

**UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**



ESCUELA DE POSGRADO

TESIS

**RELACIÓN DE LA CAPACIDAD
ANTIOXIDANTE TOTAL Y COLOR DE LA
QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.)
MEDIDO POR COLORIMETRIA Y
ESPECTROFOTOMETRIA DE
REFLECTANCIA DIFUSA**

PRESENTADO POR:

MACAVILCA TICLAYAURI EDWIN ANTONIO

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LOS
ALIMENTOS**

ASESOR:

Dra. ZOILA F. HONORIO DURAN

HUACHO - 2019

**RELACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL Y
COLOR DE LA QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) MEDIDO POR
COLORIMETRIA Y ESPECTROFOTOMETRIA DE
REFLECTANCIA DIFUSA**

MACAVILCA TICLAYAURI EDWIN ANTONIO

TESIS DE MAESTRÍA

ASESOR: Dra. ZOILA F. HONORIO DURAND

UNIVERSIDAD NACIONAL

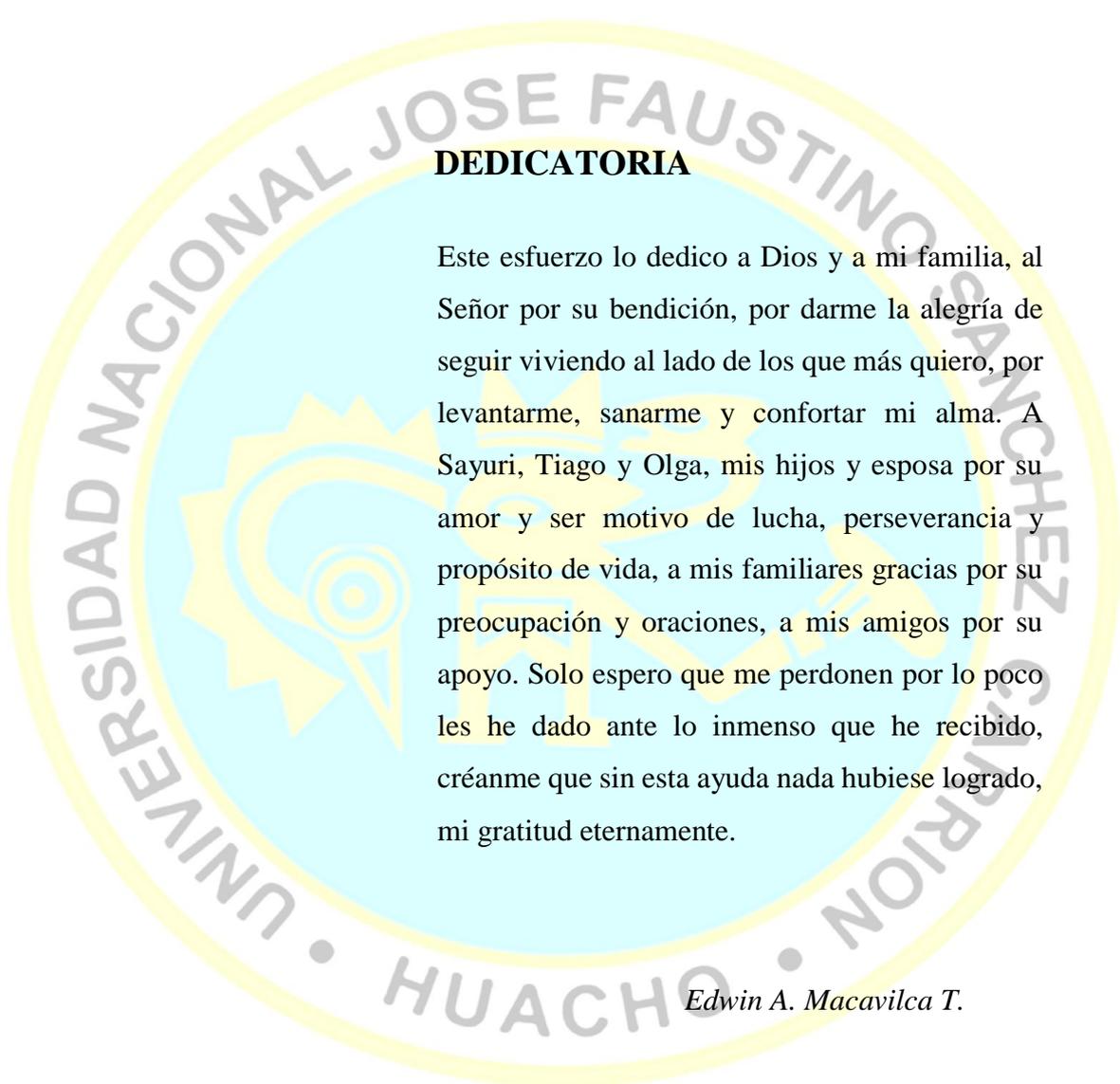
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRO EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS

HUACHO

2019



DEDICATORIA

Este esfuerzo lo dedico a Dios y a mi familia, al Señor por su bendición, por darme la alegría de seguir viviendo al lado de los que más quiero, por levantarme, sanarme y confortar mi alma. A Sayuri, Tiago y Olga, mis hijos y esposa por su amor y ser motivo de lucha, perseverancia y propósito de vida, a mis familiares gracias por su preocupación y oraciones, a mis amigos por su apoyo. Solo espero que me perdonen por lo poco les he dado ante lo inmenso que he recibido, créanme que sin esta ayuda nada hubiese logrado, mi gratitud eternamente.

Edwin A. Macavilca T.

AGRADECIMIENTO

El autor de esta tesis hacer contar el siguiente agradecimiento a:

La Dra Zoila Honorio Durad, por su apoyo, orientación y motivación para culminar esta investigación, incluyendo a la Dra Soledad Yañes Bustamante, quien hizo lo mismo desde los estudios de maestría.

Al Dr. Luis Alberto, Condezo Hoyos, un gran amigo e investigador científico, por su guía, colaboración, ayuda y orientación, por su apoyo con las muestras de quinua traídas desde el Altiplano Peruano.

Al Vice rectorado de Investigación de la UNJFSC, por el financiamiento al proyecto: Formulación de bebidas funcionales con capacidad antioxidante a base de frutas y verduras. La infraestructura y equipamiento permitió la realización de esta tesis.

A los colegas, tesisistas, alumnos y amigos que de alguna forma me apoyaron en el laboratorio, para lograr realizar esta investigación.

Y a todo aquel que esté leyendo estas líneas: sin ti, que lees, investigas y buscas información, no habría ciencia.

Muchas gracias.

Edwin A. Macavilca T

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática	1
1.2 Formulación del problema	2
1.2.1 Problema general	2
1.2.2 Problemas específicos	2
1.3 Objetivos de la investigación	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Justificación de la investigación	3
1.5 Delimitaciones del estudio	4
1.6 Viabilidad del estudio	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

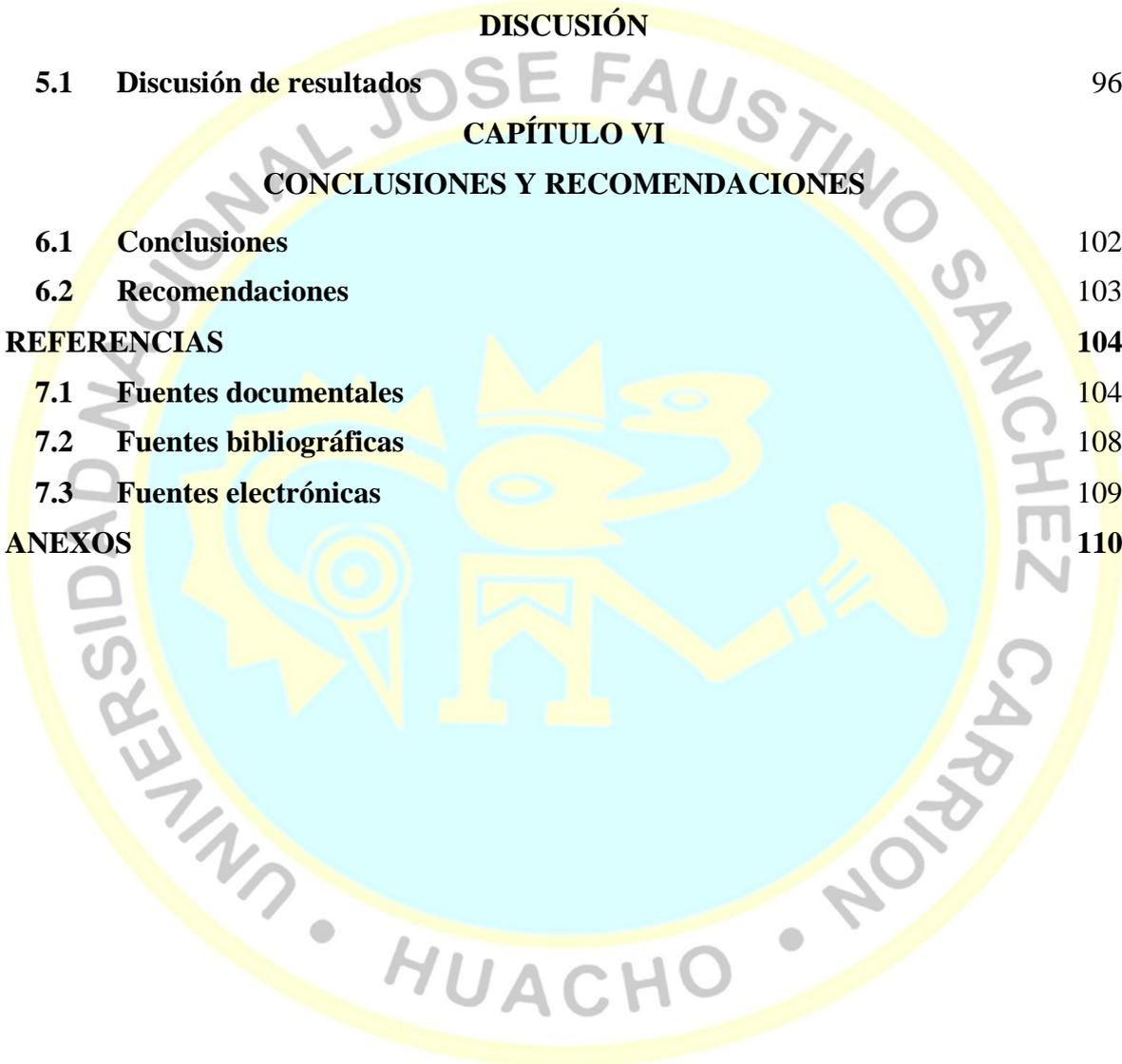
2.1 Antecedentes de la investigación	5
2.1.1 Investigaciones internacionales	5
2.1.2 Investigaciones nacionales	7
2.2 Bases teóricas	8
2.4 Definición de términos básicos	45
2.5 Hipótesis de investigación	45
2.5.1 Hipótesis general	45
2.5.2 Hipótesis específicas	46
2.6 Operacionalización de las variables	46

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico	47
3.2 Población y muestra	49
3.2.1 Población	49
3.2.2 Muestra	49

3.3	Técnicas de recolección de datos	49
3.4	Técnicas para el procesamiento de la información	52
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS		
4.1	Análisis de resultados	55
4.2	Contrastación de hipótesis	84
CAPÍTULO V		
DISCUSIÓN		
5.1	Discusión de resultados	96
CAPÍTULO VI		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
6.1	Conclusiones	102
6.2	Recomendaciones	103
REFERENCIAS		104
7.1	Fuentes documentales	104
7.2	Fuentes bibliográficas	108
7.3	Fuentes electrónicas	109
ANEXOS		110



RESUMEN

En la presente investigación se tuvo como Objetivo medir los parámetros colorímetros CIELAB en 32 quinuas mediante dos técnicas; empleando un colorímetro triestimulo (CR-400) y por Espectrofotometría de reflectancia difusa (LAMBDA 1050), y evaluar su relación con la capacidad antioxidante total mediante un método directo DPPH-Quencher. En los Materiales y Métodos se emplearon 30 quinuas coloreadas procedentes del altiplano Peruano y se añadió 2 quinuas blancas-cremas comerciales, se midió los parámetros L^* , a^* , b^* , c^* , h° e índice de color en quinuas enteras y molidas, la capacidad antioxidante método tradicional DPPH con extracción (Metanol/agua 1/1 v/v, y Acetona/Agua 70/30 v/v) y sin extracción directo DPPH-Quencher ambos expresados en $\mu\text{Mol DPPH inhibido/g}$ de quinua, con el análisis de conglomerados y componentes principales (PCA) se agruparon las quinuas por el color y capacidad antioxidante, con la prueba de Wilcoxon en el índice de color se estableció si ambas técnicas colorimétricas son iguales, al igual en las técnicas de medición de la capacidad antioxidante, el índice de correlación por el método de Spearman estableció el grado de asociación entre el color con la capacidad antioxidante. En los Resultados los parámetros colorimétricos se correlacionan bien ($r > 0.92$ y $r < 0.99$) entre sí, pero el índice de color solo es significativo cuando las muestras son enteras ($p=0.2462$) mas no cuando están molidas, se formaron 5 grupos de quinua por su color en ambas técnicas (Ginda-rosada, rojo-violeta, amarillo-naranja, crema-amarillo pálido y ploma-gris-negra). El método DPPH extractable dio valores bajos (0.32 a 4.18 $\mu\text{Mol/g}$ de quinua) no comparable con el método directo (29.42 a 87.18 $\mu\text{Mol/g}$ de quinua) y hay mayor poder antioxidante en las quinuas de color rojo-violeta (Pasankalla Rosada-Guinda) y amarillo-naranja (Witulla amarilla), y las más bajas de color blanco-crema, los valores colorimétrico L^* , h° y el índice de color (IC) medidos por ambas técnica son las que tienen una alta correlación con la actividad antioxidante según el método directo DPPH-Quencher solo cuando se mide en las quinuas enteras. Conclusiones; la medición del color de las quinuas mediante el colorímetro y el espectrofotómetros son técnicas similares si el grano es entero, las quinuas rojo-violeta y amarillas-naranja tienen mayor capacidad antioxidante: los parámetros L^* , h° y el índice de color de las quinuas enteras están mejor correlacionados con su capacidad antioxidante total.

Palabras clave: Quinuas coloreadas, poder antioxidante, DPPH, color CIELAB

ABSTRACT

In the present investigation, the **Objective** was to measure colorimetric parameters according to CIELAB color space in 32 quinoas by two techniques; a tristimulus colorimeter (CR-400) and by diffuse reflectance spectrophotometry (LAMBDA 1050), and evaluate its relationship with the total antioxidant capacity by direct DPPH-Quencher method. **Materials and Methods**; 30 colored quinoas from Altiplano Peru were used and 2 white quinoas-commercial, the parameters L^* , a^* , b^* , c^* , h° and color index were measured in whole quinoa seeds and ground, the DPPH traditional antioxidant capacity with extraction (Methanol/water 1/1 v/v, and Acetone/Water 70/30 v/v) and direct method DPPH-Quencher expressed in $\mu\text{Mol DPPH inhibited/g}$ of quinoa, the conglomerates analysis and principal component analysis (PCA) allowed groups of quinoas to be formed by colors and antioxidant capacity, with the color index and Wilcoxon test was established if both colorimetric techniques are equal, as well as In the techniques for measuring antioxidant capacity, the correlation index by the Spearman method established the degree of association between colorimetric parameters and antioxidant capacity. **Results**; it was found that the colorimetric parameters correlate well ($r > 0.92$ and $r < 0.99$) with each other, but the color index is only significant when the samples are whole ($p = 0.2462$) but not when they are ground, they were formed 5 groups by both techniques (Ginda-pink, red-violet, yellow-orange, cream-pale yellow and lead-gray-black) differentiated by the color parameters in whole quinoa. The extractable DPPH method gave low values (0.32 to 4.18 $\mu\text{Mol/g}$ of quinoa) not comparable with the direct method (29.42 to 87.18 $\mu\text{Mol/g}$ of quinoa) and there is greater antioxidant power in the red-violet quinoas (Pasakalla Rosada-Guinda) and yellow-orange (Witulla amarilla) and the lowest cream-white, the colorimetric values L^* , h° and the color index (CI) measured by both techniques are those that have a high correlation with antioxidant activity according to the DPPH-Quencher direct method only when measured in whole quinoa. **Conclusions**; the color measurement of quinoa using the colorimeter and spectrophotometers are similar techniques if the grain is whole, the red-violet and yellow-orange quinoa have greater antioxidant capacity: the parameters L^* , h° and the color index of the Whole quinoa are better correlated with their total antioxidant capacity.

Keywords: Colored quinoa, antioxidant power, DPPH, color CIELAB

INTRODUCCIÓN

Uno de esos cultivos de mayor importancia fue la quinua en la época precolombina en América del Sur, en las zonas conocido como Altiplano en Perú y Bolivia. Era tan importante para los incas que se le consideraba sagrado y se le llamaba "grano madre" en el idioma quechua. Después de la conquista española (1532 d. C.) el uso de la quinua casi se desvanece pero aun así sigue siendo el alimento del pueblo quechua y aymara en las zonas alto andinas. Las semillas de quinua tienen propiedades funcionales y nutricionales deseables, con niveles considerablemente más altos en minerales y de algunas vitaminas más que los cereales convencionales, así como proteínas con alto contenido en lisina con buena digestibilidad (Mäkinen, 2014). La quinua también tiene una amplia variabilidad genética y, por lo tanto, puede adaptarse a condiciones ambientales muy diferentes, incluidos los países europeos. Debido a estos factores, la FAO lo ha declarado como "uno de los cultivos más prometedores de la humanidad", y a partir de la Declaración del Año Internacional de la Quinua por las Naciones Unidas en el 2013 (MINAGRI, 2015), se ha intensificado la producción de quinua, cada vez más se reportan investigaciones, en las que últimamente podríamos resaltar son la caracterización y las propiedades funcionales de este pseudocereal, como se presenta en diversos colores se estima conveniente estudiar la relación entre el color y la actividad antioxidantes. Por lo que en esta investigación se apuntó al objetivo de medir el color por dos técnicas colorimétricas (colorímetro triestimulo y espectrofotómetro de reflectancia difusa) a los granos de quinua, evaluar y correlacionar su capacidad antioxidante total mediante el ensayo DPPH-Quencher. Se midió el color en granos enteros y molidos por ambas técnicas y se estableció cual de la forma y técnica era la adecuada, se determinó la capacidad antioxidante por dos modo mediante el método DPPH ya sea con la tradicional extracción y el directo tipo Quencher, finalmente se estableció si la capacidad antioxidante de las quinuas tiene correlación con algunos de los parámetros colorimétricos y cómo influye la forma y color de la muestra.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

La quinua es un pequeño grano andino que presenta una gran diversidad biológica, se encuentra reflejada en alrededor de tres mil muestras registradas en los bancos de germoplasma del Perú. Actualmente goza de una creciente demanda en el mercado nacional y extranjero gracias a que es un producto de alto contenido de macronutrientes, aminoácidos, minerales y compuestos bioactivos, es considerada como un alimento nutracéutico, que ha sido desde hace más de cinco mil años atrás la base de la dieta alimenticia de los pobladores de las zonas andinas, en especial del antiguo Perú, que comprendía a Bolivia, parte de Ecuador, Chile y Argentina.

Actualmente es importante conocer el contenido de compuestos bioactivos entre ello la capacidad antioxidante de los alimentos que tienen importancia nutricional ya que estos componentes son naturales y juegan un papel importante en la prevención y tratamiento de varias enfermedades entre ellas el cáncer, es por ello que se ha empezado a realizar investigaciones en evaluar las propiedades funcionales de la quinua. Así mismo la actividad antioxidante de muchos alimentos tiene relación con el color del mismo, a esto podemos adicionar que el color de algún modo cualitativo es el primer factor organoléptico que se percibe, provee información sobre posibles defectos, el tipo o el estado de evolución de este, también tiene una importante influencia en la aceptabilidad y valor del producto. Por lo expuesto en este trabajo de investigación se midió el color de los granos de quinua por dos técnicas instrumentales la colorimétrica y por espectrofotometría de reflectancia difusa, también su capacidad antioxidante total por el ensayo DPPH-Quencher, y se evaluó la correlación que hay entre todas las mediciones.

1.2 Formulación del problema

En la actualidad existe un gran interés en conocer las características funcionales de los alimentos, y en este sentido una de las formas más empleadas es medir su actividad antioxidante, ya que está estrechamente relacionada con sus sustancias bioactivas o metabolitos secundarios o lo que se denominan también fitoquímicos o fitonutrientes. Gracias a sus importantes propiedades benéficas, efectos biológicos y a sus atributos sensoriales, actualmente ocupan un área de investigación emergente y con un gran futuro, sumado a la idea generalizada que el consumo de alimentos con mayor capacidad antioxidante puede, afectar de manera positiva la patología de las enfermedades crónicas y el proceso de envejecimiento. Además, la creencia de que los compuestos naturales son innatamente más seguros que los compuestos sintéticos y por consiguiente son comercialmente más aceptados. Por consiguiente sería necesario investigar esta propiedad en los granos de quinua que son mayormente producidas en el altiplano andino Perú.

La quinua como alimento nutracéutico tiene un contenido relativamente alto de proteína de buena calidad y puede ser considerado una buena fuente de fibra dietética y otros compuestos bioactivos tales como compuestos fenólicos (Repo-Carrasco-Valencia & Serna, 2011) y por tanto es necesario contribuir con el conocimiento de su valor funcional valorando su capacidad antioxidante, así mismo debido que los granos de quinua se presentan en diversos colores y se está comercializando de este modo dando un mayor valor a tonalidades oscuras, es de importancia medir el color y establecer el grado de correlación con su actividad antioxidante.

1.2.1 Problema general

¿Cuál es la relación entre el color y la capacidad antioxidante total de los diferentes granos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) medidos por colorimetría y por espectrofotometría de reflectancia Difusa?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿La colorimetría y la Espectrofotometría de Reflectancia Difusa son dos métodos similares para medir el color en el espacio CIELAB (L^* a^* b^* C^* y h°) de los granos de quinua?
- ¿En cuánto será la capacidad antioxidante total de la quinua determinada por el método directo DPPH-Quencher?

- ¿Existirá una relación entre los parámetros de color en el espacio CIELAB y el contenido de capacidad antioxidante total en la quinua?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la relación entre los parámetros colorimétricos del espacio CIELAB y la capacidad antioxidante total de las quinuas (*Chenopodium quinoa* Willd.) medidos por dos técnicas diferentes, la colorimetría y por Espectrofotometría de Reflectancia Difusa.

1.3.2 Objetivos específicos

- Medir el color de los granos de quinua en el espacio CIELAB (L^* , a^* , b^* , C^* y h°) mediante dos técnicas instrumentales, la colorimetría y por Espectrofotometría de Reflectancia Difusa
- Determinar la capacidad antioxidante total de las quinuas mediante el ensayo directo DPPH-Quencher.
- Evaluar la posible relación entre los parámetros de color del espacio CIELAB (L^* , a^* , b^* , C^* y h°), Índice de color con la capacidad antioxidante total de la quinua.

1.4 Justificación de la investigación

A partir de la Declaración del Año Internacional de la Quinua por las Naciones Unidas en el 2013 (MINAGRI, 2015), en reconocimiento a los pueblos andinos que la mantienen, controlan, protegen y preservan como alimento para la presente y futuras generaciones, sumado a los conocimientos tradicionales y prácticas de vida en armonía con la naturaleza; se identifica la necesidad de contribuir con más investigaciones a fin de revalorar a este apreciado pseudocereal en la forma de evaluar su propiedad funcional más allá de sus cualidades nutritivas y nutraceuticas, y una de las formas es determinando su capacidad antioxidante, también está el color como una caracterización cualitativa, valor estético que puede influir en la calidad y en la adquisición para el consumo.

Con la investigación se busca medir el color de diferentes granos de quinua mediante dos técnicas innovadoras y también determinar la capacidad antioxidante ya que esta es considerada como la capacidad para neutralizar la actividad nociva de especies reactivas del oxígeno generado por el propio metabolismo celular o como respuesta a factores exógenos, que están relacionadas con enfermedades. Frente a esto es relevante medir la actividad antioxidante y el color de las quinuas, así ofrecer y contribuir con el conocimiento de su diversidad, mejorar el valor y la calidad de este grano milenario, beneficiando de este modo a productores y consumidores.

1.5 Delimitaciones del estudio

El conocimiento de los componentes bioactivos en los alimentos de origen vegetal es de gran interés en el ámbito internacional y nacional, pero el estudio se limitó a determinar la capacidad antioxidante de granos de quinua agrupados en cuatro colores distintos (blanca, rosada, amarilla y negra) con un total de 30 tonalidades de color en quinuas procedentes del altiplano, y se agregó 2 quinuas de mayor comercialidad en los mercados locales a fin de comparar el color y su actividad antirradical, las evaluaciones a nivel de laboratorio se realizaron en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión sito en la Ciudad de Huacho, así mismo este estudio estuvo sujeto a la disponibilidad de las muestras de granos de quinua y del instrumental analítico que en este caso es para la cuantificación de la capacidad antioxidante y el color empleando técnicas colorimétricas y por Espectrofotometría de Reflectancia Difusa.

1.6 Viabilidad del estudio

El presente estudio se realizó a nivel de laboratorio con el fin de determinar la capacidad antioxidante y el color en granos de quinua procedentes del altiplano y dos muestras comerciales expandidas en los establecimientos locales, las evaluaciones en laboratorio fueron posibles al contar con el equipamiento correspondiente a un colorímetro manual triestimulo, una lectora de microplacas multimodal (absorbancia, luminiscencia, fluorescencia y ELISA) y un espectrofotómetro UV-Vis-NIR con un módulo de esfera de integración de 150 mm para las mediciones en Reflectancia Difusa, con el cual se midió el color.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Investigaciones internacionales

Abderrahim, et al. (2015), estudiaron 13 variedades de granos de quinua con tonalidades rojo-rosado procedente de diferentes provincias del altiplano peruano, los nombres comunes de las quinuas fueron: M1 = Cuchiwilla rosada, M2 = Quinua rosada, M3 = Quinua chica, M4 = Pasankalla dorado, M5 = Quinua real rosado, M6 = Pasankalla rojo, M7 = Quinua rosado, M8 = Cuchiwilla roja, M9 = Ayrampo, M10 = Panela, M11 = Witulla roja, M12 = Cuchiwilla puaquinua y M13 = Vilacuyo, las evaluaciones fueron las características físicas, los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante total (TAC), los resultados mostraron que la quinua es una fuente rica de compuestos fenólicos (1,23-3,24 mg equivalentes de ácido gálico/g) y flavonoles (0,47-2,55 mg equivalentes de quercetina/g) y betalainas (0,15-6,10 mg/100 g), Por otra parte, estas muestras de quinua mostraron una capacidad antioxidante alta en comparación con los cereales y fue medida por el procedimiento directo de QUENCHER-CUPRAC, obteniendo valores de TAC (119,8-335,9 mmol Trolox equivalentes/kg), el color de las muestras de quinua se representaron en el color del espacio HSL (gráfico polar). Además, el parámetro de color fractal se determinó utilizando el software de análisis de imágenes armónicas y fractales (Harfa) mostrando que los granos evaluados no tiene un color rojo puro, sino una mezcla que correspondía a diferentes valores de color fractal (51,0-71,8), y que variaron de pequeño a grande, estableciendo que el parámetro L del color se correlacionaron negativamente con la capacidad antioxidante ($r = 0,779$), pero positivamente con las betalainas ($r = 0,730$) y con los compuestos fenólicos totales ($r = 0,676$). En general, estos resultados sugieren que las semillas de quinua coloreadas cultivadas bajo condiciones extremas en la región del

Altiplano peruano podrían ser interesantes como fuente natural de ingredientes funcionales de alimentos.

Escribano, et al. (2017), realizaron una investigación en donde la presencia de betalaínas se correlaciona con altas actividades antioxidantes y de inhibición de radicales libres medidas con los ensayos FRAP, ABTS y ORAC en extractos de granos de 29 variedades peruanas. Los resultados de FRAP indican una capacidad antioxidante muy alta para las muestras pigmentadas de quinua. Todos los extractos de granos de quinua violeta, roja y amarilla muestran una notable actividad antioxidante en comparación con los blancos y negros. Esto es como 18.4 ± 1.7 mmol Trolox/kg para la variedad BGQ-174. La mayor actividad se observó para las variedades rojo-violeta que contienen tanto betacianinas como betaxantinas, con notable actividad también exhibida por las variedades amarillas POQ-133 (12.5 ± 2.3 mmol Trolox/kg) y POQ-132 (15.2 ± 1.4 mmol Trolox/kg). Estas dos variedades se caracterizan por un alto contenido de dopaxantina, cuya subestructura dihidroxilada demostró una alta capacidad antioxidante.

Con respecto al ensayo radical ABTS+, Se observó una disminución en la concentración del radical en todas las muestras, pero esta fue mayor en las variedades rojo violeta y amarillo. En general, se observa que las variedades que contienen más betalaínas presentan valores de TEAC más altos. La mayor capacidad antirradical se determinó para la variedad rojo-violeta BGQ-34 (valor de TEAC $47,4 \pm 1,5$ mmol Trolox/kg). El valor más alto determinado para los granos de quinua amarilla fue de 44.1 ± 0.8 mmol Trolox/kg. Las variedades blancas de quinua que carecen de betalaínas arrojaron valores TEAC de 8.3 ± 1.5 (variedad "Blanca de Junín"), 8.2 ± 1.9 ("Inia Salcedo") y 6.0 ± 1.5 ("Rosada de Huancayo") mmol Trolox / kg. Aunque la tendencia general entre las variedades de quinua se mantiene para los ensayos FRAP y ABTS, los valores relativos en las diferentes variedades presentaron divergencias. El descubrimiento de betaxantinas y la identificación de nuevas betacianinas en los granos de quinua explican la diversidad de colores presentes en este pseudo-cereal comestible utilizado como cultivo agronómico tradicional en la región andina. La coexistencia de pigmentos genera diferentes tonos que podrían utilizarse para ajustarse a los requisitos de color específicos de los productos para las industrias farmacéutica, cosmética o alimentaria.

2.1.2 Investigaciones nacionales

Valencia, Cámara, Ccapa, Catacora, & Quispe (2017), evaluaron azúcares reductores, compuestos bioactivos y actividad antioxidante de 24 accesiones de quinua de la colección nacional del INIA Perú, en los compuestos bioactivos estudiaron los contenidos de fenólicos totales, flavonoides totales y betalainas en las formas de betacianinas y betaxantinas. Para el caso específico de la actividad antioxidante emplearon los métodos DPPH y ABTS comparando extractos de Etanol-Agua (1:1) y Metanol-agua (2:1), para el método de DPPH reportaron en los equivalentes de Acido gálico GAE y Trolox TEAC, y en el método ABTS como equivalente Trolox TEAC. Los resultados que obtuvieron son en azúcares reductores en las semillas de quinua van entre los 30,973 y 88,278 mg glucosa/g, sobresaliendo la accesión A232. En compuestos fenólicos los resultados alcanzaron los 3,437 mg GAE/g, mientras que para los flavonoides los 1,029 equivalentes mg de catequina/g. A nivel de compuestos nitrogenados, las betacianinas se encontraron entre los 0.278 y 0.883 mg/100 g, mientras que las betaxantinas entre 1,139 y 13,760 mg/100 g, sobresaliendo en ambos casos la accesión A124.

En el caso de capacidad antioxidante según DPPH expresado en GAE de los extractos EtOH-H₂O (1:1) se observaron valores entre 40,772 y 81,851 mg GAE/100 g; mientras que como TEAC los valores estuvieron entre los 4816,080 y 1195,746 equivalentes de Trolox μ mol/100 g, sobresaliendo la accesión A123, y cuya capacidad coincidió con la capacidad antioxidante del extracto MeOH-H₂O (2: 1) según DPPH y expresada como TEAC

La actividad antioxidante, según el método de ABTS, prepararon extractos MeOH-H₂O (2:1) y EtOH-H₂O (1:1) y se reportó como TEAC, los resultados muestran valores entre los 1036,549 y 1835,784 μ mol Trolox/100 g para MeOH- H₂O (2:1), y 878,444 y 1507,938 μ mol Trolox/100 g para el extracto EtOH-H₂O (1:1), sobresaliendo en ambos extractos la accesión A124.

La correlación de Pearson reveló correlaciones muy altamente significativas ($p \leq 0,001$) entre los valores de capacidad antioxidante según DPPH y ABTS de los extractos (EtOH-H₂O (1:1) y MeOH-H₂O (2:1)) en TEAC, la capacidad antioxidante según DPPH en GAE se correlacionó de manera significativa con los compuestos fenólicos, y la capacidad antioxidante de los extractos EtOH-H₂O (1:1) según ABTS en TEAC se correlacionó significativamente con los flavonoides. Las betalaínas y betaxantinas presentaron correlaciones muy altamente significativas ($p \leq 0,001$), mientras que estos compuestos

nitrogenados se correlacionaron de manera significativa con los flavonoides (betacianinas, $p \leq 0.001$; betaxantinas, $p \leq 0.01$).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 La quinua

Según el (IICA, (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura), 2015), la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un grano alimenticio originario de los andes peruanos y de la región andina de América del Sur, territorio importante como centro de domesticación de plantas alimenticias, debido a la existencia de microclimas y diferencias altitudinales que dan origen a una diversidad de zonas agroecológicas. Es una planta herbácea de la familia de las Chenopodiaceae que alcanza un tamaño de 0.5 a 3.0 m de altura, dependiendo del genotipo y de las condiciones ambientales, y posee un tallo recto o ramificado de color variable. Las semillas son las que contienen la parte del mayor valor alimenticio; son pequeños gránulos con diámetros de entre 1.8 y 2.2 mm, de color variado: blanco, café, amarillo, rosado, gris, rojo y negro.

La quinua es una planta cultivada por el hombre peruano desde hace casi 6000 años, y tiene su probable centro de origen en el Altiplano de Puno. En el Perú se han identificado algunos genocentros o centros de domesticación de quinua en los departamentos de Ayacucho y Puno, donde se conserva el valioso germoplasma de este cultivo. Se ha encontrado también en países como Bolivia y Ecuador, La quinua es considerada un cultivo C4, es decir, realiza la fotosíntesis a temperaturas elevadas y fija de manera eficiente el carbono en el suelo. La quinua es un grano nutraceutico por sus cualidades alimenticias y medicinales, y gracias a ello goza de una creciente demanda en el mercado nacional y extranjero (Villanueva, 2015).

Las bondades peculiares del cultivo de la quinua están dadas por su alto valor nutricional. El contenido de proteína de la quinua varía entre 13,81 y 21,9% dependiendo de la variedad. Debido al elevado contenido de aminoácidos esenciales de su proteína, la quinua es considerada como el único alimento del reino vegetal que provee todos los aminoácidos esenciales, que se encuentran extremadamente cerca de los estándares de nutrición humana establecidos por la (FAO, 2011).

Clasificación taxonómica

La Quinoa (*Chenopodium quinoa*) es un pseudocereal andino planta floreciente cultivada como un cultivo de grano para la comercialización de sus semillas descrito por (MINAGRI, 2017).

Considerada un pseudo-cereal porque pertenece a la familia Chenopodiáceas (familia de las espinacas y la remolacha) y no a la familia de las gramináceas (como el trigo). El género *Chenopodium* es el principal dentro de esta familia y tiene amplia distribución mundial, con cerca de 250 especies y según el sistema descrito por Giusti, (1970) mencionado por (De La Riva, 2010), donde la quinua pertenece a la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Vegetal

Sub reino: Phanerogamae

División: Angiospermae

Clase: Dicotyledoneae

Sub clase: Archychlamydeae

Orden: Centrospermales

Familia: Chenopodiáceae

Género: *Chenopodium*

Sección: Chenopodia

Especie: *Chenopodium quinoa* Will denow.

Características botánicas

Quinua tiene adaptado a diferentes áreas geográficas de los Andes, que se ha derivado en la existencia de cinco variedades diferentes de quinua en base sobre su ecotipo descrito por (León, 2003; Bazile et al., 2015) mencionado por (Cancino, Vázquez, & Quispe, 2018): i) valles interandinos ecotipo, que tiene largos períodos de crecimiento entre 2000 y 3000 m sobre el nivel del mar; ii) ecotipo de las tierras altas, una variedad más pequeña resistente a las heladas; iii) ecotipo Yungas, que es común en el subtropical boliviano bosque; iv) ecotipo de Salares, que tiene alta resistencia a la solución salina suelos y tiene un mayor contenido de proteína que las otras variedades; y, v) ecotipo costero, que se produce principalmente en las tierras bajas del norte Chile.

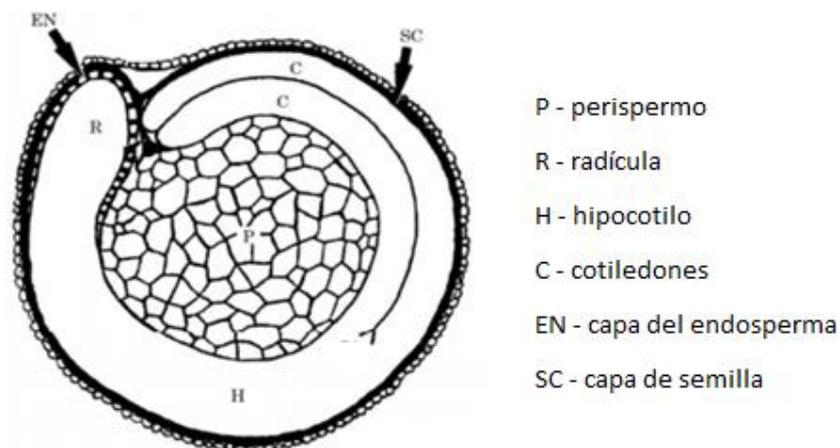
Bazile, Bertero, & Nieto (2014), indica que la quinua es una planta herbácea anual, dicotiledónea de amplia dispersión geográfica, con características peculiares en su morfología, coloración y comportamiento en diferentes zonas agroecológicas donde se cultiva. La quinua es una planta herbácea anual, de amplia dispersión geográfica, La semilla es pequeña de 2,5 mm de diámetro como media, el grano es redondo y algo aplanado de color blanco marfileño.

Presenta características peculiares en su morfología, coloración y comportamiento cuyos estudios han comprobado que estas características le permiten ser resistentes en diferentes zonas agroecológicas donde se la cultiva, presenta enorme variación y plasticidad para adaptarse a varias condiciones ambientales, se cultiva desde el nivel del mar hasta 4000 msnm, muy tolerante a los factores climáticos adversos como son: sequía, heladas, salinidad de suelos y otros que afectan a las plantas cultivadas.

Su periodo vegetativo varía desde 90 hasta 240 días, crece con precipitaciones desde 200 a 260 ml anuales, se adapta a suelos ácidos de pH 4,5, hasta alcalinos con pH de 9,0. Se adapta a diferentes tipos de suelos desde los arenosos hasta los arcillosos, la coloración de la planta es también variable con los genotipos y etapas fenológicas, desde el verde hasta el rojo, pasando por el púrpura oscuro, amarillo, anaranjado granate y demás gamas que se puedan diferenciar (Pogo, 2013).

En la figura 1 se observa la estructura del grano de quinua: el endosperma es una capa de 1 a 2 células de espesor que cubre el micropilo. Las reservas de almacenamiento están estrictamente compartimentadas (Mäkinen, 2014).

Figura 1. Estructura de semilla de Quinua mostrando sus partes

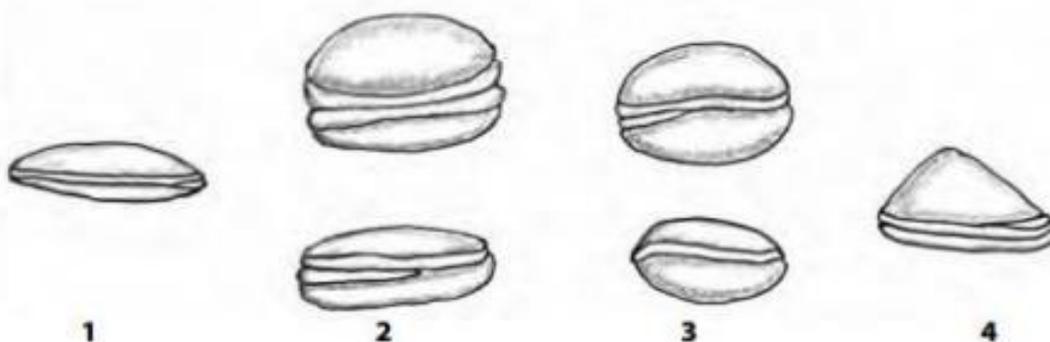


Nota: Tomado de Mäkinen (2014).

Según Mäkinen (2014), Las semillas de quinoa son perispérmicas: consisten en un perisperma central que está rodeado por un embrión periférico. El perispermo central actúa como un almacenamiento de almidón, mientras que los cuerpos de lípidos y proteínas se encuentran en los tejidos embrionarios y el endosperma. Las semillas con una estructura similar y la compartimentación de reserva de almacenamiento incluyen el amaranto de grano (*Amaranthus cruentus*) y la remolacha azucarera (*Beta vulgaris*).

Cervilla (2016), menciona que en el banco de germoplasma de la Estación Experimental Patacamaya, Bolivia, se han caracterizado 66 colores de grano y se conservan 4 formas, las cuales se pueden apreciar en la figura 2, también que el peso de los granos de quinua depende del tamaño, la variedad y el contenido de humedad. Varriano Martson & De Francisco (1984) publicaron que 350 semillas tienen un peso promedio de 1 g, Vilche et al. (2003) observaron que incluso con humedades de hasta el 15%, el peso de 1000 granos no alcanzaba los 3 g. Sin embargo, Chauhan et al. (1992) publicaron que el peso de mil granos fue de 28 g.

