utilizó extracto metil tert-butil éter y tetrahidrofurano (1:1) y leído a 450 nm en cromatógrafo líquido. Se obtuvieron los siguientes resultados: la variedad negra (17,61 μ g/g muestra) tuvo el mayor contenido de

carotenoides en comparación con la roja (14,97 µg/g de muestra) y blanca (11,87 µg/g de muestra). Los autores concluyeron que la concentración de carotenoides varía en función del color de la semilla de quinua.

Darwish (2020) en su investigación titulada “Efecto de la germinación sobre el perfil nutricional de semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y su potencial antianémico en ratas albinas macho Sprague-Dawley”, tuvo como objetivo evaluar el impacto del perfil nutricional al germinar las semillas de quinua. Utilizando diversas metodologías, entre ellas la espectrofotométrica para cuantificar la variación del contenido de carotenoides y vitamina C. Los resultados demuestran un incremento de casi un 26% entre la semilla y el brote de quinua (42 y 53 g/100 g extracto). El autor concluye que los componentes nutricionales tienen un incremento importante tras ser germinados y, por el contrario, los compuestos dañinos como la saponina, taninos y el ácido fítico disminuyen en su concentración.

Koziol (1992) en su investigación “Composición química y evaluación nutricional de la quinua” manifestó que el contenido de carotenoides presentes en pseudocereales como la quinua (0,39 mg/100 g de materia seca) es considerablemente superior a cereales como el arroz (0,01 mg/100 g de materia seca), el trigo (0,02 mg/100 g de materia seca) y la cebada (0,01 mg/100 g de materia seca).

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Olivos (2020) en la tesis titulada “Evaluación del contenido de carotenoides, la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos de *Bunchosia armeniaca* (Cav.) DC.”. El autor tuvo como uno de sus objetivos determinar el contenido de β-caroteno presente en el “cansa boca”. El autor utilizó el extracto eterclorofórmico para cuantificar carotenoides usando una solución estándar de β-caroteno diluido en éter de petróleo, utilizando 446 nm de longitud de onda en el espectrofotómetro UV-Vis. Se reveló que el contenido de carotenoides presentes en la pulpa de fruta es de $867,89 \pm 43,32$ µg/100 g; asimismo manifiesta que esta se relaciona de manera positiva con la actividad antioxidante. Por lo cual el autor concluye que la cantidad de carotenoides presente en la pulpa de la fruta es positiva y está relacionada con la intensidad de la actividad antioxidante.

Povis (2019) en la tesis titulada “Determinación del contenido de carotenos de la harina de cáscara de Aguaje (*Maurita flexuosa* Lf.) obtenida por secado”. La autora tuvo como objetivo determinar la concentración de carotenoides presentes en productos derivados

como la harina de cáscara de aguaje obtenida a diferentes temperaturas. Los resultados evidenciaron que la temperatura donde se obtuvo mayor contenido fue a 50 °C con 0,16 g/100 g. El autor concluye que la temperatura de 50 °C es la temperatura ideal para producir harina de cáscara de Aguaje.

Nizama (2019) en la tesis titulada “Contenido de compuestos carotenoides y determinación de la capacidad antioxidante in vitro de *Physalis peruviana* L. “Aguaymanto”, la autora planteó como objetivo determinar el contenido de compuestos carotenoides y la capacidad antioxidante del Aguaymanto proveniente de la ciudad de Cajamarca utilizando extracto éterclorofórmico, el cual fue contrastado con solución estándar de β -caroteno. Sus resultados mostraron que el contenido total de carotenoides fue de 139,73 μ g/100 g. El autor concluye que el Aguaymanto presenta compuestos carotenoides dentro de su composición.

Donayre y Montalván (2019) en la tesis titulada “Composición nutricional, capacidad antioxidante, compuestos fenólicos totales y β -caroteno en pulpa cruda y cocido de dos variedades de *Bactris gasipaes* Kunth (pijuayo)”. Los autores tuvieron como uno de los objetivos determinar el contenido de β -caroteno presente en la pulpa cruda y cocida de Pijuayo. Sus resultados evidenciaron que la presencia de β -caroteno fue de 4,11 mg/100 g para la pulpa cruda y 5,16 mg/100 g para la pulpa cocida; la autora concluye que la diferencia entre el contenido de β -caroteno entre la pulpa cruda y cocida puede deberse a la metodología utilizada y no necesariamente al contenido presente en la muestra.

Carpio et al. (2017) en la investigación titulada “Contenido de β -caroteno, Hierro y Zinc, efecto de almacenamiento y tipo de cocción en genotipos de Camote (*Ipomoea batatas* L)”, los autores tuvieron como uno de los objetivos determinar el contenido de β -caroteno en distintas variedades de camote; el contenido de β -caroteno fue medido a una longitud de onda de 450 nm y se identificó mediante HPLC. Sus resultados mostraron que el contenido de β -caroteno oscilo entre 7,62 y 18,93 mg/100 g. El autor concluye que el contenido de β -caroteno varía según el tiempo de almacenamiento y los tipos de cocción a los cuales fue sometido el camote.

Chacaliaza et al. (2016) en el artículo de investigación titulada “Composición química aproximada y contenido de sustancias biológicamente activas, componentes activos en las hojas de dos cultivares de quinua (Salcedo y Altiplano) producido en Perú”, los autores estudiaron dos variedades de quinua, Salcedo y Altiplano, con el objetivo de describir su composición química y contenido de compuestos bioactivos como pigmentos,

polifenoles, flavonoides y su actividad antioxidante. No se observaron variaciones significativas entre ambas variedades, salvo en el contenido de cenizas totales: 2,8% para Salcedo y 3,6% para Altiplano. En cuanto al contenido total de pigmentos en hojas, Salcedo presentó un valor mayor (4816,77 $\mu\text{g/g}$ de muestra seca) en comparación con Altiplano (2662,92 $\mu\text{g/g}$). Por otro lado, la actividad antioxidante fue mayor en Altiplano (16,32 mmol ET/g de muestra) frente a Salcedo (11,95 mmol ET/g de muestra). Los autores concluyeron que las hojas de quinua muestran un potencial prometedor como fuente de compuestos bioactivos, útiles para la industria alimentaria, especialmente en la elaboración de infusiones.

2.1.3. Antecedentes locales

Quispe (2024) en la tesis titulada “Contenido de fenoles totales y ácidos fenólicos en el germinado y sin germinar de semillas de variedades de *Chenopodium quinoa* Willd. (quinua)”, el autor planteó como objetivo determinar la concentración de fenoles totales y flavonoides en diferentes variedades de quinua germinadas y carente de ello. Sus resultados mostraron que la variedad blanca choclera germinada y la variedad negra ccollana sin germinar presentaron 307,89 y 271,16 mg GAE/g de muestra para concentración de fenoles totales. El autor concluye que el proceso de germinación influye directamente en el contenido de fenoles totales, ácidos fenólicos y su actividad antioxidante.

Misaraime (2023) en la tesis titulada “Actividad antioxidante, fenoles totales y flavonoides de veinte variedades de la semilla de *Chenopodium quinoa* Willd. “quinua”. Ayacucho”, la investigación tuvo el objetivo de determinar el contenido de flavonoides y fenoles totales, para luego determinar la actividad antioxidante de diversas variedades de quinua. Los resultados revelaron que la variedad negra Quito posee el mayor contenido de fenoles totales con 287,60 mg GAE/g de muestra; asimismo la variedad roja de Chiara presentó el mayor contenido de flavonoides, mientras que la mayor respuesta a los ensayos de actividad antioxidante fue para la variedad blanca Choclito. El autor concluye que los diversos extractos metanólicos de quinua presentaron diferente proporción de fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante.

Lope (2020) en la tesis titulada “Capacidad antioxidante, fenoles totales y flavonoides de veinte variedades de las semillas germinadas de *Chenopodium quinoa* Willd. “Quinua”, Ayacucho 2020”, el autor realizó una investigación de tipo descriptiva, donde su objetivo fue determinar la concentración de fenoles totales y flavonoides, y luego determinar la

capacidad antioxidante presentes en diferentes variedades de quinua. Sus resultados muestran que el mayor contenido de fenoles fue de la variedad Pasankalla (31,28 mg GAE/g muestra), mientras que la mayor capacidad antioxidante fue de la variedad Pasankalla por DPPH y Negra Ccollana por ABTS. El autor concluye que las diferentes variedades presentan diferente concentración de fenoles totales, flavonoides y diferente capacidad antioxidante.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. *Chenopodium quinoa* Willd. “quinua”

2.2.1.1 Clasificación taxonómica.

DIVISIÓN	:	MAGNOLIOPHYTA
CLASE	:	MAGNOLIOPSIDA
SUB CLASE	:	CARYOPHYLLIDAE
ORDEN	:	CARYOPHYLLALES
FAMILIA	:	CHENOPODIACEAE
GÉNERO	:	<i>Chenopodium</i>
ESPECIE	:	<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.
N.V.	:	“quinua”

Nota. Constancia de identificación taxonómica (Anexo 1).

2.2.1.2. Nombres comunes. Al estar distribuida en varias regiones del Perú, esta posee varias denominaciones (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2018).

Tabla 1

*Denominaciones comunes de *Chenopodium quinoa* Willd.*

Idioma	Denominaciones comunes
Quechua	Kiuna, quinua, parca
Aimara	Supha, jopa jupha, jura, ccallapi, vocali
Español	Quinoa, quínoa, quinquia, kinoa, triguillo, trigo inca, arrocillo, arroz del Perú.

Nota. Datos tomados del listado del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2018).

2.2.1.3. Descripción botánica. Es una especie anual de hojas anchas y dicotiledóneas, que comúnmente alcanza alturas entre 1 y 2 metros. Su tallo principal posee hojas lobuladas y frágiles, y puede presentar ramificaciones dependiendo de la variedad y la densidad del cultivo. La raíz principal suele tener una longitud de entre 20 y 25 cm, desarrollando una densa red de raíces secundarias que pueden alcanzar

profundidades similares a la altura de la planta. Las inflorescencias, conocidas como panículas o panojas, se ubican generalmente en el extremo superior de la planta, aunque en ocasiones pueden aparecer más abajo en el tallo. Las flores, carentes de pétalos y de pequeño tamaño, son mayoritariamente bisexuales y se reproducen por autofecundación. El fruto, seco y con un diámetro aproximado de 2 mm, contiene entre 250 y 500 semillas y está rodeado por el cáliz, que presenta una coloración en apariencia semejante al resto de la planta. Las semillas, de superficie lisa, y debido a su diversidad genética, estas pueden variar de colores como rosado, amarillo, rojo, negro, naranja, blanco. El embrión representa el mayor porcentaje del peso de cada grano con alrededor del 60 % y rodea al endospermo en forma de anillo, el cual se separa durante la cocción (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2018).

2.2.1.4. Distribución y hábitat. Se encuentra distribuida en varias regiones del país, principalmente en la zona sierra alta, Suni o Altiplano (3500 – 4000 m.s.n.m.), en los valles interandinos (2500 - 3500 m.s.n.m.), además en la costa (0 – 500 m.s.n.m.) y zona yunga del Perú (500 – 2500 m.s.n.m.) (Gómez & Aguilar, 2016). En el Perú se han identificado 5 regiones que albergan la mayor diversidad genética, entre las cuales está principalmente Puno con la mayor variedad, seguida de Junín, Cusco, Ayacucho y Apurímac (Apaza et al., 2013).

2.2.1.5. Composición química. Las semillas presentan en su composición química aminoácidos esenciales, ácidos grasos esenciales, minerales, vitaminas y compuestos bioactivos (ácidos fenólicos y flavonoides) (Pereira, 2014).

Tabla 2

*Composición química de las semillas de *Chenopodium quinoa* Willd.*

Grupo químico	Integrantes principales
Aminoácidos esenciales	Isoleucina, Leucina, Triptófano, Fenilalanina, Lisina, Valina, Metionina, Treonina, e Histidina
Ácidos grasos esenciales	Ácido α -linolénico y ácido linoleico
Minerales	Cobre, Calcio, Manganeso, Hierro, Magnesio, zinc, Sodio y Fosforo.
Vitaminas	Piridoxina, Niacina, Riboflavina, α -Tocoferol, Ácido Pantoténico, Piridoxina y Tiamina
Compuestos bioactivos	Flavonoides (Quercetina, Kaempferol, Epigallocatequina, Epicatequina y Biochanina A) y Ácidos Fenólicos (vainillínico, cafeico, ferúlico, p-hidroxibenzoico, isoferúlico y p-cumárico).

Nota. Datos tomados de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)(Pereira, 2014).

2.2.1.6. Variedades. Las variedades comerciales en el Perú según el INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria), están clasificadas según su concentración de saponina, color característico, dimensión de grano y la zona o región recomendada para su adaptación (Gómez & Aguilar, 2016).

Tabla 3.

Variedades comerciales peruanas y características principales de calidad y región de adaptación.

Nombre	Concentración de Saponina	Color de grano	Tamaño	Región Recomendada
INIA Altiplano	Dulce	Crema	Grande	Altiplano y costa
INIA Amarilla	Amarga	Amarilla	Grande	Valles interandinos
Sacaca				
INIA Negra	Dulce	Gris	Pequeña	Altiplano, valles interandino y costa
Ccollana				
INIA Pasankalla	Dulce	Gris	Mediana	Altiplano, valles interandino y costa
Illpa INIA	Dulce	Crema	Grande	Altiplano
Salcedo INIA	Dulce	Crema	Grande	Altiplano, valles interandino y costa
Qillahuaman INIA	Semi dulce	Crema	Mediano	Valles interandinos
Ayacuchana INIA	Semi dulce	Crema	Pequeña	Valles interandinos
Amarilla Marangani	Amarga	Naranja	Grande	Valles interandinos
Blanca Juli	Semi dulce	Crema	Pequeña	Altiplano
Blanca Junín	Semi dulce	Crema	Mediana	Valles interandinos y costa
Cheweca	Semi dulce	Crema	Mediana	Altiplano
Huacariz	Semi dulce	Crema	Mediana	Valles interandinos
Hualhuas	Dulce	Crema	Mediana	Valles interandinos
Huancayo	Semi dulce	Crema	Mediana	Valles interandinos
Kancolla	Semi dulce	Crema	Mediana	Altiplano
Mantaro	Dulce	Crema	Mediana	Valles interandinos
Rosada de Junín	Semi dulce	Crema	Pequeña	Valles interandinos
Rosada Taraco	Amarga	Crema	Pequeña	Altiplano
Rosada de Yanamango	Semi dulce	Crema	Mediana	Valles interandinos

Nota. Datos tomados de Guía de cultivo de la quinua, UNALM (Gómez & Aguilar, 2016).

2.2.1.7. Propiedades y uso tradicional. Es considerada como nutraceutico, debido a que contiene elementos nutritivos y terapéuticos; su alto contenido de nutrientes lo ha posicionado como uno de los alimentos de mayor demanda en los Estados Unidos y Europa (Furce et al., 2014). La semilla es usada principalmente como superalimento, debido a su rico contenido proteico y sus diversas propiedades nutraceuticas. En la actualidad, la quinua es utilizada para la elaboración de diversos productos a nivel industrial, tales como bebidas, galletas, panes, barras nutritivas, entre otras variedades (Pereira, 2014).

2.2.2. Antioxidantes y radicales libres

2.2.2.2. Antioxidantes. Es toda sustancia que retrasa o previene el daño celular causado por la oxidación. Aunque la oxidación es un proceso necesario para producir energía y mantener el funcionamiento del cuerpo, también puede provocar daño celular, provocando enfermedades. Los antioxidantes actúan neutralizando los radicales libres responsables de este daño. Son relativamente nuevas en el ámbito médico, pero han sido estudiadas en otras áreas científicas durante mucho tiempo (Youngson, 2005).

Estos se pueden clasificar según su grupo químico y su mecanismo de acción: Enzimas (catalasa, glutatión peroxidasa, etc.), antioxidantes no enzimáticos preventivos como el ácido úrico y bilirrubina) y antioxidantes nutricionales (metales componentes y cofactores de enzimas antioxidantes, vitaminas, ácido ascórbico, α -tocoferol, β -caroteno, compuestos fenólicos, los cuales actúan como secuestradores de las ERO) (Bonney et al., 2002; Fusco et al., 2007).

2.2.2.3. Radicales libres. Son compuestos químicos caracterizados por poseer un electrón no apareado en su orbital más externo, lo que les confiere una gran inestabilidad y reactividad. Suelen tener una vida media breve, actúan en las proximidades de su sitio de formación y resultan complicados de cuantificar (Basaga, 1990; Cheeseman & Slater, 1993). No obstante, estos radicales libres intervienen en varios procesos fisiológicos, como la defensa frente a agentes infecciosos, la mitosis, la activación enzimática, la quimiotaxis, entre otros (Gutiérrez, 2012; Valko et al., 2007).

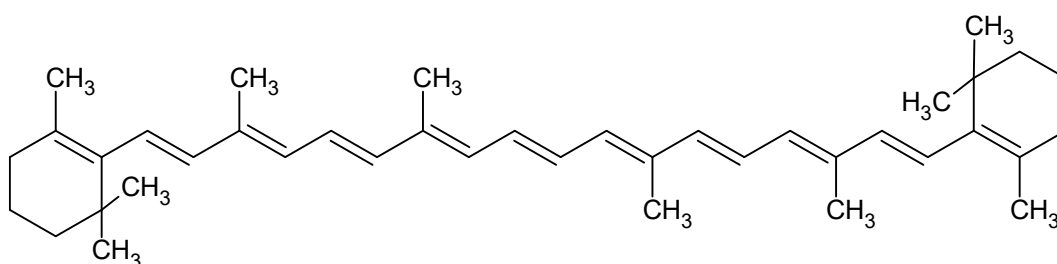
Existe un término que agrupa a los radicales libres y otras sustancias radicálicas, estas son llamadas especies reactivas del oxígeno (ERO). Las principales ERO son: Radical hidroxilo ($\text{HO}^\bullet$), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), anión superóxido ($\text{O}_2^{\bullet-}$), oxígeno singlete ($^1\text{O}_2$), óxido nítrico ($\bullet\text{NO}$), semiquinona ($\text{ROO}^\bullet$) y ozono (O_3) (Beckman & Koppenol, 1996; Naqui et al., 1996).

2.2.3. Carotenoides

Son compuestos de la familia de los tetraterpenos (pigmentos liposolubles), formados por varias unidades de isopreno y caracterizados por tener un anillo de ciclohexano insaturado en cada extremo (Carranco, 2011; Rodríguez-Amaya, 1999). Estos compuestos poseen actividad antioxidante, están presentes en los pigmentos de color amarillo, rojo y naranja; los más conocidos son el β -caroteno (figura 1), α -caroteno, zeaxantina y licopeno (Drago et al., 2006).

Figura 1

Estructura química de β -caroteno.



Nota. Imagen obtenida de Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal (Drago et al., 2006).

Existen dos tipos principales de carotenoides: los carotenos, que no contienen oxígeno en sus anillos terminales, y las xantofilas, que si lo tienen. Hasta ahora, se han identificado más de 600 carotenoides, aunque solo una fracción está presente en los alimentos (Carranco, 2011; Rodríguez-Amaya, 1999).

Tabla 4

Presencia de carotenoides en diferentes alimentos.

Fuente alimenticia	Carotenoides
• Zanahoria (<i>Daucus carota</i>)	α - y β -caroteno
• Tomates (<i>Lycopersicum spp</i>)	Licopeno
• Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>), maíz (<i>Zea Mays</i>), cempasúchil (<i>Tagetes erecta</i>), huevo de gallina	Luteína/Zeaxantina
• Naranja (<i>Citrus sinensis</i>)	Violaxantina, β -criptoxantina, luteína/zeaxantina
• Salmón (<i>Salmo spp</i>), crustáceos, microalgas y levaduras	Astaxantina
• Crustáceos	Cantaxantina
• Azafrán (<i>Crocus sativus</i>)	Crocentina

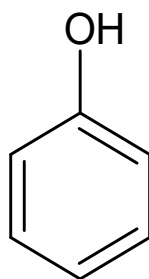
Nota. Datos obtenidos de Carotenoides y su función antioxidante (Carranco, 2011).

2.2.4. Compuestos fenólicos y fenoles totales

Las plantas producen una amplia gama de sustancias secundarias que poseen un grupo fenol en su estructura. Estos compuestos se conocen como compuestos fenólicos, polifenoles o fenilpropanoides, y todos ellos se originan a partir del fenol (figura 2), una molécula compuesta por un anillo aromático unido a un grupo hidroxilo (Isaza, 2007).

Figura 2.

Grupo fenol característico de la estructura de los compuestos fenólicos.



Nota. Figura obtenida de Taninos o polifenoles vegetales (Isaza, 2007).

La mayoría de los compuestos fenólicos son hidrosolubles, solubles en solventes polares. La solubilidad en agua aumenta generalmente al aumentar el número de grupos hidroxilo (Viña et al., 2013).

Su clasificación tiende a ser dificultosa debido a su gran variedad; sin embargo, la más arraigada tiende a ser la siguiente: compuestos fenólicos simples, flavonoides y estilbenos, lignina, taninos y otros compuestos fenólicos (Viña et al., 2013).

Tabla 5.

Clasificación de los compuestos fenólicos.

Clase	Ejemplos
Compuestos Fenólicos simples	• Fenilpropanoides (ácido cinámico, p-cumárico, cafeico, ferúlico y sinápico) • Cumarinas e hidroxycumarinas (cumarina, umbeliferona, esculetina, escopoletina) • Derivados del ácido benzoico (vainillina, ácido salicílico, ácido gálico)
Flavonoides y estilbenos	• Flavonoides (chalconas, flavonas, flavonoles, flavononas, isoflavonas y antocianidinas) • Estilbenos (resveratrol, viniferina)

Nota. Datos obtenidos de Compuestos fenólicos (Creus, 2004; Viña et al., 2013).

Tabla 5.*Clasificación de los compuestos fenólicos.*

Clase	Ejemplos
Lignina	Fenilpropanoides (alcohol cumarílico, coneferílico y sinapílico)
Taninos	Taninos hidrolizables y condensados
Otros compuestos fenólicos	- Fenilpropenos (eugenol, cinamaldehído, miristicina) - Lignanós (pinorresinol, malognol, arctigenina) - Cutina y suberina

Nota. Datos obtenidos de Compuestos fenólicos (Creus, 2004; Viña et al., 2013).

2.2.5. Metodología de determinación de la actividad antioxidante

La actividad antioxidante hace referencia a la habilidad de ciertos compuestos para prevenir o reducir los daños causados por procesos de oxidación (Londoño, 2012). Actualmente, existen varios métodos para medir esta actividad, entre ellos los ensayos DPPH, ABTS, FRAP, ORAC, TRAP, DCFH-DA, entre otros. Estos procedimientos están estandarizados y deben cumplir con varios criterios: emplear radicales biológicamente relevantes, ser sencillos de aplicar, tener un propósito claro respaldado por un mecanismo conocido, utilizar equipos accesibles, evaluar antioxidantes tanto lipofílicos como hidrofílicos, ofrecer resultados reproducibles y ser adecuados para el análisis de un gran número de muestras (Fernández et al., 2006; Londoño, 2012).

Las metodologías más comunes para medir la actividad antioxidante se basan en mecanismos como la transferencia de átomos de hidrógeno (ORAC, TRAP, DCFH-DA), transferencia de electrones (DPPH, ABTS, FRAP) y otros métodos como la voltametría cíclica, el ensayo luminol y el TOSC (Fernández et al., 2006).

Tabla 6*metodologías empleadas en la determinación de la actividad antioxidante.*

Método	Medida	Técnica	Cuantificación	Expresión Resultados	Muestras
DPPH	Descenso DPPH	Espectrofotometría	Abs. 515 nm	Eq. Trolox	Fenoles. alimentos, bebidas
ABTS	Descenso ABTS ⁺	Espectrofotometría	Abs. 414 nm	Eq. Trolox	Fenoles, alimentos, bebidas

Tabla 6

metodologías empleadas en la determinación de la actividad antioxidante.

Método	Medida	Técnica	Cuantificación	Expresión Resultados	Muestras
FRAP	Reducción de TPTZ Fe^{3+} a TPTZ Fe^{2+}	Espectrofotometría	Abs 593 nm	$\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{L}$	Alimentos, bebidas, muestras biológicas
ORAC	Inhibición de fluorescencia	Fluorimetría	Fl a 540/560 nm	Eq. Trolox	Fenoles, alimentos, bebidas, muestras biológicas
TRAP	Oxígeno consumido	Electrodo de oxígeno	Longitud e fase de retraso	Eq. Trolox	Alimentos, muestras biológicas
DCFH-DA	Inhibición oxidación DCFH-DA	Espectrofotometría Fluorimetría	Abs 504 nm Fl a 504/529 nm	Eq. Trolox	Muestras biológicas

Nota: Abs (Absorbancia), Fl (Fluorescencia), nm (nanómetros), Eq (Equivalente), $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{L}$ (micromol de hierro ferroso por Litro). Datos obtenidos de Métodos de evaluación de actividad antioxidante (Fernández et al., 2006).

2.3. Marco conceptual

Actividad antioxidante. Es la acción que existe entre un agente antioxidante y un radical libre (especies reactivas de oxígeno o nitrógeno), donde el primero inhibirá o prevendrá la degradación oxidativa; esta actividad tendrá diferente intensidad según el agente antioxidante. Esta diferencia de intensidad puede ser medida a través de diferentes métodos cuantitativos (Apak et al., 2016).

Antioxidante. Son sustancias que neutralizan radicales libres al captar su electrón desapareado, reduciendo así el estrés oxidativo. Esto previene la oxidación de proteínas, lípidos y ADN, cuya alteración puede contribuir al desarrollo de enfermedades como diabetes, patologías cardiovasculares, neurodegenerativas (como Parkinson y Alzheimer) e incluso cáncer (Sánchez, 2018).

Radical libre. Los radicales libres son moléculas o átomos con electrones desapareados que reaccionan fácilmente con biomoléculas, causando oxidación. Las especies reactivas del oxígeno (ERO), como los radicales libres y el peróxido de hidrógeno, se generan por procesos celulares o factores externos, y pueden tener efectos tanto beneficiosos como perjudiciales en las células (Sánchez, 2018).

Carotenoide. Compuesto bioactivo presente en diferentes alimentos, que tiene muchas propiedades como el β -caroteno que es metabolizado a vitamina A; otros carotenoides presentan actividad antioxidante, ya que pueden estabilizar al oxígeno singlete y convertirlo a una forma menos reactiva (Londoño, 2012).

Fenoles totales. Compuestos bioactivos ampliamente estudiados por su actividad antioxidante, como fenoles, polifenoles, flavonoides y otros. Su mecanismo se basa en retardar la oxidación de otras moléculas, evitando reacciones en cadena debido a los radicales libres (Rivas et al., 2019).

DPPH. El ensayo DPPH es una técnica colorimétrica simple, económica y ampliamente utilizada para medir la capacidad antioxidante en compuestos químicos, extractos vegetales, alimentos y fármacos. Sin embargo, presenta limitaciones, como su baja sensibilidad a antioxidantes hidrofílicos y el hecho de que no refleja completamente las condiciones biológicas reales (Apak et al., 2016).

ABTS. El ensayo ABTS es un método colorimétrico sencillo y versátil para medir la capacidad antioxidante en diversas muestras. Evalúa la reducción del radical $\text{ABTS}^{+\bullet}$ por antioxidantes, permitiendo analizar compuestos hidrofílicos y lipofílicos. Una de sus limitaciones es que no simula con precisión las condiciones biológicas reales (Apak et al., 2016).

FRAP. El ensayo FRAP (Poder Antioxidante Reductor de Hierro) es un método colorimétrico que determina la capacidad antioxidante de una muestra al medir su capacidad para reducir iones férricos (Fe^{3+}) a ferrosos (Fe^{2+}). Esta reacción forma un complejo de color azul intenso con el reactivo TPTZ. Es una técnica rápida, sencilla y reproducible, pero su principal limitación es que solo evalúa la capacidad reductora, sin considerar otros mecanismos antioxidantes como la neutralización directa de radicales libres (Apak et al., 2016).

2.4. Marco Ético y Legal

Esta investigación es de tipo descriptivo; se orienta al análisis del contenido de carotenoides, fenoles totales y la actividad antioxidante en semillas de *Chenopodium quinoa Willd.* (quinua). Al no involucrar experimentación en seres humanos ni animales, se considera una investigación de riesgo mínimo, sin implicaciones éticas directas sobre la integridad física o emocional de personas, ni sobre el bienestar animal.

El estudio se ha desarrollado bajo los principios de honestidad, transparencia, responsabilidad y rigor científico, aplicando buenas prácticas de laboratorio y respetando

las normas de bioseguridad en el manejo de sustancias químicas y residuos. Asimismo, se ha cumplido con la Ley N° 27811, que protege los conocimientos colectivos de los pueblos indígenas vinculados a los recursos biológicos, en caso de que el material vegetal provenga de zonas con patrimonio biocultural. También se ha observado lo dispuesto en la Ley General del Ambiente (Ley N° 28611), garantizando prácticas sostenibles en la recolección y análisis de muestras.

En cuanto a la difusión de los resultados, se promueve una divulgación responsable, comunicando los hallazgos de manera clara, objetiva y sin exagerar beneficios ni omitir limitaciones. Además, se garantiza el acceso a la información, procurando que los datos obtenidos estén disponibles para la comunidad científica y el público, promoviendo así el uso transparente y ético del conocimiento generado.

Todos los resultados serán utilizados exclusivamente con fines académicos y científicos, respetando la autoría intelectual, evitando cualquier forma de plagio o manipulación y manteniendo los principios fundamentales de la integridad científica.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Alcance de investigación

El alcance de la investigación es descriptivo (Hernández & Mendoza, 2018).

3.2. Diseño de investigación

El diseño de esta investigación corresponde a uno no experimental transversal de tipo descriptivo (Hernández & Mendoza, 2018).

3.3. Unidad de análisis

Semillas de *Chenopodium quinoa* Willd.

3.4. Población de estudio

La población estuvo constituida por las semillas de diez variedades de *Chenopodium quinoa* Willd. “quinua” obtenidas de las zonas de producción de la región Ayacucho, Huancayo, Puno y del Instituto Nacional de Innovación Agrícola (INIA).

3.5. Muestra

La muestra fueron 20 gramos de cada variedad de *Chenopodium quinoa* Willd. “quinua”, las variedades de estudio serán: Blanca, Blanca Junín, Negra Ccoito, Negra Ccollana, Roja Pasankalla, Amarilla, Santa Ana, Salcedo, Acollina y Negra Huamanguilla. Se realizó el muestreo por triplicado.

3.6. Criterios de Selección

3.6.1. Criterios de inclusión

Estuvieron incluidas todas las semillas de *Chenopodium quinoa* Willd., que se encuentren en buen estado y que pertenezcan a las variedades mencionadas en la sección de muestra.

3.6.2. Criterios de exclusión

Se evitaron las muestras con presencia de contaminantes como piedras pequeñas, tierra u otros contaminantes.

3.7. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

3.7.1. Determinación de contenido de Carotenoides.

3.7.1.1. Obtención de extracto. La obtención del extracto de las diferentes muestras se llevó a cabo mediante la metodología de **Biswas et al. (2011)**, para lo cual

se pesó 20 gramos de muestra, previamente molida con ayuda de un mortero, esto para maximizar el contacto de la muestra con el solvente. Para la extracción, se pesó 1 gramo de cada muestra y se puso dentro de un tubo de ensayo; luego se agregó 5 mL de acetona fría (acondicionada a 4 °C), y se mantuvo en el tubo durante 15 minutos con agitación ocasional, manteniendo la temperatura en 4 °C; luego se agitó con ayuda del vortex a alta velocidad durante 10 minutos y, al terminar, se centrifugó a 3000 rpm durante 10 minutos. Separamos el sobrenadante en otro tubo de ensayo y repetimos el procedimiento de extracción con el residuo. Al terminar, juntamos ambos sobrenadantes, filtramos con Whatman N° 42 y reservamos la muestra para el ensayo de cuantificación de carotenoides (Anexo 2).

Una vez concluido el ensayo de cuantificación de carotenoides, la muestra fue llevada al congelador para permitir la evaporación del solvente y evitar la degradación de las muestras. Una vez que el solvente se evaporó completamente, fue reconstituido con 10 mL de metanol para continuar con los ensayos de contenido de fenoles totales y actividad antioxidante (Anexo 2).

3.7.1.2. Determinación de contenido de carotenoides. La cuantificación de carotenoides en las muestras se llevó a cabo mediante espectrofotometría UV-Vis, siguiendo el método de **Biswas et al. (2011)**, para lo cual se utilizó el extracto obtenido en el anterior procedimiento y se prepararon soluciones blanco y curvas de calibración a partir de una solución madre estándar de 32 µg/mL, la cual fue diluida para obtener concentraciones de 8; 4; 2; 1; 0,50; 0,25 y 0,125 µg/mL (anexo 2), las cuales fueron protegidas de la luz para evitar su degradación (Biswas et al., 2011).

Las muestras fueron leídas a 454 nm de manera directa, junto a los estándares y solución blanco (Anexo 2). Los resultados fueron expresados en microgramos de carotenoides por gramo de muestra (µg carotenoides/g muestra), utilizando la curva de calibración de β-caroteno (anexo 3).

3.7.2. Determinación de contenido de fenoles totales

La cuantificación de fenoles totales se realizó mediante el método de Folin-Ciocalteu modificado de **Swain y Hillis (1959)**, utilizando ácido gálico como estándar (1 mg/mL) y una curva de calibración con concentraciones de 0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 µg/mL. Las soluciones estándar y blanco fueron tratadas junto con las muestras; el procedimiento consistió en tomar 150 µL de cada solución y, en el caso de las muestras, fue por triplicado, a los que se les adicionaron 2400 µL de agua destilada, 150 µL de Folin-

Ciocalteu 0.25 N agitando por 5 minutos y dejando reaccionar por 3 minutos; luego se agregó 300 μ L de carbonato de sodio 1 N. La mezcla se dejó reaccionar durante 2 horas en oscuridad a temperatura ambiente (23 °C). Las lecturas se realizaron a 725 nm, los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra (mg GAE/g de muestra) usando la curva de calibración de ácido gálico (Anexo 4).

3.7.3. Determinación de actividad antioxidante

3.7.3.1. Ensayo del radical DPPH. La evaluación de la actividad antioxidante se hizo mediante el ensayo de radical DPPH descrito por **Thaipong et al.** (2006), para lo cual fue necesario preparar una solución madre de DPPH (1,1-difenil-picril-hidrazilo), disolviendo 24 mg en 100 mL de metanol, y se mantuvo a 20 °C hasta su uso. La solución de trabajo se obtuvo mezclando 10 mL de solución madre con 45 mL de metanol para obtener una absorbancia de $1,17 \pm 0,02$ unidades a 515 nm en el espectrofotómetro (Thaipong et al., 2006).

Se tomó 150 μ L de muestra, se agregó 2850 μ L de solución de DPPH y se dejó reaccionar durante 24 horas en la oscuridad y se realizó la lectura de la absorbancia a 515 nm. Se utilizó una curva de calibración con Trolox con las siguientes concentraciones (100, 200, 400, 600 y 800 μ M) a los cuales se les hizo el mismo procedimiento usado con la muestra y fueron leídas a 515 nm (anexo 5).

Los resultados fueron expresados en mM TE/g de muestra (Thaipong et al., 2006) utilizando la curva de calibración de Trolox (anexo 6).

3.7.3.2. Ensayo del radical ABTS. La evaluación de la actividad antioxidante se hizo mediante el ensayo de radical ABTS descrito por **Thaipong et al.** (2006), para lo cual se preparó una solución madre de ABTS⁺ (ácido-2,2'-azinobis, -(3-etilbenzotiazolina)-6-sulfonido) 7,4 mM y de persulfato de potasio 2.6 mM, los cuales fueron mezclados en cantidades iguales, dejándolos reaccionar por 12 horas a temperatura ambiente en la oscuridad. Al terminar, se mezcló 1 mL de la solución con 60 mL de metanol, se realizó la lectura de esta a 734 nm y la lectura se ajustó a $1,17 \pm 0,02$ utilizando el espectrofotómetro.