Figura 2: Formas de grano de quinoa



Nota: 1) lenticular; 2) cilíndrica; 3) elipsoidal y, 4) cónica, respectivamente (Bazile et al., 2014) citado por (Cervilla, 2016)

Variedades

IICA (2015), refiere que según el Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú (Apaza, Cáceres, Estrada, y Pinedo, 2013), la producción de este cultivo se concentra principalmente en el Altiplano y los valles interandinos, con tendencia creciente en la Costa por sus características agroclimáticas favorables para la producción. En la actualidad existen 21 variedades comerciales de quinua (Tabla 1), más allá de las variedades nativas en proceso de multiplicación por los propios campesinos conservacionistas.

Tabla 1: Variedades comerciales de quinua y sus características

Nombre de la variedad	Efusión de saponina	Color de pericarpio	Color de epispermo	Tamaño de grano	Zonas de producción
INIA 433 Santa Ana/AIQ/ FAO	Nada	Crema	Blanco	Grande	Valles Interandinos
INIA 431 Altiplano	Nada	Crema	Blanco	Grande	Altiplano, Costa
INIA 427 Amarilla Sacaca	Mucha	Amarillo	Blanco	Grande	Valles Interandinos
INIA 420 Negra Collana	Nada	Gris	Negro	Pequeño	Altiplano, Valles Interandinos, Costa
INIA 415 Pasankalla	Nada	Gris	Rojo	Mediano	Altiplano, Valles Interandinos, Costa
Illpa INIA	Nada	Crema	Blanco	Grande	Altiplano
Salcedo INIA	Nada	Crema	Blanco	Grande	Altiplano, Valles Interandinos, Costa
Quillahuaman INIA	Regular	Crema	Blanco	Mediano	Valles Interandinos
Ayacuchana INIA	Regular	Crema	Blanco	Pequeño	Valles Interandinos
Amarillo Marangani	Mucha	Anaranjado	Blanco	Grande	Valles Interandinos
Blanca de Juli	Poca	Crema	Blanco	Pequeño	Altiplano
Blanca de Junín	Regular	Crema	Blanco	Mediano	Valles Interandinos, Costa
Cheweca	Poca	Crema	Blanco	Mediano	Altiplano
Huacariz	Poca	Crema	Blanco	Mediano	Valles Interandinos
Hualhuas	Nada	Crema	Blanco	Mediano	Valles Interandinos, Costa
Huancayo	Regular	Crema	Blanco	Mediano	Valles Interandinos
Kankolla	Poca	Crema	Blanco	Mediano	Altiplano
Mantaro	Nada	Crema	Blanco	Mediano	Valles Interandinos
Rosada de Junín	Regular	Crema	Blanco	Pequeño	Valles Interandinos
Rosada de Taraco	Mucha	Crema	Blanco	Grande	Altiplano
Rosada de Yanamango	Poca	Crema	Blanco	Mediano	Valles Interandinos

Nota: IICA (2015).

En la tabla 2, se muestran cuatro de las variedades de Quinua nativas en proceso de multiplicación por los propios campesinos conservacionistas, cultivadas en el Altiplano de Puno.

Tabla 2: Variedades nativas de quinua que se cultivan en el Altiplano de Puno

Tipos de quinua	Color de planta/grano	Tolerancia al frio	Uso principal	Uso secundario
Blancas, janko o yurac	Blanca/blanco	Mediana	Caldo o sopa	Puré o pesque
Chulpi o hialinas	Blanca/transparente	Buena	Caldo o sopa	Puré
Witullas, coloreadas, wariponcho	Rojo/rojo, purpura	Alta	Kispiño	Harinas, torrejadas
Q'oitu	Blanca o plomo/plomizo, marrón	Buena	Torrejadas	Harinas
Pasankallas	Plomo/rojo, vino	Alta	Mana	Harinas
Cuchi willa	Rojo/negro	Alta	Chicha	Kispiño

Nota: IICA (2015).

Valor nutricional

La quinua es considerada por la FAO y la OMS como un alimento único debido a su valor nutricional (FAO, 2011). El grano de quinua está conformado mayoritariamente por carbohidratos, seguido de proteína y grasa.

Alva (2014), transcribe que el valor nutritivo de un alimento es valorado por su naturaleza química, por las transformaciones que sufre al ser ingerido y por los efectos que produce en el consumidor.

Desde el punto de vista nutricional y alimentario la quinua es la fuente natural de proteína vegetal de alto valor nutritivo por la combinación de una mayor proporción de aminoácidos esenciales que le confiere un valor biológico comparable solo con la leche y el huevo, también es una excelente fuente de carbohidratos y tiene casi el doble de proteína

comparada a otros cereales como el arroz y el trigo, brinda también un aporte sorprendente de minerales como hierro, potasio, magnesio y zinc junto con las vitaminas del complejo B.

Los aminoácidos que posee la quinua entre los que más sobresalen están la lisina, metionina, triptófano, fenilalanina, tirosina y valina; superando los contenidos de los principales cereales: trigo, maíz, cebada y arroz, constituyéndose por lo tanto en uno de los principales alimentos de nuestra región siendo este grano el único alimento vegetal que provee de todos los aminoácidos esenciales para la vida del ser humano y en valores cercanos a los establecidos por la FAO, lo cual hace que la proteína de la quinua sea de excelente calidad.

Según estudios realizados por el (IICA, 2015) afirman que la quinua contiene almidón, grasa, minerales y vitaminas en diferente proporción, que sumado a lo anterior, debió ser la razón para que los antiguos pobladores, le llamaran "grano madre", el único capaz de reemplazar, en situación de emergencia, a la leche de la madre. (Padrón, Oropeza, & Montes, 2014), reportan que hay amplias variaciones en el contenido de nutrientes de la quinua por 100 g de porción comestible, por ejemplo: proteína (9,1-15,7 g), grasa total (4,0-7,6 g) y fibra dietética (8,8-14,1 g); las variaciones de los valores de nutrientes entre diferentes variedades y entre las diferentes fuentes de datos fueron considerables; los resultados mostraron el potencial nutricional de la quinua, pero también demostraron que más datos analíticos de alta calidad sobre la quinua son necesarios, especialmente para minerales y vitaminas. La quinua es una de las principales fuentes de proteínas como se puede apreciar en la tabla 3.

FAO (2011), indica que una característica fundamental de la quinua es que el grano, las hojas y las inflorescencias son fuentes de proteínas de muy buena calidad. La calidad nutricional del grano es importante por su contenido y calidad proteínica, siendo rico en los aminoácidos lisina y azufrados, mientras que por ejemplo las proteínas de los cereales son deficientes en estos aminoácidos. Sin embargo, a pesar de su buen contenido de nutrientes, las investigaciones realizadas concluyen que los aminoácidos de la proteína en la harina cruda y sin lavar no están del todo disponibles, porque contienen sustancias que interfieren con la utilización biológica de los nutrientes. Estas sustancias son los glucósidos denominados saponinas.

Tabla 3: Composición nutricional de la quinua

Componente	Grano integral	Grano molido	Afrecho	Embrión	Perisperma
Proteína	12,9 (100)	13,3 (96)	6,1 (4)	23,5 (57)	7,2 (39)
Lípidos	6,5 (100)	6,7 (95)	3,9 (5)	10,2 (49)	5,0 (46)
Azúcares	63,7 (100)	64,6 (93)	54,2 (7)	43,1 (20)	78,2 (73)
Fibra dietética	13,9 (100)	12,7 (84)	26,6 (16)	18,9 (45)	8,5 (39)
FDS	4,3 (100)	4,4 (96)	2,1 (4)	7,5 (61)	2,2 (35)
FDI	9,6 (100)	8,3 (79)	24,5 (21)	11,4 (38)	6,3 (41)
Cenizas	3,0 (100)	2,7 (76)	9,2 (24)	4,3 (51)	1,1 (25)

Nota: Los contenidos están expresados en g/100 g base seca. El número entre paréntesis representa el porcentaje del contenido en cada fracción con respecto al contenido total en el grano integral. FDS: fibra dietética soluble. FDI: fibra dietética insoluble. Tomado de (Padrón, Oropeza, & Montes, 2014)

Color y forma de los granos de quinua

Padrón et al. (2014), Mencionan que los granos de quinua en madurez fisiológica expresan amplia diversidad de colores, entre ellos: blanco, crema, amarillo, anaranjado, rosado, rojo, púrpura, café claro, café oscuro, café verdoso, negro; y en la colección nacional de quinua de Bolivia se han caracterizado 66 colores de grano; en relación al diámetro del grano este varía desde 1,36 mm a 2,66 mm. Por su diámetro se clasifica de acuerdo a El Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) de Perú, en 4 categorías: tamaño 'extra grande' (mayor a 2,0 mm), tamaño 'grandes' (mayor a 1,70 hasta 2,0), tamaño 'medianos' (mayor a 1,40 hasta 1,69) y tamaño 'pequeños' (menor a 1,40) (INDECOPI, 2009).

Ante la amplia diversidad de colores, formas y tamaños de granos de quinua, en la comercialización se diferencian 3 colores: quinuas blancas, quinuas cafés y quinuas negras en razón de que los granos de quinua tienen la particularidad de que luego de ser desaponificados adquieren estos 3 colores comerciales, por lo que el consumo es mezclas de variedades o cultivares de quinua (o mezcla entre los 3 colores). No obstante, pueden ser separados según el color de la semilla y según el criterio culinario para el cual se emplearán, (MINAGRI, 2015).

Bonifacio, Aroni, & Villca (2012), en su catálogo de la quinua real indican que los granos enteros presentan colores de rojo, anaranjado, rosado, amarillo, crema, negro y blanco, con un rango de tonalidades dentro del mismo grupo, pero las más comerciales son la blanca real, la phisanqalla (roja o café) y la Chiara (grano negro).

Los colores de las semillas de quinua más comerciales se aprecian en la figura 3.

Figura 3. Variación de colores de las semillas de quinua



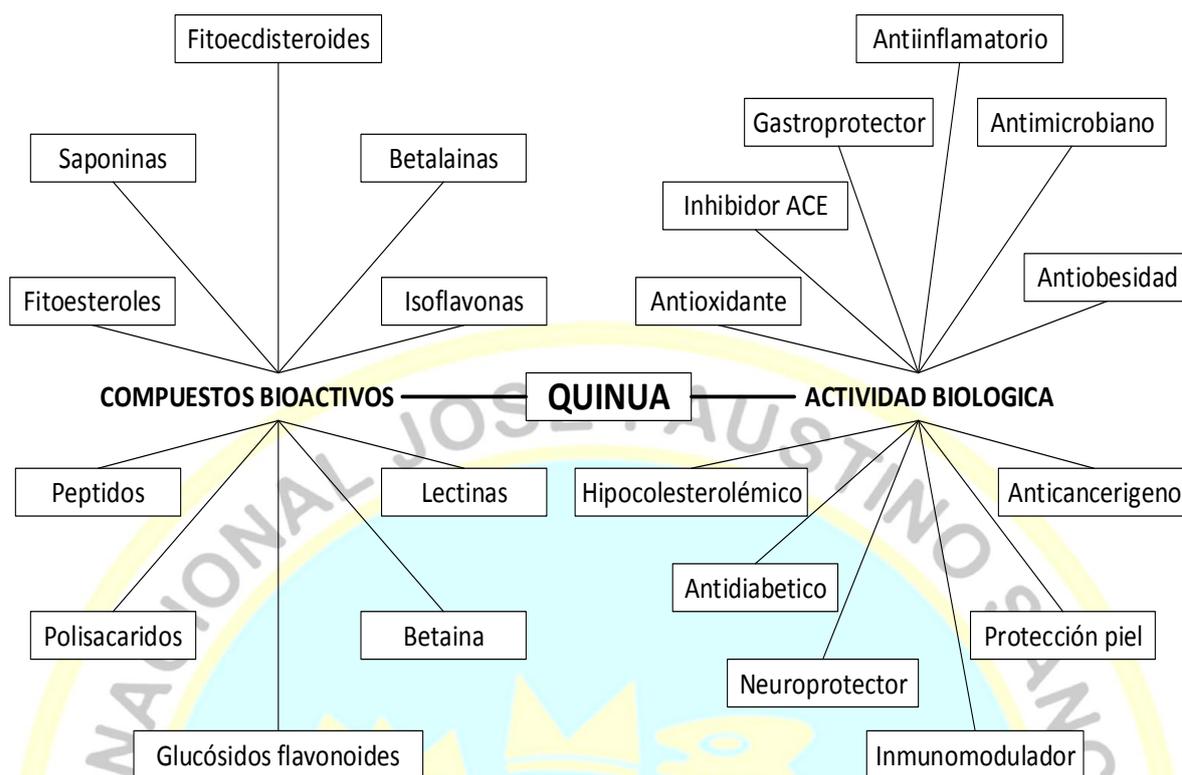
Nota: (Hernán, 2014) citado por Mäkinen (2014).

Beneficios para la salud

La Quinua, además de su alto valor nutricional y su atributo sin gluten, se ha informado que ejerce efectos beneficiosos en consumidores de grupos de alto riesgo, como niños, ancianos, intolerantes a la lactosa y personas con anemia, diabetes, obesidad, dislipidemia y enfermedad celíaca. Dichos beneficios se han relacionado con el contenido de proteínas, fibra, vitaminas y minerales, ácidos grasos, y especialmente con la presencia de una gran cantidad de fitoquímicos que proporcionan a la quinua una ventaja notable sobre otros cereales en términos de nutrición y salud humana. (Vilcacundo & Hernández-Ledesma, 2016)

Los compuestos bioactivos identificados en la quinua y sus actividades biológicas informadas se muestran en la Figura 4.

Figura 4. Compuestos bioactivos de la quinua y sus actividades biológicas



Nota: Tomado de Vilcacundo & Hernández-Ledesma (2016).

Tang & Tsao (2017), mencionan que el aumento de la investigación se ha centrado en nutrientes no esenciales como los fitoquímicos de la quinua y el amaranto debido a su papel potencial en la reducción del riesgo de enfermedades crónicas más allá de las funciones nutricionales básicas proporcionadas por los macronutrientes, minerales y vitaminas. Se ha demostrado que diferentes fitoquímicos bioactivos de las semillas de quinua y amaranto, incluidos los fenólicos, las betaninas y los carotenoides, poseen efectos antioxidantes, antiinflamatorios y otros beneficios para la salud basados tanto en estudios in vivo como in vitro.

Vilcacundo & Hernández-Ledesma (2016), refiere que en el cultivo de quinua se ha identificado una gran cantidad de bioactivos, que incluyen saponinas, compuestos fenólicos, fitoesteroles, fitoesteroides y péptidos bioactivos. Estos compuestos ejercen efectos positivos en diferentes sistemas del cuerpo que ayudan a promover la salud humana y reducir el riesgo de diferentes trastornos crónicos.

Se ha demostrado que semillas de quinua poseen actividad antioxidante que se ha asociado con su alto contenido de compuestos fenólicos. También se han demostrado los beneficios para la salud de estos componentes, que incluyen propiedades anabólicas, que mejoran el rendimiento, anti-osteoporóticas, antidiabéticas, antiobesidad y cicatrización de heridas (Tang & Tsao, 2017).

Los polifenoles extraídos de la quinua regulan la IL-1 β , IL-8 y citoquinas TNF en cultivo células epiteliales de Caco-2 colónicas, para prevenir la obesidad inducida inflamación y promover la salud gastrointestinal en ratones. Además el Contenido fenólico de la quinua mostró una fuerte inhibición de las actividades de la α -glucosidasa y la lipasa pancreática, sugieren beneficios potenciales en el control de azúcar y peso en la sangre, por lo tanto, en última instancia en obesidad y diabetes tipo 2 (Tang & Tsao, 2017).

Está demostrado que la quinua añadida a la dieta inhibe los efectos negativos de la fructosa sobre los niveles de lipoproteínas de alta densidad (HDL)(Vilcacundo & Hernández-Ledesma, 2016).

Tang & Tsao (2017), refieren que el consumo de quinua sugiere un posible tratamiento del proceso inflamatorio de mujeres posmenopáusicas ya que disminuyó la expresión plasmática de IL-6 (marcador proinflamatorio). También mencionan que los Fitoecdisteroides aislados de las semillas de la quinua demostraron ser potentes agentes protectores para prevenir o retrasar los daños en la piel relacionados con la colagenasa y estrés oxidativo.

Villanueva (2015), afirma que las saponinas, poseen actividades biológicas como: las actividades antifúngicas, antivirales, anticancerígenas, hipocolesterolémicas, hipoglucemiantes, antitrombóticas, diuréticas y antiinflamatorias. También se ha investigado la capacidad de las saponinas de quinua para afectar la diferenciación de los preadipocitos 3T3-L1 y, por lo tanto, suprimir la adipogénesis.

Tang & Tsao (2017), sugieren que las semillas de quinua puede ser un buen ingrediente alimenticio funcional para la prevención y tratamiento de la inflamación, por su contenido de saponinas, el cual se asocia con la inhibición de la sobreproducción de mediadores inflamatorios.

Según Graf, et al. (2015), las betalaínas más abundantes en las semillas de quinua son la betanina y isobetanina, que posee una gama de propiedades promotoras de la salud similar a los de los compuestos fenólicos. Sin embargo, algunos estudios demostraron que algunas betalaínas poseen actividad antioxidante superior al de los polifenoles.

Las semillas de quinua contienen niveles de fitosterol hasta 118 mg / 100 g de semilla de quinua, y estos niveles fueron más altos que los encontrados en la cebada, el centeno, el mijo y el maíz. Además, los fitosteroles han demostrado efectos antiinflamatorios, antioxidantes y anticancerígenos descrito por (Ryan, Galvin, O'Connor, Maguire, & O'Brien, 2007). Así mismo, Vilcacundo & Hernández-Ledesma (2016), refiere que los fitoesteroles ejercen una reducción de los niveles de colesterol sérico debido a su similitud, compiten por la absorción intestinal y reducen la producción de lipoproteínas aterogénicas en los intestinos y el hígado. Además, se han descrito actividades antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas para fitoesteroles.

Producción

En Perú, la producción de quinua se ha concentrado en una variedad de zonas agroecológicas y fisiográficas del altiplano. Las tasas de rendimiento varían considerablemente entre variedades de quinua y regiones.

A nivel mundial, el Perú es el principal productor, seguido por Bolivia (59.8% y 38.8%, respectivamente, según FAOSTAT. Ecuador y el norte de Chile también tienen pequeñas producciones de quinua, aunque algunos agricultores están comenzando en Francia y España en un intento de extender su producción (Cancino, et al., 2018).

2.2.2 Antioxidantes

Sun, Yang, & Tsao (2018), manifiestan que en las últimas tres décadas, se han realizado cambios significativos en la definición de "antioxidantes". Los antioxidantes ya no son simples sustancias químicas que hacen que un alimento dure más tiempo o fitoquímicos como polifenoles y carotenoides que muestran una cierta actividad/capacidad antioxidante (AAO/CAT) más fuerte que la vitamina C o E en una reacción química.

Pisoschi & Pop (2015), refiere que en 1995, el concepto de antioxidante biológico se refiere a cualquier compuesto que, cuando está presente en una concentración más baja en comparación con la de un sustrato oxidable, es capaz de retrasar o prevenir la oxidación del

sustrato descrito por (Halliwell, & Gutteridge, 1999; Hensley et al ,1995) pero luego se alteró la palabra "oxidación" al "daño oxidativo" que sugiere un proceso biológico in vivo: "cualquier sustancia que retrase, prevenga o elimine el daño oxidativo de una molécula objetivo" (en 2007).

Según Dontha (2016), Un antioxidante es una molécula capaz de inhibir la oxidación de otra molécula. Rompe la cadena de reacciones de los radicales libres sacrificando sus propios electrones para alimentar a los radicales libres, sin convertirse ellos mismos en radicales libres.

Una definición más específica se dio en el 2016: "Sustancias naturales o sintéticas que pueden prevenir o retrasar el daño celular oxidativo causado por oxidantes fisiológicos que tienen potenciales de reducción claramente positivos, que cubren especies reactivas de oxígeno (ROS)/(RNS) especies reactivas de nitrógeno y radicales libres (es decir, moléculas inestables o iones que tienen pares de electrones desapareados).

"Estas definiciones demuestran los roles de los antioxidantes a niveles celulares en humanos ya que están relacionados con el estrés oxidativo y los radicales libres y además con los posibles efectos sobre la salud en los humanos (Sun, et al., 2018).

Los antioxidantes de la dieta tienen un papel importante en los alimentos o en el cuerpo humano al contrarrestar los procesos de oxidación y prevenir las enfermedades crónicas relacionadas con el estrés oxidativo (Cömert & Gökmen, 2017).

La química de los radicales libres y antioxidantes se basa en un equilibrio entre ambos. Los radicales libres son compuestos reactivos, para estabilizarse tienen que capturar electrones de moléculas biológicas estables (Carochoa, Morales, & Ferreira, 2018).

Existen muchas causas para el desequilibrio de la producción de radicales libres, y si no se neutraliza a tiempo, pueden provocar enfermedades como: Alzheimer, Parkinson, derrame cerebral, diabetes, enfermedad de Wilson, artritis reumatoide, esclerosis múltiple, esclerosis, talasemia, hipertensión, infertilidad, cataratas, insuficiencia cardíaca y muchos más (Carochoa, et al., 2018).

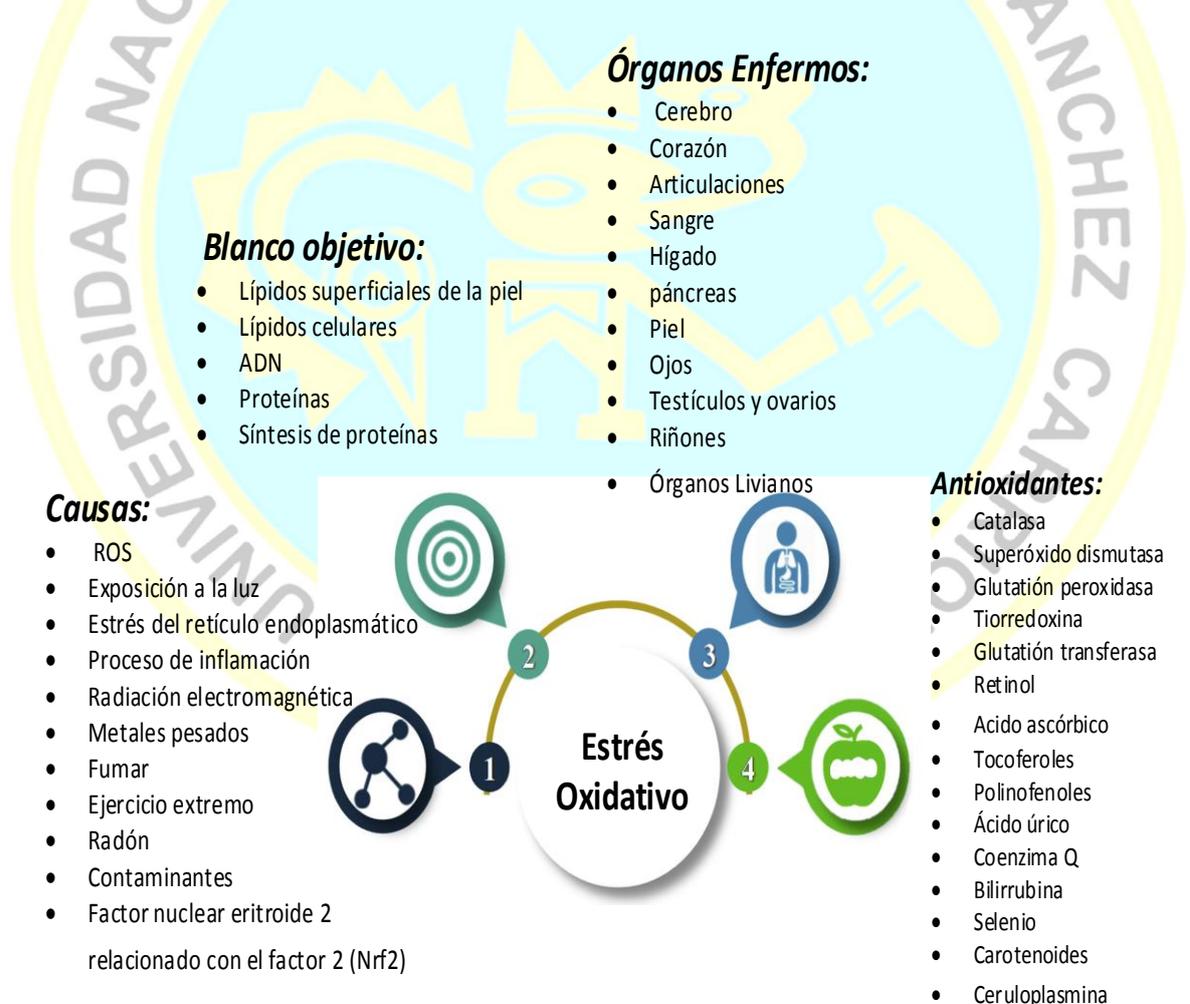
Los antioxidantes naturales pueden aislarse de su material fuente como compuestos puros para su posible uso en aplicaciones nutraceuticas / farmacéuticas. Alternativamente, los extractos vegetales o animales que contienen un cóctel de sustancias antioxidantes con

potenciales efectos sinérgicos se usan directamente para inhibir la oxidación in vitro e in vivo (Shahidi & Zhong, 2015).

Cömert & Gökmen (2017), los granos de cereal comparado con las frutas, verduras y bebidas son subestimados porque contienen cantidades bajas de antioxidantes solubles. Sin embargo, las investigaciones revelan que los cereales tienen una capacidad antioxidante significativamente mayor por sus compuestos fenólicos unidos insolubles, los cuales posiblemente desempeñan un papel en la salud humana.

En la figura 5, se detallan las causas, objetivos, órganos que se ven afectados por el estrés oxidativo, así como antioxidantes que lo combaten.

Figura 5. Causas, objetivos, órganos afectados y antioxidantes que combaten el estrés oxidativo



Nota: Tomado de (Carochoa, et al., 2018).

Pisoschi & Pop (2015), menciona que los responsables de los mecanismos de defensa del organismo contra las patologías relacionadas al ataque de radicales libres, son los antioxidantes, lo cual implica disminuir el estrés oxidativo, las mutaciones del ADN, las transformaciones malignas.

Aplicaciones

Shahidi & Ambigaipalan (2018), refieren que los antioxidantes proporcionan el mecanismo de defensa más importante para la oxidación de lípidos. Los antioxidantes en bajas concentraciones conservan a los alimentos al retrasar el deterioro de la calidad, rancidez o la decoloración debido a la oxidación. Sin embargo, generalmente el procesamiento de alimentos causaría la pérdida de antioxidantes disponibles de forma natural, lo que requeriría la identificación y prueba de fuentes externas de antioxidantes.

Shahidi & Zhong (2015), mencionan que los antioxidantes desempeñan un papel importante en la conservación de los alimentos al inhibir los procesos de oxidación y contribuir a la promoción de la salud que proporcionan muchos suplementos dietéticos, nutracéuticos e ingredientes alimentarios funcionales.

También se ha encontrado que la adición de antioxidantes es más efectiva para controlar la oxidación debido a sus propiedades únicas que surgen de una amplia gama de estructuras químicas que extienden la vida útil de los productos alimenticios sin ningún efecto adverso sobre sus cualidades sensoriales o nutricionales (Shahidi & Ambigaipalan, 2018).

Carochoa, et al., (2018), los antioxidantes alimentarios desempeñan un papel fundamental en la industria alimentaria y se han convertido en uno de los métodos más difundidos de conservación de alimentos. Por ser baratos y fáciles de usar se han convertido en parte de casi todos los productos alimenticios.

Mecanismos de acción

Según Carochoa, Morales, & Ferreira (2018), todos los antioxidantes siguen uno de los siete mecanismos de acción, que varían con el tipo de oxidantes: a) secuestro de radicales libres del medio; b) quelación de iones metálicos; c) inhibición de enzimas productoras de radicales libres; d) activación de enzimas antioxidantes endógenas; e) prevención de la

peroxidación de lípidos; f) prevención del daño del ADN; g) prevención de modificación de proteínas y destrucción de azúcar.

Clasificación

Existen diferentes atributos para clasificar los antioxidantes.

Cömert & Gökmen (2017), Los antioxidantes se puede clasificar en 2 grupos por solubilidad: compuestos antioxidantes solubles (en agua y en lípidos) y compuestos antioxidantes insolubles. Los carotenoides y tocoferoles se encuentran entre los antioxidantes liposolubles, mientras que los compuestos fenólicos y el ácido ascórbico son antioxidantes hidrosolubles. Su solubilidad depende de su ubicación en los alimentos y las macromoléculas con las que están vinculados en la matriz alimentaria. Los antioxidantes en los alimentos se pueden encontrar generalmente en 2 formas: libre (I) y formas ligadas (II, III y IV).

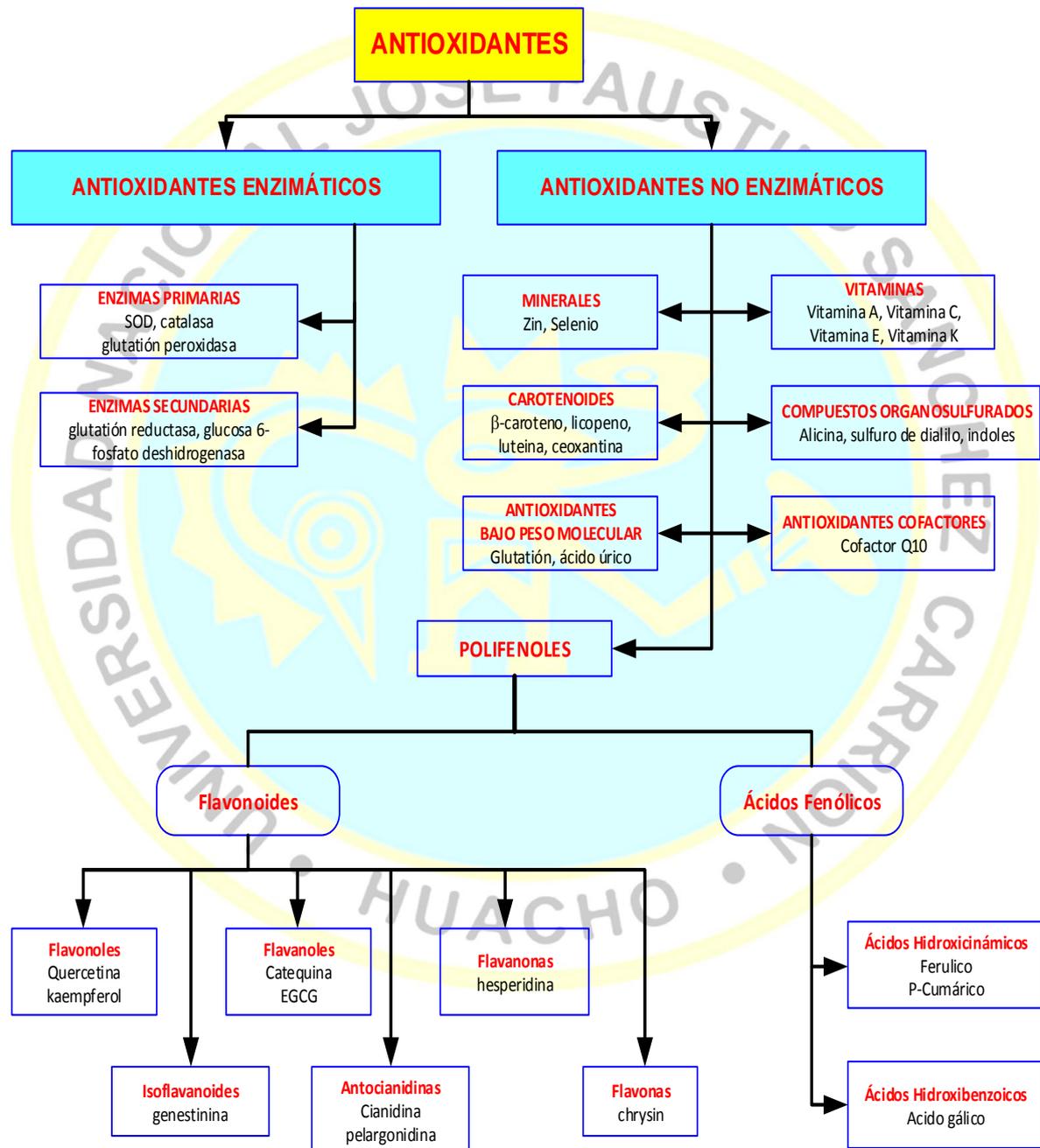
Además, el mismo antioxidante puede estar presente en forma libre o ligada en distintos alimentos. Por lo general, en la pared celular se encuentran los antioxidantes insolubles por medio de sus enlaces covalentes con macromoléculas insolubles tales como celulosa, arabinoglucano y proteínas o debido a la autopolimerización (Yeo & Shahidi, 2015)

Según Moharram & Youssef (2014), los antioxidantes pueden clasificarse de acuerdo a su función como: Antioxidantes primarios y Antioxidantes secundarios. Los antioxidantes primarios son los que rompen la cadena que reaccionan con los radicales lipídicos y los convierten en productos más estables. Son principalmente fenólicos, en estructura: minerales antioxidantes, vitaminas antioxidantes y fitoquímicos (flavonoides, catequinas, carotenoides, β -caroteno, licopeno, diterpeno). Los antioxidantes secundarios son compuestos fenólicos que realizan la función de capturar radicales libres y detener las reacciones en cadena. Los compuestos incluyen: hidroxianisol butilado (BHA), hidroxitolueno butilado (BHT) y galato de propilo (PG).

También se pueden dividir en dos clases: los antioxidantes enzimáticos y los antioxidantes no enzimáticos: Algunos de estos antioxidantes se producen endógenamente, que incluyen enzimas, moléculas de bajo peso molecular y cofactores enzimáticos. De acuerdo descrito por Ratnam, et al. (2006), citado por (Moharram & Youssef, 2014); entre

los antioxidantes no enzimáticos, muchos se obtienen de fuentes dietéticas. Los antioxidantes dietéticos se pueden clasificar en varias clases de los cuales los polifenoles presentan la clase más grande. Los polifenoles consisten en ácidos fenólicos y flavonoides. Las otras clases de antioxidantes dietéticos incluyen vitaminas, carotenoides, organosulfural y minerales. La figura 6, ilustra la clasificación de los antioxidantes.

Figura 6. Clasificación de antioxidantes



Nota: Adaptado de Bunaciu, Danet, Fleschin, & Aboul-Enein (2015).

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante es el número de moles de un radical libre determinado secuestrado por la solución de prueba de forma independiente por un antioxidante en la mezcla. La potencia antioxidante total que se analiza mediante las actividades reductoras combinadas de la sustancia dada. (Shivakumar & Kumar, 2018)

La medición de la capacidad antioxidante de los alimentos ha atraído la atención de los científicos, los consumidores y la industria alimentaria desde hace varios años debido a los beneficios potenciales y el papel en la salud humana de estos antioxidantes (Serpen, Gökmen, & Fogliano, 2012)

Métodos

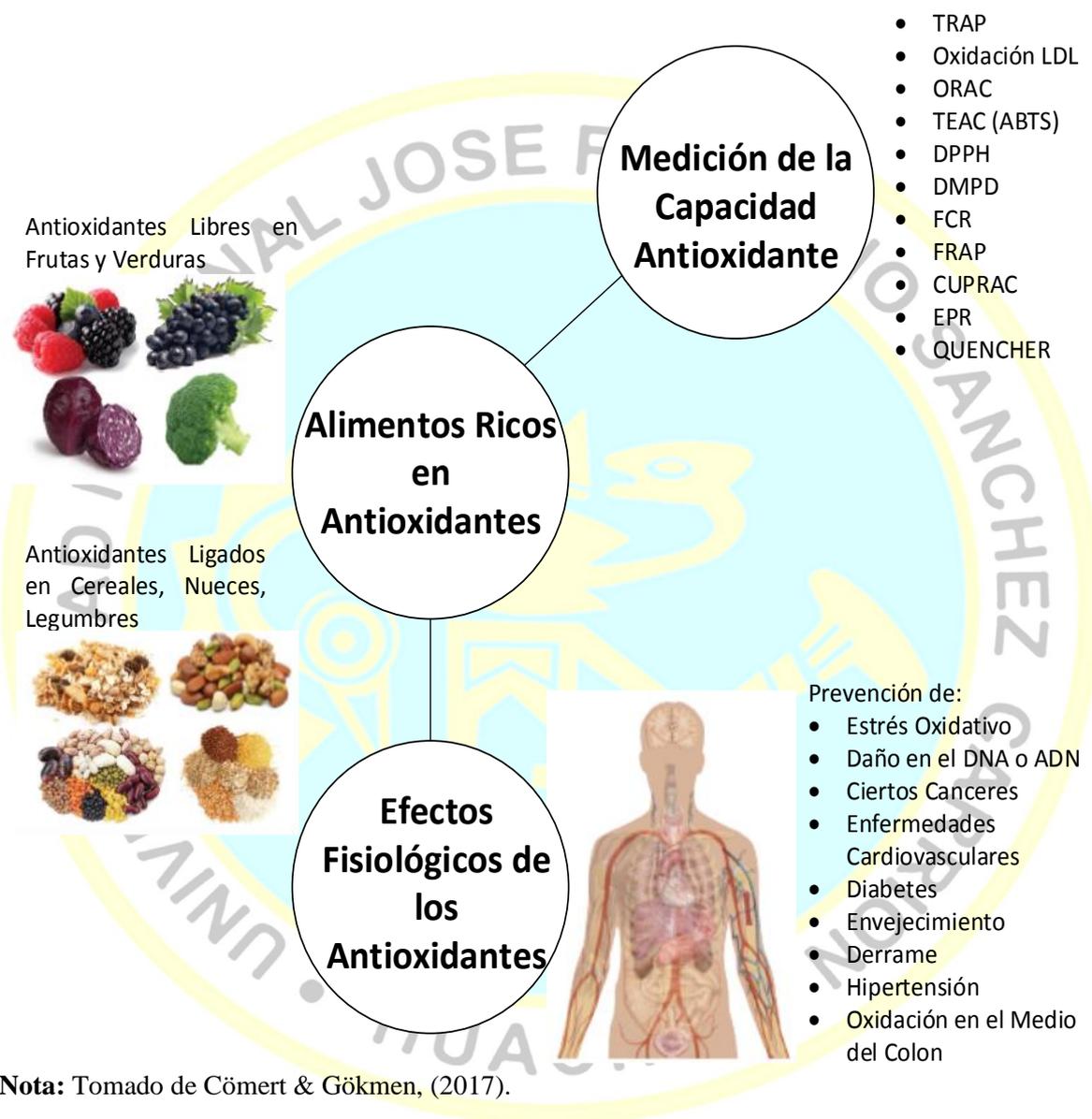
Shivakumar & Kumar (2018), mencionan que el ensayo de antioxidante individual no es de mucha utilidad en comparación con la capacidad total de ensayo antioxidante. Los métodos de ensayo antioxidante individuales son especialmente útiles para comprender la relación estructura-actividad de compuestos antioxidantes.

En general, las pruebas antioxidantes in vitro usando trampas de radicales libres son relativamente sencillas de realizar. Entre los métodos de eliminación de radicales libres, el método de 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH) es además rápido, simple (es decir, no está implicado con muchos pasos y reactivos) y es económico en comparación con otros modelos de prueba. Por otro lado, el ensayo de decoloración de la sal de diamonio 2, 2-azinobis (3-etil benzotiazolin-6-sulfónico) (ABTS) es aplicable tanto a antioxidantes hidrófilos como lipófilos (Dontha, 2016).

Niki (2010), menciona que se han desarrollado muchos ensayos para la medición de la capacidad antioxidante in vitro, pero solo unos pocos métodos rápidos y confiables han ganado popularidad entre los científicos. Sin embargo, todos los ensayos de capacidad antioxidante por espectrofotometría que usan soluciones coloreadas de radicales / oxidantes, tales como: ABTS, DPPH, CUPRAC, Folin-Ciocalteu y FRAP, también la medición basada en la fluorescencia: ORAC; en los valores de capacidad antioxidante total, solo contribuyen a la los antioxidantes solubles; ya que estos ensayos dependen de la extracción.

En la figura 7, se muestran los grupos de alimentos donde se encuentran los antioxidantes en mayor cantidad, también los efectos de dichos antioxidantes en nuestro cuerpo y los principales métodos invitro para medir la su capacidad antioxidante.

Figura 7. Antioxidantes: fuentes, efectos fisiológicos y ensayos para cuantificar su capacidad



Nota: Tomado de Cömert & Gökmen, (2017).

Serpen, et al. (2012), El aspecto más débil de los procedimientos basados en extracción es que no considera los antioxidantes insolubles. Por lo que limita medir la verdadera capacidad antioxidante de los materiales vegetales.

Clasificación ensayos:

Dontha (2016), menciona que basándose en la reacción química involucrada entre los compuestos antioxidantes y los radicales libres, los ensayos de capacidad antioxidante se clasifican en dos tipos:

- Ensayos basados en reacciones de transferencia de átomos de hidrógeno (HAT): miden / cuantifican la capacidad de donación del átomo de hidrógeno de los compuestos antioxidantes mediante una reacción de ET acoplada a protones, donde mide la capacidad antioxidante que rompe la cadena. Basados en la reacción entre el generador sintético de radicales libres, la sonda molecular oxidable y un oxidante en el que la cinética de reacción se deriva de la curva cinética.
- Ensayos basados en reacción de transferencia de electrones (ET): miden la capacidad reductora de los compuestos antioxidantes. Basado en una reacción redox simple, donde los compuestos antioxidantes reducen los radicales libres y se oxidan, dando como resultado el cambio de color del reactivo, que se correlaciona con la capacidad antioxidante, que se mide por el cambio en la absorbancia.