Se tomó 150 μ L de muestra, se agregó 2850 μ L de ABTS⁺ y se dejó reaccionar por 2 horas en lugar oscuro protegido de la luz para luego realizar la lectura de las absorbancias a 734 nm (anexo 7).

Se utilizó una curva de calibración con Trolox (50, 100, 200, 300 y 400 μ M) (anexo 8) y los resultados fueron expresados en mM TE/g de muestra.

3.7.3.3. Ensayo del poder reductor del hierro (FRAP). La evaluación de la actividad antioxidante se hizo mediante el ensayo FRAP descrito por **Thaipong et al.** (2006), para lo cual se preparó una solución madre de buffer acetato 300 mM (pH 3,6), solución 10 mM de TPTZ (tripiridil-s-triazina) disuelto en solución 40 mM de ácido clorhídrico y solución 20 mM de cloruro férrico. La solución de trabajo se obtuvo mezclando 2,5 mL de solución TPTZ, 25 mL de buffer acetato y 2,5 mL de solución de cloruro férrico; la solución resultante se acondicionó a 37 °C antes de usar (Thaipong et al., 2006).

Se tomó 150 µL de muestra, se agregó 2850 µL de solución FRAP, dejándolo reaccionar por 30 minutos protegido de luz en un lugar oscuro; luego se realizaron las lecturas de las muestras a 593 nm (anexo 9).

Se utilizó una curva de calibración de Trolox de 50, 100, 200, 400, 600 y 800 µM de Trolox (anexo 10) y los resultados obtenidos fueron expresados en mM de TE/g de muestra¹ (Thaipong et al., 2006).

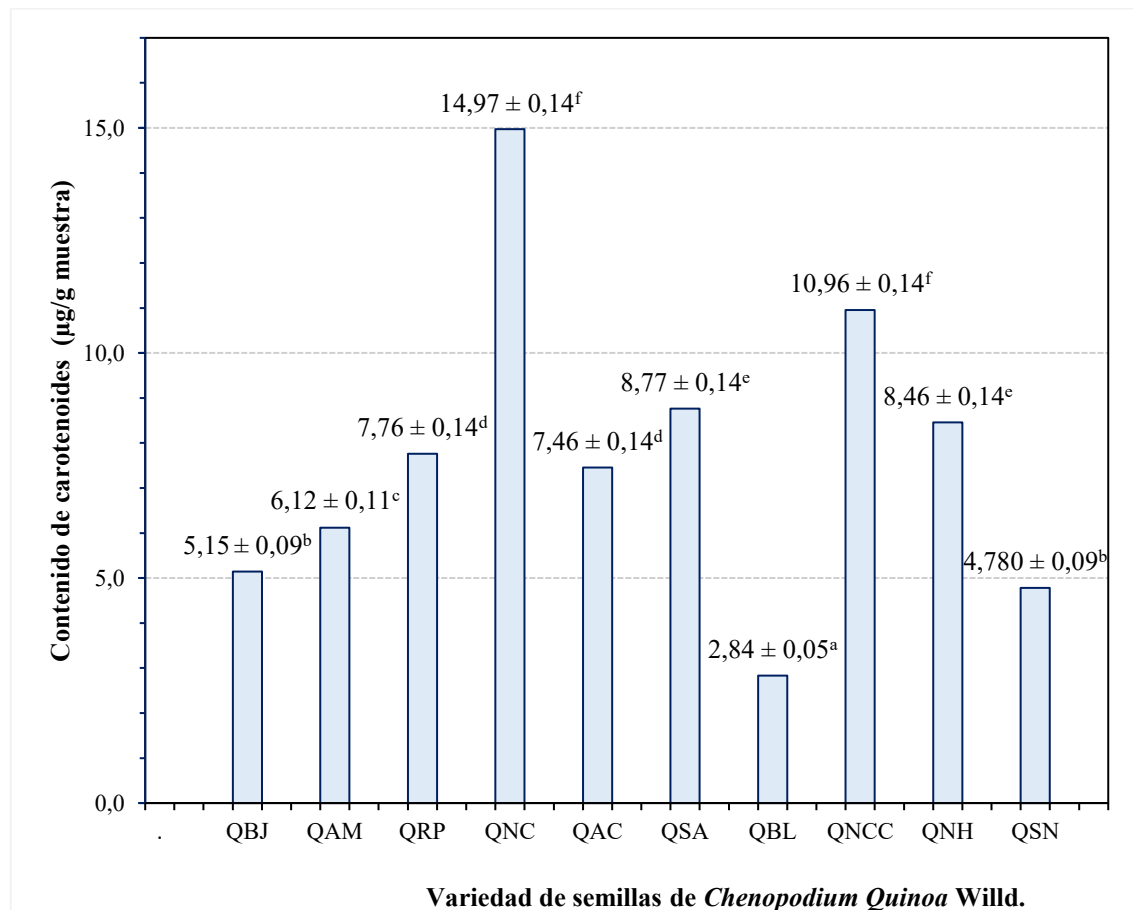
3.8. Análisis de datos

Los valores de contenido de carotenoides, fenoles totales y actividad antioxidante se presentan como promedios más el error estándar de la media. Los resultados se presentaron en tablas y/o figuras. Para la comparación de medias, se realizó previamente la prueba de homogeneidad de varianza de Levene, seguida de un análisis de varianza ANOVA, prueba de comparaciones múltiples de Scheffé y prueba de correlación de Pearson con un 95% de nivel de confianza. Para el análisis de datos se utilizaron los programas Microsoft Office Excel y SPSS.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Figura 3

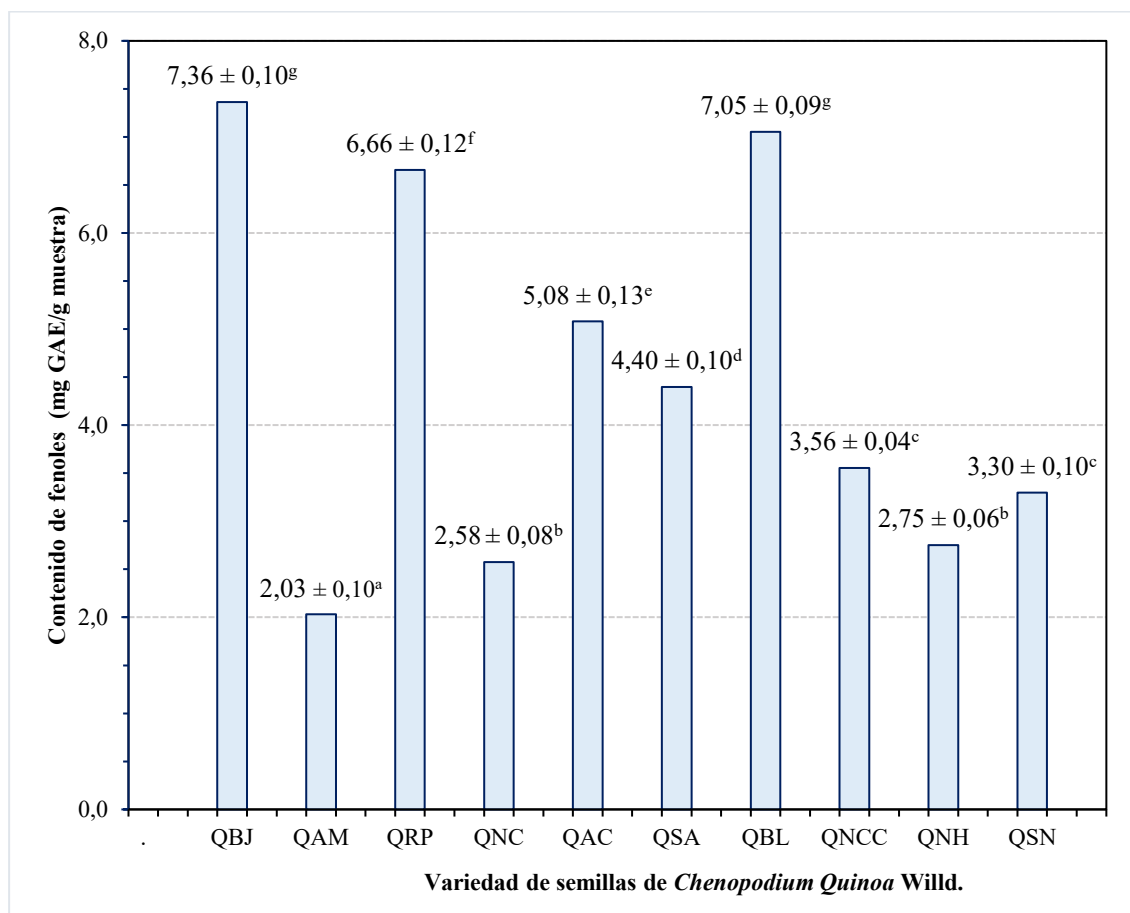
Contenido de carotenoides en las semillas de diferentes variedades de Chenopodium quinoa Willd.



Nota. QBJ: Quinoa Blanca Junín; QAM: Quinoa Amarilla; QRP: Quinoa Roja Pasankalla; QNC: Quinoa Negra Ccoito; QAC: Quinoa Acollina; QSA: Quinoa Salcedo; QBL: Quinoa Blanca; QNCC: Quinoa Negra Ccollana; QNH: Quinoa Negra Huamanguilla; QSN: Quinoa Santa Ana. Prueba de homogeneidad de Levene ($p = 0,512$). Análisis de varianza ($p = 2.363E^{-28}$). Comparaciones múltiples de Scheffe, las letras a, b, c, d, e, f y g representan subconjuntos homogéneos

Figura 4

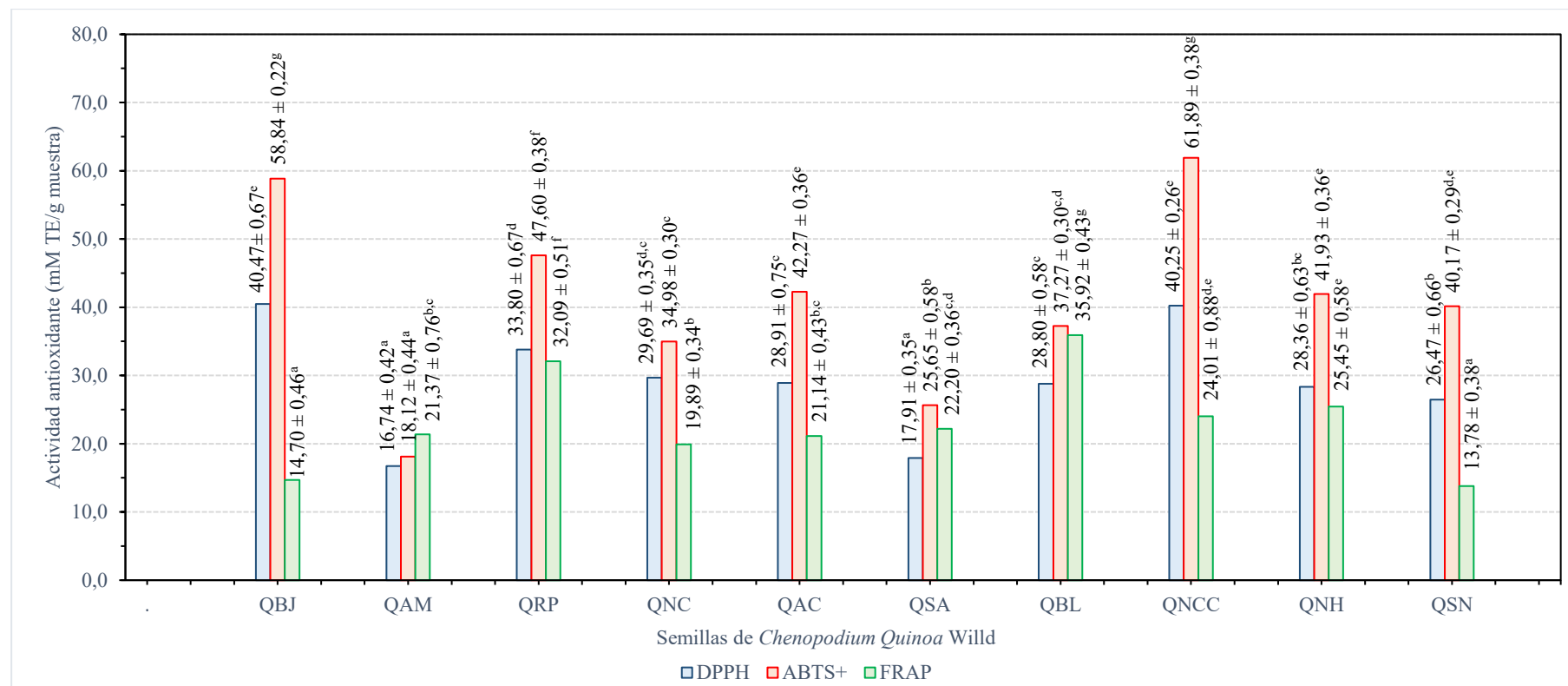
Contenido de fenoles totales en las semillas de diferentes variedades de Chenopodium quinoa Willd.



Nota. QBJ: Quinoa Blanca Junin; QAM: Quinoa Amarilla; QRP: Quinoa Roja Pasankalla; QNC: Quinoa Negra Ccoito; QAC: Quinoa Acollina; QSA: Quinoa Salcedo; QBL: Quinoa Blanca; QNCC: Quinoa Negra Ccollana; QNH: Quinoa Negra Huamanguilla; QSN: Quinoa Santa Ana. Prueba de homogeneidad de Levene ($p=0,438$). Análisis de varianza ($p = 1,536E^{-25}$). Comparaciones múltiples de Scheffe, las letras a, b, c, d, e, f y g representan subconjuntos homogéneos.

Figura 5

Actividad antioxidante mediante metodología DPPH, ABTS+ y FRAP de diferentes variedades de Chenopodium quinoa Willd.



Nota. QBJ: Quinoa Blanca Junin; QAM: Quinoa Amarilla; QRP: Quinoa Roja Pasankalla; QNC: Quinoa Negra Ccoito; QAC: Quinoa Acollina; QSA: Quinoa Salcedo; QBL: Quinoa Blanca; QNCC: Quinoa Negra Ccollana; QNH: Quinoa Negra Huamanguilla; QSN: Quinoa Santa Ana. Prueba de homogeneidad de Levene (DPPH 0,852; ABTS+ 0,836 y FRAP 0,635). Análisis de varianza (DPPH 2,475E⁻²²; ABTS+ 1,917E⁻³⁰ y FRAP 7,537E⁻²²). Comparaciones múltiples de Scheffe, las letras a, b, c, d, e, f y g representan subconjuntos homogéneos.

Tabla 7

*Prueba de correlación de Pearson para el contenido de carotenoides, fenoles totales y la actividad antioxidante en las semillas de *Chenopodium quinoa* Willd. (quinua).*

Correlaciones					
	Carotenoides	Fenoles totales	DPPH	ABTS	FRAP
Carotenoides	1	-0,51**	0,11	0,05	-0,14
Fenoles totales	-0,51**	1	0,47**	0,45*	0,36
DPPH	0,11	0,47**	1	0,97**	,011
ABTS	0,05	0,45*	0,97**	1	-0,05
FRAP	-0,14	0,36	0,01	-0,05	1

Nota. **. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral), *. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

En este estudio se determinó el contenido de carotenoides, fenoles totales y la actividad antioxidante en diez variedades de semillas de quinua. El estudio de estos compuestos bioactivos es importante para conocer el potencial de la quinua como fuente de antioxidantes para la prevención del daño oxidativo y las enfermedades asociadas a este proceso. Para la determinación de dichos compuestos, se utilizaron diferentes metodologías para su cuantificación, como es el caso de los carotenoides mediante espectrofotometría con el método de Biswas et al. (2011), los fenoles totales con el método de Folín-Ciocalteu modificado por Swain & Hillis (1959) y la actividad antioxidante a través de los ensayos DPPH, ABTS y FRAP descritos por Thaipong et al. (2006).

En la **figura 3** se ve una marcada variabilidad en el contenido de carotenoides que presentan las diferentes variedades de estudio, siendo en este caso la variedad Negra Ccoito la que presenta mayor contenido de carotenoides (14,97 $\mu\text{g/g}$ de muestra), destacando frente al resto y seguida por la variedad Negra Ccollana (10,96 $\mu\text{g/g}$ de muestra), lo que nos puede indicar que el color está relacionado con una mayor capacidad de acumular pigmentos carotenoides, en contraste las variedades como la Quinua Salcedo registró el valor más bajo (2,84 $\mu\text{g/g}$ de muestra), la figura muestra los valores estadísticos de Levene ($p = 0,512$) y ANOVA ($p = 2.363\text{E}^{-28}$), la primera indica que se acepta la hipótesis nula de igualdad de varianzas, lo cual nos permite proceder con la prueba estadística de ANOVA, cuyo valor nos indica que existe diferencia estadísticamente significativa entre los grupos de estudio.

La **figura 4** muestra una marcada variabilidad en el contenido de fenoles totales, donde las variedades Blanca Junin y Blanca presentaron los valores más altos (7,36 y 7,05 mg GAE/g de muestra), lo que demuestra que no siempre las variedades coloreadas presentan mayor contenido de compuestos bioactivos, ya que estos pueden estar afectados por la variedad genética y la procedencia geográfica de cada variedad de estudio. Las variedades que presentaron el menor contenido fueron la Quinua amarilla

y la Negra Ccoito (2,03 y 2,58 mg GAE/g de muestra), mientras que las demás variedades mantuvieron un contenido intermedio entre 3 y 6 mg GAE/g de muestra. La figura muestra los estadísticos de Levene ($p = 0,438$) y ANOVA ($p = 1,536E^{-25}$), donde el primero indica que existe igualdad de varianzas y se puede aplicar la prueba de ANOVA, donde este nos indica que existe diferencia estadísticamente significativa entre los grupos de estudio, lo cual demuestra que las diferencias observadas entre las variedades son reales y no producto del azar.

En la **Figura 5**, evidenció diferencias entre las variedades de estudio y también entre las metodologías utilizadas para la determinación de la actividad antioxidante. Donde el ensayo ABTS reportó valores más elevados, seguido del ensayo DPPH y dejando al ensayo FRAP con las respuestas de menor magnitud. Esto se debe principalmente a que cada ensayo tiene diferente mecanismo de neutralización de radicales libres, lo cual evidencia que la actividad antioxidante no puede ser medida mediante un solo ensayo, sino que debe analizarse de forma integral.

Las variedades con mayor respuesta en el ensayo ABTS fueron la Blanca Junín y la Negra Ccollana (58,84 y 61,89 mM TE/g de muestra, respectivamente), lo que sugiere que estas variedades presentan una mayor actividad antioxidante frente a las demás variedades; en cambio, la Quinoa Amarilla y la Quinoa Santa Ana presentaron valores más bajos en todos los ensayos, indicando una menor actividad antioxidante frente a los radicales libres presentes en los diferentes ensayos. La figura también muestra los estadísticos de Levene ($p > 0,05$), que indican la igualdad de varianzas, y el estadístico ANOVA ($p < 0,05$) que nos indica que los grupos presentan diferencias estadísticamente significativas.

En la **figura 6**, evidencia una correlación negativa (-0,51) medianamente significativa entre el contenido de fenoles totales y carotenoides, que indica que el contenido de fenoles totales es inversamente proporcional al contenido de carotenoides. Mientras que la relación existente entre los fenoles totales y la actividad antioxidante es moderadamente significativa (valores entre 0,3 y 0,7) y donde los carotenoides presentan una correlación débil (valores entre 0 y 0,3) con respecto a la actividad antioxidante.

Los resultados obtenidos permitieron evidenciar las diferencias entre las variedades evaluadas, además; permitieron realizar comparaciones con literatura existente, lo cual es la base para la discusión de esta investigación.

Diversos estudios han destacado la relación entre la coloración de las semillas de *Chenopodium quinoa* Willd. y su contenido de carotenoides. Tang et al. (2014) en su investigación analizaron tres genotipos de quinua negra, roja y blanca y concluyeron que las variedades con mayor pigmentación natural tienden a presentar una concentración más elevada de carotenoides, lo cual estaría relacionado con mecanismos genéticos y metabólicos propios de cada variedad.

Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con lo previamente reportado por dichos autores. Se observó que las variedades de quinua con tonalidades oscuras como las variedades: negra Ccoito, negra Huamanguilla y la roja Pasankalla, presentaron mayor concentración de carotenoides en comparación con las variedades de color claro, como la Blanca, Santa Ana y otras de similar apariencia. Esta tendencia sugiere que el color de la semilla puede servir como un indicador visual del nivel de carotenoides presentes, o que resulta importante tanto para la caracterización nutricional como para su posible aplicación en la industria de alimentos funcionales.

La correspondencia entre los resultados de esta investigación y los de Tang et al. (2014) refuerza la hipótesis de que la pigmentación de las semillas es un buen indicador del contenido de carotenoides. Esta información puede ser de utilidad tanto para fines nutricionales como para la selección de variedades con mayor valor funcional y comercial.

Según algunas literaturas (Kozioł, 1992; Mellado & Hornero, 2017; Tang et al., 2014b) mencionan que los carotenoides presentes en el arroz, el trigo y la quinua son: la luteína, zeaxantina, β -criptoxantina, α -caroteno y β -caroteno; siendo la luteína (trans, cis, todo) el carotenoide que se encuentra en mayor proporción en la quinua. Por la metodología utilizada en nuestra investigación (espectrofotometría UV-Vis), la cuantificación de carotenoides se hizo de manera general, pues no cuantifica los carotenoides individualmente; esta se hizo utilizando la longitud de onda de 454 nm, ya que esta longitud de onda abarca a los carotenoides de interés disueltos en acetona (Rodríguez-Amaya, 2001).

Tang et al. (2014b) emplearon un protocolo de extracción de carotenoides que involucra el uso de solventes orgánicos específicos como metil tert-butil éter y tetrahidrofurano, seguido de procesos de calentamiento, condensación y una segunda extracción con hexano. Este procedimiento, cuidadosamente controlado en cuanto a temperatura y exposición a la luz, está diseñado para optimizar la recuperación de carotenoides y su

posterior análisis mediante cromatografía de gases, lo que permite la separación e identificación individual de estos compuestos. Mientras que nuestra investigación utilizó el método propuesto por Biswas et al. (2011), el cual emplea acetona helada como solvente de extracción, junto con procesos de agitación y centrifugación, manteniendo siempre condiciones de baja temperatura (4 °C) y protección frente a la luz para evitar la degradación de los compuestos. A pesar de la simplicidad del procedimiento y del uso de equipos más accesibles, como el espectrofotómetro UV-Vis, los resultados obtenidos fueron consistentes y comparables en términos generales con los reportados mediante técnicas más sofisticadas.

Kaur et al. (2023) en su revisión “Una revisión exhaustiva de los pseudocereales: perfil nutricional, componentes fitoquímicos y posibles beneficios para la salud”, señalan que los pseudocereales como quinua, amaranto, cañihua, chíca y trigo sarraceno presentan un contenido de carotenoides en un rango de 37 a 48 µg por g de muestra. En contraste, los resultados obtenidos en este estudio fueron notablemente inferiores, con valores entre 2,8 y 14,9 µg por g de muestra, destacando que las variedades de coloración oscura exhibieron mayores concentraciones de carotenoides. Esta diferencia podría explicarse porque los valores más elevados reportados por Kaur et al. (2023) están influenciados por el trigo sarraceno, que presenta concentraciones especialmente altas de carotenoides, con promedios entre 87 y 388 µg por g de muestra, superando ampliamente a los demás pseudocereales analizados (Di Marco et al., 2021).

Meléndez et al. (2022) reportan que los cereales convencionales como maíz, trigo y arroz presentan un contenido de carotenoides considerablemente bajo, con valores que oscilan entre 0,3 y 11,8 µg/g de muestra, donde el maíz amarillo destaca por poseer hasta 10 veces más carotenoides que la avena, el trigo y la cebada. En comparación, los resultados obtenidos en este estudio para pseudocereales muestran un rango de 2,8 a 14,9 µg/g de muestra, siendo las variedades de coloración oscura las que concentran mayores niveles de estos compuestos. Esto indica que, aunque los pseudocereales analizados presentan un contenido superior al de algunos cereales como el trigo y la cebada, todavía se encuentran por debajo de los niveles reportados en maíz amarillo, lo cual podría atribuirse a diferencias genéticas y en la acumulación de pigmentos carotenoides en los granos.

Si bien el enfoque metodológico utilizado en este estudio no permite la identificación específica de cada carotenoide, como sí ocurre con la cromatografía, sí proporciona una

cuantificación confiable del contenido total de estos compuestos. Esto demuestra que metodologías más simples y de bajo costo, correctamente aplicadas, pueden ofrecer resultados relevantes y útiles para estudios comparativos y caracterización nutricional. Otras metodologías (Abdel et al., 2006; Hidalgo et al., 2006; Rivera & Canela-Garayoa, 2012) utilizadas para la cuantificación de carotenoides implican el uso de disolventes como acetona, hexano, tetrahidrofurano, acetona-agua (80:20) o combinaciones de estas, seguidas de un proceso de saponificación con hidróxido de potasio o hidróxido de sodio; sin embargo, estas metodologías implican una degradación de otros componentes presentes en el extracto, lo cual no es conveniente para los fines de nuestra investigación, que requiere mantener el contenido de fenoles totales intacto para determinar la actividad antioxidante combinada de carotenoides y fenoles totales.

Diversos estudios han reportado variaciones significativas en el contenido de fenoles totales entre las distintas variedades de *Chenopodium quinoa* Willd., y coinciden en que estos valores pueden verse influenciados por el tipo de variedad, el solvente de extracción y el protocolo analítico utilizado. Vidaurre et al. (2017) reportaron valores relativamente bajos en la variedad roja Pasankalla (1,09 mg GAE/g) y en la negra Ccollana (1,42 mg GAE/g), utilizando como solvente metanol acidificado con ácido clorhídrico. En cambio, Tang et al. (Tang et al., 2014a) encontraron un mayor contenido de fenoles en la quinua negra (5,18 mg GAE/g), seguido por la roja (4,62 mg GAE/g) y la blanca (2,18 mg GAE/g), empleando también metanol como agente extractor.

Por su parte, Repo et al. (2010) reportaron que la quinua negra presentó 6,821 mg GAE/g, superando a la variedad roja (6,35 mg GAE/g) y blanca (4,67 mg GAE/g). En un estudio más reciente, Liu et al. (2020) observaron un mayor contenido en la variedad roja (14,09 mg GAE/g), seguida de la negra (10,70 mg GAE/g) y la blanca (8,09 mg GAE/g). Cabe señalar que estos autores utilizaron combinaciones de metanol y acetato de etilo para extraer tanto los fenoles libres como los conjugados, lo que puede haber influido en los valores obtenidos.

En el presente estudio, se empleó acetona al 99,5% como agente extractor, lo que posiblemente influyó en la eficiencia de recuperación de los fenoles. Los resultados obtenidos evidencian una tendencia distinta a la de algunos estudios previos, ya que se observó un mayor contenido de fenoles totales en variedades de quinua de color claro, como la Blanca QBL, Blanca Junín QBJ y Roja Pasankalla QRP, mientras que las

variedades Negra Huamanguilla QNH, Negra Ccoito QNC y Amarilla QAM presentaron los valores más bajos.

Estas diferencias podrían atribuirse no solo al tipo de solvente utilizado, sino también a factores genéticos, condiciones edafoclimáticas y etapas de madurez de las semillas al momento de la cosecha. Además, es importante destacar que los fenoles totales representan una fracción compleja y diversa de compuestos, cuya extracción y cuantificación puede variar significativamente según el método empleado.

En conjunto, los resultados de esta investigación aportan evidencia sobre la influencia del tipo de variedad y el procedimiento de extracción en la determinación del contenido fenólico, lo que resalta la importancia de estandarizar metodologías para permitir comparaciones más precisas entre estudios.

La actividad antioxidante de las variedades de *Chenopodium quinoa* Willd. ha sido ampliamente estudiada, especialmente en relación con su contenido de compuestos bioactivos como fenoles totales y carotenoides. En este contexto, Lope (2020) evaluó la capacidad antioxidante mediante los ensayos DPPH y ABTS en diferentes variedades, reportando valores elevados para la quinua blanca Junín (QBJ) con 31,26 mmol TE/g muestra (DPPH) y 64,78 mmol TE/g de muestra (ABTS), así como para la quinua negra Ccollana (QNCC) con 29,26 mmol TE/g de muestra (DPPH) y 90,84 mmol TE/g de muestra (ABTS). De igual modo, Tang et al. (2014b) observaron que la actividad antioxidante varía con el color de la semilla, siendo mayor en variedades negras, seguida de las rojas y luego las blancas, atribuyéndolo principalmente al contenido de compuestos lipofílicos como carotenoides y ácidos grasos.

En cuanto al ensayo FRAP, se observó una respuesta antioxidante de menor intensidad en comparación con los ensayos DPPH y ABTS. Esto puede estar relacionado con algunas limitaciones propias del método. Según Nwachukwu et al. (2021), la presencia de agentes quelantes en la muestra, como saponinas y fitatos compuestos presentes naturalmente en la quinua (Aldana, 2019; Chito Trujillo et al., 2017), puede interferir con la medición, reduciendo la eficiencia del ensayo. Además, algunos polifenoles como la quercetina, el ácido ferúlico y el ácido cafeico requieren más tiempo de reacción para ejercer su efecto reductor, lo que puede causar que el método no sea capaz de medir la actividad antioxidante de manera adecuada por el tiempo limitado del ensayo FRAP (Pereira, 2014).

En el análisis de la capacidad antioxidante medida mediante el ensayo FRAP, Lope (2020) reportó valores notablemente elevados en varias variedades de quinua, como la roja Pasankalla (84,72 mmol TE/g), negra Ccoito (32,09 mmol TE/g) y blanca Junín (32,09 mmol TE/g), siendo la menor respuesta registrada en la variedad T-61 Pomata (30,89 mmol TE/g). En ese estudio, se empleó un protocolo de extracción específicamente diseñado para recuperar fenoles y flavonoides, lo que probablemente potenció la respuesta antioxidante observada en el ensayo FRAP, el cual es particularmente sensible a estos compuestos.

En contraste, en el presente estudio se utilizó un protocolo de extracción basado en Biswas et al. (2011), orientado a recuperar tanto compuestos liposolubles como los carotenoides, como hidrosolubles como los fenoles. Esta diferencia metodológica puede explicar las menores respuestas obtenidas en el ensayo FRAP en comparación con otros métodos como DPPH y ABTS, así como con los valores reportados por investigaciones que utilizaron solventes más selectivos para polifenoles.

En conjunto, estos resultados refuerzan la idea de que tanto la naturaleza del compuesto antioxidante como el método de análisis empleado influyen significativamente en la evaluación de la actividad antioxidante. La combinación de métodos complementarios como DPPH, ABTS y FRAP resulta necesaria para obtener una caracterización más completa del potencial antioxidante de las diferentes variedades de quinua.

Por otro lado, Tang et al. (2014a) establecieron una fuerte correlación positiva entre el contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante evaluada mediante diferentes ensayos: DPPH ($r = 0,908$), FRAP ($r = 0,987$) y ORAC ($r = 0,996$), lo que confirma que los polifenoles son determinantes clave en la actividad antioxidante de la quinua.

En el presente estudio, los resultados obtenidos mediante los ensayos DPPH y ABTS muestran que ciertas variedades presentan una alta actividad antioxidante, en particular aquellas que destacan por su elevado contenido de fenoles totales y/o carotenoides.

Esto coincide con lo reportado por Lope (2020), quien identificó a la QBJ y la QNCC como variedades con alto rendimiento antioxidante. Del mismo modo, las variedades que mostraron una menor actividad, como la QAM y la QSA, también presentaron bajo contenido de estos compuestos bioactivos, lo cual respalda la estrecha relación entre la composición química y la actividad antioxidante.

Uno de los objetivos del presente trabajo fue explorar la relación entre el contenido de fenoles totales, carotenoides y la actividad antioxidante en distintas variedades de

Chenopodium quinoa Willd. El análisis de correlación de Pearson reveló una relación moderadamente positiva entre el contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante en los ensayos DPPH, ABTS y FRAP, lo cual respalda lo señalado por Tang et al. (2014a), quienes reportaron altas correlaciones para FRAP, ORAC y DPPH con compuestos fenólicos.

Por otro lado, se encontró una baja correlación entre el contenido de carotenoides y la actividad antioxidante, lo que contrasta con los hallazgos de Tang et al. (2014b), quienes reportaron una correlación positiva significativa entre carotenoides específicos como luteína trans y zeaxantina ($r = 0,870$), y tocoferoles ($r = 0,996$) con la capacidad antioxidante. Sin embargo, cabe señalar que en dicho estudio se utilizó un protocolo de extracción selectivo para compuestos lipofílicos, lo que eliminó la posible interferencia de compuestos fenólicos y permitió una medición más precisa de la contribución de los carotenoides.

Finalmente, también se observó una correlación negativa entre fenoles totales y carotenoides en las muestras analizadas, lo cual podría reflejar una competencia en la ruta metabólica o una distribución diferencial de estos compuestos según la variedad de quinua. Estos hallazgos subrayan la complejidad en la relación entre composición química y actividad antioxidante, y destacan la importancia de considerar el tipo de solvente, la especificidad del método de extracción y la sensibilidad del ensayo utilizado.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES

1. Las semillas de *Chenopodium quinoa* Willd. tuvieron diferente concentración de carotenoides y fenoles totales; y diferente actividad antioxidante.
2. El contenido de fenoles totales presentó una variación significativa ($p < 0,05$) entre las diez variedades de estudio, donde la quinua Blanca Junín presentó mayor contenido ($7,36 \pm 0,10$ mg GAE/g de muestra), mientras que, la variedad Amarilla menor contenido ($2,03 \pm 0,10$ mg GAE/g de muestra).
3. El contenido de carotenoides presentó una variación significativa ($p < 0,05$) entre las diez variedades de estudio, en el cual, la variedad Negra Ccoito presentó mayor contenido ($14,97 \pm 0,1$ μ g/g de muestra), mientras que, la variedad Blanca menor contenido ($2,84 \pm 0,05$ μ g/g de muestra).
4. La actividad antioxidante de las diferentes variedades, determinada mediante los ensayos DPPH, ABTS⁺ y FRAP, reveló variaciones significativas ($p < 0,05$) entre las diferentes variedades; para el ensayo DPPH, la mayor respuesta fue para Blanca Junín y Negra Ccollana; para el ensayo ABTS⁺, la mayor respuesta fue para Negra Ccollana y para el ensayo FRAP, la mayor respuesta fue para Blanca; respectivamente.
5. Existió una correlación negativa entre el contenido de carotenoides; y el contenido de fenoles totales y el ensayo FRAP, asimismo, tuvo una baja correlación con los ensayos de DPPH y ABTS. Mientras que, existió una mediana correlación entre el contenido de fenoles totales y los ensayos de DPPH, ABTS y FRAP.