Sun, et al. (2018), citan que se han desarrollado varios métodos para la actividad/capacidad antioxidante a lo largo de los años, basados en diferentes mecanismos químicos, fisicoquímicos y bioquímicos. En términos de clasificación para los ensayos (AAO/CAT) estos clasifican como ensayos antioxidantes en in vitro e in vivo de acuerdo a sus aplicaciones, mientras que basados en los mecanismos de acción se proponen dos sistemas: de transferencia de átomos de hidrógeno (HAT) y ensayos de transferencia de electrones individuales (SET).

También propusieron dividir aún más los ensayos in vitro en ensayos químicos y basados en células. La mayoría de estas clasificaciones tienden a ser limitadas y demasiado simplificadas, pero recientemente se han publicado varias revisiones exhaustivas sobre la clasificación de los ensayos (AAO/CAT), entre los que se puede destacar es que se pueden agrupar en dos categorías: "medición del estado actual de oxidación en sistemas modelo" y "ensayos de eliminación de radicales", y también la sugerencia de un sistema basado en mecanismos de acciones y tecnologías antioxidantes.

En la tabla 4, se mencionan los métodos para la actividad antioxidante in vitro.

Tabla 4: Lista de métodos de capacidad antioxidante in vitro

Número de serie	Nombre del método antioxidante
1.	Métodos antioxidantes in vitro
1.1.	Ensayos basados en ET
1.1.1.	DPPH ensayo de eliminación de radicales libres
1.1.2.	Ensayo de eliminación de radicales anión superóxido
1.1.3.	FRAP
1.1.4.	TEAC, utilizando ABTS
1.1.5.	Ensayo CUPRAC
1.1.6.	FCR, el ensayo de fenoles totales
1.1.7.	Ensayo de reducción de potencia
1.1.8.	Ensayo DMPD
1.1.9.	Actividad inhibidora de radicales óxido nítrico
1.1.10.	Ensayo TBARS
1.2.	Ensayos basados en HAT
1.2.1.	ORAC
1.2.2.	Método de eliminación de radicales ABTS
1.2.3.	Ensayos de blanqueo de Crocin
1.2.4.	TRAP
1.2.5.	Actividad de barrido de radicales hidroxilo
1.2.6.	HORAC
1.2.7.	Ensayo LPIC
1.2.8.	Eliminación de radicales H ₂ O ₂
1.2.9.	IOC
1.2.10.	Ensayo PCL
1.2.11.	Ensayo del ácido β-caroteno-linoleico (linoleato)
1.3.	Otros métodos antioxidantes in vitro
1.3.1.	Análisis del contenido de ácido ascórbico
1.3.2.	CAA
1.3.3.	Investigaciones de espectroscopía EPR
1.3.4.	Ensayo de fosfomolibdeno
1.3.5.	Método de xantina oxidasa
1.3.6.	Actividad quelante de metal

Nota: ET: transferencia de electrones, HAT: transferencia de átomos de hidrógeno, DPPH 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo, FRAP: poder antioxidante reductor de iones férricos, TEAC: capacidad antioxidante de equivalencia Trolox, ABTS: 2, 2-azinobis (3-etil benzotiazolina- Ácido 6-sulfónico) sal de diamonio, CUPRAC: capacidad antioxidante reductora de ión cúprico, FCR: reactivo de Folin-Ciocalteu, DMPD: N, N-dimetil-p-fenilendiamina, TBARS: sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico, ORAC: capacidad de absorción de radicales de oxígeno, TRAP : Parámetro antioxidante de captura total de radicales, HORAC: capacidad de prevención de radicales hidroxilo, LPIC: capacidad de inhibición de la peroxidación lipídica, IOC: absorción inhibida de oxígeno, PCL: fotoquimioluminiscencia, CAA: actividad antioxidante celular, EPR: resonancia paramagnética de electrones. Tomado de (Dontha, 2016)

Sun, et al. (2018), mencionan que la nomenclatura y clasificación de los métodos (AAO/CAT) son desafiantes ya que se han desarrollado numerosos métodos de ensayo con diferentes mecanismos para diferentes propósitos. Los requisitos para AAO/CAT en un sistema alimentario son diferentes a los de un sistema biológico, por lo tanto, no todos pueden utilizarse en la evaluación de antioxidantes en ambos.

La incapacidad de algunos ensayos in vitro de AAO/CAT para reflejar la actividad real in vivo es un problema particular ya que los ensayos in vitro a menudo son insuficientemente sensibles para muestras biológicas y carecen de relevancia fisiológica y biológica.

Método QUENCHER

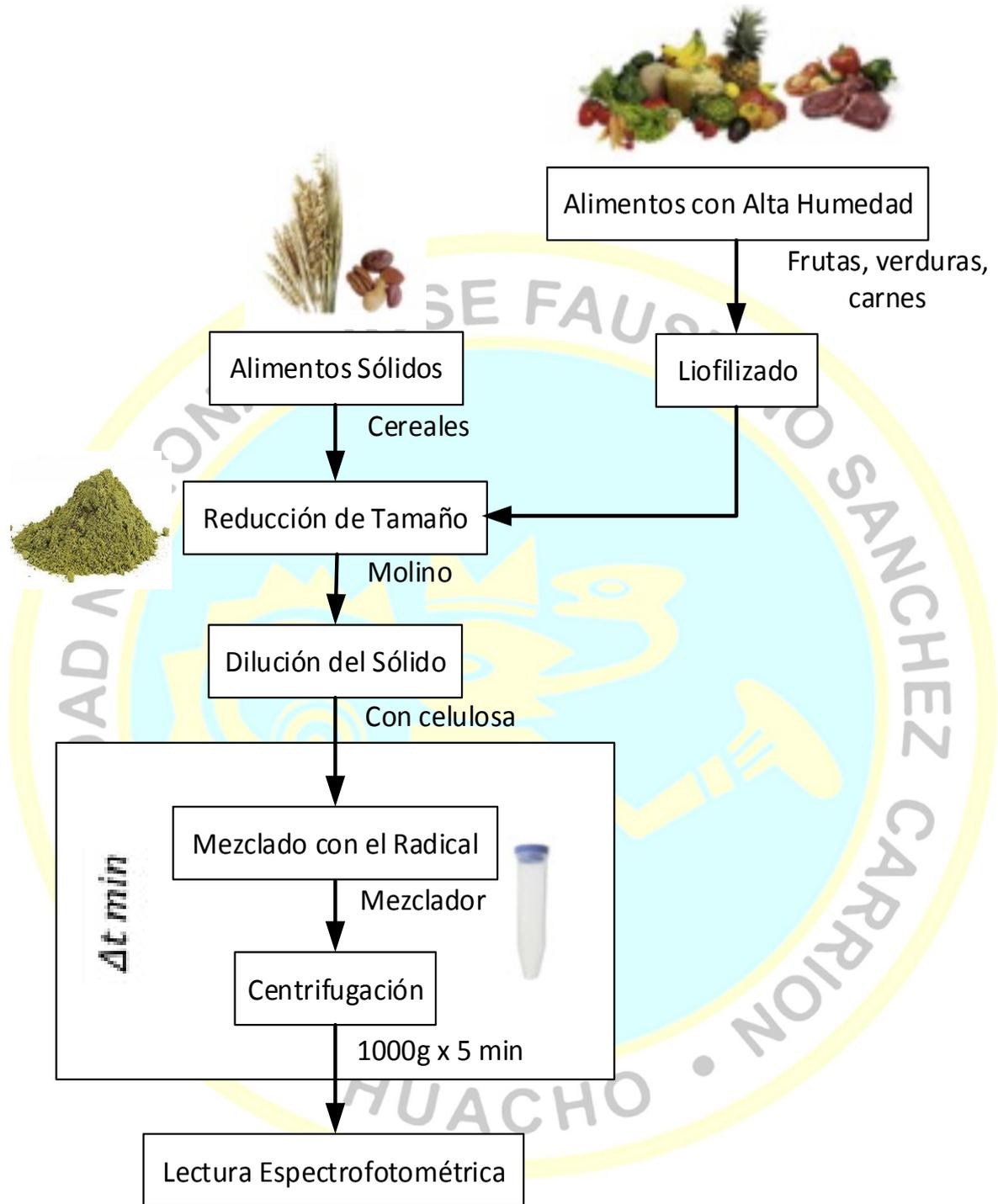
Según Henrion, Servaes, Thielecke, & Fogliano (2017), el método QUENCHER (Quick, Easy, New, Cheap y Reproducible), es un procedimiento libre de extracción que ahorra tiempo y dinero y mide la capacidad antioxidante in vitro, ideal para aplicaciones industriales. Pero tiene como puntos críticos: la molienda y la ponderación exacta del material.

Serpen, et al. (2012), han demostrado mediante el enfoque QUENCHER que es posible evaluar la actividad antioxidante de compuestos sin ninguna extracción cuando todavía están unidos a las matrices insolubles que aprovechan el fenómeno de reacción de superficie entre el material sólido (compuestos antioxidantes unidos) y material líquido (radicales libres solubles).

Mediante este método directo, los compuestos radicales usados en ensayos combinados, entran en contacto con las partes soluble e insoluble de los alimentos, lo cual incrementa la precisión de la medición de la actividad antioxidante total. Además, los resultados son más reales por que consideran los efectos que ocurren entre los compuestos antioxidantes en una matriz alimentaria (sinergia) mientras que en los procedimientos de extracción múltiple, suma de las capacidades antioxidantes de las fracciones solubles e insolubles medidas en diferentes momentos representa la capacidad antioxidante total. (Palombini, et al., 2013)

La figura 8 se muestra una representación esquemática de los pasos básicos de procedimiento QUENCHER.

Figura 8. Esquema de los pasos básicos del procedimiento directo QUENCHER



Nota: Tomado de Gökmen, Serpen, & Fogliano, (2009).

Serpen, et al. (2012), mencionan que el método QUENCHER se ha aplicado a varias matrices de alimentos hasta ahora, incluidos cereales, frutos secos, semillas, productos fritos, productos de panadería, nanopartículas y proteínas. Este método es particularmente

importante cuando se trata de alimentos a base de cereales, donde la mayor parte de los antioxidantes están unidos.

Henrion, et al. (2017), refiere que el método QUENCHER, se basa en la generación de radicales libres ABTS. Este procedimiento es ampliamente adaptable a diferentes sondas de color como: DPPH, FRAP, CUPRAC y ORAC.

Cualquier mecanismo químico descrito para medir la capacidad antioxidante de los alimentos se puede adaptar para dirigir el procedimiento QUENCHER sin ninguna restricción. Los datos obtenidos con ABTS y DPPH ya han sido publicados; sin embargo, en nuestros laboratorios se han obtenido resultados satisfactorios usando el procedimiento FRAP. Más recientemente, el procedimiento QUENCHER se aplicó con éxito al procedimiento ORAC lo que confirma que el concepto del procedimiento directo en muestras sólidas es independiente de la sonda utilizada para evaluar la capacidad antioxidante. (Gökmen, Serpen, & Fogliano, 2009)

Di Benedetto, et al. (2015), destaca posibilidad de utilizar QUENCHER ABTS para medir la capacidad antioxidante de partículas con mayor tamaño de partícula de 0.2 hasta 0.5 mm mediante el uso de un modo de cálculo apropiado basado en el valor de pendiente de la línea de regresión de ABTS + • respuesta versus cantidad de muestra, sin alteración de resultados.

Cömert & Gökmen (2017), refieren que Serpen y otros (2008), concluyeron que para procedimiento QUENCHER., es adecuado para partículas sólidas en el rango de 100 a 300 μm para la medición de la capacidad antioxidante de granos de cereal. También mencionan que la dificultad en la comparación de resultados, son generadas por las variaciones de tamaño de partículas, se tiene que tener en consideración que la microfluidización además de disminuir el tamaño de partícula, aumenta la porosidad y el área superficial de las muestras.

2.2.3 Color

Según Malacara (2011), la sensación de color es producida por la estimulación física de los detectores de luz, conocidos como conos, en la retina humana. El espectro de color producido por un prisma ideal o una red de difracción está formado por una pantalla de todos

los colores espectralmente puros o monocromáticos. Cada color tiene una longitud de onda diferente.

El color es una respuesta mental al espectro visible de la luz, la que se refleja o emite por un objeto. Esta señal de respuesta interacciona con la retina ubicada en el ojo y es transmitida, al cerebro por el nervio óptico, lo que permite a los humanos asignarle colores a la señal (Wu & Sun, 2013).

Vásquez (2015), cita que el color como sustancia, no existe, no es una propiedad intrínseca, ya que varía si se cambia la fuente de luz. Además menciona que la sensación de color depende de diversos factores: el objeto, el observador e iluminante, la geometría, el área, superficie, brillo, temperatura, entre otros.

El color es una propiedad de la materia que se relaciona directamente con el espectro de la luz. Por lo tanto, se puede medir físicamente en términos de la energía radiante o la intensidad, y por la longitud de onda. Un color puede ser descrito subjetivamente por la experiencia del observador u objetivamente, de acuerdo a la longitud de onda. El espectro visible es una radiación electromagnética con longitudes de onda entre 380 nm 780 nm. Las longitudes de onda más largas pertenecen a la radiación infrarroja (IR) y las longitudes de onda más cortas pertenecen a la radiación ultravioleta (UV). En el espectro visible, la luz roja tiene una longitud de onda (λ) entre 700 y 770 nm; el color amarillo entre 570 y 590 nm y el color azul entre 400 y 475 nm. Todas ellas están comprendidas en la llamada luz blanca, tal como fue demostrado por Newton al hacer pasar la luz blanca a través de un prisma para descomponerla en los colores del arcoíris (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

Medición de color

La apariencia de los productos alimentarios o no alimentarios, permite detectar tanto calidad, como anomalías y defectos, el color es un parámetro para realizar clasificaciones de productos, evaluación de materias primas, control de procesos y características específicas de ciertos alimentos (Delmoro, Muñoz, Nadal, Clementz, & Pranzetti, 2010).

Hay muchas aplicaciones para una buena medición de color dentro de la industria alimentaria. Se trata de especificaciones de color, monitoreo durante el almacenamiento y procesamiento, monitoreo de cultivos en campo, comunicación de color en una industria enorme a nivel mundial y comprensión de cómo se comporta el cliente ante los alimentos en

el estante y en el plato. Las técnicas de medición digital están superando rápidamente los métodos convencionales de especificación de color. Estos pueden usarse para la especificación rápida y no destructiva de todos los aspectos de color y apariencia. Se han llevado a cabo investigaciones exitosas de medición del color, por ejemplo, en frutas y cereales para el desayuno, vinos, fruta, verduras y jugos de fruta (Hutchings, Ronnierluo, & Ji, 2012).

Existen dos métodos básicos de medición del color, el sensorial y el instrumental. El primero realiza una evaluación visual del color mediante panelistas entrenados o consumidores. El método instrumental, utiliza equipos como colorímetros o espectrofotómetros para evaluar el color de una muestra empleando técnicas que miden su transmitancia o reflectancia (Vásquez, 2015). Ambos métodos presentan ventajas e inconvenientes, pero son esencialmente complementarios.

Sensorial

Vásquez (2015), refiere que la medición del color con el método sensorial utiliza un panel de evaluadores entrenados siguiendo las normas para medición de color en alimentos de cada país, además este método utiliza estándares de color como el Atlas RHS, las Guías Pantone y el Sistema Munsell, como material de referencia

La medición del color con el método sensorial estricta consiste en el uso de un panel de evaluadores entrenados, siguiendo la normativa para la medición e color en alimentos correspondiente a cada país, utilizando referencias, que pueden ser el Atlas RHS, las Guías Pantone, el Sistema Munsell u otros. Dichas referencias mejoran las valoraciones visuales, ya que el sistema visual humano a pesar de tener una gran habilidad para discriminar entre colores, posee una pobre memoria visual (Delmoro, et al., 2010).

Instrumental

“Con el fin de disminuir la subjetividad que representa la apreciación humana en la evaluación el color, se han desarrollado instrumentos que proporcionen una medición objetiva.” (Chuchuca, Dick, & Peñafiel, 2012, pág. 47) .

“Un instrumento de medición de color, consta de dos partes: el sensor óptico y el procesador de señales. El sensor óptico puede ser un espectrofotómetro o un colorímetro triestímulo” (Marqués, 2010, pág. 35).

Los modernos instrumentos colorimétricos están diseñados para proporcionar automáticamente los valores triestímulo y las coordenadas de color de un estímulo dado sin usar el ojo humano, con las medidas tomadas por el instrumento. Existen tres tipos de instrumentos colorimétricos: el espectrofotómetro, el espectrorradiómetro y los colorímetros de filtros. Los espectrofotómetros de color son usados comúnmente para medir color en los alimentos. Estos instrumentos generan curvas de espectros que representan la reflectancia o transmitancia de la luz sobre la superficie del producto y son comparados con estándares de referencia. Estos instrumentos son técnicas que demuestran ser convenientes, precisos y evalúan cuantitativamente los resultados (Konica-Minolta, 2017).

“La ventaja del empleo de métodos instrumentales para cuantificar el color es que estos son repetibles y objetivos. Su desventaja es que, a menudo, son difíciles de interpretar por las personas no familiarizadas con ellos” (Ramírez-Navas, 2010, pág. 52).

Espectrofotómetro

“El espectrofotómetro mide la respuesta para toda la gama espectral visible, midiendo de forma más amplia. Es decir, el espectrofotómetro es más preciso, siendo capaz de captar más información” (Santos, 2009, pág. 4).

Los espectrofotómetros, citado por (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014), caracterizan el color del alimento por su espectro de reflexión. La luz que es absorbida por el objeto y la luz que percibe el observador como color del mismo son complementarias; mezcladas dan lugar a la luz blanca. También, un objeto blanco refleja la totalidad de las ondas, mientras que un objeto negro las absorbe todas.

El objetivo del espectrofotómetro, es comparar la energía incidente con la reflejada sobre la muestra, para cada longitud de onda (Vásquez, 2015, pág. 37).

El funcionamiento de éste instrumento consiste en iluminar la muestra objetivo con luz blanca y calcular la cantidad de luz que refleja dicha muestra en los intervalos de longitudes de onda, esto se consigue haciendo pasar la luz por el monocromador el cual fracciona la luz en diferentes longitudes de onda. Los espectrofotómetros son instrumentos que requieren de previa calibración realizada con una muestra blanca cuya reflectancia en cada segmento de longitudes de onda es conocida (Lockuán Lavado, 2012) mencionado por (Vásquez, 2015, pág. 37).

Es una forma de espectrómetro que contiene un dispositivo fotoeléctrico para cuantificar la potencia de radiación, capaz de seleccionar y medir la intensidad de las radiaciones de diferentes longitudes de onda contenidas en un espectro, dentro del rango para el cual ha sido diseñado. Generalmente permiten registrar gráficas o espectros; existen diseños para el ultravioleta y el visible, y para las regiones del infrarrojo cercano, el infrarrojo fundamental o medio y el infrarrojo lejano (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

Los espectrofotómetros emplean la tecnología espectral que mide la luz reflejada o transmitida en muchos puntos del espectro visible lo que da como resultado una curva. Dado que la curva de cada muestra de color es única como una firma o huella digital la curva es una excelente herramienta para identificar e igualar color (Konica-Minolta, 2017).

Colorímetro

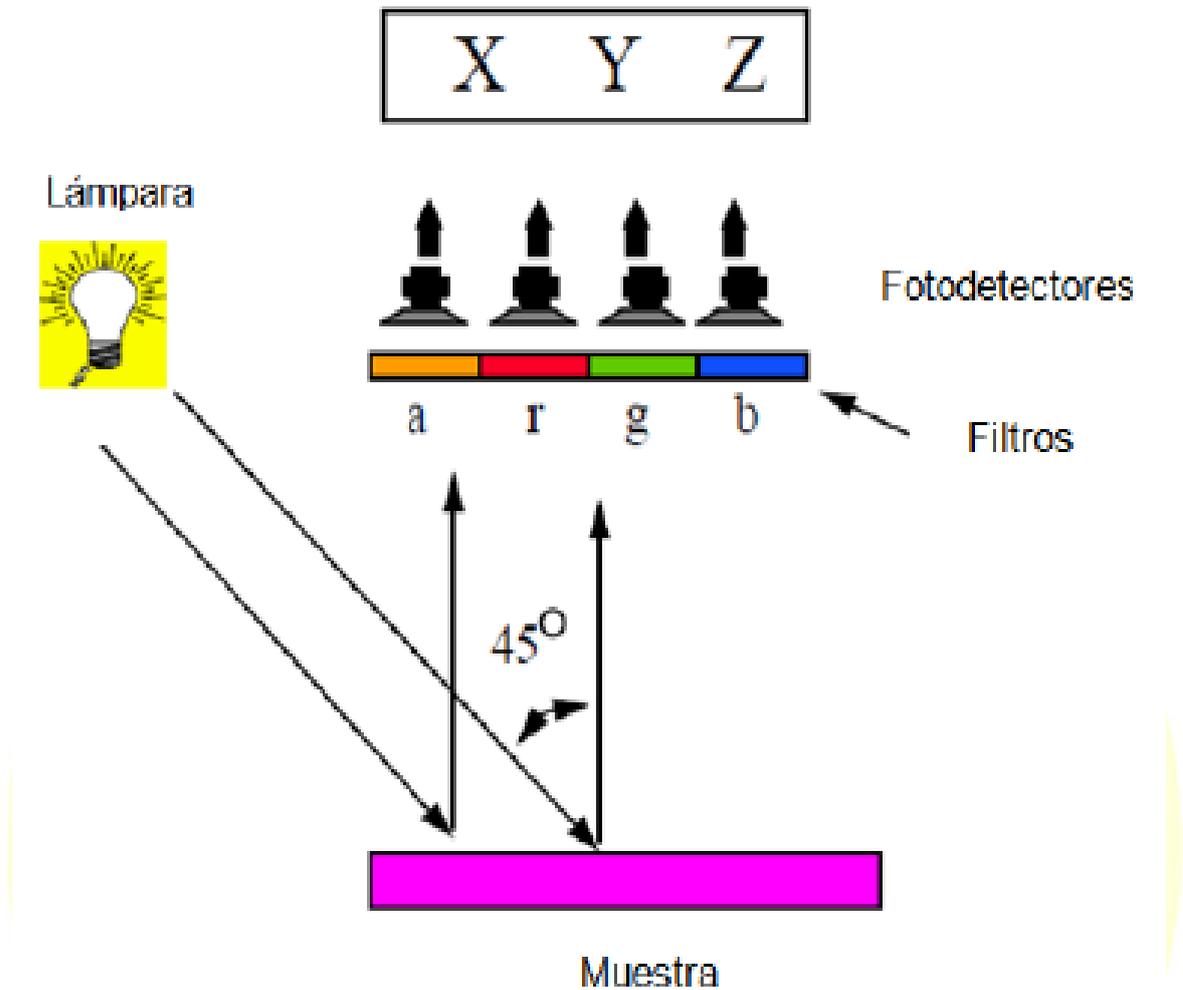
Los colorímetros son dispositivos triestimulares para cada longitud de onda: filtros rojo, verde y azul. De esta forma se emula la respuesta del ojo humano al color y la luz. Es una herramienta de bajo costo en algunas aplicaciones de control de calidad (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

Colorímetro es el nombre de los equipos que cuantifican el color y que presentan una mayor sensibilidad que la del ojo humano, cuyas medidas son reproducibles y bien correlacionadas con la percepción humana. El colorímetro mide la luz reflejada por el alimento por medio de un foto detector, codificando esta señal en términos de algún sistema de medición lumínico de espacio polar, como es el caso de la Escala de CIELAB (Ramírez-Navas, 2010).

La función del colorímetro, en el caso de un producto vegetal, es describir de una manera cuantitativa la coloración de la epidermis. (Carvajal, Aristizábal, Oliveros, & Mejía, 2011)

Su funcionamiento se basa en conceptos visuales de color, donde la muestra se ilumina en un ángulo de 45° con respecto a la línea perpendicular de la misma, como se aprecia en la figura 9 (Vásquez, 2015).

Figura 9: Diagrama de funcionamiento de un colorímetro triestímulo



Nota: Tomado de Vásquez (2015).

Según Vásquez, (2015), describe que en su funcionamiento la luz reflejada se mide directamente perpendicular a la muestra logrando transportar esa luz por cuatro filtros de color, los cuales están diseñados para dar respuesta como tres funciones X, Y, Z considerado el observador estándar, logrando que el instrumento mida directamente los tres valores triestímulo X, Y, Z para un iluminante específico.

Comparando colorímetros y espectrofotómetros, instrumentos de medición de color, en la tabla 5 se presentan algunas características importantes.

Tabla 5: Comparación entre espectrofotómetros y colorímetros

Colorímetro	Espectrofotómetro
Instrumento para el análisis psicofísico que proporciona mediciones que se correlacionan con la percepción del ojo-cerebro humano. Los datos colorimétricos se leen directamente y proporciona valores triestímulo (XYZ, Lab, etc)	Instrumento para análisis físicos que proporciona el análisis espectral de las longitudes de onda de la reflexión y/o transmisión de las propiedades de objetos sin interpretación por humanos.
Consta de sensor y procesador de datos simples.	Consta de sensor, además de un procesador de datos o un ordenador con el software para análisis de resultados.
Consta de una combinación entre un iluminante y un observador.	Consta de muchas combinaciones de iluminante/ observador disponibles que se puede utilizar para el análisis de las muestras.
Aísla una amplia banda de longitudes de onda usando un filtro de absorción triestímulo.	Aísla una estrecha banda de longitudes de onda utilizando un prisma o filtro.
Generalmente resistente y un instrumento menos complejo.	Instrumento más complejo en cuanto al manejo y conocimientos requeridos.
Pueden ser menos precisos de acuerdo a su diseño.	Se usan cuando se requiere obtener coordenadas cromáticas con exactitud.
Bajo costo.	Un mayor costo que un colorímetro.

Fuente: Tomado de Vásquez, (2015).

Colorimetría

La colorimetría es la ciencia que estudia la medición del color desarrollando métodos para su cuantificación, transforma la percepción sensorial en números, midiendo, comparando y reproduciendo los diferentes colores (Santos, 2009).

Los métodos de cuantificación se basan específicamente en la geometría y distribuciones espectrales de tres elementos: la fuente de luz, la reflectividad de la muestra y la sensibilidad visual del observador (Socaciu & Diehl, 2016)

La colorimetría es un método físico no destructivo muy utilizado para determinar el color de una muestra. Se usa un instrumento calibrado para medir el color, un colorímetro o espectrofotómetro ya que también permite obtener una curva espectral. Existen diferentes

modelos que plantean un sistema de coordenadas tridimensional en el cual se define un sub espacio donde cada color queda definido por un punto único (Carvajal, et al., 2011).

Gonzales (2010), cita que el estímulo cromático está caracterizado por la colorimetría triestímulo, la cual permite obtener una medida objetiva de color por medio de tres sensaciones o atributos psicométricos, que dan finalmente un carácter tridimensional a este estímulo. Estos son: el tono, la luminosidad y la saturación. El tono o matiz, se refiere a aquella característica que permite clasificar un color como rojo, amarillo, verde o azul, y está relacionado con las diferencias de absorbancia/transmitancia de la energía radiante a diferentes longitudes de onda, en otras palabras es el atributo cualitativo del color. La saturación o pureza, describe el grado o la intensidad con la que un color se separa del gris neutro y se acerca a un color puro del espectro, y describe la reflexión o transmisión a una determinada longitud de onda; es considerado el atributo cuantitativo de la cromaticidad. La luminosidad o brillo, permite clasificar el color como claro u oscuro, que se define como la característica de una sensación de color que la hace equivalente a la producida por algún elemento de la escala de grises que va desde el blanco (máxima luminosidad - 100) hasta el negro (mínima luminosidad - 0), haciendo un elemento más claro u oscuro. Esta característica es una medida relativa de la luz reflejada frente a la absorbida, por lo tanto no se considera como partícipe de la cromaticidad.

La CIE definió diferentes modelos de color, los cuales son fórmulas matemáticas abstractas que logran describir la representación de los colores. Los modelos más conocidos son el RGB y el CMYK, estos son modelos abstractos no sirven para describir un color específico sin haber definido inicialmente la escala o referencia, (Vásquez, 2015).

Modelo de color

Se define como la representación digital de los posibles colores contenidos en una muestra. Son sistemas de medición de color que pueden ser percibidas por el ojo humano y consiste en un proceso en el cual se combinan diferentes como el conjunto de colores primarios. Los modelos típicos de color están basados en 3 o 4 componentes de color. Los modelos de color se dividen en 3 categorías: Orientados a dispositivos (RGB), Orientados al usuario, Independientes del dispositivo (CIELAB). (Vásquez, 2015).

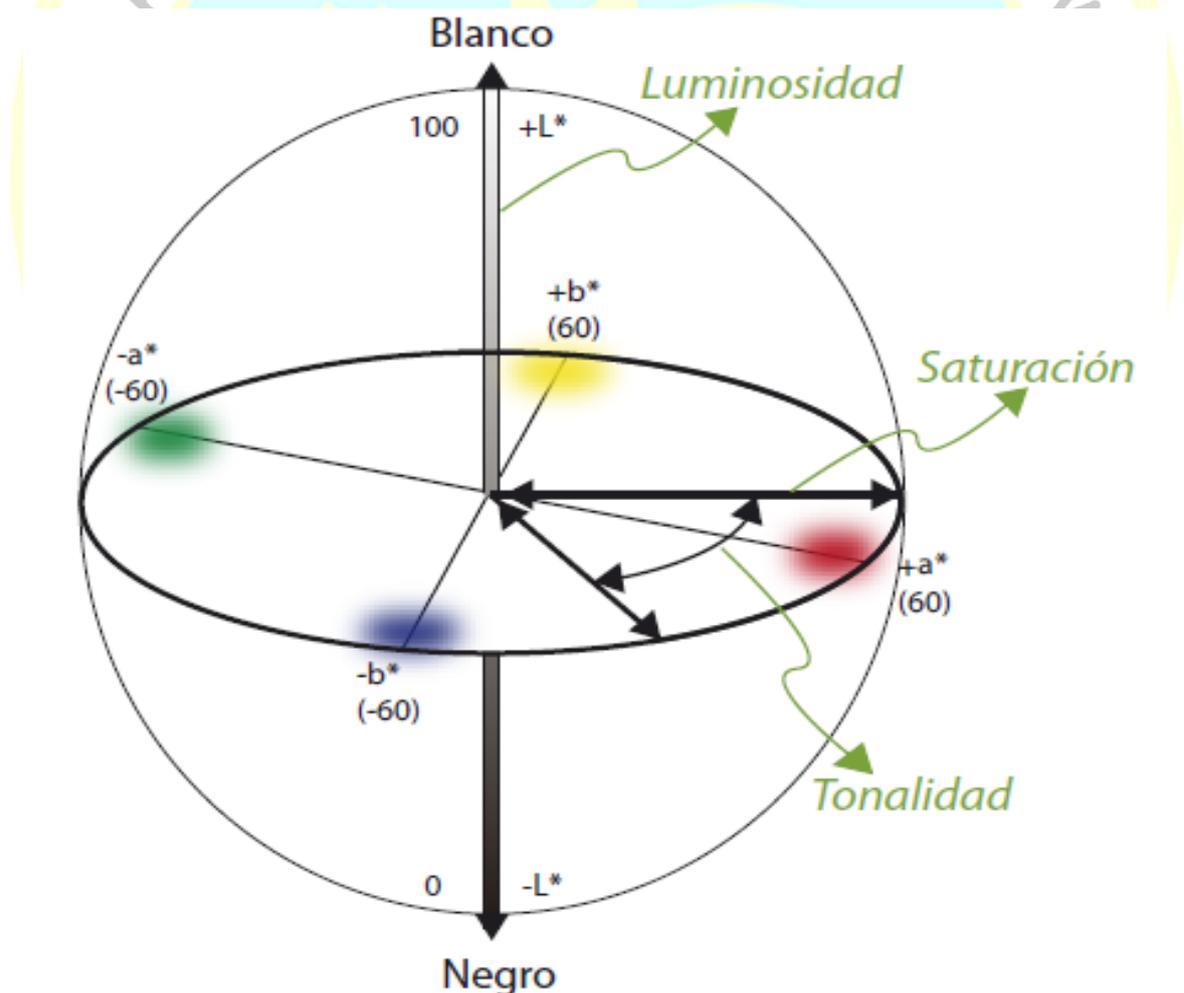
Estas escalas se utilizan en instrumentos de medición del color, en el marco de una serie de condiciones normales de iluminantes, observadores y la metodología de espectros, (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

CIELAB

El espacio de color CIELAB es un sistema coordenado cartesiano definido por tres coordenadas colorimétricas L^* , a^* , b^* , magnitudes adimensionales (Espinoza, 2017).

El modelo CIELAB se basa en la respuesta de los observadores patrones a un estímulo luminoso, es decir, trata de imitar la respuesta humana promedio a las longitudes de onda de la luz y cómo una persona promedio ve el color a través del espectro visible. Este modelo ha sido muy utilizado para el control de calidad en la industria, debido a su facilidad de diferenciar el color de la muestra con el color patrón o estándar (Carvajal, et al., 2011).

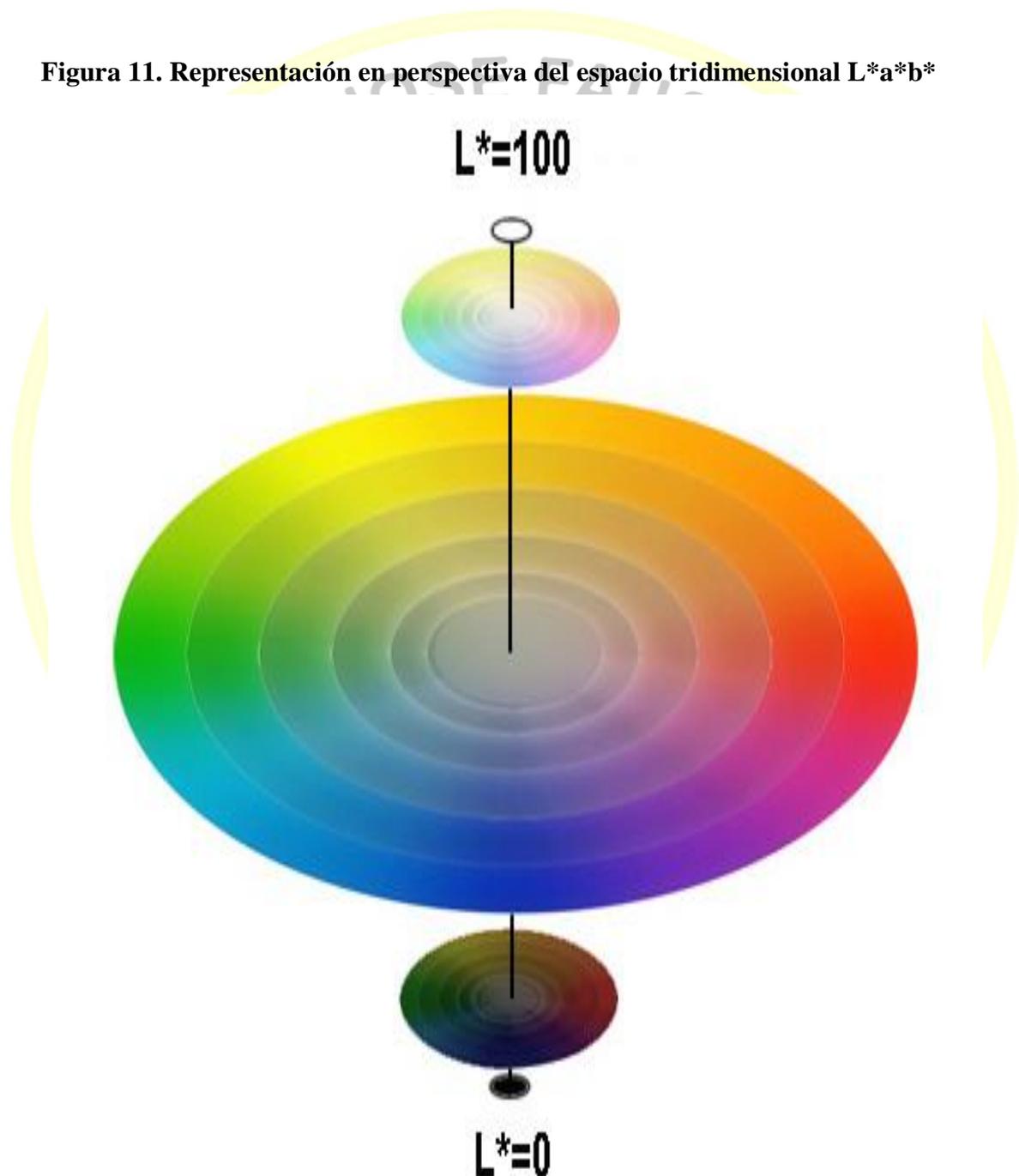
Figura 10. Coordenadas de color en el sistema CIELAB



Nota: Tomado de Ramírez-Navas (2010).

Espinoza (2017), refiere que la coordenada L^* recibe el nombre de claridad y puede tomar valores entre 0 y 100. La coordenada a^* define la desviación del punto acromático correspondiente a la claridad, hacia el rojo si $a^* > 0$, hacia el verde si $a^* < 0$. Análogamente la coordenada b^* define la desviación hacia el amarillo si $b^* > 0$, hacia el azul si $b^* < 0$, como muestra la figura 10. De esta manera, los colores se representan en el espacio a unas distancias proporcionales a las diferencias visuales entre ellos (figura 11).

Figura 11. Representación en perspectiva del espacio tridimensional $L^*a^*b^*$



Nota: Tomado de Konica-Minolta (2017).

Una vez obtenidos los datos de un color, normalmente nos interesa compararlo con otra muestra para evaluar sus diferencias. Si llamamos a esas diferencias ΔL^* , Δa^* y Δb^* para cada uno de los ejes L^* , a^* y b^* , la distancia total entre dos colores vendrá dada por ΔE^* , cuya fórmula es:

$$\sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]} \quad (1)$$

Mathias-Rettig & Ah-Hen (2014), mencionan que la a^* define la desviación del punto acromático correspondiente a la luminosidad hacia el rojo si a^* es positiva, y hacia el verde si a^* es negativa. Análogamente la coordenada b^* define la desviación hacia el amarillo si b^* es positiva, y hacia el azul si b^* es negativa. El conjunto a^* b^* recibe el nombre de cromaticidad y junto con L^* definen el color del estímulo (en coordenadas cartesianas o rectangulares); esto corresponde al término de cromaticidad que no indica explícitamente ni el tono ni la saturación. Este inconveniente se soluciona definiendo C^* (croma) y H^* (tono).

Ramírez-Navas (2010), indican que el espacio de color CIELAB puede ser representado con coordenadas cilíndricas de croma, saturación o pureza (C^*) y tonalidad o tipo de color (H^*), que se calculan a partir de a^* y b^* , y junto con L^* definen las coordenadas de un espacio cilíndrico que contiene los tres atributos psico-físicos básicos del color (luminosidad, saturación y tonalidad) L^* representa la cantidad de luz o transmitida por un objeto dentro de un mismo tono y saturación; C^* representa la distancia radial y describe el grado en que un color se separa del gris neutro y se acerca a un color puro del espectro, y H^* es función de ángulo en sistema de coordenada polar y corresponde a la dominancia de unas radiaciones a determinadas longitudes de onda sobre otras (tonos: 0° rojo, 90° amarillo, 180° verde y 270° azul). C^* y H^* pueden ser calculados de acuerdo a las ecuaciones siguientes (2) y (3):

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0,5} \quad (2)$$

$$H^* = \arctg \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (3)$$

El croma C^* toma el valor 0 para estímulos acromáticos y normalmente no pasa de 150, aunque puede superar valores de 1000 para estímulos monocromáticos, el tono, H^* , varía entre 0 y 360° y para los estímulos acromáticos ($a^* = b^* = 0$) es una magnitud indefinida. Ambos términos (C^* , H^*) también definen la cromaticidad del color de un

estímulo y, junto con la L^* , determinan las coordenadas cilíndricas del espacio CIE Lab, (Ramírez-Navas, 2010).

HunterLab (2012) señala que Hunter L, a, b y CIE $L^*a^*b^*$ son escalas de color basadas en la teoría del color-oponente. Esta teoría señala que los receptores en el ojo humano perciben el color como los siguientes pares opuestos, citado por (Espinoza, 2017).

- Escala L: Luminoso vs. oscuro, donde un número bajo (0-50) indica oscuridad y un número alto (51-100) indica luminoso.
- Escala a: Rojo vs. verde, donde un número positivo indica rojo y un número negativo indica verde.
- Escala b: Amarillo vs. azul, donde un número positivo indica amarillo y un número negativo indica azul.

Las diferencias entre Hunter L, a, b y CIE $L^*a^*b^*$ se detallan en la tabla 6.

Tabla 6: Comparación entre las Escalas HunterLab y CIELAB

CRITERIO	HUNTER L, a, b	CIE $L^* a^* b^*$
Función matemática	Raíz cuadrada de la función XYZ	Raíz cúbica de la función CIE XYZ
Especificaciones o métodos	Las especificaciones o métodos de color indican Hunter L, a, b como en la industria alimentaria	Las especificaciones de color o los métodos indican CIELAB
Frecuencia de uso	Poca frecuencia	Ampliamente utilizado
Comparación con datos anteriores	Los datos históricos de color se registraron en Hunter L, a, b	Los datos históricos de color se registraron en CIELAB
Sensibilidad del espacio de color	Medición de colores azules más que amarillos	Medición de amarillos más que azules y colores oscuros

Nota: Tomado de Espinoza, (2017).