CAPITULO VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar estudios adicionales para identificar los tipos de carotenoides que se encuentran presentes en las diferentes variedades de quinua, utilizando técnicas y equipos avanzados como los utilizados en la cromatografía líquida y la cromatografía de gases, a fin de identificar los compuestos bioactivos responsables de la actividad antioxidante.
2. Debido a la existencia de estudios que confirman que los compuestos como fenoles totales y flavonoides aumentan su contenido debido al proceso de germinación, se recomienda realizar un estudio similar para evaluar la variación del contenido de carotenoides en semillas de quinua germinadas y sin germinar.
3. Estudiar la estabilidad de los carotenoides en función de factores como el almacenamiento, la temperatura, la luz y el procesamiento térmico, con el fin de determinar cómo estas variables afectan su concentración y funcionalidad antioxidante.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdel, E., Young, J., & Rabalski, I. (2006). Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple, and red cereal grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(13), 4696-4704. <https://doi.org/10.1021/jf0606609>
- Apak, R., Gorinstein, S., Böhm, V., Schaich, K., Özyürek, M., & Güçlü, K. (2016). Methods of measurement and evaluation of natural antioxidant capacity/activity (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 85(5), 957-998. <https://doi.org/10.1351/PAC-REP-12-07-15>
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú* (1er ed.). JB Gráfico. <https://acortar.link/TAfVvH>
- Basaga, H. S. (1990). Biochemical aspects of free radicals. *Biochemistry and Cell Biology = Biochimie Et Biologie Cellulaire*, 68(7-8), 989-998. <https://doi.org/10.1139/o90-146>
- Beckman, J., & Koppenol, W. (1996). *Óxido nítrico, superóxido y peroxinitrito: Lo bueno, lo malo y lo feo—PubMed* [Revista científica]. Pubmed. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8944624/>
- Biswas, A. K., Sahoo, J., & Chatli, M. K. (2011). Un método espectrofotométrico UV-Vis simple para determinar el contenido de b-caroteno en zanahorias crudas, batatas y nuggets de carne de pollo suplementados. *LWT - Food Science and Technology*, 44(8), 1809-1813. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.03.017>
- Bonnefoy, M., Drai, J., & Kostka, T. (2002). [Antioxidants to slow aging, facts and perspectives]. *Presse Medicale (Paris, France: 1983)*, 31(25), 1174-1184.
- Britton, G. (2008). Functions of Intact Carotenoids. En *Carotenoids: Volume 4: Natural Functions* (Vol. 4, p. 189). https://doi.org/10.1007/978-3-7643-7499-0_10
- Campos, J., Acosta, K., & Paucar, L. M. (2022). Quinua (*Chenopodium quinoa*): Composición nutricional y Componentes bioactivos del grano y la hoja, e impacto del tratamiento térmico y de la germinación. *Scientia Agropecuaria*, 12.
- Carpio R, R. V., Sotelo M, A., & Grüneberg, W. J. (2017). Contenido de β -Caroteno, Hierro y Zinc, Efecto de Almacenamiento y Tipo de Cocción en Genotipos de Camote (*Ipomoea batatas* L.). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 28(2), 242-254. <https://doi.org/10.15381/rivep.v28i2.13076>

- Carranco, M. (2011). *Carotenoides y su función antioxidante* (Revisión 3; p. 9). Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición. <https://ve.scielo.org/pdf/alan/v61n3/art01.pdf>
- Chacaliaza, L., Espinoza, G., Ramos, F., & Servan, K. (2016). *Proximate Chemical Composition and Content of Biologically Active Components in Leaves of Two Quinoa Cultivars (Salcedo and Altiplano) Produced in Peru. 1, 8.*
- Cheeseman, K. H., & Slater, T. F. (1993). An introduction to free radical biochemistry. *British Medical Bulletin*, 49(3), 481-493. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.bmb.a072625>
- Creus, E. (2004). Compuestos fenólicos. *Offarm*, 23(6), 84.
- Darwish, A. (2020). Effect of germination on the nutritional profile of quinoa (*Cheopodium quinoa* Willd.) seeds and its anti-anemic potential in Sprague-Dawley male albino rats. *ResearchGate*, 5, 8. <https://doi.org/10.1002/cche.10366>
- Di Marco, F., Trevisani, F., Vignolini, P., Urciuoli, S., Salonia, A., Montorsi, F., Romani, A., Vago, R., & Bettiga, A. (2021). Preliminary Study on Pasta Samples Characterized in Antioxidant Compounds and Their Biological Activity on Kidney Cells. *Nutrients*, 13(4), 1131. <https://doi.org/10.3390/nu13041131>
- Donayre Linares, G. I., & Montalván Vásquez, J. L. (2019). Composición nutricional, capacidad antioxidante, compuesto fenólicos totales y b-caroteno en pulpa cruda y cocido de dos variedades de *Bactris gasipaes* H.B.K. (pijuaño). *Universidad Nacional de la Amazonía Peruana*. <https://acortar.link/gshCdm>
- Drago, M., Lopez, M., & Saínz, T. (2006). Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37(4), 12.
- Fernández, M., Villaño, D., Troncoso, A., & García, M. (2006). Revisión de los métodos de evaluación de la actividad antioxidante in vitro del vino y valoración de sus efectos in vivo. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 56(2), 110-122.
- Furce, C., Salcedo, E., Krivonos, P., Rabczuk, B., & Fernandez, H. (2014). *Comercio internacional de quinua. Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013* (376-393). Bazile.

- Fusco, D., Colloca, G., Lo Monaco, M. R., & Cesari, M. (2007). Effects of antioxidant supplementation on the aging process. *Clinical Interventions in Aging*, 2(3), 377-387.
- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua* (Vol. 1era). Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://acortar.link/yFG0Kv>
- Gutiérrez, J. (2012). Daño Oxidativo, Radicales Libres y Antioxidantes. *Rev. Cubana Medica Militar*, 8.
- Hagos, M., Redi-Abshiro, M., Chandravanshi, B., & Yaya, E. (2022). Development of Analytical Methods for Determination of β -Carotene in Pumpkin (*Cucurbita maxima*) Flesh, Peel, and Seed Powder Samples. *International Journal of Analytical Chemistry*. <https://doi.org/10.1155/2022/9363692>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (5ta ed., Vol. 1). Editorial Mc Graw Hill Education.
- Hidalgo, A., Brandolini, A., & Piscozzi, R. (2006). Carotenoids and tocopherols of einkorn wheat (*Triticum monococcum* ssp. *Monococcum* L.). *ResearchGate*. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.06.002>
- Isaza, H. (2007). Taninos o polifenoles vegetales. *Scientia Et Technica*, XIII(33), 13-18.
- Kaur, H., Shams, R., Dash, K. K., & Dar, A. H. (2023). A comprehensive review of pseudo-cereals: Nutritional profile, phytochemicals constituents and potential health promoting benefits. *Applied Food Research*, 3(2), 100351. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100351>
- Khachik, F., Spangler, C. J., Smith, J. C., Canfield, L. M., Steck, A., & Pfander, H. (1997). Identification, quantification, and relative concentrations of carotenoids and their metabolites in human milk and serum. *Analytical Chemistry*, 69(10), 1873-1881. <https://doi.org/10.1021/ac961085i>
- Kozioł, M. J. (1992). Composición química y evaluación nutricional de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 5(1), 35-68. [https://doi.org/10.1016/0889-1575\(92\)90006-6](https://doi.org/10.1016/0889-1575(92)90006-6)
- Krinsky, N. I., & Johnson, E. J. (2005). Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular Aspects of Medicine*, 26(6), 459-516. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2005.10.001>

- Liu, M., Zhu, K., Yao, Y., Chen, Y., Guo, H., Ren, G., Yang, X., & Li, J. (2020). Antioxidant, anti-inflammatory, and antitumor activities of phenolic compounds from white, red, and black *Chenopodium quinoa* Willd. Seed. *Cereal Chemistry*, 97(3), 703-713. <https://doi.org/10.1002/cche.10286>
- Londoño, J. (2012). *Antioxidantes: Importancia biológica y métodos para medir su actividad*. 34.
- Lope, J. (2020). *Capacidad antioxidante, fenoles totales y flavonoides de veinte variedades de las semillas germinadas de Chenopodium quinoa Willd. "Quinoa", Ayacucho 2020* [Tesis, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga]. <https://acortar.link/ZwI28F>
- Meléndez, A., Mandić, A. I., Bantis, F., Böhm, V., Borge, G. I. A., Brnčić, M., Bysted, A., Cano, M. P., Dias, M. G., Elgersma, A., Fikselová, M., García-Alonso, J., Giuffrida, D., Gonçalves, V. S. S., Hornero-Méndez, D., Kljak, K., Lavelli, V., Manganaris, G. A., Mapelli-Brahm, P., ... O'Brien, N. (2022). A comprehensive review on carotenoids in foods and feeds: Status quo, applications, patents, and research needs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(8), 1999-2049. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867959>
- Mellado, E., & Hornero, D. (2017). *Carotenoides en cereales* (1ra ed.). CYTED. <https://acortar.link/s59LPZ>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2018). *Variedad genética de la Quinoa en el Perú*. <https://acortar.link/V9ooqR>
- Misaraime, M. (2023). *Capacidad antioxidante, fenoles totales y flavonoides de veinte variedades de la semilla de Chenopodium quinoa Willd. "Quinoa". Ayacucho 2022* (32) [Tesis, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga]. <https://acortar.link/nIy24G>
- Naqui, A., Britton, C., & Cadenas, E. (1996). *Intermediarios reactivos de oxígeno en bioquímica* (137-66). <https://acortar.link/ASHSke>
- Nizama, T. (2019). *Contenido de compuestos carotenoides y determinación de la capacidad antioxidante in vitro de Physalis peruviana L. "AGUAYMANTO"* (6) [Tesis, Universidad Cesar Vallejo]. <https://acortar.link/wzNjFv>
- Olivos Guerra, W. L. (2020). Evaluación del contenido de carotenoides, la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos de *Bunchosia armeniaca* "cansa boca". *Repositorio Institucional - UCV*. <https://acortar.link/UA18le>

- Pereira, P. (2014). *Semillas de quinua (Chenopodium quinoa Willdenow): Composición química y procesamiento. Aspectos relacionados con otras áreas* (166). 5(2), 218.
- Povis Antara, K. D. (2019). Determinación del contenido de carotenos de la harina de cáscara de Aguaje (*Mauritia Flexuosa* L.f.) obtenida por secado. *Universidad Nacional de Ucayali*. <https://acortar.link/XglINDT>
- Quispe, H. (2024). *Contenido de fenoles totales y ácidos fenólicos en el germinado y sin germinar de semillas de variedades de Chenopodium quinoa Willd "quinua"* [Tesis, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga]. <https://acortar.link/6ZCVsy>
- Rivas, C., Oranday-Cárdenas, M. A., García-González, M. J. V.-S. S., Leos-Rivas, C., García-Hernández, D. G., Sánchez-García, E., Castillo-Hernández, S. L., García-Palencia, P., Moreno-Peña, D. P., Cordero-Pérez, P., Pérez-Hernández, R. A., Ramos-Ibarra, M. L., Torres-González, L., Cienfuegos-Pecina, E., Ortiz-Martínez, D.-M., Martínez-Torres, A. C., Uscanga-Palomeque, A. C., Rodríguez-Padilla, C., Cabello-Ruiz, E. D., ... Galindo-Rodríguez, S. A. (2019). Investigación en plantas de importancia médica. En *OmniaScience Monographs* (Vol. 1). Universidad Autónoma de Nuevo León. <https://www.omniascience.com/books/index.php/monographs/catalog/book/97>
- Rivera, S., & Canela-Garayoa, R. (2012). Analytical tools for the analysis of carotenoids in diverse materials. *Journal of Chromatography. A*, 1224, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.12.025>
- Rodríguez-Amaya, D. (1999). *Carotenoides y Preparación de Alimentos: La Retención de los Carotenoides Provitamina A en Alimentos Preparados, Procesados y Almacenados* [Revista científica]. Scienceopen. <https://acortar.link/f5R39G>
- Rodríguez-Amaya, D. (2001). *A Guide to Carotenoid Analysis in Foods*. <https://acortar.link/sCuwOB>
- Romero, V., Tirado, A., & Dávalos, J. Z. (2015). *Determinación experimental mediante DSC de las estabilidades térmicas y las capacidades caloríficas: Quinua, kiwicha y cañihua* (47-52) [Cátedra]. Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Sánchez, V. (2018). Estrés oxidativo, antioxidantes y enfermedad. *Rev. Investigación Médica Sur México*, 8.

- Sezgin, A. C., & Sanlier, N. (2019). *A new generation plant for the conventional cuisine: Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)* (51-58; 1er ed., Vol. 1). *rends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs>
- Swain, T., & Hillis, W. E. (1959). The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 10(1), 63-68. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740100110>
- Tang, Y., Li, X., Zhang, B., & Chen, P. (2014a). *Caracterización de fenólicos, betaninas y actividades antioxidantes en semillas de tres genotipos de Chenopodium quinoa Willd.* [Revista científica]. Elsevier. <https://acortar.link/zwxtPr>
- Tang, Y., Li, X., Zhang, B., & Chen, P. (2014b). *Caracterización de la composición de ácidos grasos, carotenoides, tocoferol/tocotrienol y actividades antioxidantes en semillas de tres genotipos de Chenopodium quinoa Willd.* [Revista científica]. Elsevier. <https://acortar.link/zWsLy9>
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Hawkins Byrne, D. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6), 669-675. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>
- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., & Mazur, M. (2007). *Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease—ScienceDirect*. <https://acortar.link/ItR0Do>
- Viña, S. Z., Ringuelet, J. A., & Viña, S. Z. (2013). *Compuestos fenólicos*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/155459>
- Youngson, R. (2005). *Antioxidantes y radicales libres*. EDAF.

ANEXOS

Anexo 1

Constancia de identificación taxonómica

CONSTANCIA

LA BIÓLOGA LAURA AUCASIME MEDINA ESPECIALISTA EN TAXONOMÍA Y SISTEMÁTICA DE PLANTAS DEJA CONSTANCIA:

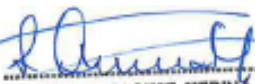
Que, el Bach. en Farmacia y Bioquímica, **Sr. Joselin Edwin, HUAMANI HUAMAN**, ha solicitado la identificación de una muestra vegetal para trabajo de tesis.

Dicha muestra ha sido estudiada y determinada según el Sistema de Clasificación de Cronquist. A. 1988. siendo su taxonomía la siguiente:

DIVISIÓN	:	MAGNOLIOPHYTA
CLASE	:	MAGNOLIOPSIDA
SUB CLASE	:	CARYOPHYLLIDAE
ORDEN	:	CARYOPHYLLALES
FAMILIA	:	CHENOPODIACEAE
GENERO	:	Chenopodium
ESPECIE	:	<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.
N.V.	:	"quinua"

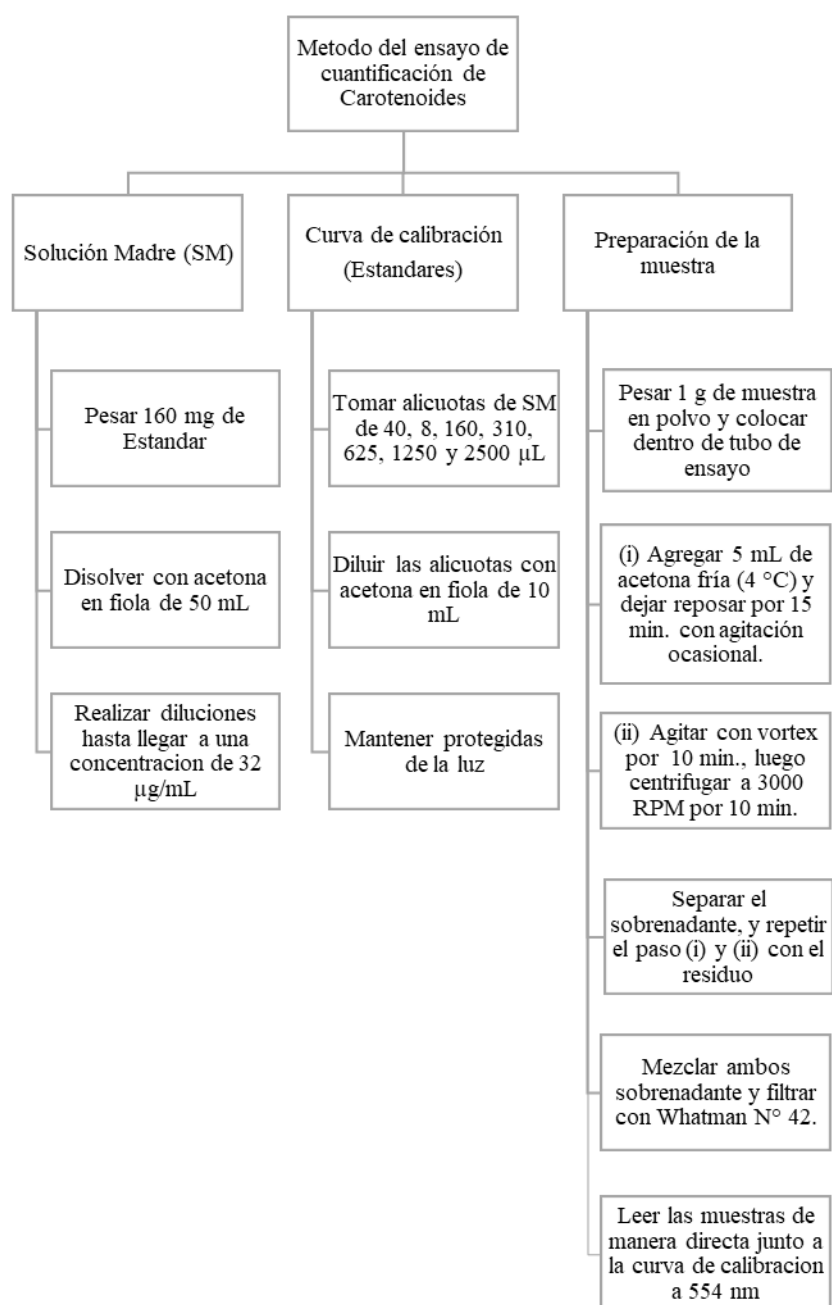
Se expide la certificación correspondiente a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Ayacucho, 15 de octubre del 2024


LAURA AUCASIME MEDINA
BIÓLOGA
Reg. C.B.P. N° 583 C.R. - XIII

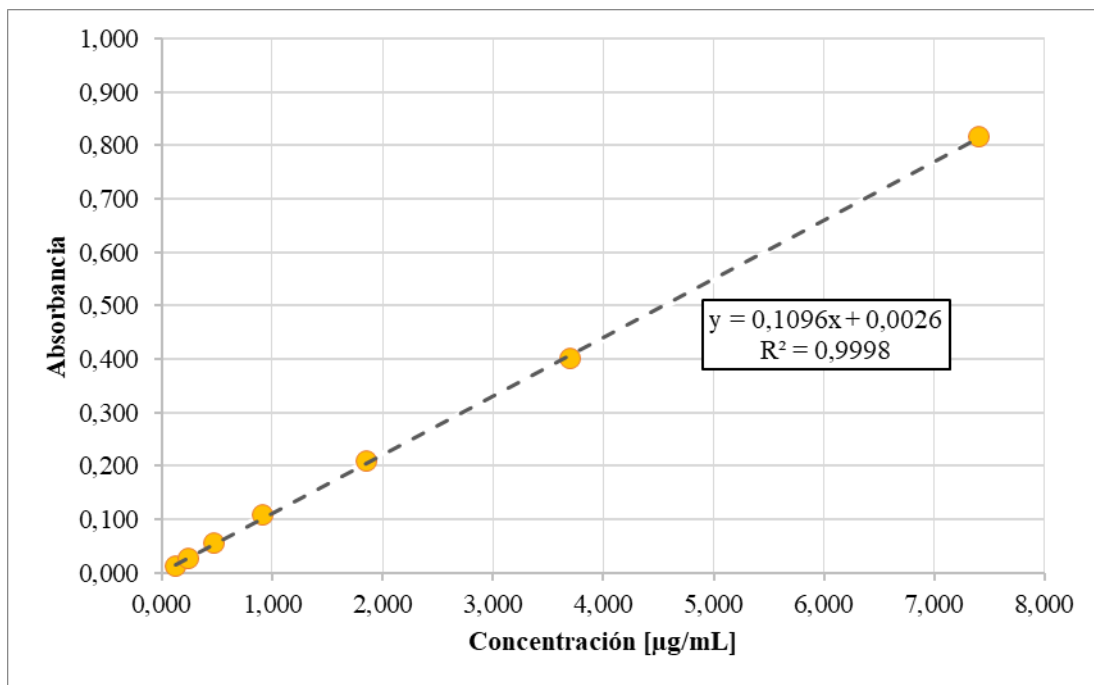
Anexo 2

Diagrama de flujo para la determinación del contenido de carotenoides en semillas de *Chenopodium quinoa* Willd. (quinua)



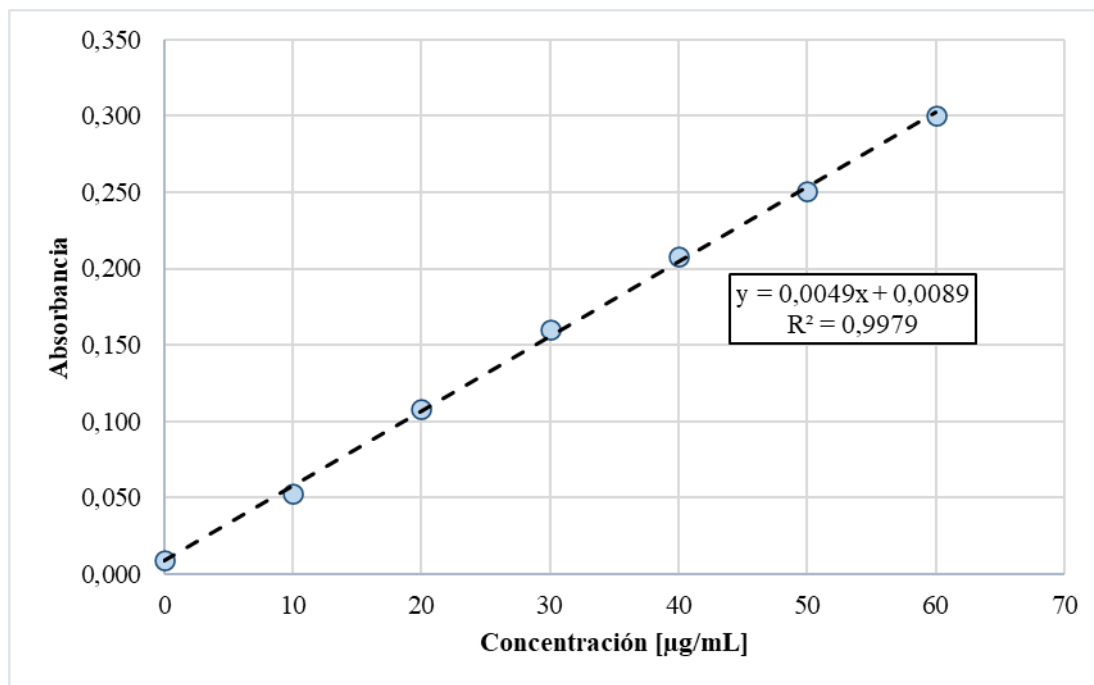
Anexo 3

Curva de calibración de β -caroteno para la determinación del contenido de carotenoides.



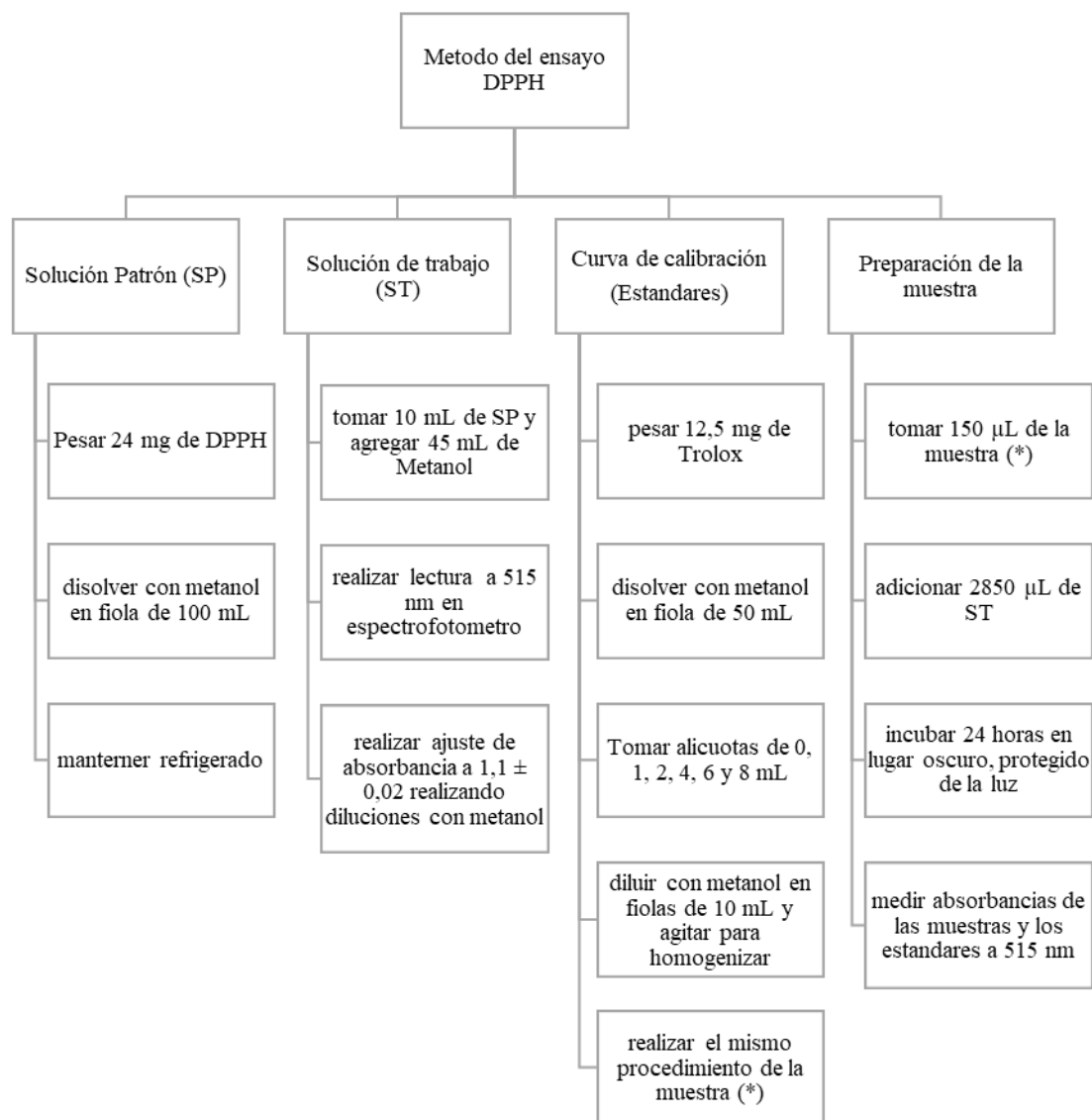
Anexo 4

Curva de calibración de ácido gálico para la determinación del contenido de fenoles totales.



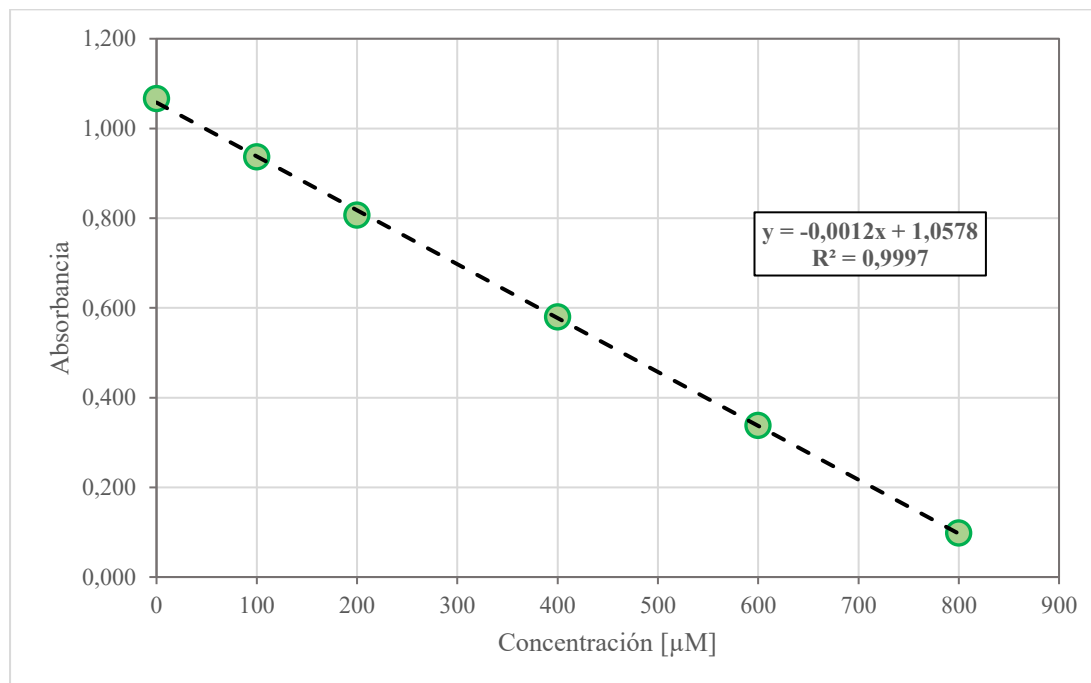
Anexo 5

*Diagrama de flujo para la determinación de la actividad antioxidante por el ensayo del DPPH en semillas de *Chenopodium quinoa* Willd. (quinua)*



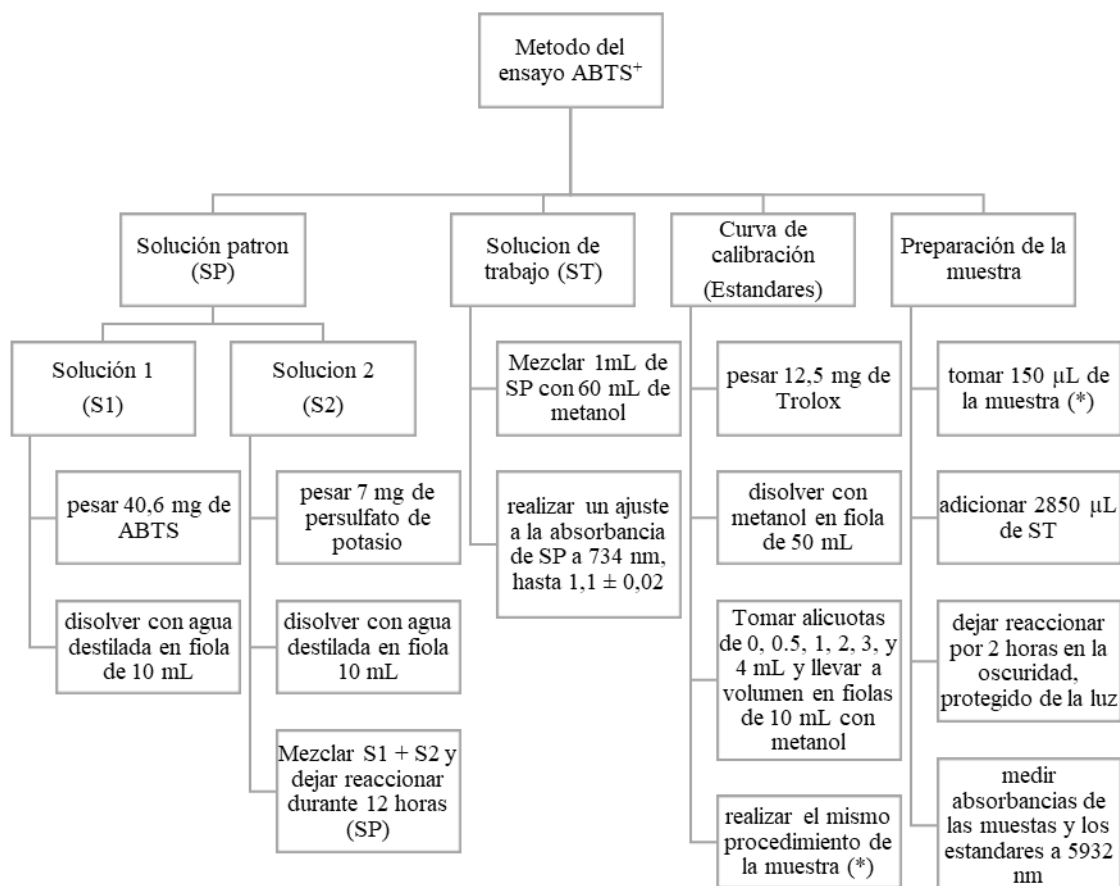
Anexo 6

Curva de calibración para la determinación de la actividad antioxidante acorde al ensayo de DPPH en función de la concentración de Trolox.



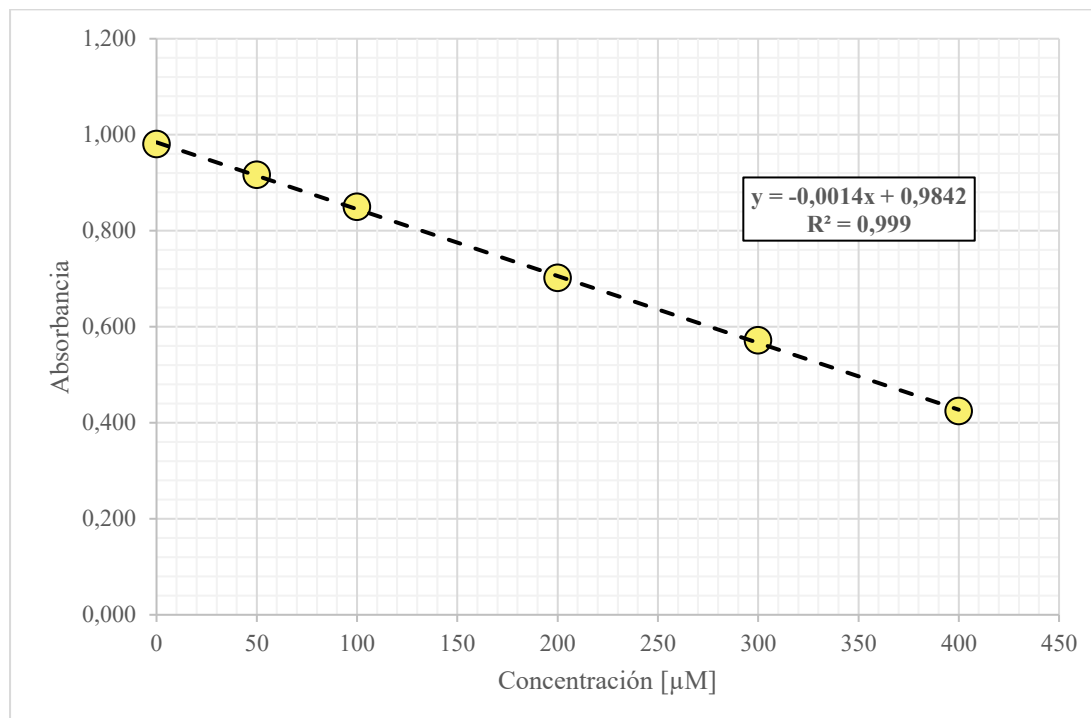
Anexo 7

Diagrama de flujo para la determinación de la actividad antioxidante por el ensayo ABTS+ en semillas de Chenopodium quinoa Willd. (quinua)



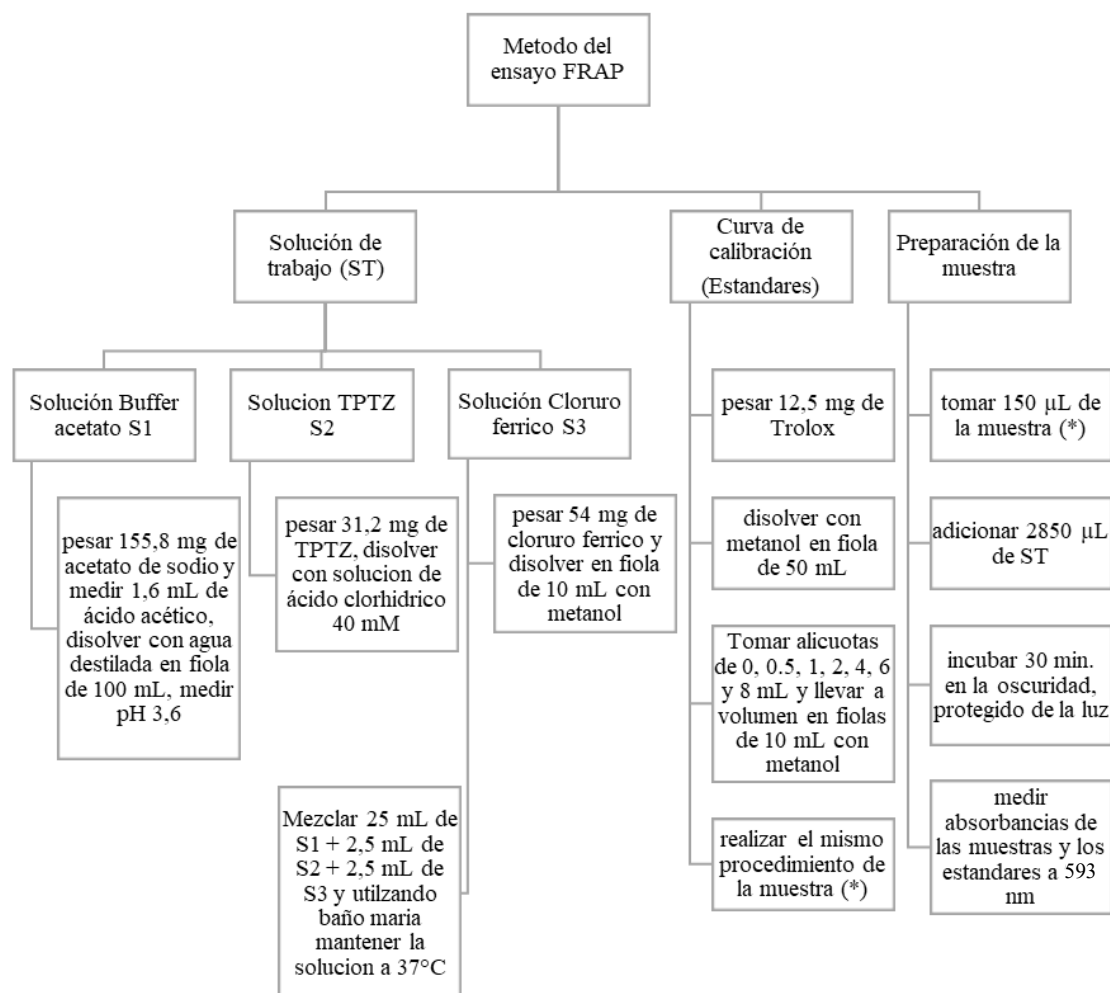
Anexo 8

Curva de calibración para la determinación de la actividad antioxidante acorde al ensayo de ABTS+ en función de la concentración de Trolox.