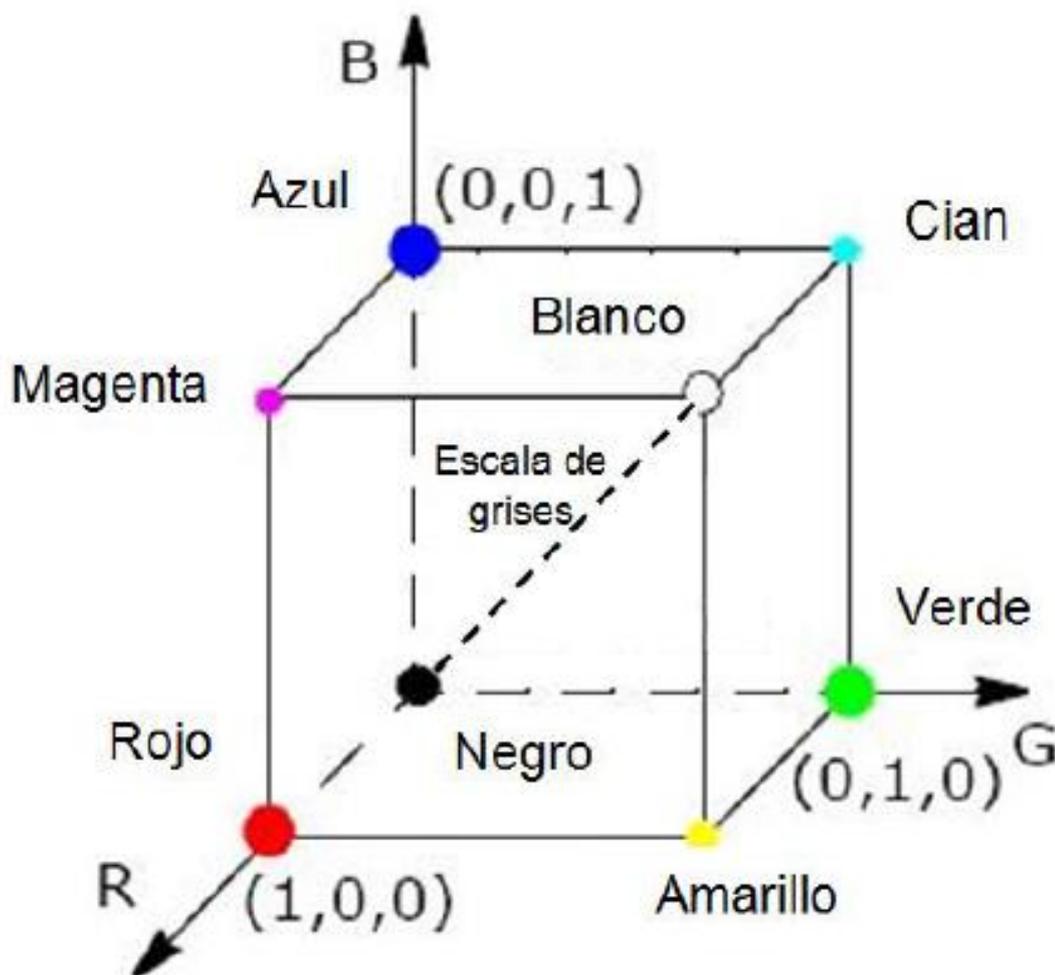
Mathias-Rettig & Ah-Hen (2014), el espacio de color CIE Lab, a pesar de tener la misma configuración que el sistema Munsell, presenta ventajas como el cálculo de las coordenadas es mucho más simple y las unidades de las escalas en las magnitudes CIE Lab

son casi iguales. La escala CIE Lab se expande en el área de los amarillos y se contrae en el área de los azules; comparado con el sistema Hunter Lab, los espacios de color de ambos resultan similares por que miden la luminosidad, el grado de rojo-verde y el de amarillo-azul, pero con magnitudes diferentes. Las diferencias de color en ambos sistemas se calculan de igual forma.

Modelo Adobe RGB

Vásquez (2015), menciona que es un modelo diseñado en el año 1996, su nombre deriva de las siglas en ingles “Red Green Blue” basado en los colores primarios “Rojo, Verde y Azul”, los cuales se pueden mezclar para generar nuevos colores del espectro. Como se representa en la figura 12. No requiere un proceso posterior de transformación, por lo que es ampliamente usado en aplicaciones informáticas.

Figura 12: Representación del modelo de color RGB



Nota: Noor et al., (2012) citado por Vásquez (2015).

Según la representación del modelo, cuando los tres colores primarios se igualan a cero el color que se obtiene es el negro, y en su esquina opuesta cuando los colores primarios en los que se basa el modelo se igualan a su máximo valor 255 se obtiene el color blanco.

Índice de color

Vignoni, Césari, Forte, & Mirábile (2006), mencionan que el color puede ser evaluado mediante la determinación del índice de color IC^* obtenido por la expresión (4) donde L, a, y b son los parámetros del sistema color CIELAB. El parámetro L proporciona un valor de la Luminancia o brillo de la muestra. El parámetro a indica la zona de variación entre el rojo y el verde del espectro. El parámetro b se refiere a la zona de variación entre el amarillo y el azul del espectro.

$$IC^* = \frac{a \times 1000}{L \times b} \quad (4)$$

El IC^* por sus características de variación puede utilizarse como variable de control de la calidad organoléptica de alimentos (Vignoni, et al., 2006):

- a) Si IC^* es negativo (-40 a -20), su valor relaciona los colores que van desde el azul-violeta al verde profundo.
- b) Si IC^* es negativo (-20 a -2), su valor relaciona los colores que van del verde profundo al verde amarillento.
- c) Si IC^* está entre -2 a +2, representa el amarillo verdoso.
- d) Si IC^* es positivo (+2 a +20), se relaciona con los colores que van desde el amarillo pálido al naranja intenso.
- e) Si IC^* es positivo (+20 a +40), se relaciona con los colores que van desde el naranja intenso al rojo profundo.

2.3 Definición de términos básicos

Capacidad Antioxidante: actividad biológica responsable de inhibir la oxidación de biomoléculas, promoviendo un efecto preventivo sobre determinadas enfermedades.

Antioxidante: Pueden ser definidos como sustancias cuya acción consistiría en inhibir la tasa de oxidación de los nocivos radicales libres (disminuyen las defensas, producen daño celular con la posibilidad de producir cáncer, arteriosclerosis y envejecimiento).

Espacio de color Lab: Lab es el nombre abreviado de dos espacios de color diferentes. El más conocido es CIELAB (estrictamente CIE 1976 L*a*b*) y el otro es Lab es una abreviación informal, y puede confundirse con uno u otro espacio de color. Los espacios de color están relacionados en intención y propósito, pero son diferentes. Las siglas LAB se refieren al espacio de color tridimensional, en donde L o L* es luminosidad de negro a blanco, A o a* va de rojo a verde y B o b* es la gradiente del azul.

La espectrofotometría: es un método científico utilizado para medir cuanta luz absorbe una sustancia química, midiendo la intensidad de la luz cuando un haz luminoso pasa a través de la solución muestra, basándose en la Ley de Beer-Lambert. Esta medición también puede usarse para medir la cantidad de un producto químico conocido en una sustancia.

Reflexión difusa: es la reflexión de la luz desde una superficie, de tal forma que un rayo incidente es reflejado en muchos ángulos, en vez de en solamente un ángulo, como en el caso de la reflexión especular. Muchos materiales comunes exhiben una mezcla de reflexión especular y reflexión difusa.

2.4 Hipótesis de investigación

2.4.1 Hipótesis general

Los parámetros colorimétricos del espacio CIELAB y la capacidad antioxidante total de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) al ser medidos por colorimetría y por Espectrofotometría de Reflectancia Difusa presentan una notable relación indicando que el color de grano se relaciona con su capacidad antioxidante.

2.4.2 Hipótesis específicas

- La colorimetría (CR-400) y la Espectrofotometría (LAMBDA) de Reflectancia Difusa son dos métodos similares para medir el color (IC, Índice de Color) según el espacio CIELAB ($L^* a^* b^* C^*$ y h°) en los granos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.).
- El método directo DPPH-Quencher permite medir la capacidad antioxidante total en los granos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y es similar al método DPPH extractable.
- Existe relación entre la capacidad antioxidante de la quinua con el Índice de color (IC) medido según el espacio CIELAB ($L^* a^* b^* C^*$ y h°)

2.5 Operacionalización de las variables

El estudio tuvo las siguientes variables operacionales:

Tabla 7: Operacionalización de las variables de estudio

VARIABLES	DIMENCIONES	INDICADORES
INDEPENDIENTE:		
* Color	-Valores Colorimétricos -Valores Espectrofotométrico	- Color CIEL*a*b* - C*, °h e Ind. Color (IC)
* Capacidad antioxidante total	Método DPPH-Quencher Método DPPH extractable	- uMol DPPH inhibido/g de quinua
DEPENDIENTE:		
Correlación Color-Capacidad antioxidante	Grado de correlación (r)	Matriz de correlación de Person/Spearman

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

Para lograr los objetivos que se plantearon en la presente investigación que es de carácter aplicada experimental ya que se desarrollará bajo un enfoque aplicado - cuantitativo; así por la cual mide la actividad antioxidante y el color como factores de estudio, se estableció el diseño metodológico procedimental en dos etapas tal como se aprecia en la figura 13.

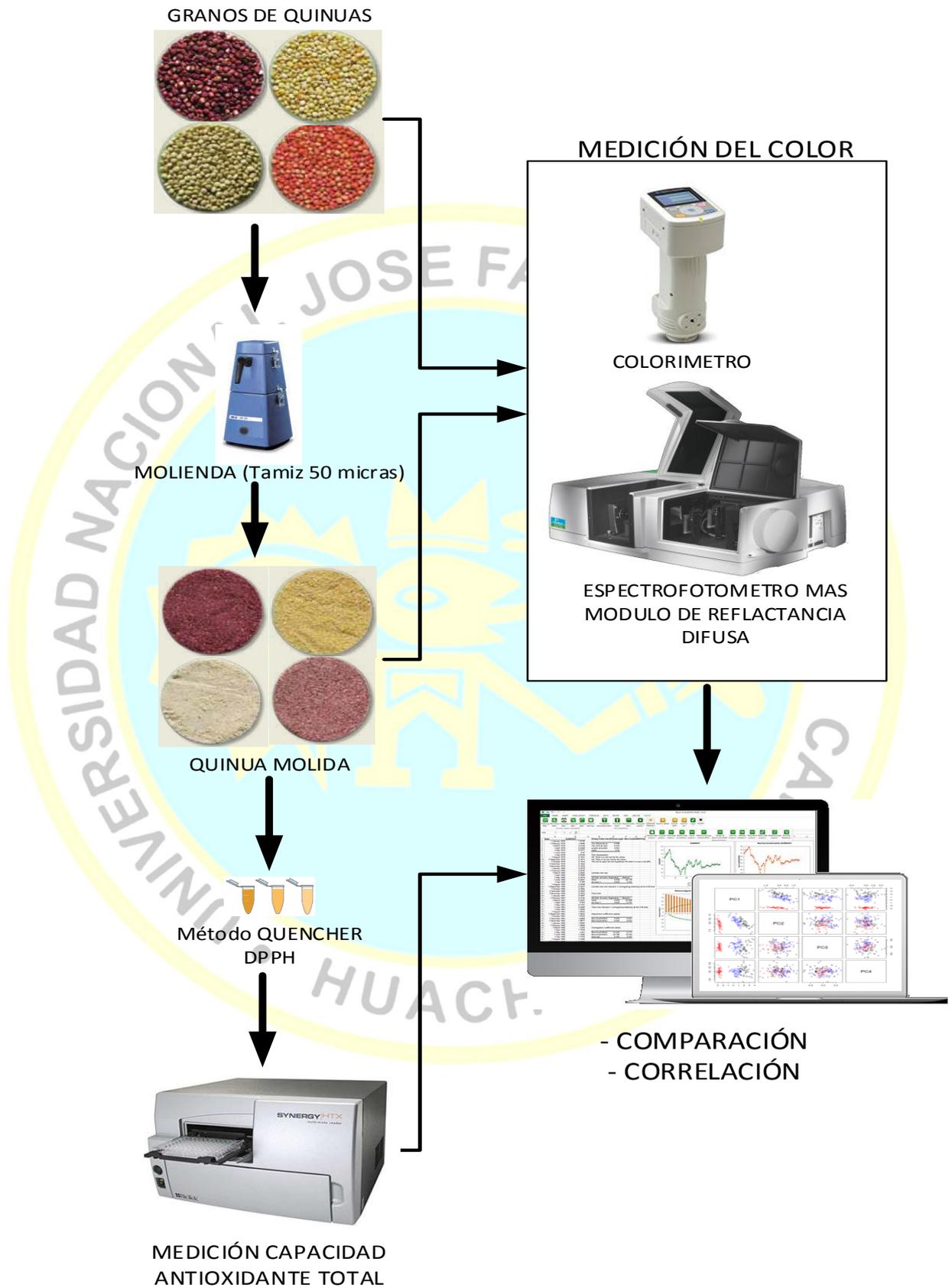
Fase 1: Medición del color de la quinua

Se recolectaron 30 quinuas de diferentes coloraciones, se adicionaron dos quinuas comerciales de coloración blanca, las mismas que son las más comercializadas en los supermercados locales, la medición del color es empleando un colorímetro triestímulo y la otra forma es empleando el espectrofotómetro que tiene adaptado una esfera de integración para la reflectancia difusa, la medición en este caso es en porcentaje de reflectancia entre 400 a 700 nm.

Fase 2: Determinación de la capacidad antioxidante total de la quinua

En esta fase los granos de quinua fueron molidos hasta un tamaño que paso un tamiz de 50 micras (0.05 mm) y con ello se procedió a determinar la capacidad antioxidante total por el método directo DPPH-Quencher y también comparado con el método tradicional DPPH extractable, las mediciones fue empleando un lector de microplaca en el modo absorbancia a 520 nm.

Figura 13: Esquema del proceso experimental realizado para la medición del color y de la capacidad antioxidante total de las quinuas



3.2 Población y muestra

Las muestras consisten en los granos de quinua fueron recolectadas desde el altiplano peruano (Puno) y otras dos serán adquiridas de los centros comerciales tanto del ámbito local o de Lima, la selección fue priorizando que sean quinuas de diversas variedades con diferentes coloraciones en los granos, sanos y enteros, libres de materia extraña entre los granos.

3.2.1 Población

Se seleccionaron 30 quinuas diferenciados por su coloración, granos sanos, enteros y bien conservados, también fueron incluidas dos quinuas de color blancas las mismas que son las más comerciales en los mercados locales.

3.2.2 Muestra

Para la medición del color y para la evaluación de la capacidad antioxidante total en los granos de quinua se tendrá que para el caso del color las muestras son enteras/molidas, y para la determinación de la capacidad antioxidante las muestras deben estar finamente molidas.

3.3 Técnicas de recolección de datos

Se utilizaron técnicas experimentales a nivel de laboratorio, se registraron los datos de las variables dependientes del espacio de color (L^* , a^* , b^* , c^* y $^{\circ}h$) y la capacidad antioxidante total (mMol DPPH inhibido/Kg de quinua) como factores de estudio de las diferentes muestras de quinua, los valores obtenidas desde las lecturas del colorímetro, del espectrofotómetro y desde el lector de multiplaca en el caso de la actividad antioxidante.

3.3.1 Lugar de Ejecución

El siguiente trabajo de investigación se realizó en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, en el Laboratorio de Procesos e Ingeniería de Alimentos, de la Escuela de Ingeniería de Industrias Alimentarias, donde se encuentra instalado el Proyecto de Investigación – FOCAM: Formulación de Bebidas Funcionales con Capacidad Antioxidante a base de Frutas y Verduras. VRI-UNJFCS.

3.3.2 Tecnología empleada

Determinación del Color:

Colorimétrica: se realizó por triplicado en los granos enteros y molidos de las quinuas empleando un colorímetro CR-400 (Konica Minolta Inc., Japón), las muestras colocadas en un disco de vidrio óptico de 40 mm de diámetro se empleó para medir los parámetros de color CIEL*a*b* según lo expuesto por (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014) para lo cual se usó el software OnColor QC (CyberChrome, Inc, USA), para la calibración se empleó una placa blanca estándar de cerámica (CRA43, Konica Minolta Inc., Japón) con un iluminante C y un observador 2°, los colorímetros son dispositivos triestimulares (tres filtros) para cada longitud de onda: filtros rojo, verde y azul, de esta forma se emula la respuesta del ojo humano al color y la luz (Konica-Minolta, 2017).

Espectrofotométrica: se empleó un espectrofotómetro Lambda 1050 UV/Vis/ NIR (PerkinElmer, CA, USA) equipado con una esfera de integración de 150 mm (Labsphere, NH, USA), 8 a 10 gramos de quinua entera ó molida fue contenida en una celda de vidrio óptico (10 x 50 x 54 mm) y colocada en la apertura de la esfera de integración para su medición, para su calibración se empleó un disco estándar de Spectralon (Certified reflectance standard, Labsphere, NH, USA) usado para muestras solidas en reflectancia difusa, los parámetros se obtuvieron del software Color UV WinLab (PerkinElmer, USA) a partir de los espectros de 400-760 nm obtenidos por el equipo el cual contiene un dispositivo fotoeléctrico para cuantificar la potencia de radiación, capaz de seleccionar y medir la intensidad de las radiaciones de diferentes longitudes de onda contenidas en un espectro, dentro del rango para el cual ha sido diseñado, (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

Determinación de la Capacidad antioxidante total

Método directo DPPH-Quencher

Para la capacidad antioxidante por el método directo Quencher (QUICK, Easy, New, CHEap y Reproducible) se siguió lo propuesto por Condezo-Hoyos, Abderrahim, Arriba, & González (2015), donde resumidamente se pesa un miligramo de quinua molida y se mezcló con 1 mL de DPPH (120 µmol L⁻¹ disuelto en metanol 1: 1/10 mmol L⁻¹ Tris-HCl buffer pH 7,5) y se agitó a 200 rpm durante 10 minutos en temperatura ambiente con un agitador orbital TOS-4030FD (Shaker, MRC Laboratory Equipment, Israel) bajo condiciones de oscuridad cubriendo las muestras con papel de aluminio. Posteriormente, las muestras se

centrifugaron (HERMLE, Z216 MK, Labortechnik GmbH, Wehingen, Alemania) a 3500xg durante 10 minutos a temperatura ambiente y se transfirieron los sobrenadantes (200 μ L) a cada microplaca de 96 pocillos (Nunc TM MicroWell TM de 96 pozos, Thermo Scientific, Madrid, España). La absorbancia se midió a 520 nm empleando un lector de microplacas Synergy HTX Multi-Modal (Biotek, Rochester, VT, USA). La capacidad antioxidante total se calculó como índice de capacidad de secuestro (SCI) y se expresó en mMol DPPH inhibido/ Kg de peso fresco de quinua.

Método DPPH extractable

El método tradicional para la actividad antioxidante con el DPPH, fue descrito por Brand-William et al (1995) y tiene muchas modificaciones, entre las que destacan lo descrito por Abderrahim, et al. (2015) donde brevemente, las muestras se extrajeron con ácido (HCl)-metanol/agua (50:50, v/v, pH 2) en un agitador orbital (Shaker) TOS-4030FD (MRC Laboratory Equipment, Israel) a velocidad máxima durante 1 h (temperatura ambiente) en condiciones de oscuridad cubriendo las muestras con papel de aluminio, luego este extracto crudo fue centrifugado a 10000xg durante 10 minutos (4°C) (Hermle Labortechnik GmbH, Wehingen, Alemania), se realizó una segunda extracción luego de separar el sobrenadante, se usó Acetona/agua (70:30, v/v) y se procedió con los mismos pasos de la primera extracción, los dos sobrenadantes son mezclados en mismo volumen y se almacenaron a -40°C en un ultra congelador ULUF (Arctiko, Lammefjordsvej, Dinamarca) hasta el análisis. Se utilizó una relación solvente/sólido = 20 para todas las extracciones de las quinuas.

Los extractos de quinua diluidos (10 μ L) o el blanco control son colocados en cada pocillo de la micro placa por triplicado y se mezclan con 200 μ L de DPPH (60 μ mol L⁻¹ disuelto en metanol 1: 1/10 mmol L⁻¹ Tris-HCl buffer pH 7,5), después de 10 minutos de incubación a temperatura ambiente, se midió la absorbancia a 520 nm con un lector de microplacas Synergy HTX Multi-Modal (Biotek, Rochester, VT, USA). La capacidad antioxidante extraíble se calculó como índice de capacidad de secuestro (SCI) y se expresó en mMol DPPH inhibido/Kg peso fresco de quinua.

3.4 Técnicas para el procesamiento de la información

Para el proceso de análisis de datos:

Se utilizó para el análisis estadístico lo siguiente; Prueba de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) para la normalidad, para el coeficiente de correlación mediante el método de Spearman, la prueba no paramétrica de Wilcoxon para el contraste de hipótesis, Análisis de Componentes Principales PCA (por su sigla en inglés. Rahlf, 2017) y análisis de conglomerados (Cluster) que son métodos estadístico multivariado que agrupa la correlación de las variancias de cada variables en componentes identificables (De la Ossa, Hernández, & Hernández, 2016), para todas estos análisis de datos se empleó el software R Project (R Core Team, 2018, versión 3.5.1) con procedimiento de acuerdo a Zeltermán (2015) y Hothorn (2010). Para las graficas se empleo el software GraphPad (GraphPad Prism 6.1, San Diego, CA, USA) y la hoja de cálculo de Microsoft Excel, así como los demás estadísticos de promedio, desviación estándar, coeficiente de variabilidad, también se empleó el Software del equipo lector de microplaca multimodal, GEN5 (Biotek, Versión 2. Rochester, VT, USA). Las gráficas de los espectros reflectancia y longitud de onda de las quinuas fueron utilizando el software de espectroscopia óptica SpectraGryph (Versión 1.2.9, Alemania).

Para la presentación de resultados:

Se utilizará gráficos lineales, tablas y diagramas de resultados por análisis.

3.4.1. Materiales y equipos

a) Materia Prima

- Quinuas coloreadas provenientes del altiplano peruano
- Quinuas blancas comerciales

b) Equipos y Materiales

Para la preparación de la muestra

- Cuveta vidrio óptico rectangular para espectrofotómetro (10x50x54 mm)
- Placa petri circular para colorímetro (40 mm de diámetro)
- Molino pulverizador, marca IKA, M20, Alemania

- Tamiz de 50 micrones, Gilson, USA
- Bolsas herméticas de cierre zip
- Recipientes plásticos y vidrio
- Microtubos de 2.0 mL (tipo Eppendorf)
- Vasos de vidrio pirex volúmenes 5,10,25,50 y 100 ml

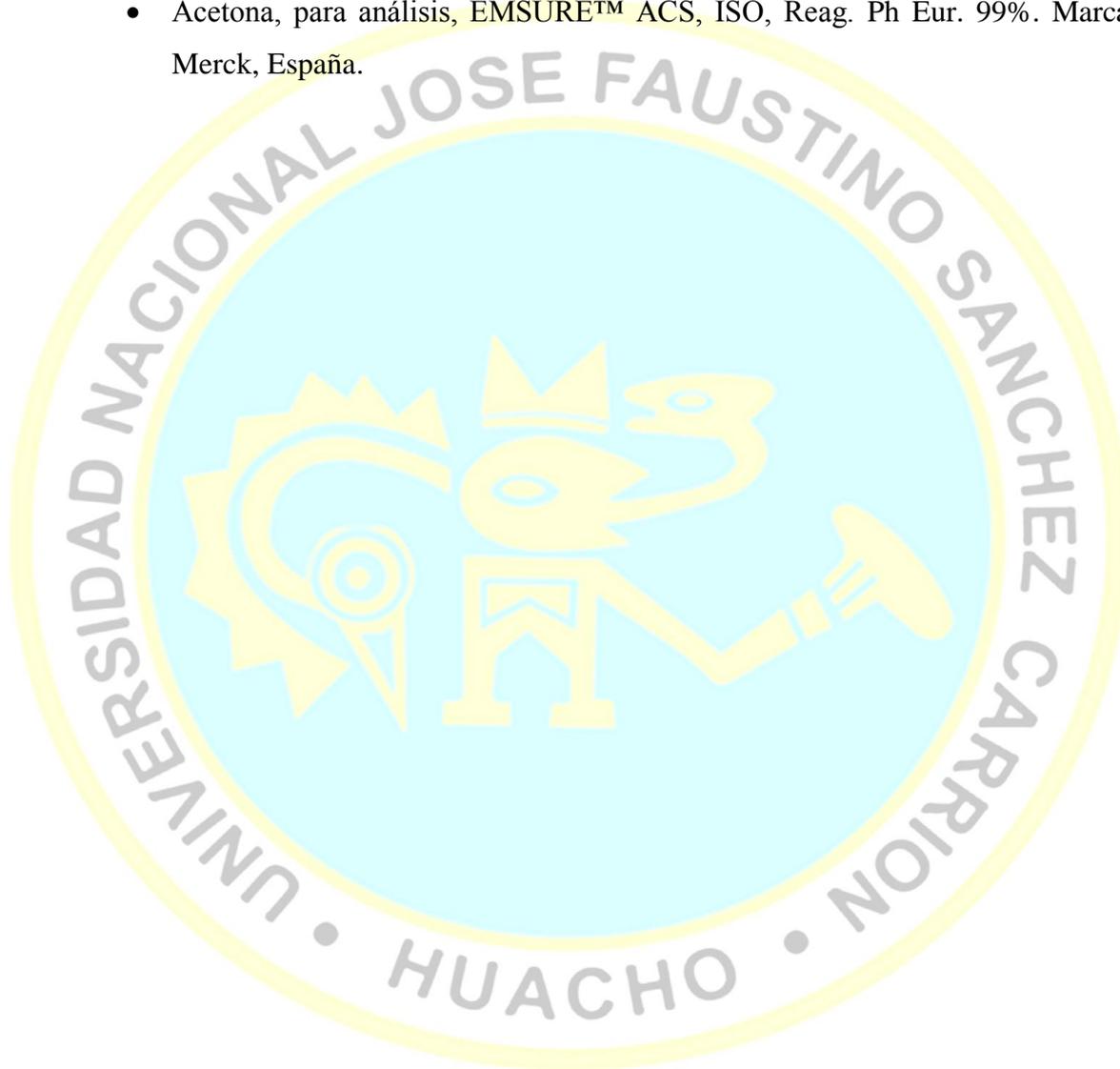
Para análisis

- Balanza semi-micro analítica, precisión de 0,01 mg, marca Radwag. USA.
- Colorímetro manual, CR-400, marca Konica Minolta Inc., Japón
- Microplacas de 96 pocillos, marca Nunc™ MicroWell™ de 96 pozos, Thermo Scientific, Madrid, España.
- Termómetros digitales Scales -10°C hasta 120°C, marca Hanna Instruments.
- Agitador orbital (Shaker) TOS-4030FD, Marca MRC, Laboratory Equipment, Israel.
- Micropipetas Transferpette electrónicas de 5 a 50 uL, 10 a 10 ul y 100 a 1000 ul, Marca Brand, GmbH, Alemania.
- Lector de microplacas Synergy HTX Multi-Modal, Marca Biotek, Rochester, VT, USA.
- Microcentrifuga Refrigerada, Marca Hermle, Labortechnik GmbH, Wehingen, Alemania.
- Espectrómetro UV-Vis Marca PerkinElmer, LAMBDA 1050, con esfera de integración de 150 mm
- Ultra congelador ULUF, Marca Arctiko, Lammefjordsvej, Dinamarca.

d) Reactivos

- 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), Marca Sigma-Aldrich.

- Metanol, para análisis, ACS, ISO, Reag. Ph Eur, 99.9 %. Marca Scharlau.
- Tris base, (Trisma base), 99 %. Marca Sigma-Aldrich.
- Agua grado ultra pura, Milli Q (<18.2 mΩ)
- Ácido Hidroclorhídrico, marca Merck, España.
- Acetona, para análisis, EMSURE™ ACS, ISO, Reag. Ph Eur. 99%. Marca Merck, España.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

4.1.1 Resultados del color de las muestras

Los granos de quinuas que se emplearon en el estudio fueron 30 semillas coloreadas procedentes del altiplano peruano y más dos muestras de quinua comerciales del mercado local, los nombres comunes se pueden apreciar en la siguiente tabla 8.

Tabla 8: Nombre común y Procedencia de las semillas de quinua

Muestra	Nombre Común	Procedencia
Q ₁	Blanca Real	Junín (Supermercado)
Q ₂	Blanca comercial	Mercado local
Q ₃	Coyto (C'oitu, Ccoitu)	Altiplano-Perú
Q ₄	Pasankalla plomo	Altiplano-Perú
Q ₅	Misturita de Batalla	Altiplano-Perú
Q ₆	Amarilla mixtura Ayaviri	Altiplano-Perú
Q ₇	Kello (Q'ello jiuira)	Altiplano-Perú
Q ₈	Batalla	Altiplano-Perú
Q ₉	Chulpi Real (Ch'ullpi, Pesqe real)	Altiplano-Perú
Q ₁₀	Wariponcho	Altiplano-Perú
Q ₁₁	Naranja Chullpi	Altiplano-Perú
Q ₁₂	Marangani Amarillo	Altiplano-Perú
Q ₁₃	Amarilla	Altiplano-Perú
Q ₁₄	Amarilla 1152	Altiplano-Perú
Q ₁₅	Witulla	Altiplano-Perú
Q ₁₆	Witulla amarilla	Altiplano-Perú
Q ₁₇	Ayara amarilla	Altiplano-Perú
Q ₁₈	Sabona gigante	Altiplano-Perú
Q ₁₉	Rosa de Cabana	Altiplano-Perú
Q ₂₀	Pasankalla roja (Phisanqalla)	Altiplano-Perú
Q ₂₁	Chullpi rosado (Ch'ullpi, Pesqe jiuira)	Altiplano-Perú
Q ₂₂	Pasankalla Rosada -Guinda (Koscosa)	Altiplano-Perú
Q ₂₃	Chuchivila Azangaro (Chuchi jiuira)	Altiplano-Perú
Q ₂₄	Ayrampo	Altiplano-Perú
Q ₂₅	Cuchivilla chicha (Chuchi jiuira)	Altiplano-Perú
Q ₂₆	Cuchiwilla roja Cabana (Chuchi jiuira puka)	Altiplano-Perú
Q ₂₇	Chicha quinua	Altiplano-Perú
Q ₂₈	Cocochiwilla roja	Altiplano-Perú
Q ₂₉	Quinoa negra	Altiplano-Perú
Q ₃₀	Ayara (sin pelar)	Altiplano-Perú
Q ₃₁	Mama Ayara	Altiplano-Perú
Q ₃₂	Ayara - Circunlacustre Lago Titicaca	Altiplano-Perú

En la figura 14, se puede apreciar las imágenes de cada muestra de quinua que fueron empleadas para el estudio.

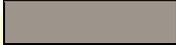
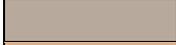
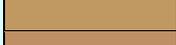
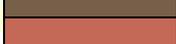
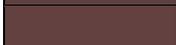
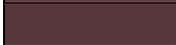
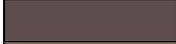
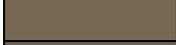
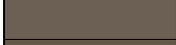
Figura 14: Imágenes de la quinuas empleadas en el estudio



Color de los granos enteros.

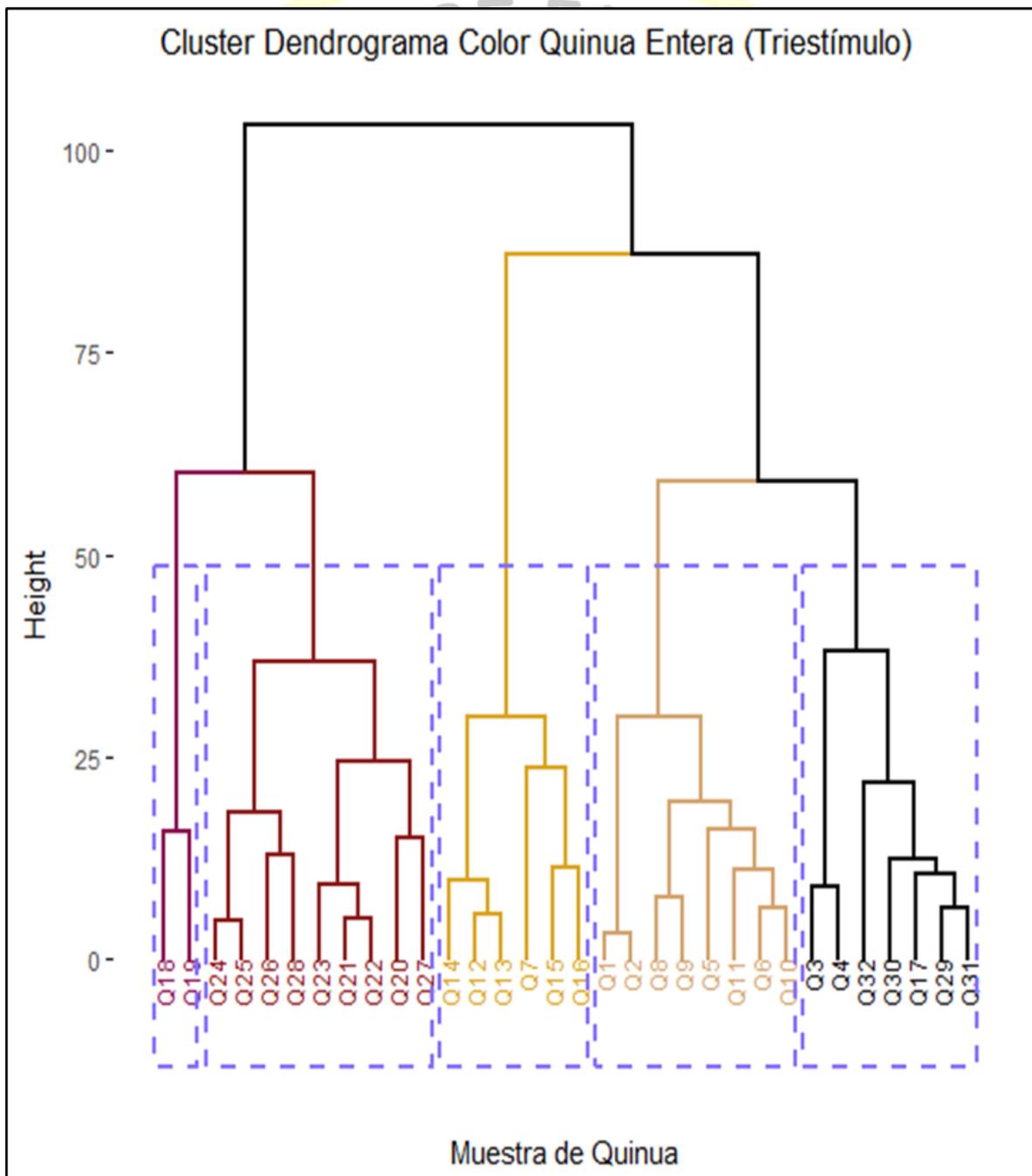
Los resultados del método triestímulo con el colorímetro CR-400 se puede apreciar en la siguiente tabla 9 mostrando las coordenadas CIEL*a*b* y el espacio RGB en donde se visualiza las diferentes tonalidades en los granos de quinua.

Tabla 9: Valores de la colorimetría triestímulo (CR-400) en la quinua grano entero

Muestra de Quinua	Parámetros de color					Color RGB
	L*	a*	b*	Croma	h°	
Q ₁	81.10±0.09	1.85±0.04	19.38±0.58	19.47±0.58	84.57±0.04	
Q ₂	82.09±0.06	2.35±0.08	17.77±0.41	17.92±0.40	82.46±0.38	
Q ₃	61.95±0.00	1.69±0.00	5.61±0.00	2.95±0.00	73.19±0.00	
Q ₄	69.93±0.06	2.48±0.02	8.54±0.01	5.74±0.01	73.80±0.14	
Q ₅	75.05±0.03	10.67±0.00	27.55±0.02	26.40±0.02	68.83±0.01	
Q ₆	70.37±0.05	9.67±0.05	34.72±0.02	32.71±0.01	74.44±0.08	
Q ₇	73.88±0.11	8.83±0.00	45.19±0.08	42.59±0.08	78.94±0.02	
Q ₈	69.61±0.15	3.08±0.01	25.86±0.07	22.52±0.07	83.22±0.00	
Q ₉	69.65±0.01	5.49±0.03	30.06±0.03	27.11±0.03	79.65±0.05	
Q ₁₀	65.28±0.28	7.59±0.24	34.27±0.07	31.69±0.12	77.51±0.36	
Q ₁₁	63.01±0.00	11.50±0.00	29.95±0.00	28.93±0.00	68.99±0.00	
Q ₁₂	70.71±0.08	16.33±0.07	55.36±0.02	54.40±0.00	73.56±0.08	
Q ₁₃	65.85±0.02	16.17±0.05	57.12±0.04	56.03±0.03	74.20±0.05	
Q ₁₄	63.60±0.11	20.30±0.05	57.94±0.15	58.16±0.16	70.70±0.01	
Q ₁₅	61.37±0.07	18.43±0.04	44.45±0.04	45.00±0.03	67.48±0.06	
Q ₁₆	56.70±0.23	15.75±0.33	37.78±0.33	37.82±0.17	67.37±0.60	
Q ₁₇	42.55±0.07	5.19±0.08	16.80±0.04	14.35±0.02	72.84±0.29	
Q ₁₈	54.43±0.00	33.54±0.07	26.38±0.01	40.94±0.06	38.19±0.05	
Q ₁₉	49.01±0.04	41.18±0.04	21.37±0.04	45.29±0.03	27.43±0.07	
Q ₂₀	47.90±0.03	20.16±0.02	13.79±0.00	23.02±0.02	34.37±0.02	
Q ₂₁	42.64±0.06	23.28±0.04	9.55±0.03	24.49±0.05	22.31±0.01	
Q ₂₂	43.37±0.03	22.21±0.03	7.33±0.03	23.00±0.03	18.25±0.09	
Q ₂₃	36.02±0.00	19.75±0.03	8.18±0.00	20.75±0.02	22.49±0.04	
Q ₂₄	30.40±0.02	12.80±0.08	4.64±0.00	13.33±0.07	19.94±0.11	
Q ₂₅	31.21±0.03	13.59±0.02	6.13±0.00	14.30±0.02	24.26±0.02	
Q ₂₆	27.28±0.00	14.80±0.01	2.97±0.00	15.30±0.01	11.36±0.01	
Q ₂₇	43.85±0.01	11.52±0.01	8.88±0.04	13.11±0.02	37.64±0.15	
Q ₂₈	34.34±0.02	7.24±0.07	1.23±0.03	8.09±0.07	9.65±0.17	
Q ₂₉	45.10±0.01	2.42±0.01	12.54±0.01	9.38±0.02	79.10±0.05	
Q ₃₀	41.15±0.01	3.17±0.02	8.54±0.01	6.13±0.00	69.62±0.14	
Q ₃₁	38.81±0.05	2.41±0.01	11.83±0.05	8.70±0.05	78.49±0.02	
Q ₃₂	32.43±0.01	0.85±0.01	3.23±0.02	1.40±0.02	75.30±0.13	

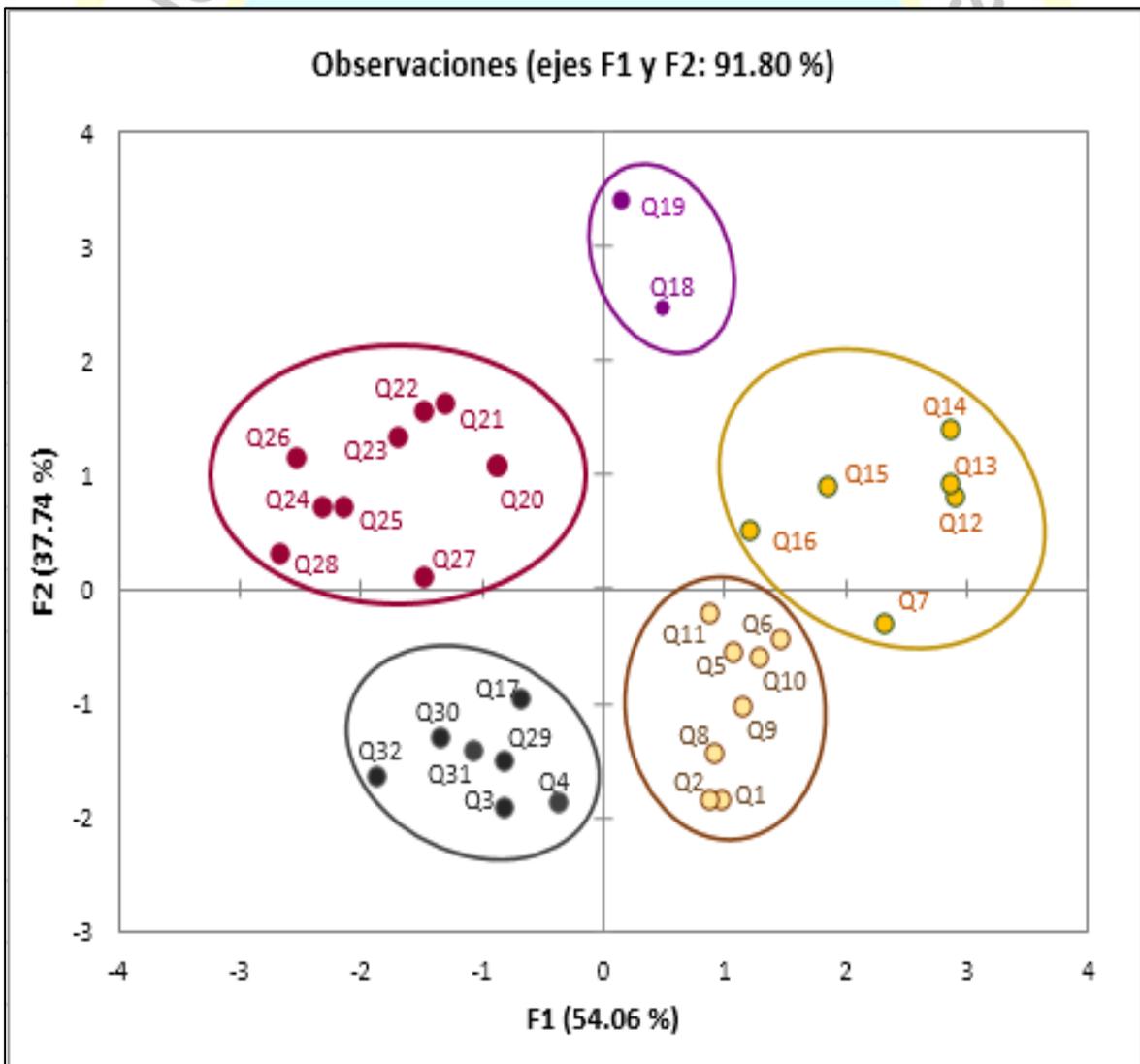
Con la finalidad de agrupar a los granos de quinua en grupos de colores se realizó un análisis de conglomerados permitiendo agrupar por similitud según los parámetros de color L^* , a^* , b^* , Cromo y h° determinados con el colorímetro triestímulo CR-400, los resultados son apreciados en la figura 15 donde resulta 5 grupos de colores diferentes en las quinuas enteras (Grupo 1=2, Grupo 2=9, Grupo 3=6, Grupo 4=8 y Grupo 5=7).