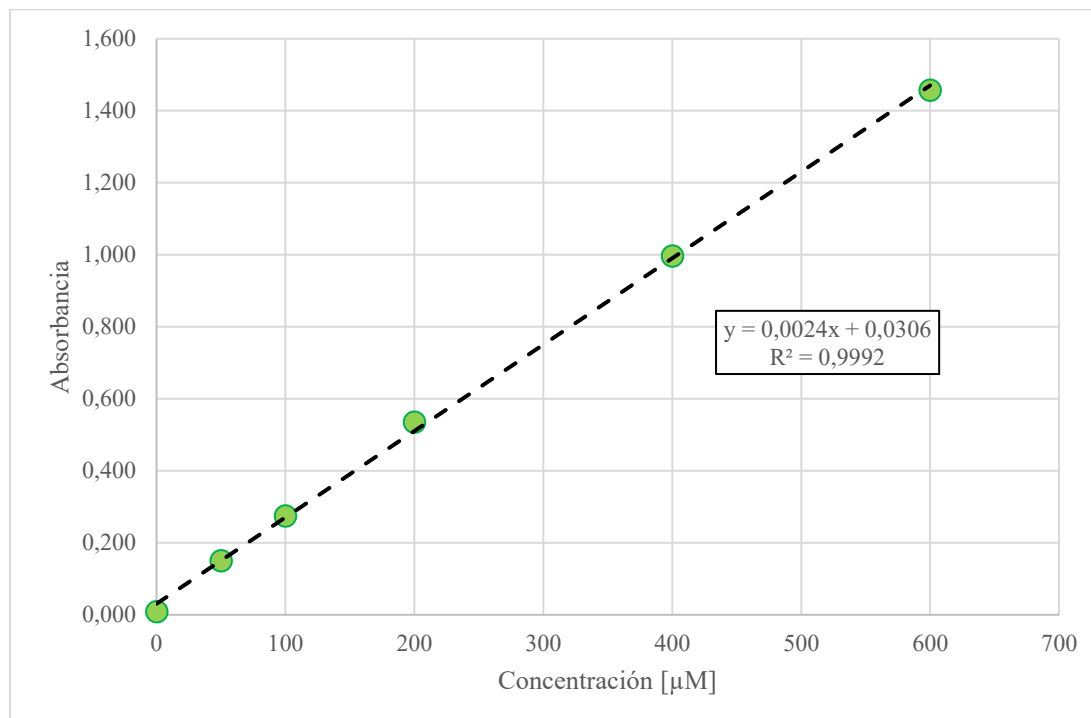
Anexo 9

Diagrama de flujo para la determinación de la actividad antioxidante por el ensayo de FRAP en semillas de *Chenopodium quinoa* Willd. (quinua).



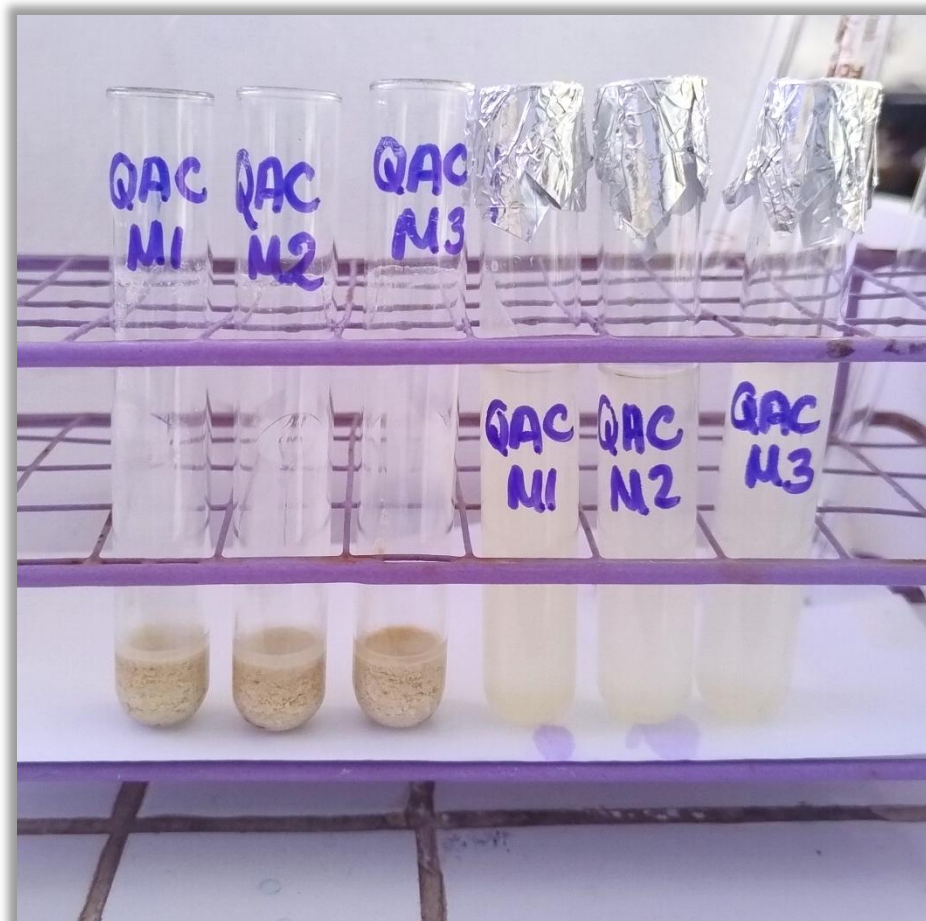
Anexo 10

Curva de calibración para la determinación de la actividad antioxidante acorde al ensayo de FRAP en función de la concentración de Trolox.



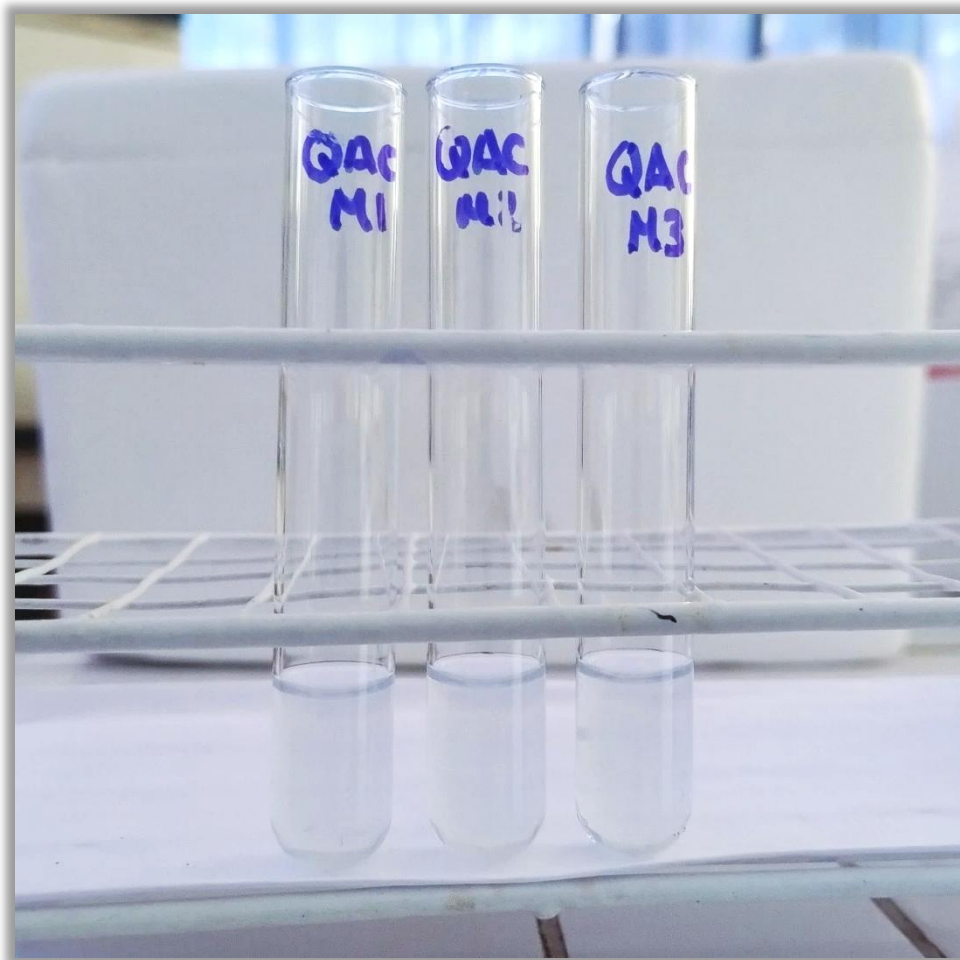
Anexo 11

Resultados de la determinación del contenido de carotenoides extraídos con el método de (Biswas et al., 2011) en semillas de Chenopodium quinoa Willd. (quinua).



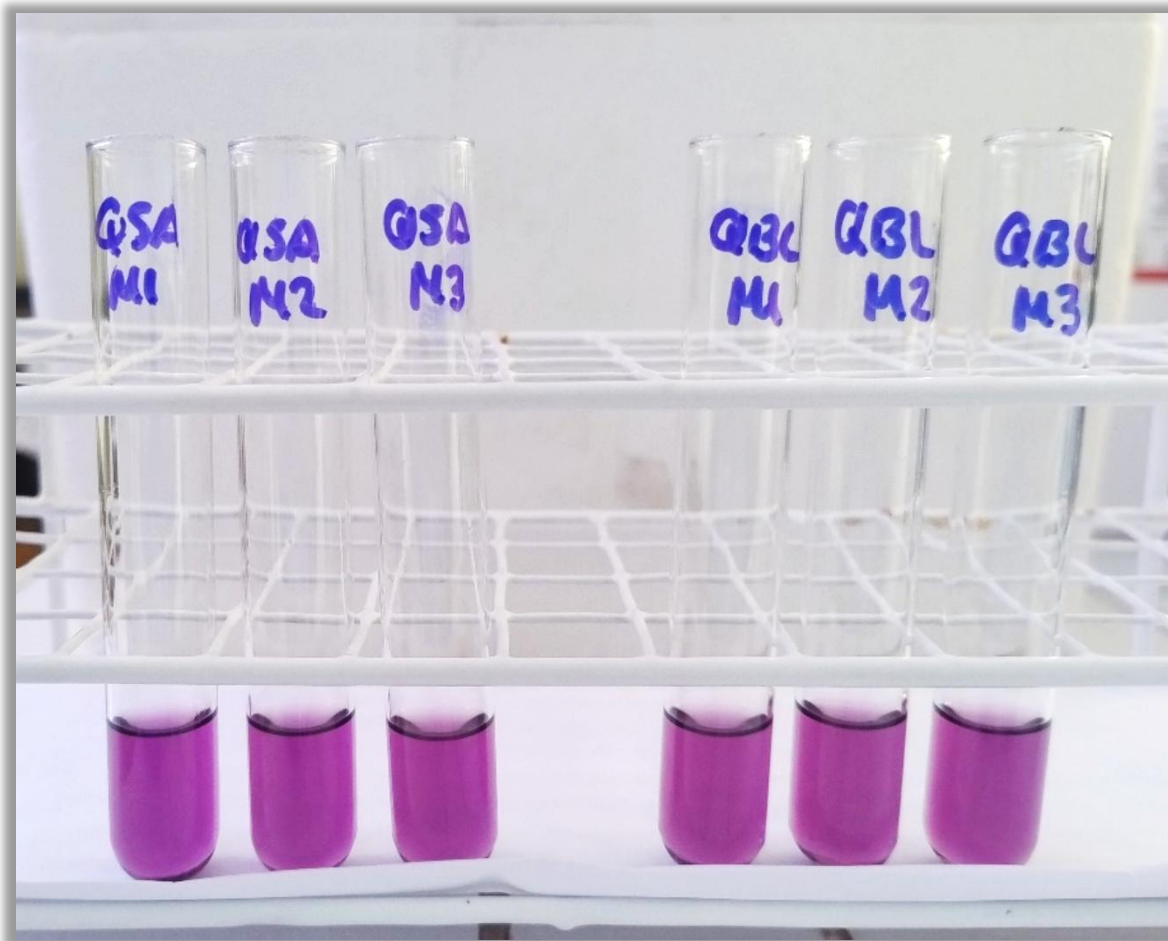
Anexo 12

*Resultados de la determinación del contenido de fenoles totales con el método de **Swain** y **Hillis**(Swain & Hillis, 1959) en semillas de *Chenopodium quinoa* Willd. (quinua).*



Anexo 13

Resultados de la determinación de la actividad antioxidante mediante el ensayo de DPPH en semillas de Chenopodium quinoa Willd. (quinua).



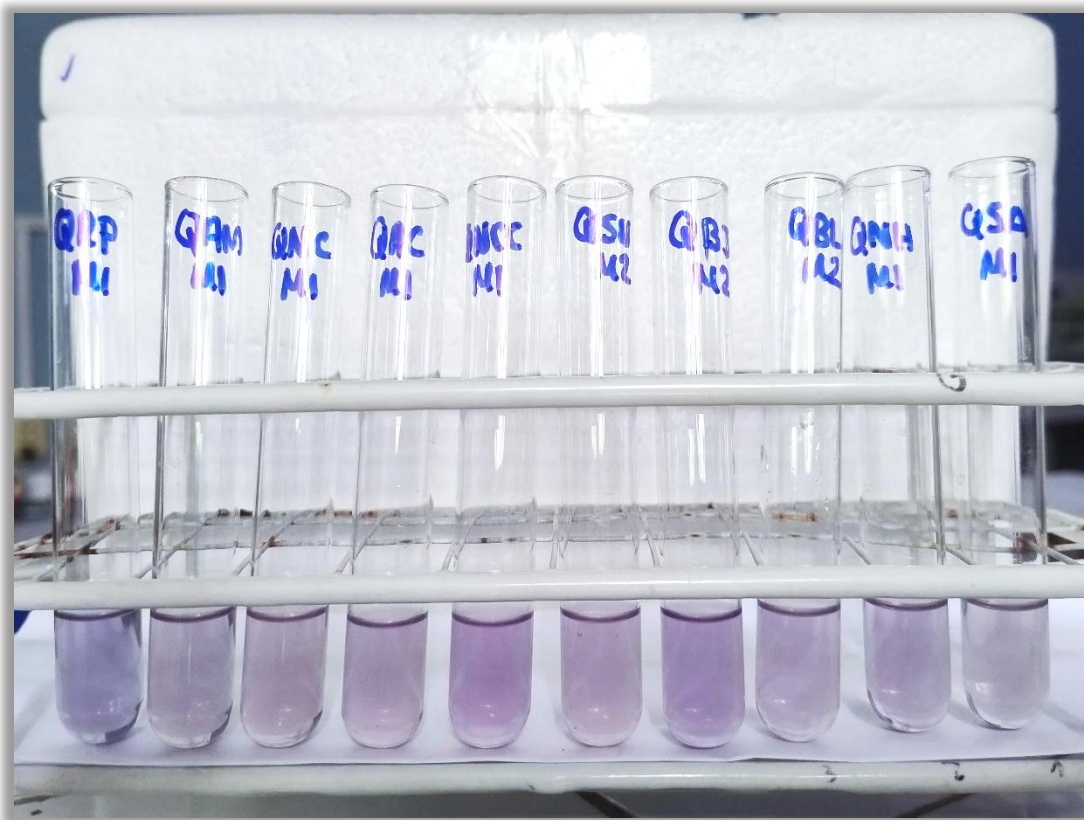
Anexo 14

Resultados de la determinación de la actividad antioxidante mediante el ensayo de ABTS+ en semillas de Chenopodium quinoa Willd. (quinua).



Anexo 15

Resultados de la determinación de la actividad antioxidante mediante el ensayo de FRAP en semillas de Chenopodium quinoa Willd. (quinua).



Anexo 16

Contenido de carotenoides y fenoles totales en las semillas de diferentes variedades de Chenopodium quinoa Willd.