Figura 15: Dendrograma del análisis de conglomerados (método distancia Euclidiana) para el color de 32 quinuas grano entero.



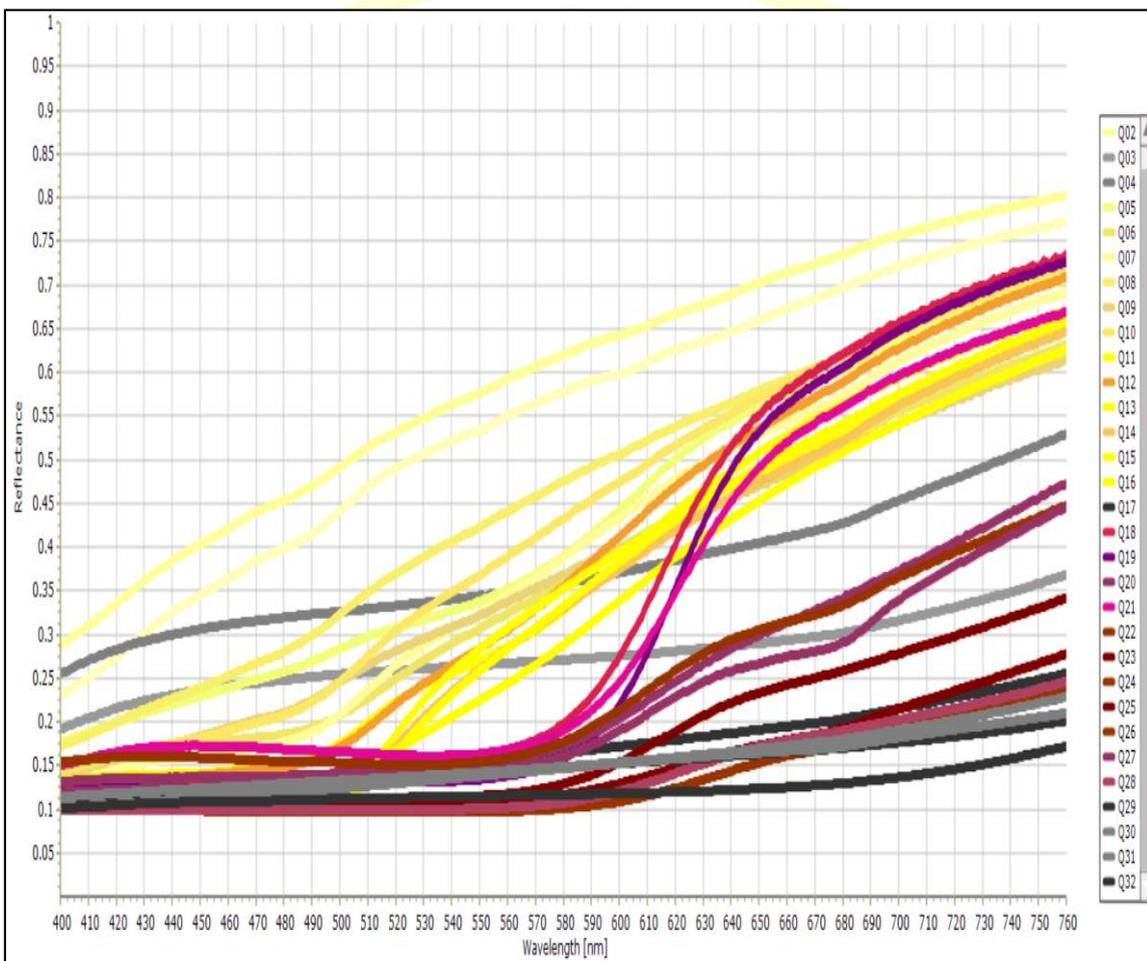
El análisis de componentes principales realizado sobre los mismos resultados de las coordenadas del color de las quinuas enteras muestra la concordancia entre los resultados del análisis de conglomerados, la figura 16 presenta los mismos 5 grupos de diferentes colores, el primer componente F1 que representa el 54.06% separa hacia la derecha a las quinuas de color amarillo (coordenada +b*) y con mayor Luminosidad (L*) haciendo lo contrario a los grupos del lado izquierdo, en tanto el segundo componente F2 que expone el 37.74% estaría relacionando la influencia de las coordenada a* con valores más altos para el grupo de quinua con coloración guinda-rosada y separando al grupo de quinuas oscuras o ploma-negra.

Figura 16: Comportamiento biplot de las coordenadas CIEL*a*b* para los grupos de colores de quinua entera



Para la medición del color de los granos enteros de las quinuas por el método de reflectancia difusa usando la esfera de integración con el espectrofotómetro LAMBDA-1050 en primer lugar se obtienen los espectros en la región Visible desde los 400 nm hasta 700 nm, en la figura 17 se aprecia los promedios de los espectros para las 32 muestras de quinuas enteras en la cual se puede apreciar los grupos de colores donde los granos con coloraciones más claras o mayor iluminancia tienen mayor valor de reflectancia.

Figura 17: Espectro de reflectancia (fracción) de las muestras de quinoa entera



La obtención de los parámetros de color o las coordenadas CIEL*a*b* son calculadas mediante el programa Color V3.0 de PerkinElmer a partir de los espectros de reflectancia difusa.

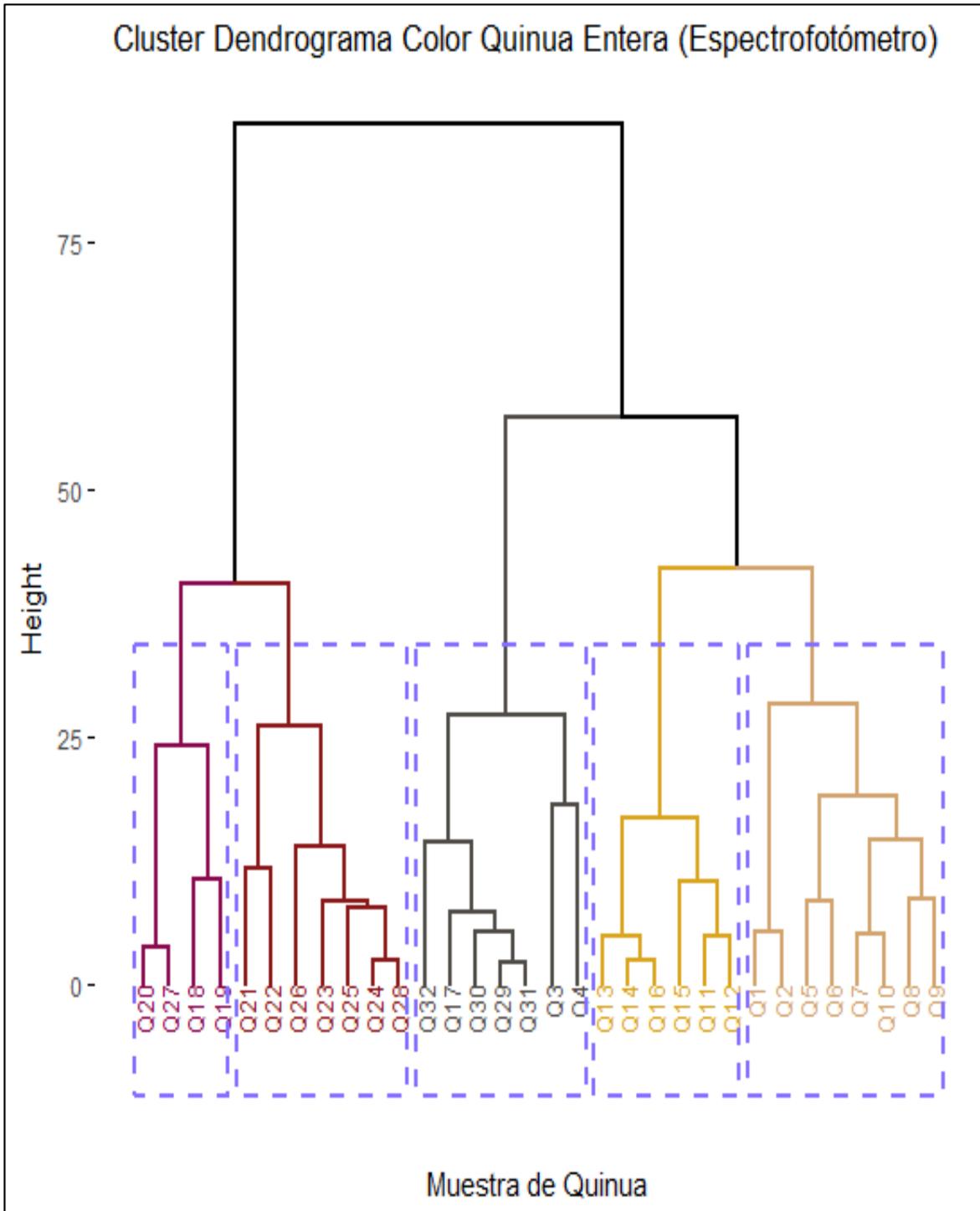
Los resultados de las coordenadas CIEL*a*b* que corresponden al color por el método de reflectancia difusa se pueden apreciar en la siguiente tabla 10 mostrando también el espacio RGB en donde se visualiza las diferentes tonalidades en los granos.

Tabla 10: Valores de la colorimetría espectrofotométrica en la quinua grano entero

Muestra de Quinoa	Parámetros de color					Color RGB
	L*	a*	b*	Croma	h°	
Q ₁	78.43±0.45	0.46±0.18	21.61±0.24	20.62±0.24	88.77±0.47	
Q ₂	80.89±0.51	0.94±0.24	18.59±0.63	17.63±0.64	87.11±0.65	
Q ₃	58.64±0.39	0.01±0.08	5.05±0.29	4.06±0.29	89.91±0.87	
Q ₄	65.75±0.69	1.82±0.29	6.17±0.11	5.50±0.02	73.56±2.78	
Q ₅	66.89±1.14	8.51±0.67	19.71±0.42	20.58±0.66	66.67±1.20	
Q ₆	63.30±0.76	8.42±0.74	24.21±0.80	24.71±0.98	70.85±1.03	
Q ₇	65.03±0.81	8.67±0.15	29.72±1.22	30.02±1.15	73.72±0.80	
Q ₈	71.71±1.13	3.28±0.44	25.66±0.44	24.90±0.42	82.72±1.02	
Q ₉	64.61±0.63	4.57±0.30	23.74±0.50	23.21±0.53	79.11±0.58	
Q ₁₀	68.18±1.30	7.02±1.55	30.37±0.71	30.23±0.77	77.01±2.80	
Q ₁₁	61.06±1.02	11.77±1.41	27.68±0.52	29.19±0.81	66.99±2.44	
Q ₁₂	62.87±1.47	12.48±1.92	30.63±1.02	32.19±1.65	67.92±2.47	
Q ₁₃	60.85±1.18	12.22±0.51	36.42±1.64	37.49±1.46	71.42±1.34	
Q ₁₄	59.25±0.35	13.40±0.54	35.01±0.50	36.57±0.50	69.05±0.83	
Q ₁₅	56.90±1.27	14.39±0.16	26.54±0.68	29.33±0.53	61.53±0.83	
Q ₁₆	59.29±0.73	14.80±1.13	36.15±0.70	38.18±0.20	67.73±1.92	
Q ₁₇	46.17±0.31	2.67±0.03	9.23±0.49	8.67±0.47	73.86±0.70	
Q ₁₈	52.25±0.88	23.38±0.60	16.51±1.04	28.09±0.55	35.21±2.12	
Q ₁₉	48.91±2.03	24.61±1.09	12.16±1.29	27.07±0.45	26.32±3.43	
Q ₂₀	48.26±0.49	11.13±0.52	7.77±0.36	13.06±0.26	34.94±2.48	
Q ₂₁	52.01±1.85	20.07±1.24	6.52±0.48	20.85±1.08	18.06±2.26	
Q ₂₂	49.11±1.04	12.45±0.71	4.26±0.67	12.90±0.59	18.97±3.49	
Q ₂₃	42.78±0.81	10.62±0.36	5.13±0.11	11.42±0.32	25.83±1.05	
Q ₂₄	39.57±0.84	6.61±0.57	2.63±0.61	6.85±0.45	21.86±5.97	
Q ₂₅	40.59±0.33	6.24±0.36	3.50±0.13	6.74±0.29	29.35±2.25	
Q ₂₆	38.32±1.05	5.19±0.23	1.50±0.28	5.24±0.21	16.12±3.41	
Q ₂₇	46.67±1.22	10.25±0.95	8.03±0.32	12.45±0.95	38.16±1.65	
Q ₂₈	39.37±0.30	6.84±0.98	3.04±0.24	7.16±1.01	24.09±1.42	
Q ₂₉	44.58±0.55	1.18±0.06	5.86±0.44	5.02±0.44	78.62±0.25	
Q ₃₀	44.83±0.18	1.51±0.15	5.10±0.14	4.39±0.18	73.51±1.11	
Q ₃₁	44.24±0.53	1.54±0.17	7.14±0.58	6.34±0.60	77.88±0.59	
Q ₃₂	40.46±0.60	0.30±0.13	2.10±0.46	1.17±0.41	81.39±4.60	

El agrupamiento de los colores de los granos de quinua entera realizados con el espectrofotómetro LABDA-1050 según el análisis de conglomerados son mostrados en la figura 18, la similitud según los parámetros de color L*, a*, b*, Croma y h° exponen 5 grupos de coloraciones en los granos (Grupo 1=4, Grupo 2=7, Grupo 3=7, Grupo 4=6 y Grupo 5=8).

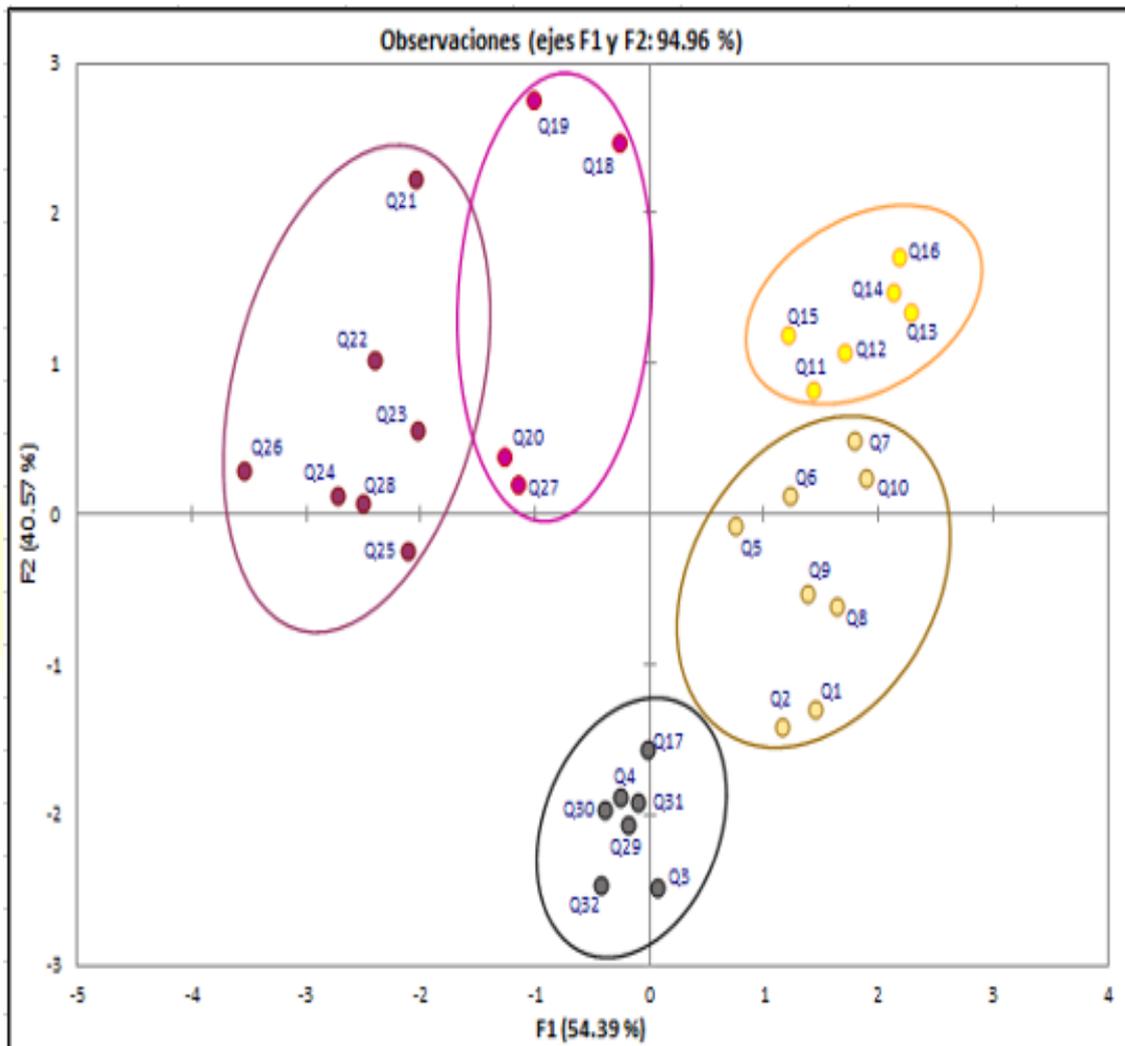
Figura 18: Dendrograma del análisis de conglomerados (método distancia Euclidiana) para el color de 32 quinuas grano entero empleando el espectrofotómetro.



En la figura 19 se muestra el análisis de componentes principales realizado sobre los resultados de las coordenadas del color de las quinuas enteras obtenidos por el método de reflectancia difusa y estas muestran la concordancia entre los resultados del análisis de conglomerados, el primer componente F1 que representa el 54.39% separa hacia la derecha

a las quinuas de color amarillo (+b*) y mayor Luminosidad (L*) haciendo lo contrario a los grupos del lado izquierdo, en tanto el segundo componente F2 con el 40.57% relaciona la influencia de las coordenada a* con valores más altos para el grupo de quinua con coloración guinda-rosada y separando al grupo de quinuas oscuras o ploma-negra.

Figura 19: Comportamiento biplot de las coordenadas CIEL*a*b* para los grupos de colores de quinua entera empleando el espectrofotómetro.



Con respecto a la comparación del análisis de conglomerados realizados por los dos métodos para la determinación de las coordenadas CIEL*a*b* en los granos de quinua entera se puede apreciar la tabla 11 donde cada método tiene 5 grupos de colores, resaltando que para el caso de las mediciones con el colorímetro (CR-400) se tiene tonalidades Guinda-Rosada (2), Roja-Purpura (9), Amarillo-Naranja (6), Crema-Amarilla (8) y Ploma-Negra (7).

Tabla 11: Agrupamiento de colores para los granos quinua entera de acuerdo al análisis de conglomerados

Clase o grupo	Muestras Quinuas observadas (agrupadas)									Total	
Método Triestímulo (Colorímetro CR-400)											
Grupo 1	Q18	Q19									2
Grupo 2	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27			9
Grupo 3		Q28									6
Grupo 4	Q7	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16					8
Grupo 5	Q1	Q2	Q5		Q6	Q8	Q9	Q10	Q11		7
	Q3	Q4	Q17	Q29		Q30	Q31	Q32			7
Método Espectrofotométrico (LAMBDA 1050)											
Grupo 1	Q18	Q19	Q20	Q27							4
Grupo 2	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q28				7
Grupo 3	Q3	Q4	Q17	Q29	Q30	Q31	Q32				7
Grupo 4	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16					6
Grupo 5	Q1	Q2	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10			8

Estos resultados indican que ambos métodos coinciden en formar 5 grupos de quinuas diferenciadas por el color, pero se visualiza que hay 4 muestras de quinua que discrepan en el agrupamiento en ambos métodos, la Q20 y Q27 (Pasankalla Roja y Quinua chicha) también la Q7 y Q11 (Kello y Naranja chullpi), ya que según la medición del color empleando el espectrofotómetro estas quinuas deben estar agrupadas en otras coloraciones, también se observa que no es el mismo orden en mostrar los grupos, los métodos discrepan a partir del tercer grupo, ya que el grupo 3 medido con el colorímetro es el grupo 4 cuando se emplea el espectrofotómetro.

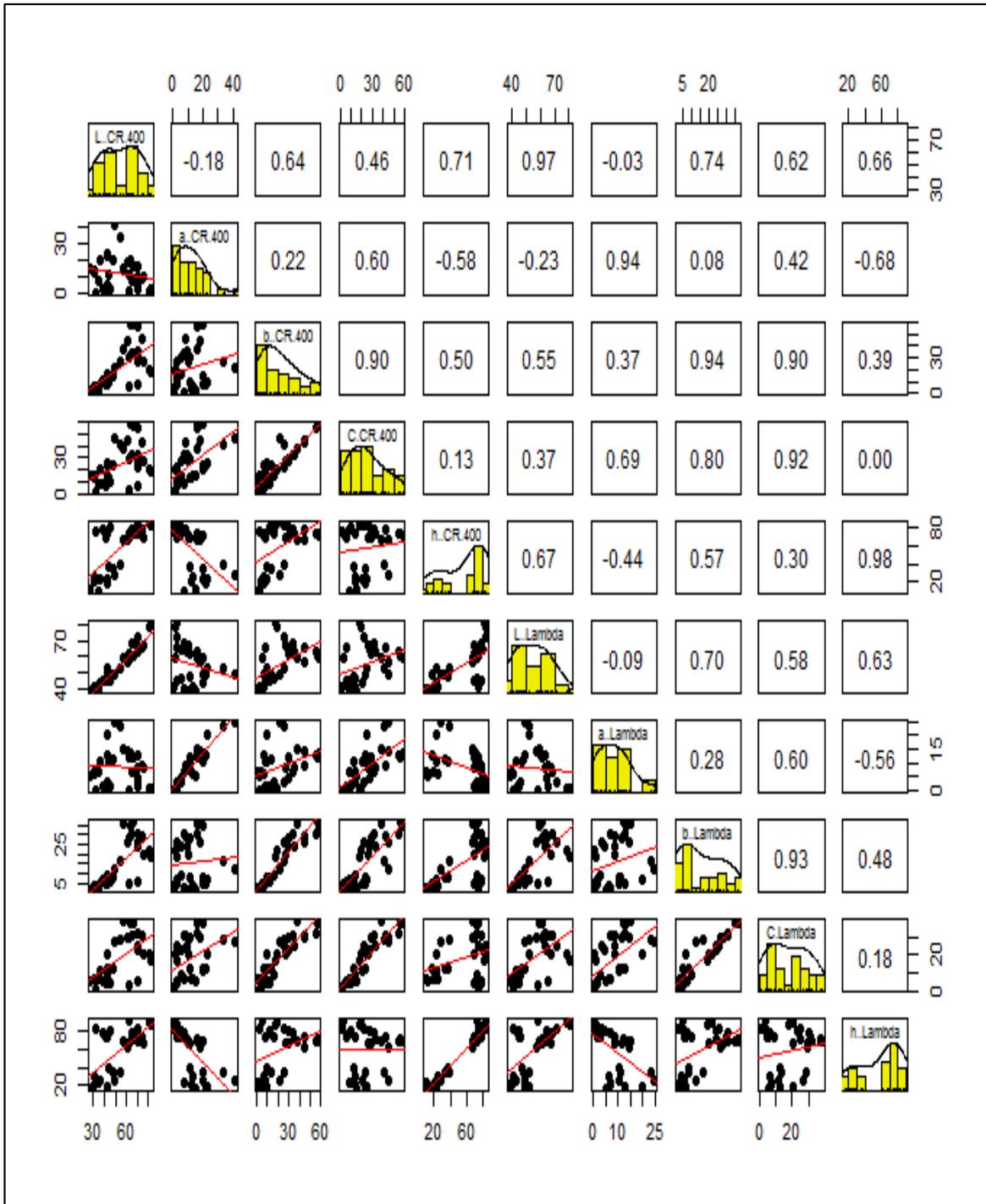
En cuanto a la comparación colorimétrica de las quinuas enteras evaluadas por los dos métodos se puede observar los promedios de las coordenadas CIEL*a*b* en la tabla 12, y se evidencia que el método espectrofotométrico dan tonalidades más clara que el del método triestímulo.

Tabla 12: Resumen de los estadísticos descriptivos de las coordenadas CIEL*a*b* cromáticas para las quinua entera

Variable	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Método Triestímulo (Colorímetro CR-400)				
L*	27.28	82.09	54.39	16.26
a*	0.85	41.18	12.07	9.59
b*	1.23	57.94	21.72	16.86
Croma	1.40	58.16	24.72	15.93
h°	9.65	84.57	57.50	25.46
Método Espectrofotométrico (LAMBDA 1050)				
L*	38.32	80.89	55.06	11.80
a*	0.01	24.61	8.35	6.58
b*	1.50	36.42	15.55	11.73
Croma	1.17	38.18	18.24	11.54
h°	16.12	89.91	58.38	24.78

El análisis de comparación también se puede apreciar la matriz de correlaciones mostrada en la figura 20, en ella se puede evidenciar la alta correlación entre los mismos parámetros medidos con ambos métodos obteniéndose un índice de correlación entre 0.92 a 0.98 para las variables L*, a*, b*, Croma y h°, siendo en la h° y la luminicidad en donde más coinciden los dos métodos. También se observa una alta correlación entre las variable b* y Croma de ambos métodos.

Figura 20: Matriz de coeficientes de correlación de las coordenadas CIEL*a*b* entre los dos métodos de medidas del color en granos enteros de quinua.



Color de los granos molidos

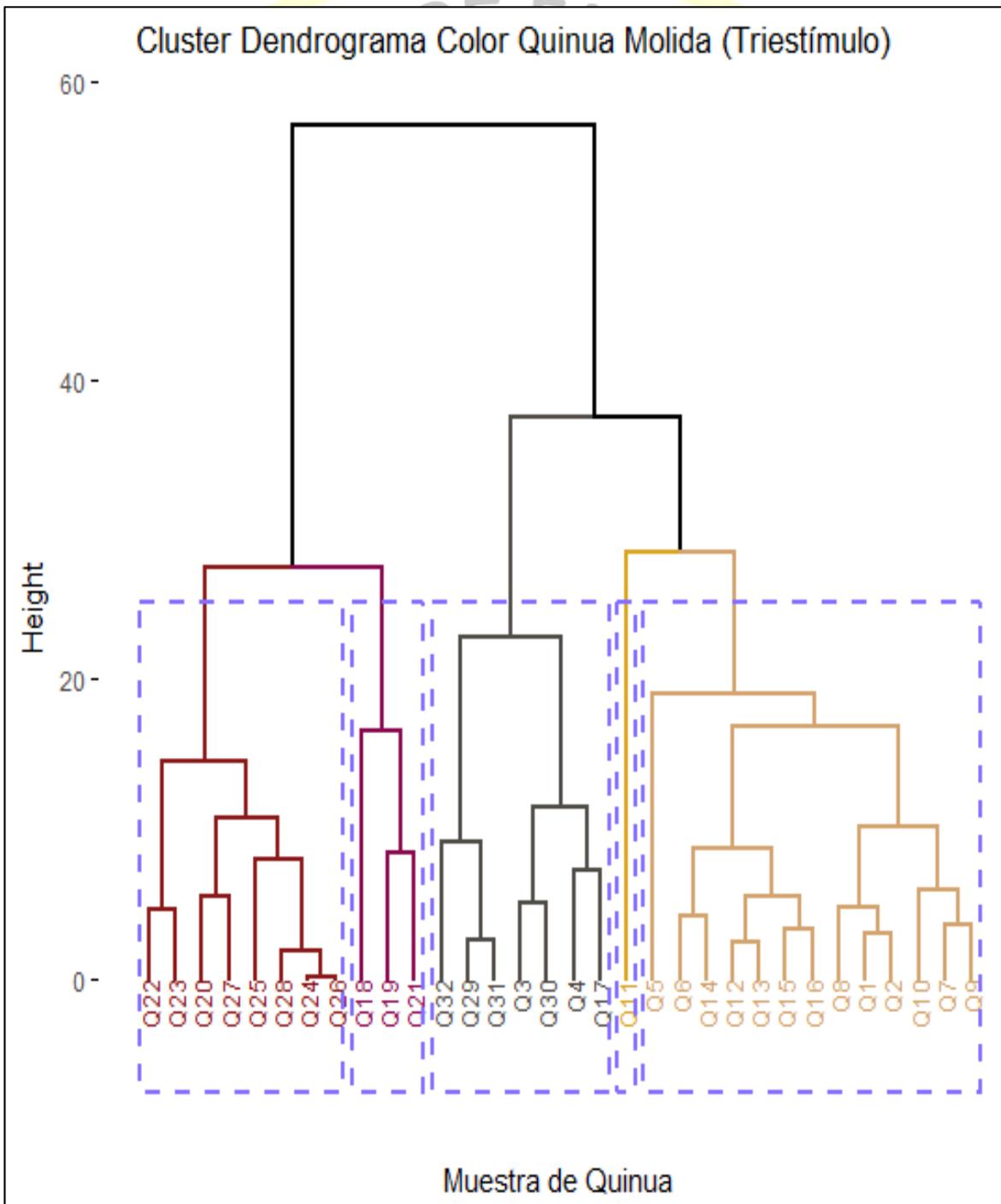
Los resultados de las coordenadas CIEL*a*b* realizadas con el colorímetro CR-400 para el método triestímulo en las mismas quinuas evaluadas en forma molidas son mostradas en la tabla 13.

Tabla 13: Valores de la colorimetría triestímulo en la quinua grano molido

Muestra de Quinua	Parámetros de color					Color RGB
	L*	a*	b*	Croma	h°	
Q ₁	81.31±0.60	01.60±0.16	18.24±0.56	18.31±0.57	84.98±0.44	
Q ₂	82.87±0.58	02.13±0.13	17.16±0.59	17.29±0.58	82.91±0.45	
Q ₃	71.90±0.00	02.07±0.01	09.99±0.01	10.20±0.01	78.27±0.08	
Q ₄	67.29±0.02	04.76±0.04	14.45±0.02	15.21±0.01	71.75±0.17	
Q ₅	84.11±0.01	03.35±0.02	12.68±0.01	13.11±0.01	75.21±0.08	
Q ₆	76.41±0.01	03.83±0.01	19.60±0.01	19.97±0.00	78.94±0.04	
Q ₇	79.98±0.01	02.87±0.01	23.92±0.00	24.09±0.00	83.16±0.01	
Q ₈	83.53±0.01	00.88±0.02	18.10±0.01	18.12±0.00	87.22±0.07	
Q ₉	77.20±0.01	02.15±0.02	22.77±0.00	22.87±0.00	84.61±0.05	
Q ₁₀	82.83±0.00	01.62±0.02	21.74±0.01	21.80±0.01	85.74±0.05	
Q ₁₁	75.62±0.01	04.81±0.02	31.48±0.01	31.85±0.01	81.31±0.04	
Q ₁₂	79.02±0.00	03.92±0.03	23.71±0.01	24.03±0.00	80.61±0.07	
Q ₁₃	77.86±0.02	04.12±0.04	22.40±0.02	22.77±0.01	79.58±0.11	
Q ₁₄	80.52±0.01	03.83±0.02	19.89±0.01	20.25±0.01	79.09±0.05	
Q ₁₅	76.33±0.00	05.86±0.02	24.67±0.01	25.36±0.00	76.64±0.06	
Q ₁₆	78.87±0.01	04.95±0.01	24.52±0.01	25.01±0.00	78.58±0.03	
Q ₁₇	63.32±0.01	03.25±0.01	14.84±0.02	15.20±0.01	77.66±0.06	
Q ₁₈	74.14±0.36	12.18±0.09	14.15±0.24	18.67±0.15	49.29±0.65	
Q ₁₉	72.83±0.16	13.27±0.09	11.68±0.07	17.68±0.04	41.36±0.36	
Q ₂₀	68.61±0.01	08.71±0.01	11.37±0.01	14.32±0.00	52.56±0.06	
Q ₂₁	68.41±0.01	15.19±0.03	10.47±0.01	18.45±0.02	34.57±0.08	
Q ₂₂	61.75±0.49	09.99±0.14	10.88±0.05	14.77±0.11	47.44±0.42	
Q ₂₃	58.31±0.01	08.44±0.02	09.59±0.01	12.78±0.01	48.65±0.08	
Q ₂₄	63.41±0.01	05.75±0.01	07.19±0.00	09.21±0.01	51.34±0.04	
Q ₂₅	66.05±0.00	04.83±0.01	07.74±0.01	09.12±0.00	58.05±0.07	
Q ₂₆	63.34±0.01	05.77±0.01	07.19±0.01	09.22±0.00	51.25±0.06	
Q ₂₇	69.50±0.01	07.10±0.01	11.23±0.01	13.29±0.00	57.69±0.07	
Q ₂₈	64.63±0.00	06.28±0.01	07.60±0.01	09.86±0.00	50.45±0.09	
Q ₂₉	49.84±0.01	03.56±0.02	12.78±0.02	13.27±0.01	74.43±0.09	
Q ₃₀	69.04±0.00	02.20±0.00	08.16±0.01	08.45±0.01	74.90±0.03	
Q ₃₁	52.24±0.01	03.52±0.02	12.34±0.01	12.84±0.01	74.08±0.12	
Q ₃₂	58.50±0.01	02.93±0.01	11.01±0.00	11.39±0.00	75.07±0.07	

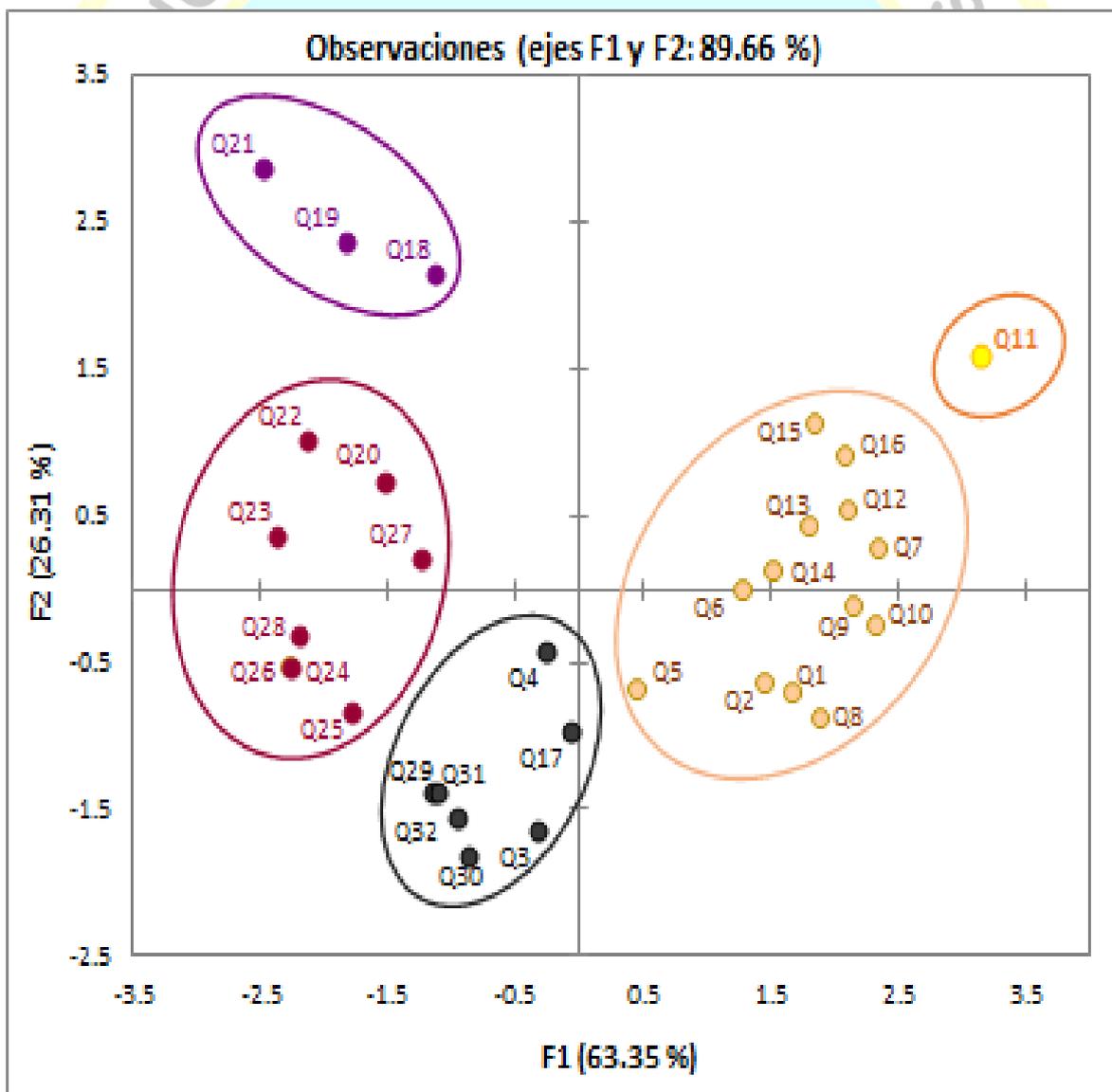
El análisis de conglomerados para el agrupamiento de las quinuas molidas por similitud según los parámetros de color L^* , a^* , b^* , Cromo y h° determinados con el colorímetro triestímulo CR-400 son mostradas en la figura 21, se observa 5 grupos de colores diferentes en las quinuas molidas y cantidades diferentes (Grupo 1=8, Grupo 2=3, Grupo 3=7, Grupo 4=1 y Grupo 5=13).

Figura 21: Dendrograma del análisis de conglomerados (método distancia Euclidiana) para el color de 32 quinuas grano molido, (CR-400)



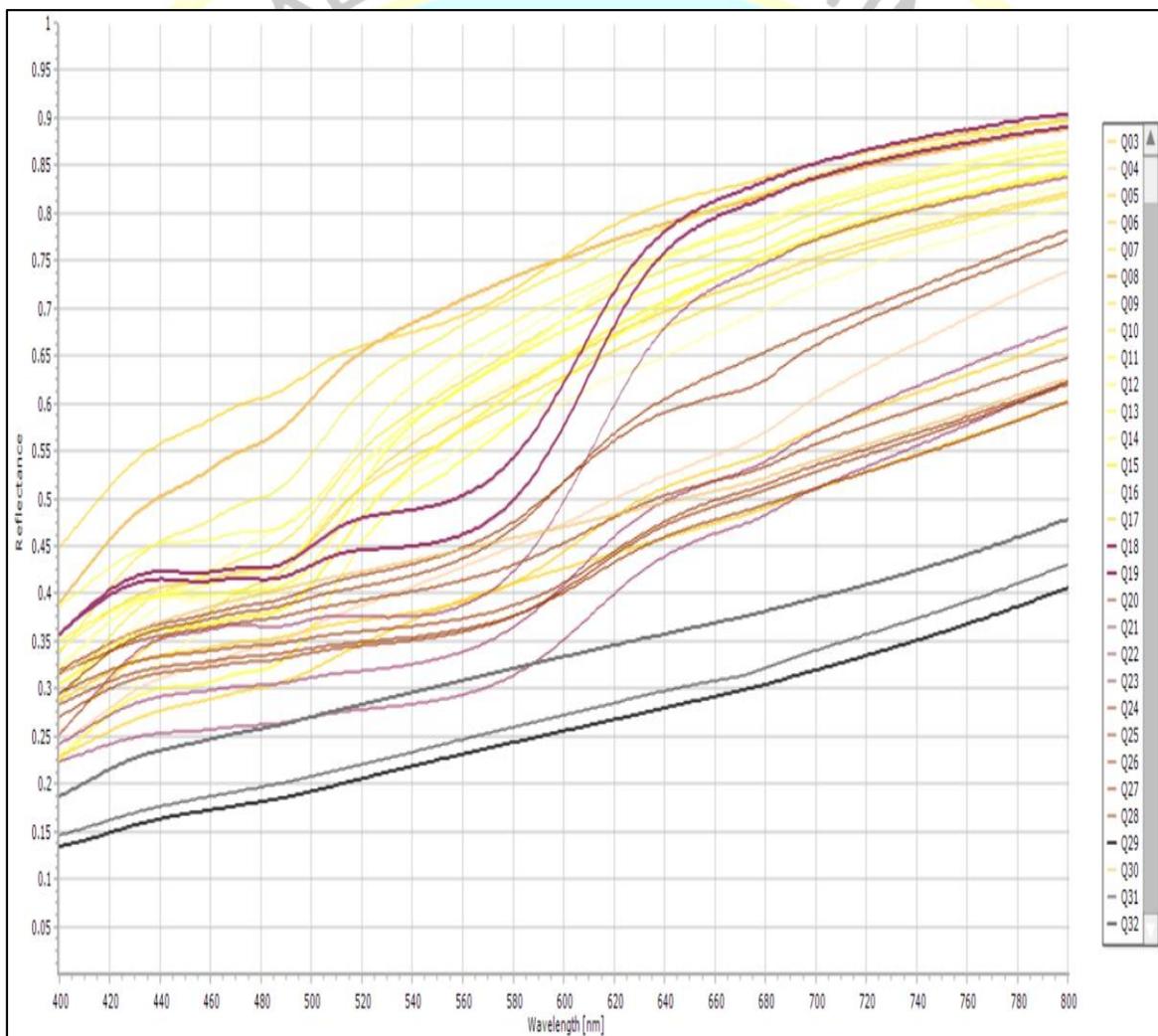
El análisis de componentes principales realizado sobre los mismos resultados de las coordenadas del color de las quinuas molidas muestra la concordancia entre los resultados del análisis de conglomerados, la figura 22 presenta los mismos 5 grupos de diferentes colores, el primer componente F1 que representa el 63.35% separa hacia la derecha a las quinuas de color amarillo (+b*) y más claras, haciendo lo contrario a la izquierda con las quinuas Guinda-Rosada, Roja-Purpura y plomas-negras, en tanto el segundo componente F2 con el 26.31% relaciona la influencia de las coordenada a* con valores más altos para el grupo de quinua con coloración guinda-rosada y separando al grupo de quinuas oscuras en el inferior.

Figura 22: Comportamiento biplot de las coordenadas CIEL*a*b* para los grupos de colores de quinua molida empleando el colorímetro triestímulo



Para la medición del color de los granos molidos de las quinuas por el método de reflectancia difusa usando la esfera de integración con el espectrofotómetro LAMBDA-1050 se obtienen los espectros en la región Visible desde los 400 nm hasta 700 nm, en la figura 23 se aprecia los promedios de los espectros para las 32 muestras de quinuas molidas en la cual se puede apreciar la diferenciación de los grupos de colores, las tonalidades más claras o mayor iluminancia tienen mayor valor de porcentaje de reflectancia.

Figura 23: Espectro de reflectancia (fracción) de las muestras de quinua molida



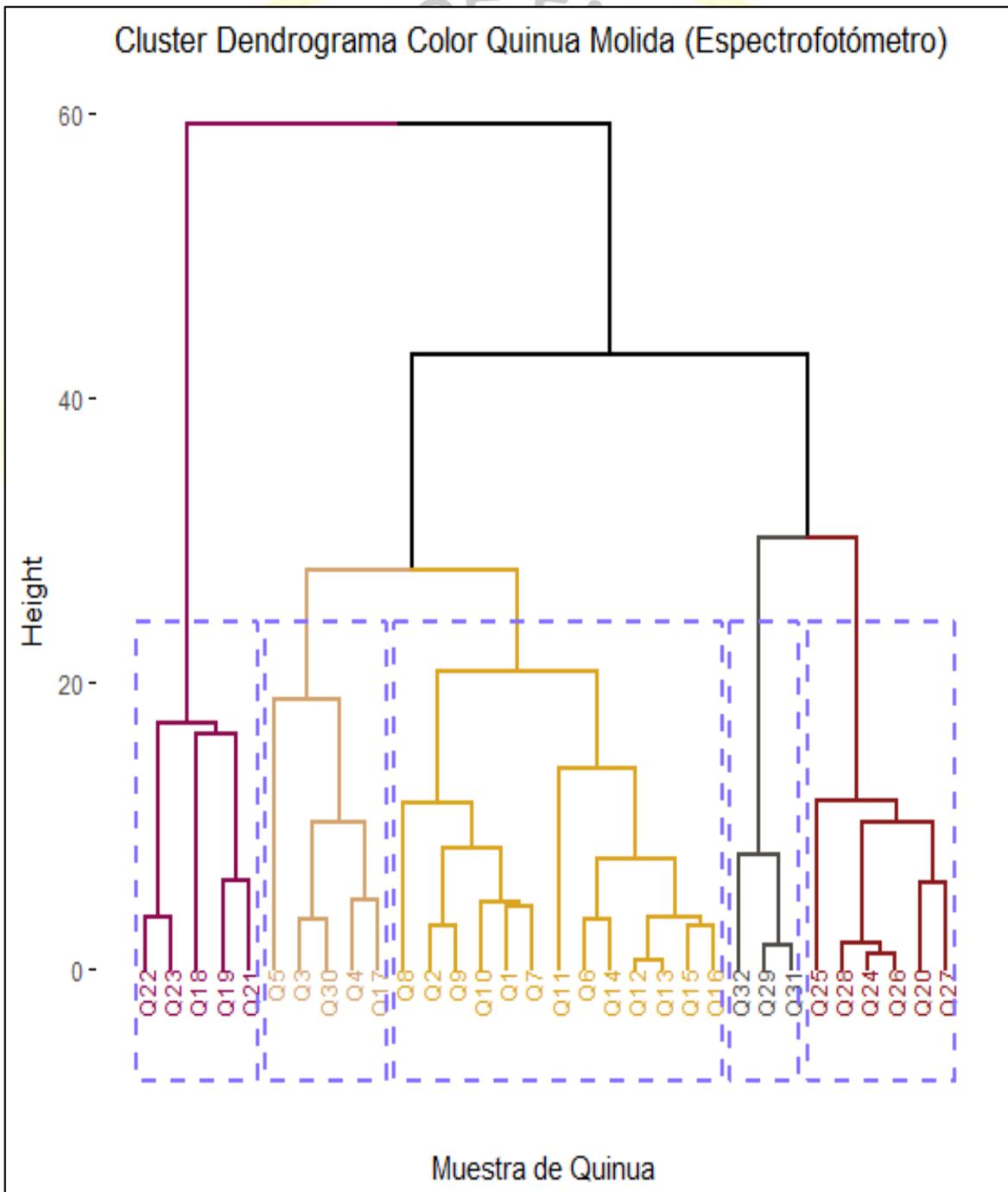
Los resultados de las coordenadas CIEL*a*b* que corresponden al color por el método de reflectancia difusa se pueden apreciar en la siguiente tabla 14 mostrando también el espacio RGB en donde se visualiza las diferentes tonalidades en los granos molidos.

Tabla 14: Valores de la colorimetría espectrofotométrica en la quinua grano molido

Muestra de Quinoa	Parámetros de color					Color RGB
	L*	a*	b*	Croma	h°	
Q ₁	78.84±0.52	00.31±0.21	21.64±0.61	21.64±0.53	89.18±0.25	
Q ₂	81.42±0.42	00.67±0.14	17.87±0.23	17.89±0.21	87.86±0.43	
Q ₃	74.54±0.46	01.11±0.15	09.80±0.33	08.88±0.34	83.57±0.64	
Q ₄	71.34±1.08	03.04±0.11	13.58±0.17	12.96±0.14	77.37±0.57	
Q ₅	86.89±0.32	02.18±0.02	11.26±0.19	10.50±0.18	79.06±0.24	
Q ₆	80.54±0.45	03.17±0.04	17.44±0.45	16.75±0.44	79.69±0.38	
Q ₇	82.48±0.08	02.16±0.06	20.58±0.19	19.71±0.19	84.01±0.19	
Q ₈	86.87±0.06	00.02±0.09	16.53±0.30	15.54±0.30	90.09±0.33	
Q ₉	79.75±0.33	01.19±0.07	21.00±0.18	20.04±0.18	86.77±0.22	
Q ₁₀	85.44±0.18	01.12±0.07	19.30±0.24	18.35±0.24	86.69±0.17	
Q ₁₁	77.84±0.07	04.88±0.06	26.72±0.15	26.19±0.15	79.65±0.06	
Q ₁₂	82.07±0.21	03.69±0.08	20.70±0.04	20.06±0.05	79.88±0.18	
Q ₁₃	81.51±0.32	03.74±0.08	20.65±0.25	20.02±0.26	79.73±0.08	
Q ₁₄	83.76±0.34	03.05±0.28	17.97±0.39	17.25±0.35	80.34±1.01	
Q ₁₅	79.59±0.55	04.67±0.17	21.43±0.13	20.97±0.16	77.69±0.38	
Q ₁₆	82.22±0.12	04.64±0.08	22.45±0.10	21.96±0.11	78.31±0.15	
Q ₁₇	68.44±0.11	02.19±0.04	13.89±0.10	13.09±0.10	81.03±0.12	
Q ₁₈	78.11±0.09	10.41±0.19	12.10±0.03	15.24±0.12	49.30±0.54	
Q ₁₉	75.94±0.14	11.88±0.15	09.53±0.29	14.65±0.15	38.74±1.04	
Q ₂₀	73.10±0.31	07.27±0.12	10.23±0.16	11.77±0.20	54.58±0.21	
Q ₂₁	71.22±0.27	12.73±0.18	08.89±0.32	15.01±0.19	34.92±1.14	
Q ₂₂	65.81±0.75	08.20±0.17	08.87±0.35	11.39±0.25	47.25±1.31	
Q ₂₃	62.43±0.75	07.92±0.27	08.30±0.17	10.79±0.28	46.35±0.75	
Q ₂₄	67.38±0.35	04.34±0.06	06.10±0.12	06.72±0.05	54.61±0.85	
Q ₂₅	70.84±0.71	03.55±0.12	07.31±0.18	07.26±0.15	64.12±1.07	
Q ₂₆	68.23±0.09	04.34±0.08	06.02±0.16	06.66±0.17	54.19±0.33	
Q ₂₇	73.54±0.58	05.79±0.14	10.14±0.13	10.84±0.18	60.30±0.33	
Q ₂₈	67.59±0.39	05.08±0.16	06.96±0.16	07.85±0.21	53.91±0.53	
Q ₂₉	55.00±0.38	02.44±0.10	11.71±0.29	11.00±0.31	78.23±0.19	
Q ₃₀	72.57±0.28	00.98±0.06	07.83±0.16	06.91±0.17	82.86±0.26	
Q ₃₁	56.57±0.32	02.44±0.08	11.48±0.18	10.77±0.19	78.02±0.24	
Q ₃₂	62.24±0.60	01.68±0.06	10.12±0.22	09.29±0.22	80.55±0.12	

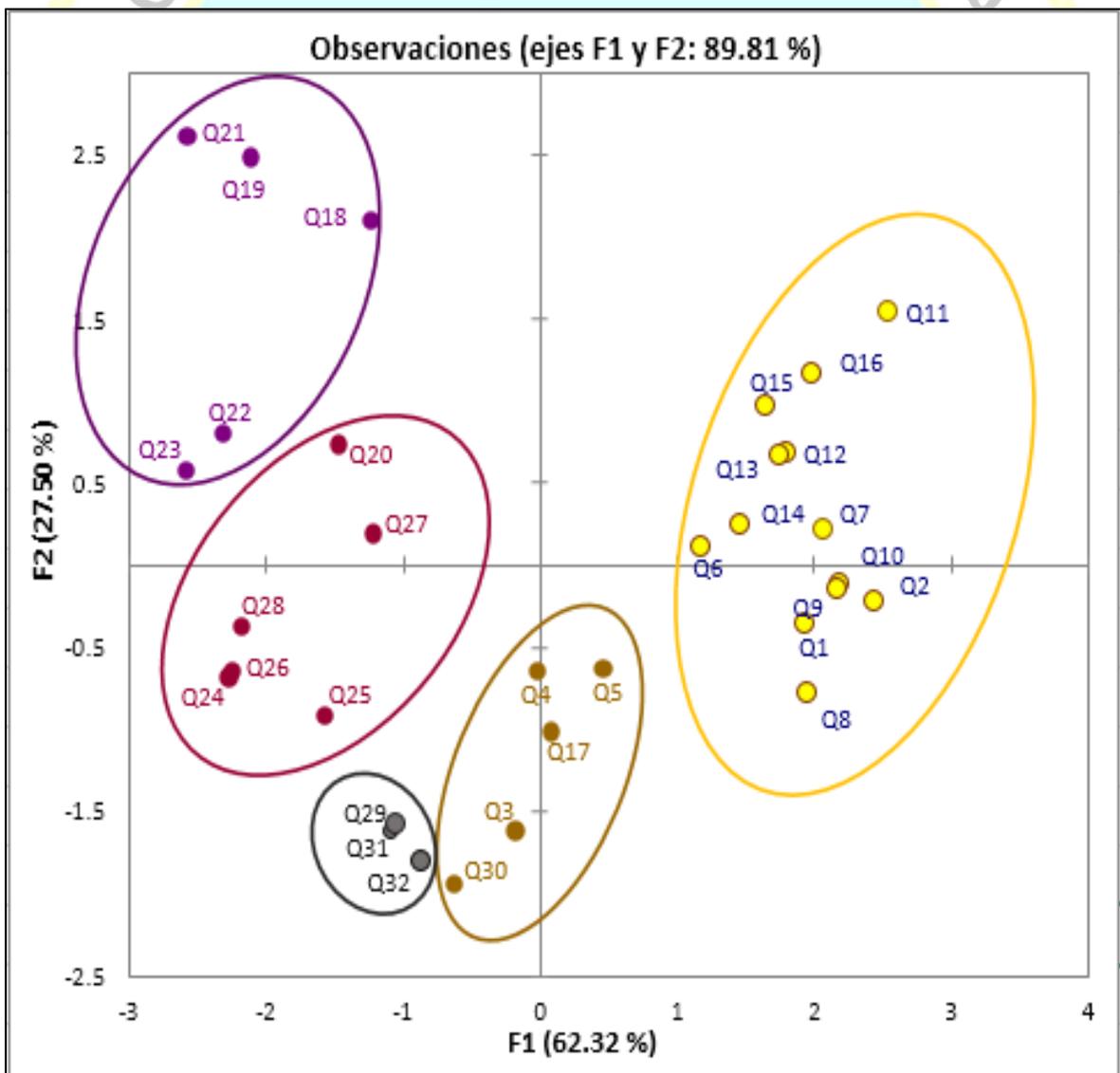
El agrupamiento de los colores de los granos de quinua molidas efectuadas con el espectrofotómetro LABDA-1050 según el análisis de conglomerados son mostrados en la figura 24, la similitud según los parámetros de color L^* , a^* , b^* , Croma y h° exponen 5 grupos de coloraciones en los granos (Grupo 1=5, Grupo 2=5, Grupo 3=13, Grupo 4=3 y Grupo 5=6).

Figura 24: Dendrograma del análisis de conglomerados (método distancia Euclidiana) para el color de 32 quinuas molida usando el espectrofotómetro.



El análisis de componentes principales realizado sobre los mismos resultados de las coordenadas del color obtenidas con el espectrofotómetro de las quinuas molidas muestra cierta concordancia entre los resultados del análisis de conglomerados, la figura 25 presenta la misma cantidad de 5 grupos de diferentes colores pero se difiere en el orden, el primer componente F1 que representa el 62.32% separa hacia la derecha a las quinuas de color amarillo (+b*) y crema-amarillas, haciendo a la izquierda las más oscuras como las quinuas Guinda-Rosada, Roja-Purpura y plomas-negras, en tanto el segundo componente F2 con el 27.50% relaciona la influencia de las coordenada a* con valores más altos para el grupo de quinua con coloración guinda-rosada y separando al grupo de quinuas oscuras.

Figura 25: Comportamiento biplot de las coordenadas CIEL*a*b* para los grupos de colores de quinua molida empleando el espectrofotómetro



La comparación del análisis de conglomerados realizados por los dos métodos para la determinación de las coordenadas CIEL*a*b* en las harinas de quinua se puede apreciar la tabla 15 donde cada método tiene 5 grupos de colores diferentes, la medición con el colorímetro (CR-400) se tiene tonalidades Roja-Purpura(8), Guinda-Rosada(3), Ploma-Negra(7), Amarillo-Naranja(1) y Crema-Amarilla(13).

Tabla 15: Agrupamiento de colores para las quinuas molidas de acuerdo al análisis de conglomerados

Clase o grupo	Muestras Quinuas observadas (agrupadas)										Total
Método Triestímulo (Colorímetro CR-400)											
Grupo 1	Q20	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27	Q28			8
Grupo 2	Q18	Q19	Q21								3
Grupo 3	Q3	Q4	Q17	Q29	Q30	Q31	Q32				7
Grupo 4	Q11										1
Grupo 5	Q1	Q2	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q12	Q13	13
	Q14	Q15	Q16								
Método Espectrofotométrico (LAMBDA 1050)											
Grupo 1	Q18	Q19	Q21	Q22	Q23						5
Grupo 2	Q3	Q4	Q5	Q17	Q30						5
Grupo 3	Q1	Q2	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	13
	Q14	Q15	Q16								
Grupo 4	Q29	Q31	Q32								3
Grupo 5	Q20	Q24	Q25	Q26	Q27	Q28					6

Estos resultados indican que ambos métodos coinciden en formar 5 grupos de quinuas diferenciadas por el color, pero discrepan en el orden y cantidad de muestras por grupo ya que el método espectrofotométrico lo hace con quinuas de colores Guinda-Rosada (5), Crema-Amarilla (5), Amarillo-Naranja (13), Ploma-Negra (3) y Roja-Purpura (6), se visualiza que las quinuas comerciales Q1 y Q2 se integran y agrupan conjuntamente con las quinuas de tonalidades Crema-Amarilla y las muestras de quinua de tonalidades Ploma-Negra disminuyen en su grupo al ser molidas, así mismo los valores descriptivos de las

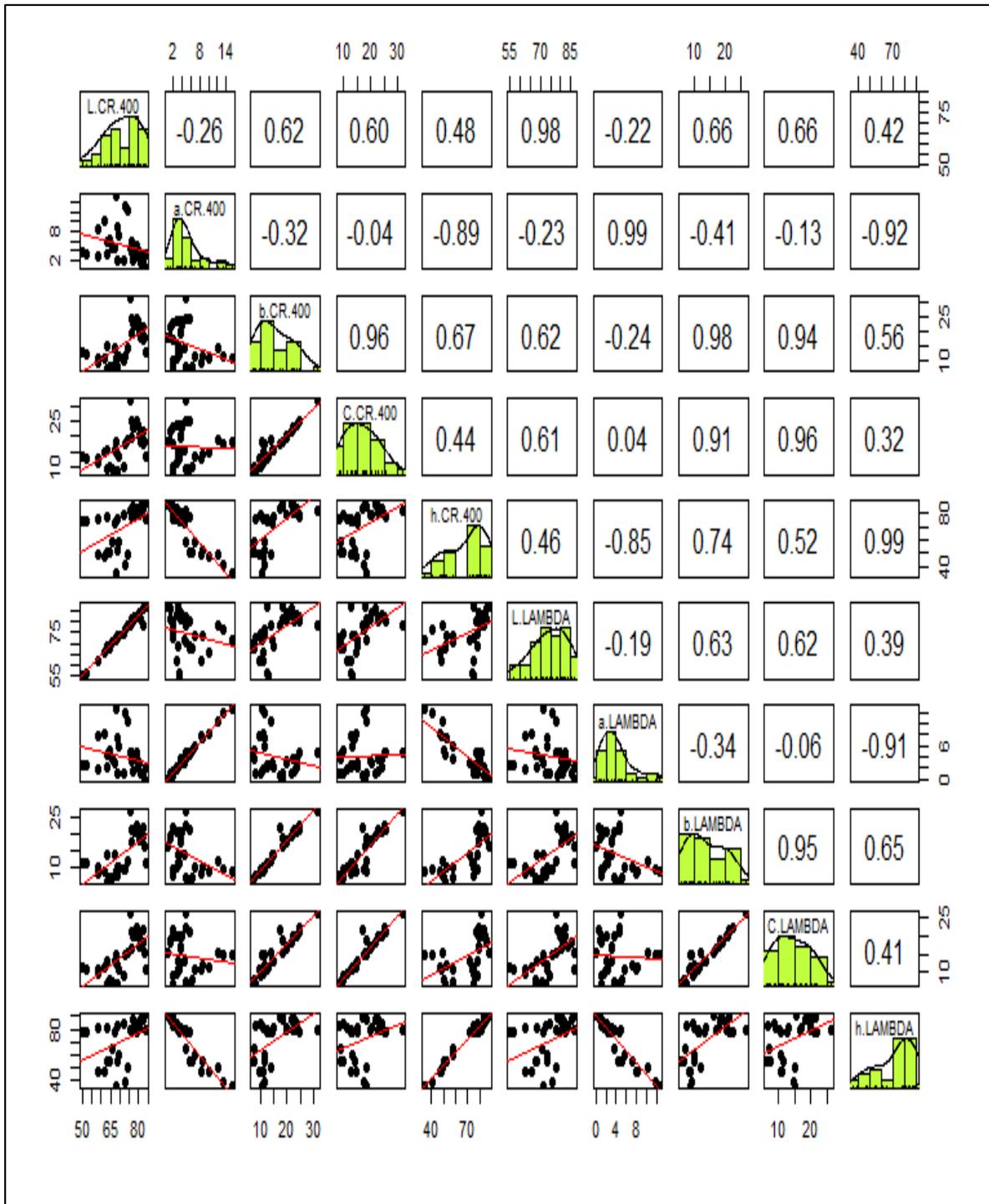
coordenadas CIEL*a*b para ambos métodos en las quinuas molidas son mostradas en la tabla 16, en ella se puede ver que los promedios de la luminosidad o brillo determinado por método espectrofotométrico es mayor que cuando se usa el colorímetro.

Tabla 16: Resumen de los estadísticos descriptivos de las coordenadas CIEL*a*b* cromáticas para las quinua molida.

Variable	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Método Triestímulo (Colorímetro CR-400)				
L*	49.836	84.112	71.236	9.273
a*	0.879	15.194	5.179	3.490
b*	7.192	31.483	15.423	6.417
Croma	8.450	31.848	16.837	5.830
h°	34.575	87.220	68.981	15.339
Método Espectrofotométrico (LAMBDA 1050)				
L*	55.000	86.890	74.474	8.429
a*	-0.020	12.730	4.102	3.232
b*	6.020	26.720	14.034	5.845
Croma	6.660	26.190	14.333	5.313
h°	34.920	90.090	71.178	16.116

El análisis de correlación que se presenta entre ambos métodos de medida son mostradas mediante la matriz de correlaciones visto en la figura 26, en ella se puede evidenciar la alta correlación entre los mismos parámetros medidos con ambos métodos obteniéndose un índice de correlación entre 0.96 a 0.99 para las variables L*, a*, b*, Croma y h°, siendo a* y la h° en donde más coinciden los dos métodos entre si. También se observa una alta correlación entre las variable b* y Croma de ambos métodos, y una correlación alta e inversa entre los valores de a* y la h°.

Figura 26: Matriz de coeficientes de correlación de las coordenadas CIEL*a*b* entre los dos métodos de medidas del color en las quinuas molidas



Índice de Color (IC) en las quinuas

El color de las quinuas expresado como índice es calculado mediante la ecuación 3 y fue realizado en los 4 métodos de medición del color y son mostradas en la siguiente tabla

17, donde se aprecia mayor valor en las muestras enteras y sobre todo con la medición con el colorímetro triestímulo.

Tabla 17: Índice de color en las muestras de quinua enteras y molidas según los dos métodos de medida

Muestra	Quinua Entera		Quinua Molida	
	CR-400	LAMBDA	CR-400	LAMBDA
Q ₁	1.18	0.27	1.08	0.18
Q ₂	1.61	0.63	1.50	0.46
Q ₃	4.88	0.02	2.89	1.52
Q ₄	4.15	4.49	4.90	3.14
Q ₅	5.16	6.46	3.14	2.23
Q ₆	3.96	5.49	2.56	2.26
Q ₇	2.65	4.48	1.50	1.27
Q ₈	1.71	1.78	0.58	-0.01
Q ₉	2.62	2.98	1.22	0.71
Q ₁₀	3.39	3.39	0.90	0.68
Q ₁₁	6.09	6.97	2.02	2.35
Q ₁₂	4.17	6.48	2.09	2.17
Q ₁₃	4.30	5.51	2.36	2.22
Q ₁₄	5.51	6.46	2.39	2.03
Q ₁₅	6.76	9.53	3.11	2.74
Q ₁₆	7.35	6.91	2.56	2.51
Q ₁₇	7.26	6.26	3.45	2.30
Q ₁₈	23.36	27.10	11.60	11.01
Q ₁₉	39.32	41.37	15.60	16.42
Q ₂₀	30.53	29.70	11.16	9.72
Q ₂₁	57.17	59.21	21.21	20.11
Q ₂₂	69.92	59.45	14.87	14.05
Q ₂₃	67.06	48.34	15.09	15.28
Q ₂₄	90.68	63.52	12.62	10.56
Q ₂₅	71.08	43.90	9.44	6.86
Q ₂₆	182.51	90.49	12.67	10.57
Q ₂₇	29.57	27.33	9.10	7.76
Q ₂₈	171.33	57.15	12.78	10.80
Q ₂₉	4.27	4.52	5.59	3.79
Q ₃₀	9.03	6.60	3.91	1.72
Q ₃₁	5.25	4.86	5.46	3.76
Q ₃₂	8.09	3.50	4.56	2.67

4.1.2 Resultados de la Capacidad Antioxidante Total de las muestras

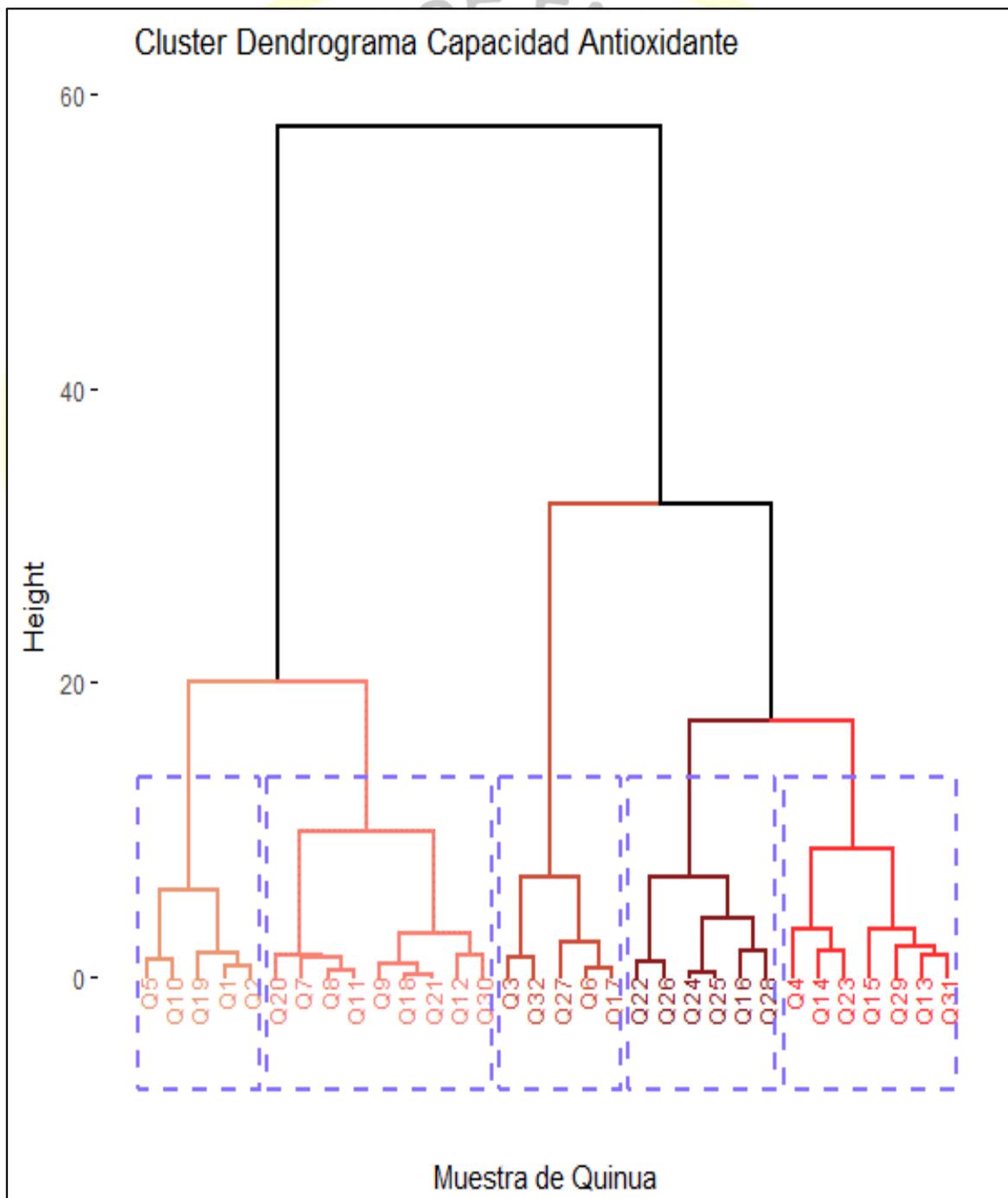
La evaluación de la capacidad antioxidante de las muestras de quinua fue realizada por dos métodos, la primera por el método directo de DPPH-Quencher y la otra DPPH desde un extracto, los resultados son mostrados en la siguiente tabla 18.

Tabla 18: Capacidad Antioxidante en las muestras de quinua

Muestra de Quinua	Capacidad Antioxidante (mMol/Kg)	
	DPPH-Quencher	DPPH Extractable
Q ₁	30.03±0.88	0.38±0.05
Q ₂	29.42±2.34	0.32±0.02
Q ₃	56.49±1.64	0.65±0.04
Q ₄	75.91±5.61	0.73±0.08
Q ₅	34.16±1.62	0.94±0.14
Q ₆	61.96±4.55	1.28±0.15
Q ₇	48.79±2.81	2.81±0.37
Q ₈	49.40±3.28	1.75±0.16
Q ₉	42.44±3.45	1.28±0.17
Q ₁₀	35.11±2.64	1.65±0.09
Q ₁₁	49.13±4.28	1.56±0.16
Q ₁₂	40.67±3.29	1.53±0.05
Q ₁₃	70.27±5.28	3.34±0.34
Q ₁₄	76.86±0.79	3.40±0.42
Q ₁₅	72.72±6.68	2.99±0.29
Q ₁₆	84.13±5.83	4.18±0.13
Q ₁₇	61.56±1.87	1.65±0.09
Q ₁₈	41.73±3.16	1.56±0.22
Q ₁₉	30.27±0.97	1.68±0.19
Q ₂₀	47.92±4.75	1.78±0.25
Q ₂₁	41.82±3.75	1.50±0.14
Q ₂₂	87.18±7.99	3.15±0.19
Q ₂₃	78.45±5.48	2.77±0.16
Q ₂₄	80.49±1.79	2.59±0.09
Q ₂₅	80.67±4.99	2.34±0.11
Q ₂₆	86.46±1.04	3.90±0.49
Q ₂₇	59.83±3.15	1.99±0.05
Q ₂₈	82.63±4.12	3.34±0.09
Q ₂₉	69.89±2.97	1.37±0.09
Q ₃₀	39.72±1.61	0.48±0.04
Q ₃₁	71.35±2.02	2.52±0.29
Q ₃₂	55.22±4.92	0.62±0.09

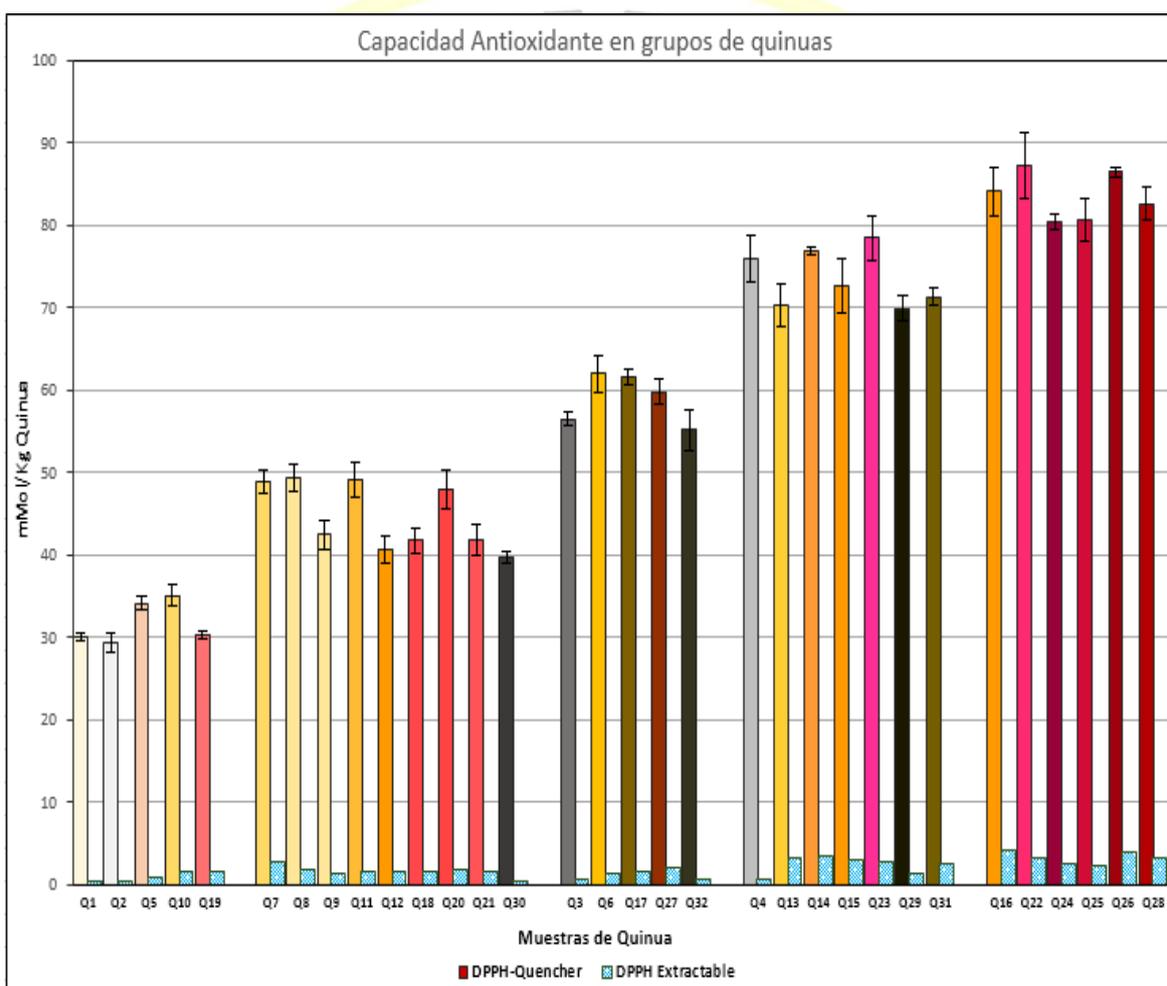
El análisis de conglomerados efectuados en los datos de capacidad antioxidante de las 32 quinuas muestra 5 grupos diferenciados por el promedio en mMol de DPPH/kg de quinua y son mostrados en la figura 27, se observa que el primer grupo tiene 5 quinuas, el segundo grupo 9 quinuas, el tercer grupo 5 quinuas, el cuarto grupo 6 quinuas y el quinto grupo tiene 7 quinuas.

Figura 27: Análisis de Clúster (método de distancia euclidiana) de la capacidad antioxidante (mMol DPPH/Kg Quinua)



De los resultados mostrados en la tabla 18 con respecto a la capacidad antioxidante realizadas en las 32 quinuas y mediante los dos métodos DPPH-Quencher y DPPH extractable, se puede visualizar en la figura 28 los 5 grupos de quinuas formados en función de los valores promedio de ambas mediciones según el dendograma anterior, además se denota que estos grupos van de menor a mayor y hay una notable diferencia entre el método directo Quencher y el método tradicional Extractable.

Figura 28: Agrupación y comparación de las quinuas según su Capacidad Antioxidante

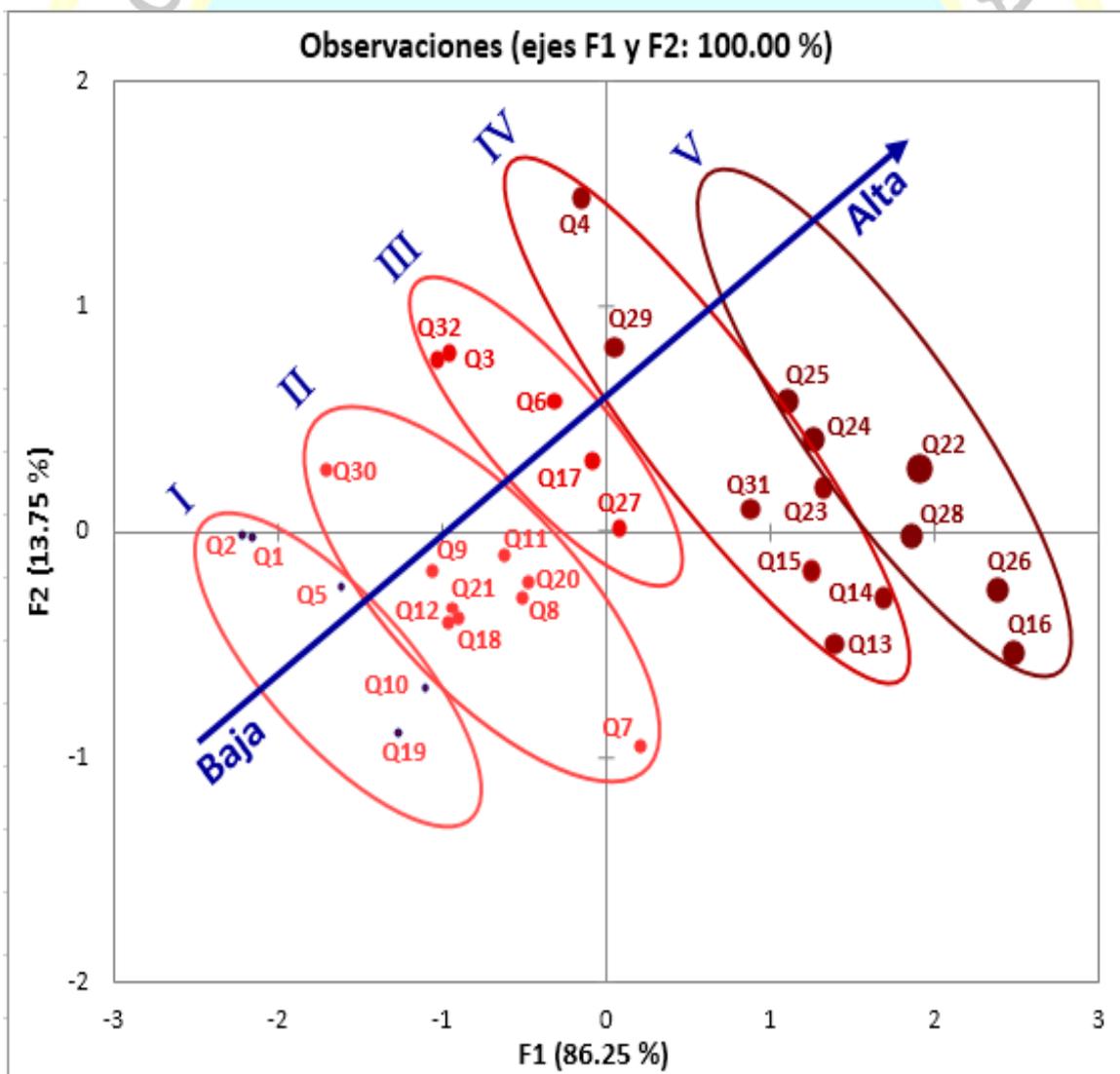


En la siguiente tabla 19, se propone una escala categorica para las quinuas evaluadas según su Capacidad Antioxidante Total y de acuerdo al análisis de conglomerados previamente realizado, en la figura 29 se muestra el análisis de componentes principales de los mismos resultados mostrando que el primer componente F1 que representa el 86.25% separa de derecha a izquierda los 5 grupos de quinua.

Tabla 19: Clasificación agrupada de las quinuas según su Capacidad Antioxidante Total, Método Directo DPPH-Quencher.

Grupo	Categoría	CAT (mMol DPPH/Kg)	Muestras de Quinua
I	Baja	< 36	Q1, Q2, Q5, Q10 y Q19
II	Moderadamente Baja	36-50	Q7, Q8, Q9, Q11, Q12, Q18, Q20, Q21 y Q30
III	Media	51-64	Q3, Q6, Q17, Q27 y Q32
IV	Moderadamente Alta	65-79	Q4, Q13, Q14, Q15, Q23, Q29 y Q31
V	Alta	> 80	Q16, Q22, Q24, Q25, Q26 y Q28

Figura 29: Comportamiento biplot de la Capacidad Antioxidante de las quinuas mostrando los 5 grupos.