Variedad	Contenido de carotenoides ($\mu\text{g/g}$ muestra)	Contenido de fenoles totales (mg GAE/g muestra)
Blanca Junín	$5,15 \pm 0,09^b$	$7,36 \pm 0,10^g$
Amarrilla	$6,12 \pm 0,11^c$	$2,03 \pm 0,10^a$
Roja Pasankalla	$7,76 \pm 0,14^d$	$6,66 \pm 0,12^f$
Negra Ccoito	$14,97 \pm 0,14^f$	$2,58 \pm 0,08^b$
Acollina	$7,46 \pm 0,14^d$	$5,08 \pm 0,13^e$
Salcedo	$8,77 \pm 0,14^e$	$4,40 \pm 0,10^d$
Blanca	$2,84 \pm 0,05^a$	$7,05 \pm 0,09^g$
Negra Ccollana	$10,96 \pm 0,14^f$	$3,56 \pm 0,04^c$
Negra Huamanguilla	$8,46 \pm 0,14^e$	$2,75 \pm 0,06^b$
Santa Ana	$4,78 \pm 0,09^b$	$3,30 \pm 0,10^c$

Nota. $\mu\text{g/g}$ muestra: microgramos de carotenoides por gramo de muestra. mg EAG/g muestra: miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra. Prueba de homogeneidad de Levene ($p>0,05$). Análisis de varianza ($p<0,05$). Comparaciones múltiples de Scheffe, las letras a, b, c, d, e, f y g representan subconjuntos homogéneos

Anexo 17

Actividad antioxidante equivalente a Trolox (TEAC) del radical DPPH, ABTS y reductor de hierro (FRAP) de las semillas de diferentes variedades de Chenopodium quinoa Willd.

Variedad	Actividad antioxidante (mM TE/g muestra)		
	DPPH	ABTS	FRAP
Blanca Junín	40,47 ± 0,67 ^c	58,84 ± 0,22 ^g	14,70 ± 0,46 ^a
Amarrilla	16,74 ± 0,42 ^a	18,12 ± 0,44 ^a	21,37 ± 0,76 ^{b,c}
Roja Pasankalla	33,80 ± 0,67 ^d	47,60 ± 0,38 ^f	32,09 ± 0,51 ^f
Negra Ccoito	29,69 ± 0,35 ^{dc}	34,98 ± 0,30 ^c	19,89 ± 0,34 ^b
Acollina	28,91 ± 0,75 ^c	42,27 ± 0,36 ^c	21,14 ± 0,43 ^{b,c}
Salcedo	17,91 ± 0,35 ^a	25,65 ± 0,58 ^b	22,20 ± 0,36 ^{c,d}
Blanca	28,80 ± 0,58 ^c	37,27 ± 0,30 ^{c,d}	35,92 ± 0,43 ^g
Negra Ccollana	40,25 ± 0,26 ^c	61,89 ± 0,38 ^g	24,01 ± 0,88 ^{d,e}
Negra Huamanguilla	28,36 ± 0,63 ^{b,c}	41,93 ± 0,36 ^c	25,45 ± 0,58 ^c
Santa Ana	26,47 ± 0,66 ^b	40,17 ± 0,29 ^{d,e}	13,78 ± 0,38 ^a

Nota. mM TE/g muestra: milimoles equivalentes de Trolox por gramo de muestra. Prueba de homogeneidad de Levene (p>0,05). Análisis de varianza (p<0,05). Comparaciones múltiples de Scheffé, las letras a, b, c, d, e, f y g representan subgrupos homogéneos

Anexo 18

Análisis de la varianza del contenido de carotenoides y fenoles totales en las semillas de Chenopodium quinoa Willd. (quinua).

ANOVA					
Carotenoides					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	319,28	9	35,48	2413,88	2,36E ⁻²⁸
Dentro de grupos	0,29	20	0,015		
Total	319,58	29			

ANOVA					
Fenoles Totales					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	104,71	9	11,63	1261,67	1,54E ⁻²⁵
Dentro de grupos	0,18	20	,01		
Total	104,89	29			

Anexo 19

Prueba de comparaciones múltiples de Scheffé para establecer diferencia significativa en el contenido de carotenoides y fenoles totales en las semillas de Chenopodium quinoa Willd. (quinua).

Carotenoides								
Scheffe ^a		Subconjunto para alfa = 0.05						
Variedad	N	a	b	c	d	e	f	g
Blanca	3	2,84						
Santa Ana	3		4,78					
Blanca Junín	3		5,15					
Amarilla	3			6,12				
Acollina	3				7,46			
Roja Pasankalla	3				7,76			
Negra de Huamanguilla	3					8,46		
Salcedo	3					8,77		
Negra Ccollana	3						10,96	
Negra Ccoito	3							14,97
Sig.		1,00	0,21	1,00	,44	,44	1,00	1,00

Fenoles Totales								
Scheffe ^a		Subconjunto para alfa = 0.05						
Variedad	N	a	b	c	d	e	f	g
Amarilla	3	2,03						
Negra Ccoito	3		2,58					
Negra de Huamanguilla	3		2,75					
Santa Ana	3			3,30				
Negra Ccollana	3			3,56				
Salcedo	3				4,40			
Acollina	3					5,08		
Roja Pasankalla	3						6,66	
Blanca	3							7,05
Blanca Junín	3							7,36
Sig.		1,00	0,21	1,00	,44	,44	1,00	1,00

Anexo 20

Análisis de la varianza de la actividad antioxidante mediante el los ensayos de DPPH, ABTS y FRAP en las semillas de Chenopodium quinoa Willd. (quinua).

ANOVA					
DPPH					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1683,89	9	187,10	601,35	2,48E ⁻²²
Dentro de grupos	6,22	20	0,31		
Total	1690,11	29			

ANOVA					
ABTS					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4830,44	9	536,72	757,41	2,49E ⁻²³
Dentro de grupos	14,17	20	,71		
Total	4844,61	29			

ANOVA					
FRAP					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1280,40	9	142,27	484,70	7,54E ⁻²²
Dentro de grupos	5,87	20	0,29		
Total	1286,27	29			

Anexo 21

Prueba de comparaciones múltiples de Scheffé para establecer diferencia significativa de la actividad antioxidante mediante los ensayos de DPPH y ABTS en las semillas de Chenopodium quinoa Willd. (quinua).

DPPH						
Scheffe ^a	Subconjunto para alfa = 0.05					
Variedad	N	a	b	c	d	e
Amarilla	3	16,74				
Salcedo	3	17,91				
Santa Ana	3		26,47			
Negra de Huamanguilla	3		28,36	28,36		
Blanca	3			28,80		
Acollina	3			28,91		
Negra Ccoito	3			29,69		
Roja pasankalla	3				33,80	
Negra Ccollana	3					40,25
Blanca Junin	3					40,47
Sig.		0,68	0,11	0,50	1,00	1,00

ABTS								
Scheffe ^a	Subconjunto para alfa = 0.05							
Variedad	N	a	b	c	d	e	f	g
Amarilla	3	18,12						
Salcedo	3		25,65					
Negra Ccoito	3			34,98				
Blanca	3			37,27	37,27			
Santa Ana	3				40,17	40,17		
Negra de Huamanguilla	3					41,93		
Acollina	3					42,27		
Roja Pasankalla	3						47,60	
Blanca Junín	3							58,84
Negra Ccollana	3							61,89
Sig.		1,00	1,00	0,33	0,10	,45	1,00	,07

Anexo 22

Prueba de comparaciones múltiples de Scheffé para establecer diferencia significativa de la actividad antioxidante mediante el ensayo de FRAP en las semillas de Chenopodium quinoa Willd. (quinua).

FRAP								
Scheffé ^a		Subconjunto para alfa = 0,05						
Variedad	N	a	b	c	d	e	f	g
Santa Ana	3	13,78						
Blanca Junin	3	14,70						
Negra Ccoito	3		19,89					
Acollina	3		21,14	21,14				
Amarilla	3		21,37	21,37				
Salcedo	3			22,20	22,20			
Negra Ccollana	3				24,01	24,01		
Negra de Huamanguilla	3					25,45		
Roja pasankalla	3						32,09	
Blanca	3							35,92
Sig.		0,87	0,33	0,76	0,12	0,36	1,00	1,00

Anexo 23

Operacionalización de las variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Tipo de variable	Escala de medición
Contenido de carotenoides y fenoles totales en diez variedades de semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. “quinua”.	Es la variación del contenido de carotenoides y fenoles totales presentes en la semilla de las variedades de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.,	Contenido de carotenoides y fenoles totales que son extraídos por procedimientos estandarizados y cuantificados por espectrofotometría.	Semilla de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. “quinua”	Variedad	Cualitativa	Nominal
			Contenido de fenoles totales.	EAG/g de muestra	Cuantitativo	De intervalo
			Contenido de carotenoides.	µg de carotenoides/g de muestra	Cuantitativo	De intervalo
actividad antioxidante de diez variedades de semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. “quinua”.	Es la capacidad de secuestro de los radicales libres DPPH y ABTS; y del poder antioxidante reductor del hierro (FRAP).	Secuestro de radicales libres y poder reductor del hierro utilizando procedimientos estandarizados y cuantificados por espectrofotometría.	Captación del radical libre DPPH.	mM TE/g de muestra	Cuantitativo	De intervalo
			Captación del radical libre ABTS.	mM TE/g de muestra.	Cuantitativo	De intervalo
			Capacidad Reductora del Hierro (FRAP).	mM TE/g de muestra.	Cuantitativo	De intervalo

Nota. Elaboración propia.

Anexo 24

Matriz de consistencia

Título: Contenido de carotenoides y capacidad antioxidante de diez variedades de la semilla de *Chenopodium quinoa* Willd. “quinua”, Ayacucho 2024.

Autor: Bach. Joselin Edwin Huamaní Huamán

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	MARCO TEÓRICO	METODOLOGÍA
Problema general ¿Las semillas de las 10 variedades de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. “quinua” tendrán diferente contenido de carotenoides y actividad antioxidante?	Objetivo general Determinar el contenido de carotenoides y la actividad antioxidante presente en diez variedades de semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. “quinua”, Ayacucho 2024.	• Hi: Las variedades de semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. “quinua” tienen diferente contenido de carotenoides, fenoles totales y diferente actividad antioxidante. Ho: Las variedades de semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. “quinua” tienen igual contenido de carotenoides, fenoles totales e igual actividad antioxidante.	Variable 1 Contenido de fenoles totales y carotenoides en diez variedades de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. “quinua”. Indicadores • Variedad • Contenido de carotenoides en µg/g muestra. • Contenido de fenoles totales en mg EAG/g de muestra. Variable 2 Actividad antioxidante.	Antecedentes: Internacionales, nacionales y locales. Marco teórico Aspectos botánicos de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. “quinua” División: magnoliophyta Clase: Magnoliopsida Sub clase: Caryophyllidae Orden: Caryophyllales Familia: Chenopodiaceae Género: Chenopodium Especie: <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. N.V.: “quinua” Descripción Botánica Distribución y hábitat Composición química • Aminoácidos, ácidos grasos, vitaminas, minerales, vitaminas y compuestos bioactivos. Antioxidantes y radicales libres Carotenoides Compuestos fenólicos y fenoles totales Metodología de determinación de la actividad antioxidante	Tipo de investigación: Básico - descriptivo Población y muestra Semillas de diez variedades de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. “quinua” obtenidas de las zonas de producción de la región Ayacucho, Huancayo, Puno y del Instituto Nacional de Innovación Agrícola (INIA). Cantidad: 20 gramos Muestreo. El tipo de muestreo será por conveniencia (no probabilístico). Unidad de análisis 1 gramo de cada variedad de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. “quinua” Procedimiento para la recolección de datos Plan de recolección de datos • Obtención de extracto de las semillas de quinua. • Determinación del contenido de carotenoides. • Determinación del contenido de fenoles totales. • Determinación de la actividad antioxidante Diseño metodológico Según el problema propuesto y los objetivos planteados el tipo de estudio es descriptivo. M → O M = Muestra O = observación Análisis de datos Los resultados fueron procesados mediante el análisis de varianza (ANOVA), análisis múltiple de Scheffé y la correlación de Pearson considerando una significancia estadística de $p < 0,05$ y un intervalo de confianza que fue evaluada al 95 %, se utilizó software SPSS 27 y Microsoft Excel 2021.
Problemas específicos • ¿Cuánto será el contenido de fenoles totales presentes en variedades de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. “quinua”? • ¿Cuánto será el contenido de carotenoides presente en variedades de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. “quinua”? • ¿Cuánto será la actividad antioxidante de diferentes variedades de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. “quinua”? • ¿Qué relación existirá entre el contenido de carotenoides y fenoles totales con la actividad antioxidante?	Objetivos específicos • Determinar el contenido de fenoles totales en diez variedades de semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. “quinua”. • Determinar el contenido de carotenoides en diez variedades de semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. “quinua”. • Determinar la actividad antioxidante de diez variedades de semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. “quinua”. • Relacionar el contenido de fenoles totales y de carotenoides con la actividad antioxidante en las diez variedades de semillas.				

Nota. Elaboración propia.

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
RESOLUCIÓN DECANAL N° 708-2025-UNSCH-FCSA-D

BACHILLER: Joselin Edwin HUAMANI HUAMAN

En la ciudad de Ayacucho, siendo nueve y quince de la mañana del día veintiséis del mes de setiembre del año dos mil veinticinco, se reunieron en el aula J-201 los docentes miembros del jurado evaluador, para el acto de sustentación de trabajo de tesis titulado: **Contenido de carotenoides y actividad antioxidante de diez variedades de semillas de *Chenopodium quinoa* Willd. "quinua", Ayacucho 2024.** ; presentando por el Bachiller **Joselin Edwin HUAMANI HUAMAN**, para optar el título profesional de Químico Farmacéutico. El jurado evaluador está conformado por:

Presidente: Prof. Johnny Aldo Tinco Jayo (Delegado por el decano)

Miembros: Prof. Edwin Carlos Enciso Roca

Prof. Kirianova Godoy Bautista

4to jurado: Prof. Stephany Massiell Barbaran Vilcatoma

Asesor: Prof. Enrique Javier Aguilar Felices

Secretaria Docente: Prof. Stephany Massiell Barbaran Vilcatoma

Con el quorum de reglamento se dio inicio la sustentación de tesis, el presidente de la comisión pide a la secretaria docente dar lectura a los documentos presentados por la recurrente, resolución decanal y algunas indicaciones a la sustentante.

Da inicio a la exposición el Bachiller: Joselin Edwin HUAMANI HUAMAN, y una vez concluida, el presidente de la comisión solicita a los miembros del jurado evaluador realizar sus respectivas preguntas, seguidamente se da pase a la asesora de tesis, para que pueda aclarar algunas preguntas, interrogantes, aclaraciones.

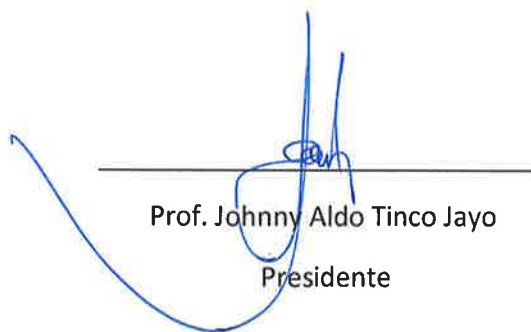
El presidente invita a la sustentante abandonar el aula para que pueda proceder con la calificación.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN FINAL

Bachiller: Joselin Edwin HUAMANI HUAMAN

JURADOS	TEXTO	EXPOSICIÓN	PREGUNTAS	P.FINAL
Prof. Edwin Carlos Enciso Roca	17	17	17	17
Prof. Kirianova Godoy Bautista	18	18	18	18
Prof. Stephany Massiell Barbaran Vilcatoma	18	18	16	17
PROMEDIO FINAL				17

De la evaluación realizada por los miembros del jurado calificador, llegaron al siguiente resultado: **Aprobar** al Bachiller Joselin Edwin HUAMANI HUAMAN; quien obtuvo la nota final de diecisiete (17) para la cual los miembros del jurado evaluador firman al pie del presente, siendo las 10:50 de la mañana, se da por concluido el presente acto académico.



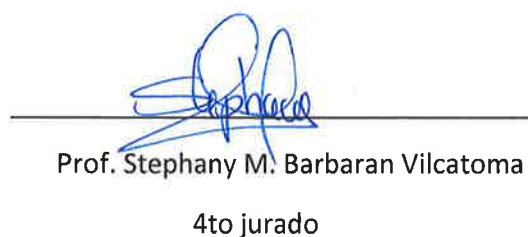
Prof. Johnny Aldo Tinco Jayo
Presidente



Prof. Edwin Carlos Enciso Roca
Miembro



Prof. Kirianova Godoy Bautista
Miembro



Prof. Stephany M. Barbaran Vilcatoma
4to jurado



Prof. Enrique Javier Aguilar Felices
Asesor



Prof. Stephany M. Barbaran Vilcatoma
Secretaria docente



UNSCH

**FACULTAD DE
CIENCIAS DE LA SALUD**

**ESCUELA PROFESIONAL DE
FARMACIA BIOQUÍMICA**



El instructor en Segunda Instancia, en virtud de la RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, y en calidad da director de la Escuela Profesional de farmacia y Bioquímica, emite la presente

CONSTANCIA

DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A Joselin Edwin HUAMANI HUAMAN, Bachiller de la Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica de la Facultad de Ciencias de la Salud, en mérito a que la tesis titulada: Contenido de carotenoides y actividad antioxidante de diez variedades de semillas de *Chenopodium quinoa* Willd. "quinua", Ayacucho 2024.; ha alcanzado un índice de similitud de 3 % (tres); cumpliendo satisfactoriamente lo establecido en el Art. 13 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga mediante el uso del SOFTWARE TURNITIN.

En ese sentido, se emite la presente constancia en señal de conformidad.

Ayacucho, 03 de octubre de 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
ESCUELA PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA

Dr. Johnny Aldo Tinco Jayo
Director (e)

Constancia N° 007-2025

Contenido de carotenoides y actividad antioxidante de diez variedades de semillas de *Chenopodium quinoa* Willd. “quinua”, Ayacucho 2024.

por Joselin Edwin Huamani Huaman

Fecha de entrega: 04-sept-2025 02:44p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2742052551

Nombre del archivo: 00_TESIS_JOSELIN_E._HUAMANI_HUAMAN_04-09-2025.pdf (1.72M)

Total de palabras: 16182

Total de caracteres: 86996

Contenido de carotenoides y actividad antioxidante de diez variedades de semillas de *Chenopodium quinoa* Willd. “quinua”, Ayacucho 2024.

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%	4%	2%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	3%
	Trabajo del estudiante	

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 30 words
Excluir bibliografía	Activo		