4.1.3 Resultados de la correlación

Prueba de normalidad de los datos obtenidos

A fin de conocer si los datos obtenidos se ajustan a una distribución normal se realizó una prueba de normalidad mediante el método de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov), en la tabla 20 se muestran estos resultados donde incluyen los datos de la Capacidad Antioxidante, coordenadas colorimétricas de la medición triestímulo y medición con el espectrofotómetro, también el índice de color, haciendo un total de 26 conjuntos de datos.

Tabla 20: Valores estadísticos para la prueba de normalidad Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) en los datos evaluados.

Datos	Quinoa Entera		Quinoa Molida	
	Estadístico	p-Valor	Estadístico	p-Valor
DPPH-Quencher	0.13328	0.1574	0.13328	0.1574
DPPH Extractable	0.15298	0.05491	0.15298	0.05491
L* CR-400	0.13492	0.1457	0.11917	0.2948*
a* CR-400	0.12096	0.2737*	0.18227	0.008399
b* CR-400	0.1497	0.06599	0.15978	0.03685
Croma CR-400	0.10506	0.4926*	0.10969	0.4223*
h° CR-400	0.30714	2.56x10 ⁻⁰⁸	0.25512	1.28x10 ⁻⁰⁵
L* LAMBDA	0.13035	0.1806	0.12229	0.2587*
a* LAMBDA	0.10219	0.538*	0.1613	0.0336
b* LAMBDA	0.20798	0.001144	0.15983	0.03674
Croma LAMBDA	0.14399	0.08982	0.12177	0.2645*
h° LAMBDA	0.25597	1.17 x10 ⁻⁰⁵	0.30467	3.54 x10 ⁻⁰⁸
Ind. Color-CR400	0.32474	2.32 x10 ⁻⁰⁹	0.21216	0.0008032
Ind. Color-LAMBDA	0.33078	9.84 x10 ⁻¹⁰	0.27447	1.48 x10 ⁻⁰⁶

Estos resultados indican que los datos de las mediciones en la quinua entera solo 3 presentan una distribución normal, en cambio para las mediciones en la quinua molida se presentan 4 datos que si proceden de una distribución normal, por tanto la mayoría de datos son menos sensibles a un análisis de correlación por métodos paramétricos.

Análisis de correlación de la Capacidad Antioxidante

Para establecer el grado de asociación o relación de la capacidad antioxidante y las mediciones colorimétricas se calculó el coeficiente de correlación mediante el método de Spearman que es un coeficiente no paramétrico alternativo al coeficiente de correlación de Pearson cuando los datos no se ajustan a una distribución normal.

En la figura 30 se muestra la correlación existente entre los dos métodos de capacidad antioxidante realizados en las quinuas (Método directo DPPH-Quencher y Método Tradicional DPPH extractable), se estable una correlación significativa con $r=0.704$ ($p=0.000$).

En la tabla 21 y figura 31 se muestran los resultados de matriz de la correlación de Spearman y su significancia para las mediciones en las muestras de quinua entera.

Figura 30: Correlación de los métodos de Capacidad antioxidante en muestras de quinua

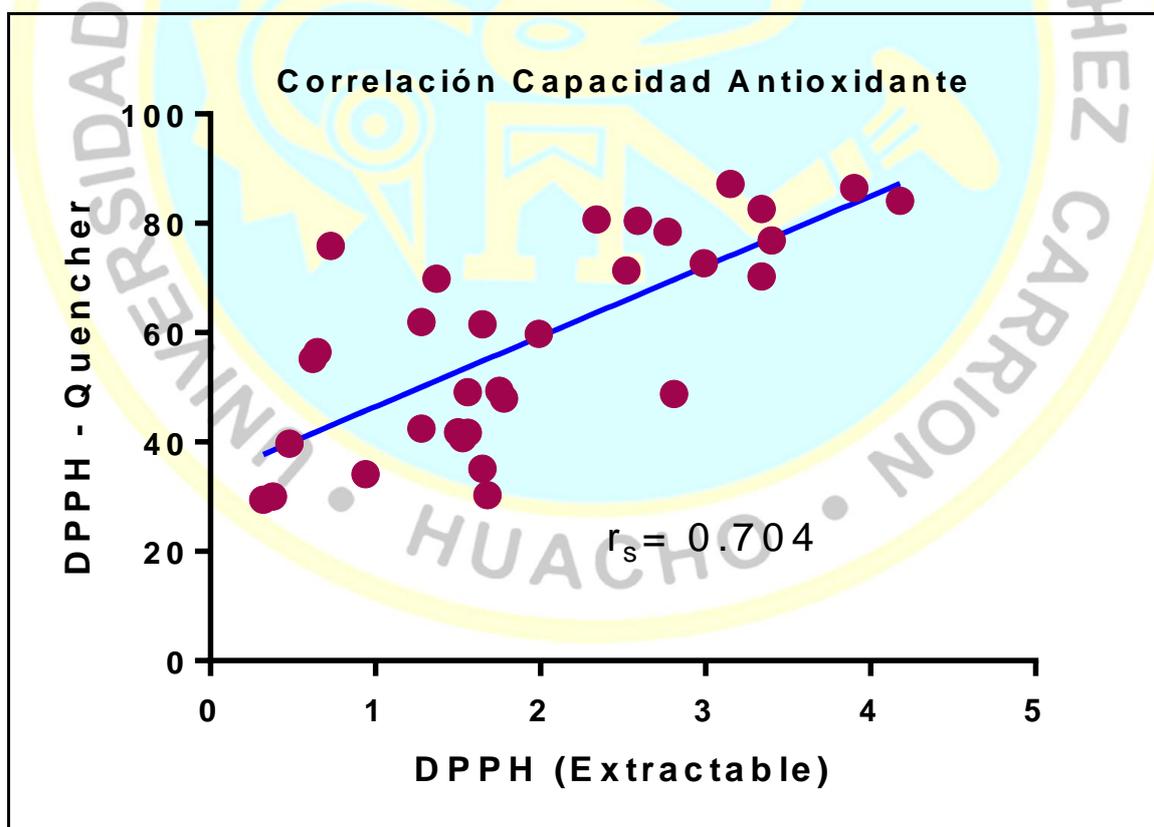


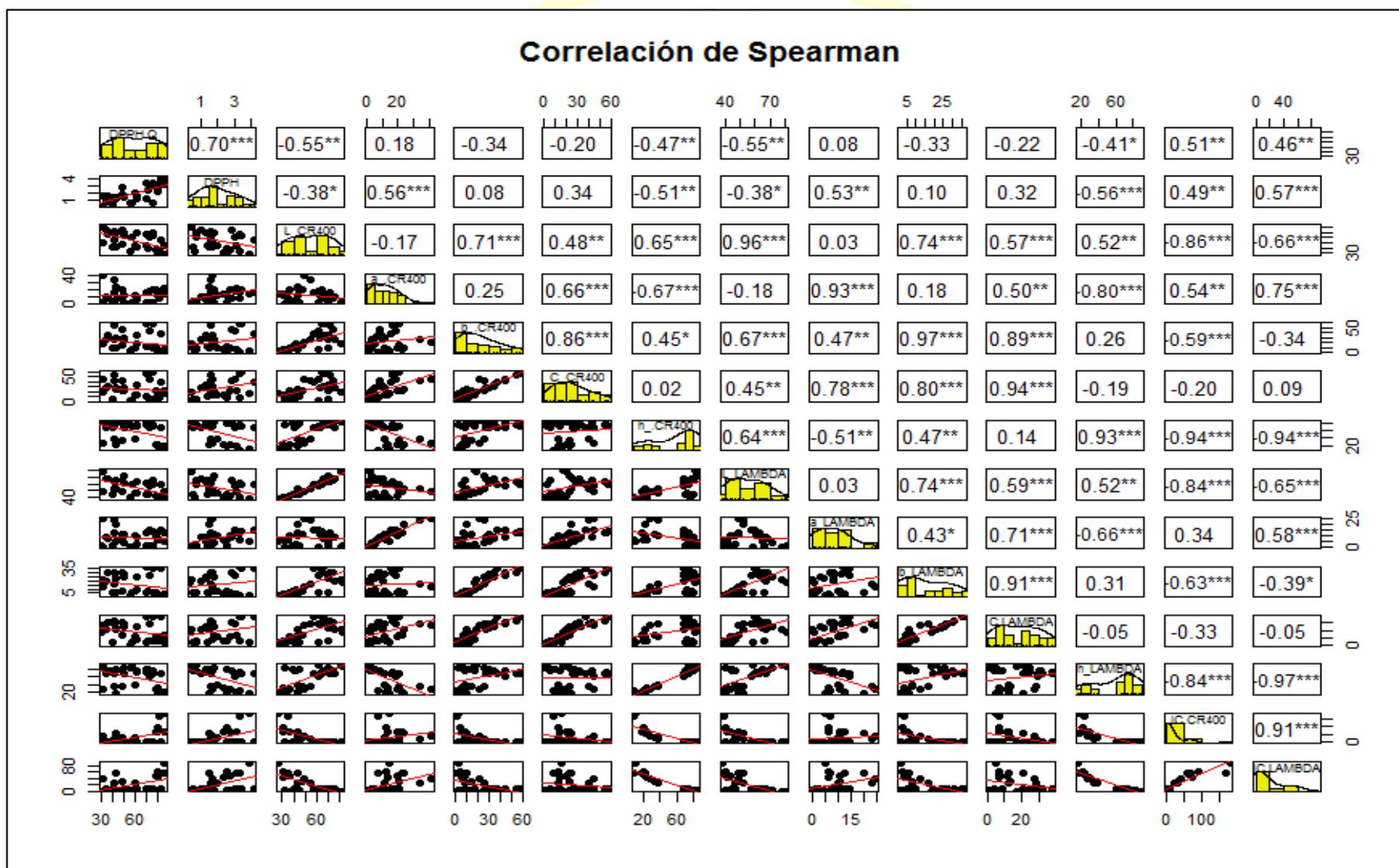
Tabla 21: Capacidad Antioxidante en las muestras de quinoa

	DPPH_Q	DPPH	L*-CR400	a*-CR400	b*-CR400	c*-CR400	h°-CR400	L*-LAMBDA	a*-LAMBDA	b*-LAMBDA	c*-LAMBDA	h°-LAMBDA	IC-CR400	IC-LAMBDA
DPPH_Q	1.00	,704**	-,549**	0.18	-0.34	-0.20	-,468**	-,546**	0.08	-0.33	-0.22	-,409*	,506**	,461**
Sig. (bilateral)		0.00	0.00	0.33	0.06	0.28	0.01	0.00	0.68	0.06	0.23	0.02	0.00	0.01
DPPH	,704**	1.00	-,381*	,559**	0.08	0.34	-,512**	-,376*	,530**	0.10	0.32	-,560**	,486**	,569**
Sig. (bilateral)		0.00	0.03	0.00	0.65	0.06	0.00	0.03	0.00	0.60	0.08	0.00	0.00	0.00
L*-CR400	-,549**	-,381*	1.00	-0.17	,715**	,481**	,652**	,956**	0.03	,742**	,574**	,525**	-,859**	-,657**
Sig. (bilateral)		0.00	0.03	0.34	0.00	0.01	0.00	0.00	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
a*-CR400	0.18	,559**	-0.17	1.00	0.25	,658**	-,673**	-0.18	,927**	0.18	,501**	-,800**	,536**	,745**
Sig. (bilateral)		0.33	0.00	0.34	0.17	0.00	0.00	0.34	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
b*-CR400	-0.34	0.08	,715**	0.25	1.00	,856**	,446*	,672**	,469**	,968**	,889**	0.26	-,593**	-0.34
Sig. (bilateral)		0.06	0.00	0.17	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.15	0.00	0.06
c*-CR400	-0.20	0.34	,481**	,658**	,856**	1.00	0.02	,451**	,780**	,799**	,935**	-0.19	-0.20	0.09
Sig. (bilateral)		0.28	0.01	0.00	0.00	0.00	0.91	0.01	0.00	0.00	0.00	0.29	0.26	0.64
h°-CR400	-,468**	-,512**	,652**	-,673**	,446*	0.02	1.00	,637**	-,513**	,466**	0.14	,934**	-,937**	-,943**
Sig. (bilateral)		0.01	0.00	0.00	0.01	0.91	0.00	0.00	0.00	0.01	0.44	0.00	0.00	0.00
L*-LAMBDA	-,546**	-,376*	,956**	-0.18	,672**	,451**	,637**	1.00	0.03	,735**	,587**	,520**	-,842**	-,652**
Sig. (bilateral)		0.00	0.03	0.00	0.34	0.00	0.01	0.00	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
a*-LAMBDA	0.08	,530**	0.03	,927**	,469**	,780**	-,513**	0.03	1.00	,429*	,708**	-,659**	0.34	,582**
Sig. (bilateral)		0.68	0.00	0.86	0.01	0.00	0.00	0.88	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00
b*-LAMBDA	-0.33	0.10	,742**	0.18	,968**	,799**	,466**	,735**	,429*	1.00	,906**	0.31	-,627**	-,386*
Sig. (bilateral)		0.06	0.00	0.33	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.09	0.00	0.03
c*-LAMBDA	-0.22	0.32	,574**	,501**	,889**	,935**	0.14	,587**	,708**	,906**	1.00	-0.05	-0.33	-0.05
Sig. (bilateral)		0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.79	0.06	0.77
h°-LAMBDA	-,409*	-,560**	,525**	-,800**	0.26	-0.19	,934**	,520**	-,659**	0.31	-0.05	1.00	-,843**	-,974**
Sig. (bilateral)		0.02	0.00	0.00	0.15	0.29	0.00	0.00	0.00	0.09	0.79	0.00	0.00	0.00
IC-CR400	,506**	,486**	-,859**	,536**	-,593**	-0.20	-,937**	-,842**	0.34	-,627**	-0.33	-,843**	1.00	,908**
Sig. (bilateral)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.06	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00
IC-LAMBDA	,461**	,569**	-,657**	,745**	-0.34	0.09	-,943**	-,652**	,582**	-,386*	-0.05	-,974**	,908**	1.00
Sig. (bilateral)		0.01	0.00	0.00	0.06	0.64	0.00	0.00	0.00	0.03	0.77	0.00	0.00	0.00

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

Figura 31: Matriz de Correlación para la Capacidad Antioxidante y Datos colorimétrico de la quinua entera



Los resultados mostrados en la tabla 21 y visualizada en la figura 31 muestran la correlación entre la capacidad antioxidante y las demás mediciones colorimétricas efectuadas en las muestras de quinua entera, de ella se puede establecer que si hay correlación del método DPPH con algunos parámetros colorimétricos tal como se puede apreciar en el resumen de la tabla 22.

Tabla 22: Correlación de Capacidad antioxidante DPPH y las mediciones colorimétricas en la quinua entera.

Datos	DPPH-Quencher		DPPH Extractable	
	ρ (rho, r_s)	p-Valor	ρ (rho, r_s)	p-Valor
L* CR-400	-0.549**	0.0011348	-0.381*	0.03135385
a* CR-400	ns	ns	0.559**	0.00088536
b* CR-400	ns	ns	ns	ns
Croma CR-400	ns	ns	ns	ns
h° CR-400	-0.468**	0.0068452	-0.512**	0.00276719
L* LAMBDA	-0.546**	0.0012212	-0.376*	0.03409261
a* LAMBDA	ns	ns	0.530**	0.00182989
b* LAMBDA	ns	ns	ns	ns
Croma LAMBDA	ns	ns	ns	ns
h° LAMBDA	-0.409*	0.0199566	-0.560**	0.00085229
Ind. Color-CR400	0.506**	0.0031397	0.486**	0.00475851
Ind. Color-LAMBDA	0.461**	0.0079541	0.569**	0.00067573

ns=no significativo ** significativa al nivel 0,01 * significante al nivel 0,05

Los resultados indican el método DPPH-Quencher presenta una correlación significativa pero inversa con los parámetros L* ($r_s = -0.549$ y -0.546) y h° ($r_s = -0.468$ y -0.409) y una relación directa positiva entre el Índice de Color ($r_s = 0.506$ y 0.461) de las quinuas enteras medidas por ambos métodos colorimétricos (colorímetro CR-400 y Espectrofotómetro LAMBDA).

En cuanto al método DPPH extractable presenta además una relación directa positiva con el parámetro a* ($r_s = 0.559$ y 0.530) y que además repite el mismo efecto correlativo en los parámetros L* y h° que fueron encontrados con el método directo de DPPH

En la figura 32 y 33 muestran gráficamente los resultados de las correlaciones de la Capacidad antioxidante y parámetros colorimétrico significativos ($p < 0.01$) para la quinua entera

Figura 32: Correlación significativa ($p < 0.01$) entre la Capacidad Antioxidante DPPH-Quencher y parámetros colorimétricos

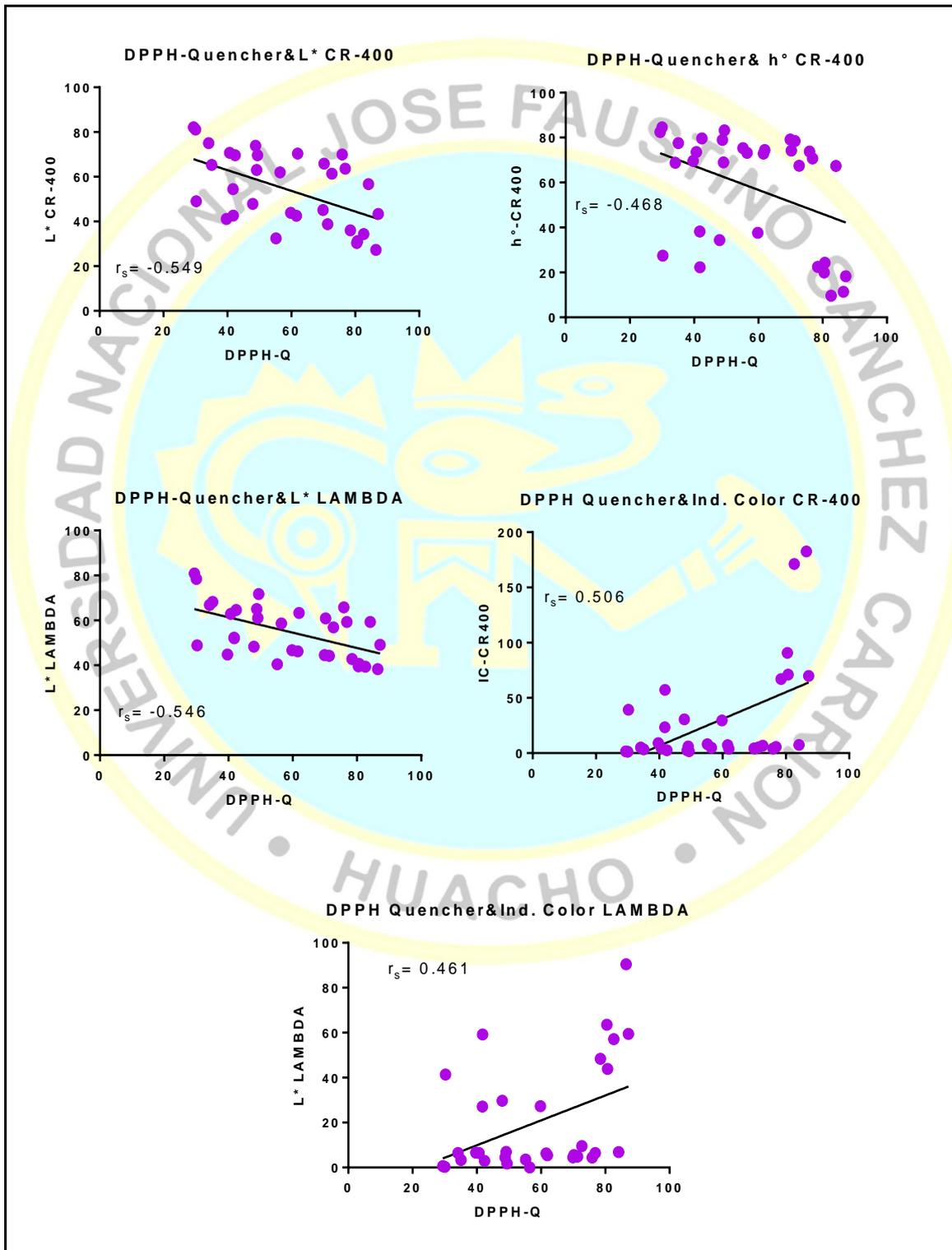
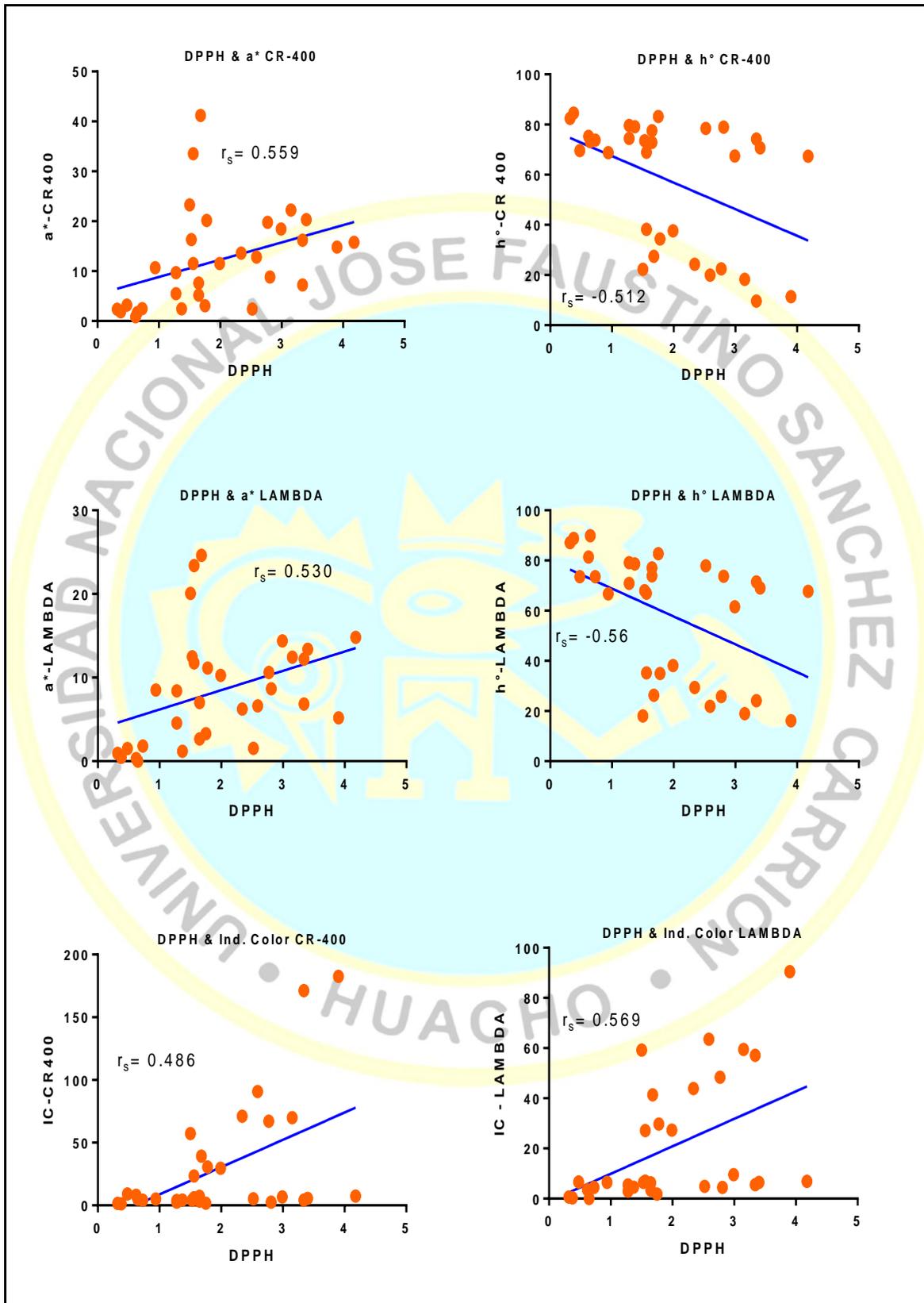


Figura 33: Correlación significativa ($p < 0.01$) entre la Capacidad Antioxidante DPPH extractable y parámetros colorimétricos



En cuanto a la correlación de la capacidad antioxidante por el método de DPPH tanto Quencher y extractable con los parámetros colorimétricos en la quinua molida, los resultados resumidos son mostrados en la tabla 23, de la cual se puede establecer que no hay correlación significativa ($p < 0.01$) entre la capacidad antioxidante DPPH-Quencher y los parámetros colorimétricos, sin embargo si hay correlación significativa entre DPPH Extractable y el parámetro a^* ($r_s = 0.504$ y 0.515) en las dos mediciones colorimétricas (CR- 400 y Espectrofotómetro LAMBDA).

Tabla 23: Correlación de Capacidad antioxidante DPPH y las mediciones colorimétricas en la quinua molida

Datos	DPPH-Quencher		DPPH Extractable	
	ρ (rho, r_s)	p-Valor	ρ (rho, r_s)	p-Valor
L* CR-400	-0.376*	0.03406	ns	ns
a* CR-400	0.415*	0.018312	0.504**	0.00328166
b* CR-400	ns	ns	ns	ns
Croma CR-400	ns	ns	ns	ns
h° CR-400	ns	ns	ns	ns
L* LAMBDA	-0.447*	0.0103498	ns	ns
a* LAMBDA	ns	ns	0.515**	0.00258493
b* LAMBDA	ns	ns	ns	ns
Croma LAMBDA	ns	ns	ns	ns
h° LAMBDA	-0.425*	0.0152615	-0.427*	0.01478799
Ind. Color-CR400	0.395*	0.0251936	ns	ns
Ind. Color-LAMBDA	0.437*	0.0124000	0.383*	0.03048177

ns = no significativo ** significativa al nivel 0,01 * significante al nivel 0,05

Estos resultados indicarían la baja relación que hay entre la medición de la capacidad antioxidante con los valores colorimétricos de la quinua molida, la tabla 24 y la figura 34 muestran los resultados de todas las correlaciones entre la capacidad antioxidante y los parámetros colorimétricos para la quinua molida, en la figura 35 se muestra los dos únicas correlaciones significativas que se obtuvo entre la capacidad antioxidante DPPH Extractable y el parámetro a^* .

Tabla 24: Correlación Rho de Spearman-Nivel significancia (Sig.) para la Capacidad Antioxidante y datos colorimétrico de la quinua molida

	DPPH_Q	DPPH	L*-CR400	a*-CR400	b*-CR400	c*-CR400	h°-CR400	L*-LAMBDA	a*-LAMBDA	b*-LAMBDA	c*-LAMBDA	h°-LAMBDA	IC-CR400	IC-LAMBDA
DPPH_Q Sig. (bilateral)	1 .000	,704** .000	-,376* .034	,415* .018	-,238 .191	-,289 .108	-0.34018 .057	-,447* .010	,349 .050	-,322 .072	-,331 .064	-,425* .015	,395* .025	,437* .012
DPPH Sig. (bilateral)	,704** .000	1 .873	0.0296 .003	,504** .003	-,025 .891	0.01173 .949	-0.24533 .176	-0.040887 .824	,515** .003	-,118 .519	-,024 .895	-,427* .015	0.2776 .124	,383* .030
L*-CR400 Sig. (bilateral)	-,376* .034	0.0292 .873	1 .158	-,255 .158	,616** .000	,560** .001	,536** .002	,943** .000	-,181 .321	,571** .001	,564** .001	,411* .020	-,624** .000	-,545** .001
a*-CR400 Sig. (bilateral)	,415* .018	,504** .003	-,255 .158	1 .158	-,342 .055	-0.1323 .470	-,789** .000	-,374* .035	,978** .000	-,389* .028	-0.16056 .380	-,943** .000	,806** .000	,910** .000
b*-CR400 Sig. (bilateral)	-,238 .191	-,025 0.8907	,616** .000	-,342 .055	1 .000	,905** .000	,806** .000	,669** .000	-0.236847 .192	,972** .000	,906** .000	,536** .002	-,777** .000	-,583** .000
c*-CR400 Sig. (bilateral)	-,289 .108	0.0117 .949	,560** 0.00085	-0.1323 .470	,905** .000	1 .000	,642** .000	,624** .000	-0.016682 .928	,898** .000	,978** .000	,347 .052	-,613** .000	-,405* .022
h°-CR400 Sig. (bilateral)	-0.3402 .057	-0.2453 .176	,536** .002	-,789** 7.97E-08	,806** .000	,642** .000	1 .000	,656** .000	-,708** .000	,820** .000	,669** .000	,898** .000	-,984** .000	-,912** .000
L*-LAMBDA Sig. (bilateral)	-,447* .010	-0.0408 0.8242	,943** .000	-,374* .035	,669** .000	,624** .000	,656** .000	1 .000	-,309 .086	,658** .000	,647** .000	,534** .002	-,731** .000	-,663** .000
a*-LAMBDA Sig. (bilateral)	0.34904 .050	,515** .003	0 0.32068	,978** .000	-0.23685 .192	-0.01668 .928	-,708** .000	-0.308524 .086	1.000 .101	-0.29514 .762	-0.05573 .000	-,908** .000	,730** .000	,870** .000
b*-LAMBDA Sig. (bilateral)	-,322 .072	-,118 .519	,571** .001	-,389* 0.02765	,972** .000	,898** .000	,820** .000	,658** .000	-,295 .101	1 .000	,932** .000	,584** .000	-,799** .000	-,626** .000
c*-LAMBDA Sig. (bilateral)	-,331 .064	-,024 0.8946	,564** .001	-0.16056 .380	,906** .000	,978** .000	,669** .000	,647** .000	-0.05573 .762	,932** .000	1 .000	,391* .027	-,646** .000	-,447* .010
h°-LAMBDA Sig. (bilateral)	-,425* .015	-,427* .015	,411* 0.01959	-,943** .000	,536** .002	,347 .052	,898** .000	,534** .002	-,908** .000	,584** .000	,391* .027	1 .000	-,918** .000	-,977** .000
IC-CR400 Sig. (bilateral)	,395* .025	0.2775 0.1239	-,624** .000	,806** .000	-,777** .000	-,613** .000	-,984** .000	-,731** .000	,730** .000	-,799** .000	-,646** .000	-,918** .000	1 .000	,952** .000
IC-LAMBDA Sig. (bilateral)	,437* .012	,383* .030	-,545** .001	,910** .000	-,583** .000	-,405* .022	-,912** .000	-,663** .000	,870** .000	-,626** .000	-,447* .010	-,977** .000	,952** .000	1 .000

*. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral): *

Figura 34: Matriz de Correlación para la Capacidad Antioxidante y valores colorimétricos de la quinua molida

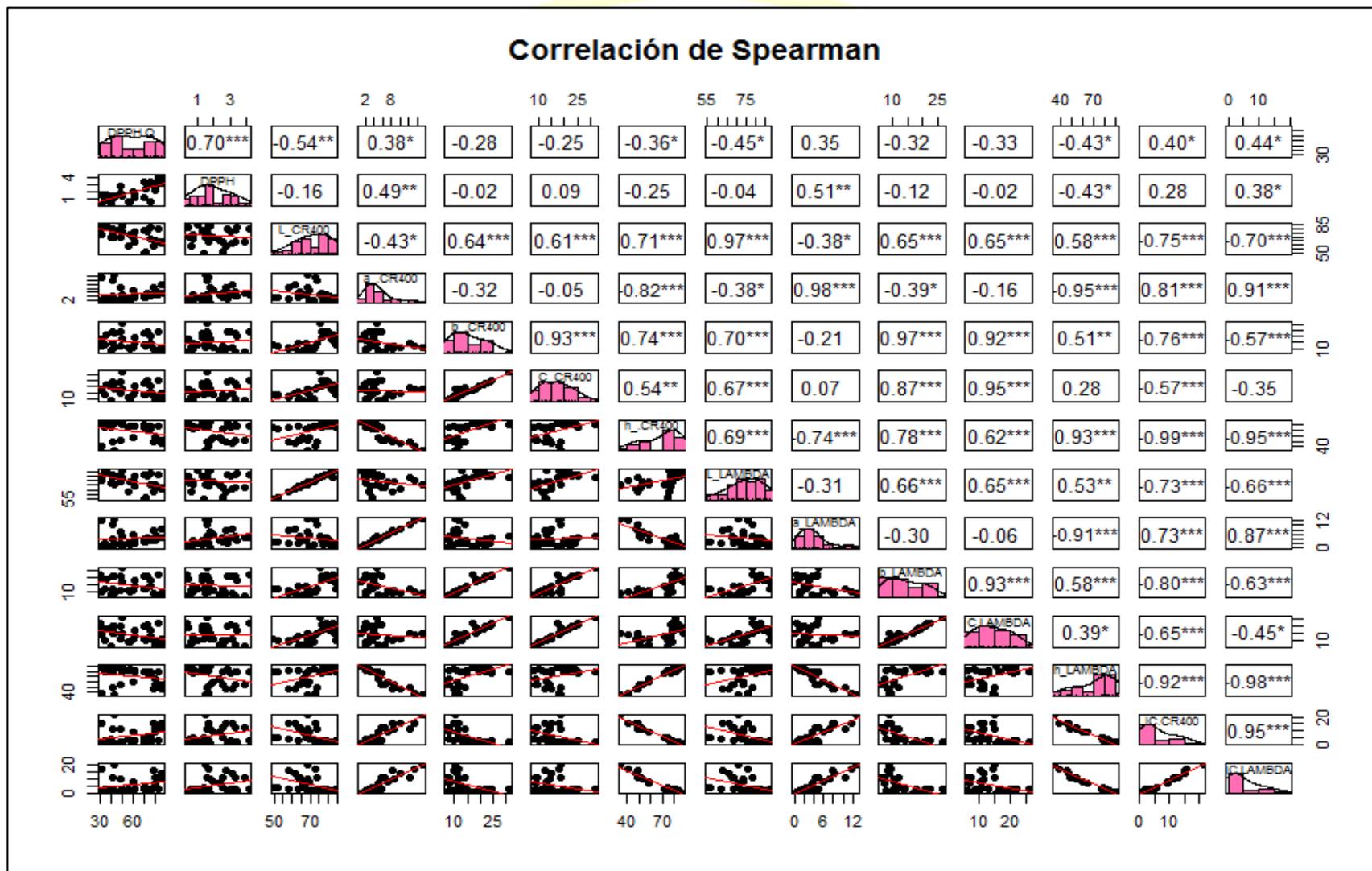
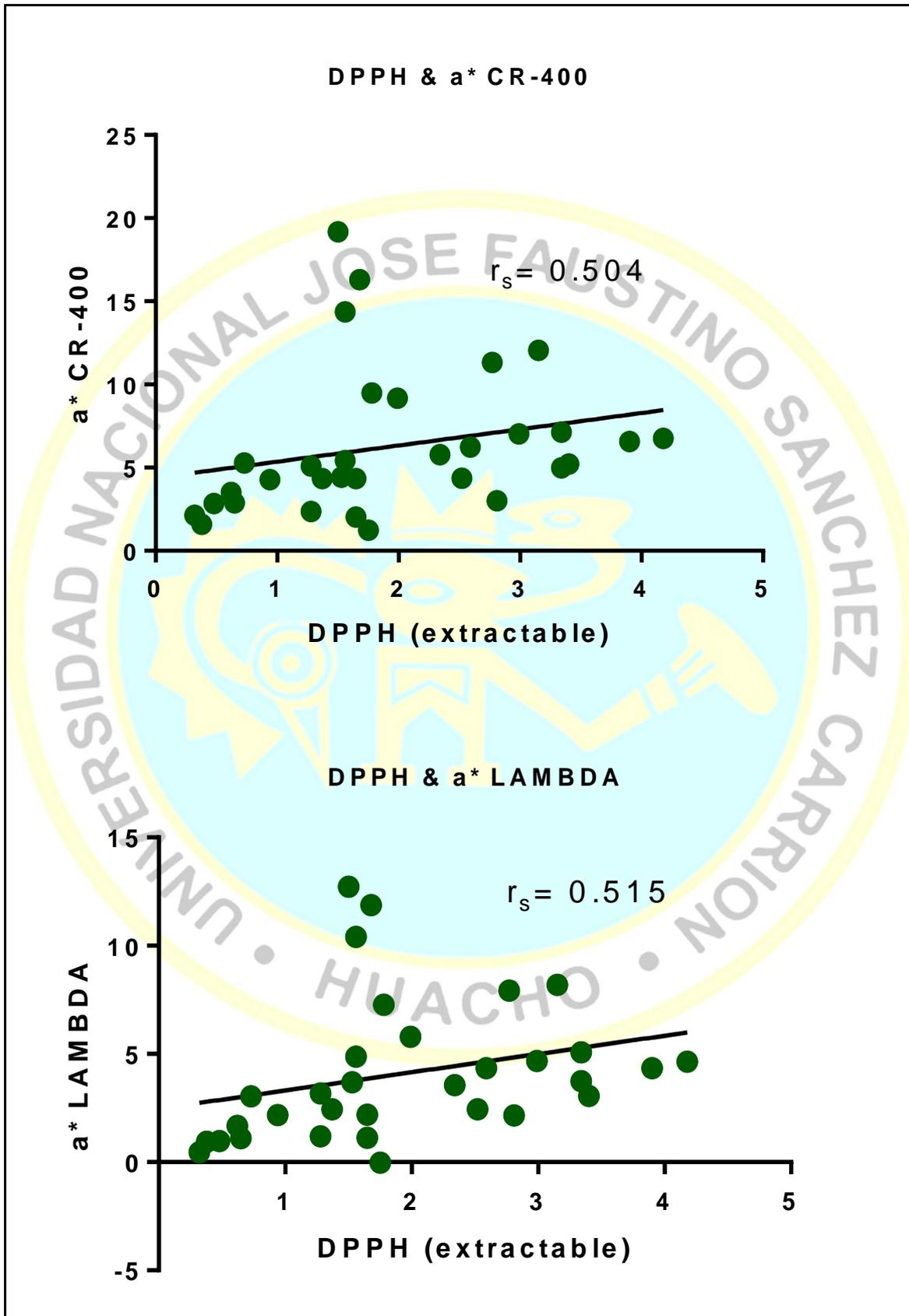


Figura 35: Correlación significativa ($p < 0.01$) entre la Capacidad Antioxidante DPPH (Extractable) y parámetro colorimétrico a^* , en la quinua molida



4.2 Contrastación de hipótesis

En vista que las variables dependientes son cuantitativas con una distribución normal se empleó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para el contraste de hipótesis 1 y 2, y para la hipótesis específica 3 se tomó en cuenta los resultados del coeficiente de correlación mediante el método de Spearman, de la cual se tiene:

4.2.1 Contraste de hipótesis específicas

- a) La hipótesis N° 1 es: “La colorimetría (CR-400) y la Espectrofotometría (LAMBDA) de Reflectancia Difusa son dos métodos similares para medir el color (IC) según el espacio CIELAB ($L^* a^* b^* C^*$ y h°) en los granos de quinua”

Ho= La distribución de la media del Índice de color (IC) en las quinuas para las dos mediciones son las mismas

H1= La distribución de la media del Índice de color (IC) en las quinuas para las dos mediciones no son las mismas

Tabla 25: Contraste de hipótesis específica 01

Prueba/Estadísticos	Quinua entera	Quinua Molida
<u>Signo</u>		
N+	17	28
Esperanza	16.000	16.000
Varianza (N+)	8.000	8.000
p-valor (bilateral)	0.860	< 0.0001
<u>Wilcoxon</u>		
V	327	500
Esperanza	264.000	264.000
Varianza (V)	2860.000	2860.000
p-valor (bilateral)	0.2462	< 0.0001

Para el caso del Índice de color (IC) de las quinuas enteras, se obtuvo un p-valor calculado de 0.2462 y es mayor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula Ho.

En el caso de la quinua molida las medias del Índice de color (IC) medidos por ambos métodos dio un p-valor computado de < 0.0001 y es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, por lo que se debe rechazar la hipótesis nula H_0 , y aceptar la hipótesis alternativa H_1 .

- b) La hipótesis N° 2 es: “El método directo DPPH-Quencher permite medir la capacidad antioxidante total en los granos de quinua y es similar al método DPPH extractable”

H_0 = La distribución de la media de la capacidad antioxidante de las quinuas medidos por los dos métodos son las mismas

H_1 = La distribución de la media de la capacidad antioxidante de las quinuas medidos por los dos métodos no son las mismas

Tabla 26: Contraste de hipótesis específica 02

Prueba/Estadísticos	valor
<u>Signo</u>	
N+	32
Esperanza	16.000
Varianza (N+)	8.000
p-valor (bilateral)	< 0.0001
<u>Wilcoxon</u>	
V	528
Esperanza	264.000
Varianza (V)	2860.000
p-valor (bilateral)	< 0.0001

Esta prueba nos confirma los resultados obtenidos en la sección 4.1.2 donde de echo la capacidad antioxidante medida según el método DPPH-Quencher es mayor que el método tradicional DPPH extractable, Como el p-valor computado es menor (< 0.0001) que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula H_0 , y aceptar la hipótesis alternativa H_1 .

c) La hipótesis N° 3 es: “Existe relación entre la capacidad antioxidante de la quinua con el Índice de color (IC) medido según el espacio CIELAB ($L^* a^* b^* C^*$ y h°)”

Ho= La capacidad antioxidante de las quinuas y su índice de color no están correlacionadas y no existe asociación entre ambas mediciones.

H1= La capacidad antioxidante de las quinuas y su índice de color están correlacionadas y existe una asociación entre ambas mediciones.

α =Nivel de significancia: 0.05 Para todo valor de la probabilidad igual o menor que 0.05, se rechaza Ho

Elección de la prueba estadística: Correlación de Spearman (Rho de Spearman muestral)

Tabla 27: Contraste de hipótesis específica 03

Técnica de Medición	DPPH-Quencher/IC		DPPH Extractable/IC	
	Coefficiente Correlación	p-Valor	Coefficiente Correlación	p-Valor
<u>Colorímetro CR-400</u>				
Quinua Entera	0.506	0.00313	0.486	0.00476
Quinua Molida	0.395	0.02519	0.278	0.12439
<u>Espectrofotómetro LAMBDA</u>				
Quinua Entera	0.461	0.00795	0.569	0.00068
Quinua Molida	0.437	0.01240	0.383	0.03048

IC = Índice de Color

Dado que el valor de p es menor de 0.05 en casi todas las técnicas, se rechaza la hipótesis nula y se acepta que si existe una correlación entre la capacidad antioxidante y el índice de color (IC) en las quinuas enteras medidas por ambas técnicas colorimétricas, sin embargo no hay correlación en la capacidad antioxidante por el método DPPH extractable y el índice de color medido con el colorímetro CR-400 en la quinua molida ($p = 0.12439, > 0.05$).

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1 Discusión de resultados

Color de las quinuas

Los granos enteros que fueron empleados como muestra no se sometieron a ningún proceso o tratamiento, en ambas formas de medición (triestimulo y espectrofotometría) se colocaron directamente en la placa Petri circular o en la celda para la esfera de integración. Por lo que las medidas corresponden a la capa exterior visible coloreada de los granos, (Tang et al. (2015) confirmo que los pigmentos de las quinuas corresponden a betalainas y no eran antocianinas como anteriormente se había reportado, estos compuestos coloreados agregan mayor valor funcional y que se puede evidenciar en su capacidad antioxidante. En la Tabla 9 y 11 se puede diferenciar cinco grupos en el color de los granos enteros y que son representadas en las figuras 15 y 16 para el caso de la medición con el colorímetro, los granos de quinua Q18 y Q19 (Sabona y Rosa de Cabana) muestran valores del parámetro a^* para un color rojo de 33.54 y 41.18 siendo los más altos de todas las quinuas evaluadas, estos dos granos fueron agrupados como Ginda-Rosada, el siguiente grupo de quinua son los granos Q20, Q21, Q22, Q23, Q24, Q25, Q26, Q27 y Q28 y catalogadas como colores de rojo-purpura y rojo-violeta, se caracterizan por tener un valor de L^* entre 27.28 a 47.90 los más bajos de todas las quinuas, valores del parámetro b^* de 1.23 a 13.73, lo que ambos dan un indicativo que resalta el color rojo pero con menos luminosidad y una baja tonalidad h° entre 9.65 a 37.64, también tienen un mayor índice de color (29.57-182.51), estos valores son más bajos que los encontrados en los granos rojo-violeta por Escribano, et al. (2017) y donde indican que contienen principalmente betacianinas violetas.

Las quinuas Q7, Q12, Q13, Q14, Q15, y Q16 conforman un grupo que fueron catalogadas como amarillo-naranja y amarillo intenso, se diferencian por tener altos valores

del parámetro b^* que va de 37.78 (Witulla amarilla) a 57.94 (Amarilla 1152) fueron incluso más alto que lo reportado por Escribano, et al. (2017) para las quinuas amarillas, otro parámetro que destaca en este grupo es el valor de saturación C^* (Croma) que fue mayor que las otras quinuas entre 37.82 a 58.16. Las quinuas Q1, Q2, Q5, Q6, Q8, Q9, Q10 y Q11 forman el siguiente grupo de quinuas de color crema-amarilla, blancas-amarillo pálido y se destacan por un mayor valor del parámetro de luminosidad L^* entre 63.01 a 82.09 que es alta en comparación de las otras quinuas, lo que repercute en un bajo índice de color 1.18-6.09, lo que indica la ausencia de intensidades rojo-verde y una mayor claridad en los granos, en este grupo se incluyó a las muestras blancas comerciales las que se pueden diferenciar por tener un alto valor de luminosidad.

El grupo de quinuas enteras que se agrupan según el color de gris, ploma-negra, verde-marrón y que fueron medidos con el colorímetro son las muestras Q3, Q4, Q17, Q29, Q30, Q31 y Q32, se caracterizan por tener un valor del parámetro L^* alto de 32.43 a 69.93 y los valores de a^* (0.85 -5.19) más bajos de todas las quinuas, esto indican claramente una luminosidad reducida de los granos negros y la ausencia de un color predominante, por lo que se pueden clasificar como granos semi oscuros y hasta verde oscuro (quinuas Ayara y Mama ayara) también las de gris-ploma (quinuas Coyto y Pasankalla ploma).

La medición del color de las muestras de quinua enteras llevada a cabo con el espectrofotómetro mostró una mayor variabilidad (desviación estándar) que cuando se usa el colorímetro. Una explicación posible es que los parámetros de color en el espectrofotómetro se calcularon a partir del espectro en el rango visible y reflejarán toda la variabilidad del color de las muestras, además (Jha, 2010) manifiesta que el tamaño de partícula es de mucha importancia cuando se emplea mediciones en reflectancia de sólidos, el ancho de banda disminuye y las intensidades relativas se alteran drásticamente a medida que disminuye el tamaño de partícula, por lo que para medir un buen espectro de reflectancia difusa, es necesario moler uniformemente la muestra. En la tabla 10 se puede ver los resultados de los parámetros de color para las mediciones con el espectrofotómetro, el agrupamiento (tabla 11) da cuenta de 5 grupos y que son representadas en las figuras 18 y 19.

El primer grupo de quinuas medidas con el espectrofotómetro lo conforman la Q18, Q19, Q20 y Q27 catalogadas como Ginda-Rosada y están caracterizadas por tener valores altos del parámetro a^* (10.25-24.61) pero no superan a los valores obtenidos por el

colorímetro, más son similares a lo reportado por Escribano et al. (2017). Las quinuas Q21, Q22, Q23, Q24, Q25, Q26 y Q28 son las que se agrupan como quinuas roja-purpura o rojas-violetas tienen un valor de b^* bajo (1.50-6.52) y índice de color altos (43.90-90.49), las quinuas que conforman el tercer grupo son la Q3, Q4, Q17, Q29, Q30, Q31 y Q32 y están catalogadas como un color gris, ploma-negra y verde-marrón, están caracterizadas por su bajo valor del parámetro a^* (0.01 a 2.67), las quinuas Q11, Q12, Q13, Q14, Q15 y Q16 agrupan a las catalogadas por el color como quinuas amarillas-naranjas o amarillo intenso, se caracterizan por presentar un valor del parámetro b^* alto (26.54-36.42), en tanto el último grupo los conforman las quinuas Q1, Q2, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9 y Q10 y se diferencian de los demás por presentar valores del parámetro L^* con alta luminosidad (63.30 a 80.89) .

Con respecto a las quinuas enteras se evidencia que las que fueron medidos con el colorímetro exponen un mayor valor en todos los parámetros colorimétricos que los medidos con el espectrofotómetro, sin embargo esto no indica que sean diferentes en su técnica de medir el color ya que en la figura 20 se aprecia alta correlación entre los valores L^* , a^* , b^* , C y h° ($r > 0.92$) y el índice de color medidos por ambas técnicas no difieren ($p = 0.2462$) a un nivel de significación de 5%.

Con relación a la medición del color mediante ambas técnicas en los granos de quinua molida todos los parámetros del color fueron completamente modificados, en la tabla 13 y 14 se muestran los resultados para ambas mediciones donde en general el parámetro L^* se incrementó en las muestras de quinua después de ser molidas con valores entre 49.83 a 84.11 con el colorímetro y 55.0 a 86.89 con el espectrofotómetro (Tabla 16), del mismo modo los valores a^* y b^* se redujeron para todas las variedades de quinuas, se puede establecer que las quinuas al ser molidas ya no reflejan su color inicial, en la tabla 15 se aprecia los 5 agrupamientos que forma por sus coloraciones y no concuerdan con los grupos de colores en las quinuas enteras, hay discrepancias en la concordancia de los colores y muestras por grupo, aunque hay una buena correlación ($r = 0.96 - 0.99$) en los valores de los parámetros colorimétricos de ambas técnicas de medición como se aprecia en la figura 26, el Índice de color de ambos métodos en su comparación dio un valor de p computado de < 0.0001 y es menor que el nivel de significación de 5%, por lo que se puede indicar que el índice de color no son las mismas en ambas mediciones. Estos cambios en las propiedades de color producidas por el efecto de la molienda reflejan que los pigmentos en las muestras de quinua coloreadas se encuentran completamente en la capa de la semilla y en el endospermo del grano, Abderrahim et al. (2015).

Capacidad antioxidante de las quinuas

Los cereales y los pseudo-cereales en su mayoría tienen problemas en la extracción con solventes, según Abderrahim et al., (2015) esto se debe que estos granos poseen una cantidad alta de fenoles que están unidos covalentemente a la fracción insoluble, por tanto cuando se mide la capacidad antioxidante desde el extracto no se estaría midiendo el total de su valor real, por esta razón en esta investigación se empleó el método directo que no requiere una extracción previa a la cual se le denominó DPPH-Quencher, varios trabajos recomiendan esta técnica como Gökmen, Serpen, & Fogliano (2009), Serpen et al. (2012) y Henrion et al. (2013), entre otros. En la tabla 18 se muestran la capacidad antioxidante tanto por el método directo y del extractable convencional, para el método directo los valores van desde 29.42 a 87.18 $\mu\text{Mol/g}$ de quinua (mMol/Kg) en referencia a la concentración de DPPH inhibido, estos valores no son posible en compararlos con otras quinuas ya que no se ha reportado la capacidad antioxidante total de la semilla de quinua por DPPH-Quencher, sin embargo Abderrahim et al., (2015) en la evaluación de la capacidad antioxidante de 13 quinuas coloreadas del Altiplano Peruano reporta de 119.8 a 335.9 mMol de equivalente Trolox/kg pero mediante la técnica QUENCHER-CUPRAC, además compara que en otros cereales como cebada (26.35 ± 0.36), centeno (16.21 ± 0.25), trigo (13.44 ± 0.46) y avena (10.46 ± 0.23) la capacidad antioxidante de la quinua lo supera.

En cuanto a la capacidad antioxidante extractable los resultados exponen valores de 0.32 a 4.18 $\mu\text{Mol/g}$ de quinua ($\text{mMol DPPH inhibido/Kg grano}$) y que son relativamente bajos con respecto a los valores obtenidos por el método directo, (Repo-Carrasco & Encina, 2008) reportaron la capacidad antioxidante de 15 quinuas obtenidas desde un extractos y fase hidrofílica mediante el radical DPPH y encontraron valores de 117.49 a 2400,55 $\mu\text{g Trolox/g}$ (equivalente a 0.94 a 19.19 $\mu\text{Mol DPPH/g}$ de quinua) por tanto resultan valores más altos que los encontrados en este estudio. Igualmente Tang et al. (2014) Reporta que en la evaluación de capacidad antioxidante empleando DPPH expresado en TEAC de quinuas blanca, roja y negra en diferentes fracciones de extracción de fenólicos libres, (FP), fenólicos libres en medio básico (BHP) y fenólicos hidrolizables de naturaleza ácida (AHP) expuso valores entre los 600 y 1100 $\mu\text{mol Trolox/100 g}$ (equivalente a 12 a 22 $\mu\text{Mol DPPH/g}$ de quinua) que también superan a las quinuas evaluadas en esta investigación. En la evaluación de la capacidad antioxidante con el radical DPPH en 24 accesiones de quinua de la colección nacional del INIA Perú realizada por Valencia et al. (2017), Reportaron valores de 474.215 a 972.875 $\mu\text{Mol ET/100 g}$ en extracto Metanol/agua (equivalente a 9.484 a 19.457 μMol

DPPH/g de quinua) y valores de 486.080 a 1195.746 equivalentes de Trolox $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ en extracto Etanol/agua (equivalente a 9.721 a 23.915 uMol DPPH/g de quinua), todas estas evaluaciones indican valores mas altas que la capacidad antioxidante con el DPPH extractable en las 32 quinuas del presente estudio. Sin embargo Vega-Gálvez, et al. (2018) en la evaluación de seis genotipos de quinua encontraron que los niveles de actividades de eliminación de radicales DPPH variaron de 10.74 a 20.17 $\text{mMol Trolox Equivalents (TE)}$ 100 g^{-1} (equivalentes 0.215 a 0.403 uMol DPPH/g de quinua) los cuales estarían por debajo de los valores nuestros obtenidos a pesar de ser la misma extracción, todos estos resultados discordantes estarían debiéndose a la metodología de extracción que son distintos procedimientos en cada estudio y esto dificulta realizar una comparación.

En la figura 27, 28 y 29 muestran el análisis de conglomerados comparativo y el análisis de componentes principales (PCA) basados en las dos mediciones de la capacidad antioxidante de las 32 quinuas, da lugar a formar 5 grupos de quinuas según su valor antirradical, se propone la tabla 19 como una posible escala de capacidad antioxidante para las quinuas, en la cual la quinua Q22 (Pasankalla Rosada-Guinda) tiene mayor poder antioxidante, al igual de otras quinuas rojo-purpura ó rojo-violeta como las quinuas Q24, Q25, Q26 y Q28 (80.49-87.18 uMol DPPH/g de quinua y 2.34-4.18 uMol DPPH/g de quinua extractable) y que según el color son quinuas rojas-guindas-purpuras a excepcion de la Q16 (Witulla amarilla) de coloración amarilla-naranja (84.13 y 4.18 uMol DPPH/g de quinua), estos resultados coinciden con lo reportado por Escribano et al. (2017), donde indican que las quinuas con colores rojo-violetas y amarillas mostraron mayor capacidad antioxidante mediante las pruebas de FRAP, ABTS y ORAC, y son mayor en comparación con las quinuas blancas-cremas y esto se debe a que ambas grupos de quinuas contienen tanto betacianinas como betaxantinas, lo obtenido en esta investigación también coincide con los resultados de Abderrahim et al., (2015) donde indica que la quinua coloreada Pasankalla Roja tiene mayor capacidad antioxidante ($M6 = 335.9 \pm 2.12\text{ mMol ET/kg}$) y tiene gran potencial como alimento funcional.

Correlación del Índice de color y capacidad antioxidante

Los resultados de las mediciones de la capacidad antioxidante y de los parametros colorimetricos corresponden a una distribución que no es normal y por tanto se empleo el coeficiente de correlación mediante el método de Spearman que es un coeficiente no paramétrico, en la tabla 21 y 22 se aprecia las correlaciones de todos las mediciones

realizadas en la quinua entera, en la figura 23 se indica que hay una fuerte correlación ($r=0.704$, $p=0.000$) esto es algo esperado ya que es un mismo método con la diferencia del modo de preparar la muestra, por lo que da una tendencia lineal en favor de las mismas muestras, esta tendencia también fue notado por Escribano et al. (2017) entre los métodos de FRAP y ABTS+ para quinuas coloreadas.

En la tabla 22 se puede apreciar que las correlaciones significativas (nivel 0,01) para el método DPPH-Quencher en la quinua entera corresponde a los parámetro L^* , h° y el índice de color (IC), el valor de L^* ($r_s = -0.549$ y -0.546) tiene una correlación significativa y negativa que indica que es posible asociar la actividad antioxidante con un parámetro de color obtenido con el colorímetro o con el espectrofotómetro, además que correlaciona que a menor valor del parámetro L^* (menor luminosidad o menor claridad) hay mayor capacidad antioxidante en las quinuas enteras, el tono angular h° también presenta una correlación negativa ($r_s = -0.468$ y -0.409) para ambas formas de medir el color, en ella se expresa que a menor tonalidad las quinuas presentan mayor capacidad antioxidante. Con respecto al Índice de color los valores en ambas mediciones se presenta una relación positiva ($r_s = 0.506$ y 0.461) lo que sugiere una concordancia que las quinuas con mayor color amarillo y rojo presentarían mayor capacidad antioxidante. Para el caso de la capacidad antioxidante por el método DPPH extractable se presenta la misma asociación de correspondencia tanto en L^* ($r_s = -0.381$ y -0.376), en h° ($r_s = -0.512$ y -0.560) y en el índice de color (IC; $r_s = 0.486$ y 0.569) lo que sugiere que ambas formas de medir el color y ambas formas de medir la capacidad antioxidante son técnicas similares y tienen relación entre ellas.

Con respecto a la correlación de los parámetros colorimétricos de las quinuas molidas con la capacidad antioxidante la tabla 23 y 24 muestran los coeficientes de correlación en la que se manifiesta una baja relación que hay entre la medición de la capacidad antioxidante con los valores colorimétricos de la quinua molida, estos valores refuerzan a los resultados anteriores con respecto al color donde todos los parámetros del color fueron completamente modificados por el efecto de la molienda, esto influye que ya no es posible asociar la actividad antioxidante con un parámetro de color de la quinua molida, a excepción del parámetro a^* ($r_s = 0.504$ y 0.515) en ambas mediciones (CR- 400 y Espectrofotómetro LAMBDA) que sugiere una mayor capacidad antioxidante a medida que las quinuas van del color verde a más rojo.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Luego de realizar la presente investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

- ✓ El uso del colorímetro y del espectrofotómetro en la medición del color en el espacio CIELAB (L^* a^* b^* C^* y h°) para las quinuas son técnicas similares, muestran una alta correlación entre sus parámetros colorimétricos ($r > 0.92$ y $r < 0.99$) entre sí, tanto en el grano entero como molida, sin embargo ante el cálculo del índice de color este correlaciona bien cuando las muestras solo son enteras ($r_s = 0.908$) y no cuando están molidas, ya que según la prueba no paramétrica de Wilcoxon el índice de color en las quinuas molidas por ambas técnicas no son las mismas. El análisis de conglomerados y componentes principales permitió formar 5 grupos de quinuas (Ginda-rosada, rojo-violeta, amarillo-naranja, crema-amarillo pálido y ploma-gris-negra) diferenciadas por los parámetros de color.
- ✓ La capacidad antioxidante total fue posible medir en las quinuas y realizada por el método directo DPPH-Quencher, donde arrojó valores que van desde 29.42 a 87.18 $\mu\text{Mol/g}$ de quinua (mMol/Kg) lo que lo cataloga como un alimento funcional con gran potencial, resaltando mayor poder antirradical en las quinuas de color rojo-violeta (Pasankalla Rosada-Guinda) y amarillo-naranja (Witulla amarilla). La medición de la capacidad antioxidante por el método DPPH extractable dio valores de 0.32 a 4.18 $\mu\text{Mol/g}$ de quinua ($\text{mMol DPPH inhibido/Kg grano}$) que son valores bajos y por tanto las mediciones son diferentes entre ambos métodos según la prueba no paramétrica de Wilcoxon. El análisis de conglomerados y componentes principales permitió formar 5 grupos de quinuas según la capacidad antioxidante por el método directo DPPH-Quencher, lo que se

sugiere proponer una escala categórica que va desde baja (<36 mMol DPPH/Kg) hasta alta (> 80 mMol DPPH/Kg).

- ✓ Se encontró que los parámetros colorimétricos que exhiben mayor correlación con la actividad antioxidante total realizado por el método DPPH-Quencher son los valores de L*, h° y el índice de color (IC), validos solo para cuando se mide el color en las quinuas enteras, y se puede sugerir que es posible asociar la actividad antioxidante con estos parámetro obtenido con el colorímetro o espectrofotómetro ya que ambas técnicas tiene una buena correlación de Spearman, para el caso de las quinuas molidas el único parámetro que correlaciona es el valor a*, ya que el índice de color no correlaciona con la capacidad antioxidante por el método DPPH extractable medido con el colorímetro CR-400 ($p = 0.12439, > 0.05$).

6.2 Recomendaciones

Luego de realizar la presente investigación se propone las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones:

- Estudiar el contenido de los compuestos responsables del color de los granos de quinua como las betalaínas y correlacionarlas con diferentes métodos de capacidad antioxidante.
- Evaluar el color de las quinuas coloreadas mediante técnicas de análisis de imágenes y comparar con otros métodos de medición del color.
- Desarrollar nuevos productos a base de quinua coloreadas tomando en cuenta sus propiedades funcionales y organolépticas.
- Continuar con el estudio de la evaluación de la capacidad antioxidante total en las quinuas mediante métodos directos (Quencher) empleando otras técnicas in vitro.
- Evaluar la estabilidad del color de las quinuas coloreadas sometidas a diferentes procesos tecnológicos.
- Continuar con el estudio de la relación del color de las quinuas con otros compuestos bioactivos presentes en el grano.

REFERENCIAS

7.1 Fuentes documentales

- Abderrahim, F., Huanatico, E., Segura, R., Arribas, S., Gonzalez, M. C., & Condezo-Hoyos, L. (2015). Physical features, phenolic compounds, betalains and total antioxidant capacity of coloured quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Peruvian Altiplano. *Food Chemistry*, 183, 83 - 90. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.029>
- Alva, R. K. (2014). *Estudio comparativo de la calidad de pan de molde con sustitución parcial de las variedades de quinua (Chenopodium quinoa wild): INIA 415-Pasankalla (Roja), INIA 431-Altiplano (Blanca) y INIA 420-Collana (Negra) cultivadas en la costa y sierra del Perú*. Tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional del Santa, Chimbote, Perú, Chimbote, Perú.
- Bonifacio, A., Aroni, G., & Villca, M. (2012). *Catalogo Etnobotánico de la Quinoa Real*. Cochabamba, Bolivia: PROINPA.
- Bunaciu, A. A., Danet, A. F., Fleschin, S., & Aboul-Enein, H. Y. (2015). Recent Applications for in Vitro Antioxidant Activity Assay. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 46(5), 389 - 399. doi:10.1080/10408347.2015.1101369
- Cancino, E., Vázquez, I., & Quispe, I. (2018). Organic quinoa (*Chenopodium quinoa* L.) production in Peru: Environmental hotspots and food security considerations using Life Cycle Assessment. *Science of the Total Environment*, 637, 221 - 232. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.029>
- Carochoa, M., Morales, P., & Ferreira, I. C. (2018). Antioxidants: Reviewing the chemistry, food applications, legislation and role as preservatives. *Trends in Food Science & Technology*, 71, 107-120.
- Carvajal, J. J., Aristizábal, I. D., Oliveros, C. E., & Mejía, J. W. (2011). Colorimetría del Fruto de Café (*Coffea arabica* L.) Durante su Desarrollo y Maduración. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 64(2), 6229 -6240.
- Cervilla, N. S. (2016). *Aspectos Tecnológicos que influyen en las pérdidas nutricionales durante el proceso de obtención de Harinas de Quinoa. Caracterización físico-química*. (Tesis para la obtención del grado de Doctor en Ciencias de la Ingeniería). Universidad Nacional De Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Chuchuca, G. W., Dick, A. K., & Peñafiel, J. F. (2012). *Implementación y Validación de una Metodología Económica para la Medición de Color Aplicada en Alimentos*. (Tesis para la obtención del Título de Ingeniero De Alimentos). Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Guayaquil – Ecuador.
- Cömert, E. D., & Gökmen, V. (2017). Antioxidants Bound to an Insoluble Food Matrix: Their Analysis, Regeneration Behavior, and Physiological Importance.

- Condezo-Hoyos , L., Abderrahim, F., Arriba, S. M., & González, M. C. (2015). A novel, micro, rapid and direct assay to assess total antioxidant capacity of solid foods. *Talanta*, 138, 108–116. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2015.01.043
- De la Ossa, G., Hernández, T., & Hernández, R. (2016). Análisis multivariado del Top of Mind en la industria de bebidas estimulantes naturales en Colombia. *Agronomía Colombiana*, 34(1 Supl.), S23-S26. doi:10.15446/agron.colomb.v34n1supl.57987
- De La Riva, D. F. (2010). *Comparación del contenido de fitatos, polifenoles y capacidad antioxidante de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.) cruda y procesada variedad Salcedo INIA*. (Tesis para obtener el título profesional de Ingeniería Agroindustrial). Universidad Nacional del Altiplano, Puno., Puno, Perú.
- Delmoro, J., Muñoz, D., Nadal, V., Clementz, A., & Pranzetti, V. (2010). El color en los alimentos : Determinación de color en mieles. *Invenio*, 13(25), 145 - 152.
- Di Benedetto, N., Alfarano, M., Laus, M., Caporizzi, R., Soccio, M., & Robbe, C. (2015). Antioxidant Capacity of Durum Wheat Large Flour Particles May Be Evaluated by QUENCHER ABTS Assay by Adopting a Proper Calculation Mode. *Cereal Research Communications*, 43(4), 682 - 691. doi:10.1556/0806.43.2015.027
- Dontha, S. (2016). A review on Antioxidant Methods. *Asian Journal Pharmaceutical and Clinical Research*, 9(2), 14 - 32.
- Escribano, J., Cabanes, J., Jiménez-Atiénzar, M., Ibañez-Tremolada, M., Gómez-Pando, L. R., García-Carmona, F., & Gandía-Herrero, F. (2017). Characterization of betalains, saponins and antioxidant power in differently colored quinoa (*Chenopodium quinoa*) varieties. *Food Chemistry*, 234, 285 - 294. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.187
- Espinoza, J. E. (2017). *Efecto del tratamiento térmico sobre el color y el contenido de Carotenoides totales en salsas de Ajíes (Capsicum Spp) nativos*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero en Industrias Alimentarias). Universidad Nacional Agraria, Lima, Perú.
- Gökmen, V., Serpen, A., & Fogliano, V. (2009). Direct measurement of the total antioxidant capacity of foods: the 'QUENCHER' approach. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 278 - 288. doi:10.1016/j.tifs.2009.03.010
- Gonzales, C. I. (2010). *Caracterización química del color de diferentes Variedades de Guayaba (Psidium guajava L.) Colombiana*. (Tesis para Optar el Título de Magister en Ciencias - Química). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Graf, B. L., Rojas-Silva, P., Rojo, L. E., Delatorre-Herrera, J., Baldeón, M. E., & Raskin, I. (2015). Innovations in Health Value and Functional Food Development of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14, 431 - 445. doi:10.1111/1541-4337.12135

- Henrion, M., Servaes, M., Thielecke, F., & Fogliano, V. (2017). Application of the QUENCHER methodology to the food industry. *Food Chemistry*, 240, 951 - 958. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.119
- Hutchings, J., Ronnierluo, M., & Ji, W. (2012). Food Appearance and Expectations. En *Color in Food: Technological and Psychophysical Aspects* (págs. 3-10). EE.UU: J.L. Caivano & Buera M.P.
- IICA, (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (2015). *Estudio: El*
- Jha, S. N. (2010). Colour Measurements and Modeling. En *Nondestructive Evaluation of Food Quality. Theory and Practice* (pág. 288). doi:10.1007/978-3-642-15796-7
- Mäkinen, O. (2014). *Studies on quinoa (Chenopodium quinoa) for novel food and beverage applications*. (Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencia y Tecnología de los alimentos). University College Cork, Irlanda.
- Marqués, A. (2010). *Estudio de la reproducción del color en rotuladores profesionales usados en diseño gráfico*. (Tesis de para obtener el Título de Ingeniero Técnico de Telecomunicación, Especialidad en sonido e imagen). Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España.
- Mathias-Rettig, K., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur*, 42(2), 39-48. doi:10.4206/agrosur.2014.v42n2-07
- Moharram , H. A., & Youssef, M. M. (2014). Methods for Determining the Antioxidant Activity: A Review. *Food Science and Technology*, 11(1), 31-42.
- Niki, E. (2010). Assessment of antioxidant capacity in vitro and in vivo. *Free Radical*, 49, 503–515. doi:10.1016/j.freeradbiomed.2010.04.016
- Palombini, S. V., Maruyama, S. A., Thiago, C., Carbonera, F., De Souza, N. E., Visentainer, J. V., . . . Matsuchita, M. (2013). Evaluation of antioxidant potential of Brazilian rice cultivars. *Food Science and Technology*, 33(4), 699-704.
- Pisoschi, A. M., & Pop, A. (2015). The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: a Review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 97, 55 - 74. doi:10.1016/j.ejmech.2015.04.040.
- Pogo, T. S. (2013). *Análisis de la Quinoa como elemento de Identidad Gastronómica y Cultural Andina. Propuesta innovadora de resurgimiento en la cocina de vanguardia*. (Tesis para optar el título de Licenciado en Gastronomía y Servicio de Alimentos y Bebidas). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Ramírez-Navas, J. S. (2010). Espectrocolorimetría en caracterización de leche y quesos. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 61, 52 - 58.
- Repo-Carrasco, R., & Encina, C. R. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Revista de la Sociedad Química del Perú [online]*, 74(2), 85 - 99.

- Repo-Carrasco-Valencia, R. A.-M., & Serna, L. A. (2011). Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components. *Food Science and Technology (Campinas)*, 31(1), 225 - 230. doi:10.1590/S0101-20612011000100035
- Ryan, E., Galvin, K., O'Connor, T., Maguire, A., & O'Brien, N. (2007). Phytosterol, squalene, tocopherol content and fatty acid profile of selected seeds, grains, and legumes. *Plant Food Human Nutrition*, 62, 85- 91.
- Santos, P. (2009). Medición del color. *Revista técnica de Centro de Zaragoza*, 42, 16-20.
- Serpen, A., Gökmen, V., & Fogliano, V. (2012). Solvent effects on total antioxidant capacity of foods measured by direct QUENCHER procedure. *Journal of Food Composition and Analysis*, 26, 52 - 57. doi:10.1016/j.jfca.2012.02.005
- Shahidi & Zhong. (2015). Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 18, 757 - 781. doi:10.1016/j.jff.2015.01.047
- Shivakumar, A., & Kumar, M. Y. (2018). Critical Review on the Analytical Mechanistic Steps in the Evaluation of Antioxidant Activity. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 48(3), 214 - 236. doi:10.1080/10408347.2017.1400423
- Tang, Y., & Tsao, R. (2017). Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: a review. *Molecular Nutrition & Food Research*, 61(7). doi:DOI 10.1002/mnfr.201600767
- Tang, Y., Li, X., Zhang, B., Chen, P. X., Liu, R., & Tsao, R. (2015). Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes. *Food Chemistry*, 166(1), 380–388. doi:10.1016/j.foodchem.2014.06.01
- Valencia, Z., Cámara, F., Ccapa, K., Catacora, P., & Quispe, F. (2017). Compuestos bioactivos actividad antioxidante de semillas de Quinoa Peruana (*Chenopodium quinoa* W.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(1), 16 - 29.
- Vásquez, A. M. (2015). *Estimación de las coordenadas CIEL*a*b* en concentrados de tomate utilizando imágenes digitales*. (Tesis para optar al título de Magister en Ingeniería Agroindustrial). Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Vega-Gálvez, A., Zura, L., Lute, M., Jagus, R., Agüero, M. V., Pastén, A., . . . Uribe, E. (2018). ASSESSMENT OF DIETARY FIBER, ISOFLAVONES AND PHENOLIC COMPOUNDS WITH ANTIOXIDANT AND ANTIMICROBIAL PROPERTIES OF QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 34(1), 57 - 67. doi:http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902018005000101
- Vignoni, L. A., Césari, R. M., Forte, M., & Mirábile, M. L. (2006). Determinación de Índice de Color en Ajo Picado. *Información tecnológica*, 17(6), 63-67. Obtenido de <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000600011>

- Vilcacundo, R., & Hernández-Ledesma, B. (2016). Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Current Opinion in Food Science*. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2016.11.007
- Villanueva, B. E. (2015). *Contenido de betalaínas .y determinación de la actividad antioxidante de accesiones de Chenopodium quinoa Willd. "quinua" del distrito de Tambillo Ayacucho 2014*. (Tesis para optar el título profesional en Biología). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Wu, D., & Sun, D.-W. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control- A review. *Trends in Food Science & Technology*, 29, 5 - 20. doi:10.1016/j.tifs.2012.08.004
- Yeo, J., & Shahidi, F. (2015). Critical evaluation of changes in the ratio of insoluble bound to soluble phenolics on antioxidant activity of lentils during germination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(2), 379 -381. doi:10.1021/jf505632p

7.2 Fuentes bibliográficas

- Bazile, D., Bertero, D., & Nieto, C. (Edits.). (2014). *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013*. Santiago, Chile: FAO (Santiago de Chile); CIRAD, (Montpellier, Francia).
- FAO. (2011). *La Quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Oficina Regional para América latina y el Caribe.
- Gökmen, V., Serpen, A., & Fogliano, V. (2009). Direct measurement of the total antioxidant capacity of foods: the 'QUENCHER' approach. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 278 - 288. doi:10.1016/j.tifs.2009.03.010
- Gonzales, C. I. (2010). *Caracterización química del color de diferentes Variedades de Guayaba (Psidium guajava L.) Colombiana*. (Tesis para Optar el Título de Magister en Ciencias - Química). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Gonzales, C. I. (2010). *Caracterización química del color de diferentes Variedades de Guayaba (Psidium guajava L.) Colombiana*. (Tesis para Optar el Título de Magister en Ciencias - Química). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Graf, B. L., Rojas-Silva, P., Rojo, L. E., Delatorre-Herrera, J., Baldeón, M. E., & Raskin, I. (2015). Innovations in Health Value and Functional Food Development of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14, 431 - 445. doi:10.1111/1541-4337.12135
- Hothorn, B. S. (2010). *A Handbook of Statistical Analyses Using R* (Segunda edición ed.). Florida, E.E.U.U: Taylor and Francis Group.
- Hutchings, J., Ronnierluo, M., & Ji, W. (2012). Food Appearance and Expectations. En *Color in Food: Technological and Psychophysical Aspects* (págs. 3-10). EE.UU: J.L. Caivano & Buera M.P.
- Jha, S. N. (2010). Colour Measurements and Modeling. En *Nondestructive Evaluation of Food Quality. Theory and Practice* (pág. 288). doi:10.1007/978-3-642-15796-7

- Malacara, D. (2011). *Color Vision and Colorimetry* (Second ed.). Bellingham, Washington USA: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers.
- MINAGRI. (2015). *Situación actual y perspectivas en el Mercado Nacional e Internacional al 2015* (Primera ed.). Lima, Perú: Dirección de estudios económicos e información agraria.
- MINAGRI. (2017). *La Quinua: Producción y Comercio del Perú*. Lima, Perú: Dirección de estudios económicos e información agraria.
- Rahlf, T. (2017). *Data Visualisation with R*. München, Alemania: Springer International Publishing AG.
- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2018). Antioxidants in oxidation control. En R. Apak, E. Capanog, & F. Shahidi, *Measurement of Antioxidant Activity & Capacity: Recent Trends and Applications* (First Edition ed., pág. 354). NJ. USA.: John Wiley & Sons Ltd.
- Shivakumar, A., & Kumar, M. Y. (2018). Critical Review on the Analytical Mechanistic Steps in the Evaluation of Antioxidant Activity. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 48(3), 214 - 236. doi:10.1080/10408347.2017.1400423
- Sun, Y., Yang, C., & Tsao, R. (2018). Nomenclature and general classification of antioxidant activity/capacity assays. En R. Apak, E. Capanog, & F. Shahidi, *Measurement of Antioxidant Activity & Capacity: Recent Trends and Applications* (Primera ed., pág. 354). NJ. USA: John Wiley & Sons Ltd.
- Zelterman, D. (2015). *Applied Multivariate Statistics with R*. Suiza: Springer International Publishing AG.

7.3 Fuentes electrónicas

- Konica-Minolta. (2017). Control de Color en la Industria Alimenticia: El Color de la Calidad. Obtenido de Konica Minolta Sensing Americas, Inc.: <http://sensing.konicaminolta.com.mx>
- Padrón, C. A., Oropeza, R. A., & Montes, A. I. (Julio - Diciembre de 2014). Semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow): composición química y procesamiento. Aspectos relacionados con otras áreas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5(2), 166 - 218. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/274435593_Semillas_de_quinua_Chenopodium_quinoa_Willdenow_composicion_quimica_y_procesamiento_Aspectos_relacionados_con_otras_areas

ANEXOS

Agrupación de quinuas por colores según colorímetro CR-400

Grupo	Quinoa	L*	a*	b*	Croma	h°	Ind. Color	Color visual
I	Q ₁₈	54.43	33.54	26.38	40.94	38.19	23.36	Guinda-Rosada
	Q ₁₉	49.01	41.18	21.37	45.29	27.43	39.32	
II	Q ₂₀	47.90	20.16	13.79	23.02	34.37	30.53	Roja-Purpura, roja violeta
	Q ₂₁	42.64	23.28	9.55	24.49	22.31	57.17	
	Q ₂₂	43.37	22.21	7.33	23.00	18.25	69.92	
	Q ₂₃	36.02	19.75	8.18	20.75	22.49	67.06	
	Q ₂₄	30.40	12.80	4.64	13.33	19.94	90.68	
	Q ₂₅	31.21	13.59	6.13	14.30	24.26	71.08	
	Q ₂₆	27.28	14.80	2.97	15.30	11.36	182.51	
	Q ₂₇	43.85	11.52	8.88	13.11	37.64	29.57	
	Q ₂₈	34.34	7.24	1.23	8.09	9.65	171.33	
	III	Q ₇	73.88	8.83	45.19	42.59	78.94	
Q ₁₂		70.71	16.33	55.36	54.40	73.56	4.17	
Q ₁₃		65.85	16.17	57.12	56.03	74.20	4.30	
Q ₁₄		63.60	20.30	57.94	58.16	70.70	5.51	
Q ₁₅		61.37	18.43	44.45	45.00	67.48	6.76	
Q ₁₆		56.70	15.75	37.78	37.82	67.37	7.35	
IV	Q ₁	81.10	1.85	19.38	19.47	84.57	1.18	Crema-Amarilla, blanca-amarillo pálido
	Q ₂	82.09	2.35	17.77	17.92	82.46	1.61	
	Q ₅	75.05	10.67	27.55	26.40	68.83	5.16	
	Q ₆	70.37	9.67	34.72	32.71	74.44	3.96	
	Q ₈	69.61	3.08	25.86	22.52	83.22	1.71	
	Q ₉	69.65	5.49	30.06	27.11	79.65	2.62	
	Q ₁₀	65.28	7.59	34.27	31.69	77.51	3.39	
	Q ₁₁	63.01	11.50	29.95	28.93	68.99	6.09	
V	Q ₃	61.95	1.69	5.61	2.95	73.19	4.88	Ploma-Negra, gris, verde-marrón
	Q ₄	69.93	2.48	8.54	5.74	73.80	4.15	
	Q ₁₇	42.55	5.19	16.80	14.35	72.84	7.26	
	Q ₂₉	45.10	2.42	12.54	9.38	79.10	4.27	
	Q ₃₀	41.15	3.17	8.54	6.13	69.62	9.03	
	Q ₃₁	38.81	2.41	11.83	8.70	78.49	5.25	
	Q ₃₂	32.43	0.85	3.23	1.40	75.30	8.09	

Agrupación de quinuas por colores según espectrofotómetro LAMBDA 1050

Grupo	Quinua	L*	a*	b*	Croma	h°	Ind. Color	Color visual
I	Q ₁₈	52.25	23.38	16.51	28.09	35.21	27.10	Guinda Rosada
	Q ₁₉	48.91	24.61	12.16	27.07	26.32	41.37	
	Q ₂₀	48.26	11.13	7.77	13.06	34.94	29.70	
	Q ₂₇	46.67	10.25	8.03	12.45	38.16	27.33	
II	Q ₂₁	52.01	20.07	6.52	20.85	18.06	59.21	Rojo purpura, roja violeta
	Q ₂₂	49.11	12.45	4.26	12.90	18.97	59.45	
	Q ₂₃	42.78	10.62	5.13	11.42	25.83	48.34	
	Q ₂₄	39.57	6.61	2.63	6.85	21.86	63.52	
	Q ₂₅	40.59	6.24	3.50	6.74	29.35	43.90	
	Q ₂₆	38.32	5.19	1.50	5.24	16.12	90.49	
	Q ₂₈	39.37	6.84	3.04	7.16	24.09	57.15	
III	Q ₃	58.64	0.01	5.05	4.06	89.91	0.022	Ploma-negras, gris, verde marrón
	Q ₄	65.75	1.82	6.17	5.50	73.56	4.487	
	Q ₁₇	46.17	2.67	9.23	8.67	73.86	6.258	
	Q ₂₉	44.58	1.18	5.86	5.02	78.62	4.517	
	Q ₃₀	44.83	1.51	5.10	4.39	73.51	6.604	
	Q ₃₁	44.24	1.54	7.14	6.34	77.88	4.865	
	Q ₃₂	40.46	0.30	2.10	1.17	81.39	3.497	
IV	Q ₁₁	61.06	11.77	27.68	29.19	66.99	6.965	Amarillo-Naranja, Amarillo intenso
	Q ₁₂	62.87	12.48	30.63	32.19	67.92	6.480	
	Q ₁₃	60.85	12.22	36.42	37.49	71.42	5.515	
	Q ₁₄	59.25	13.40	35.01	37.49	69.05	6.461	
	Q ₁₅	56.90	14.39	26.54	29.33	61.53	9.528	
	Q ₁₆	59.29	14.80	36.15	38.18	67.73	6.906	
V	Q ₁	78.43	0.46	21.61	20.62	88.77	0.273	Crema-amarillo, Blanco-Amarillo pálido
	Q ₂	80.89	0.94	18.59	17.63	87.11	0.627	
	Q ₅	66.89	8.51	19.71	20.58	66.67	6.457	
	Q ₆	63.30	8.42	24.21	24.71	70.85	5.493	
	Q ₇	65.03	8.67	29.72	30.96	73.72	4.484	
	Q ₈	71.71	3.28	25.66	24.90	82.72	1.780	
	Q ₉	64.61	4.57	23.74	23.21	79.11	2.978	
	Q ₁₀	68.18	7.02	30.37	30.23	77.01	3.389	

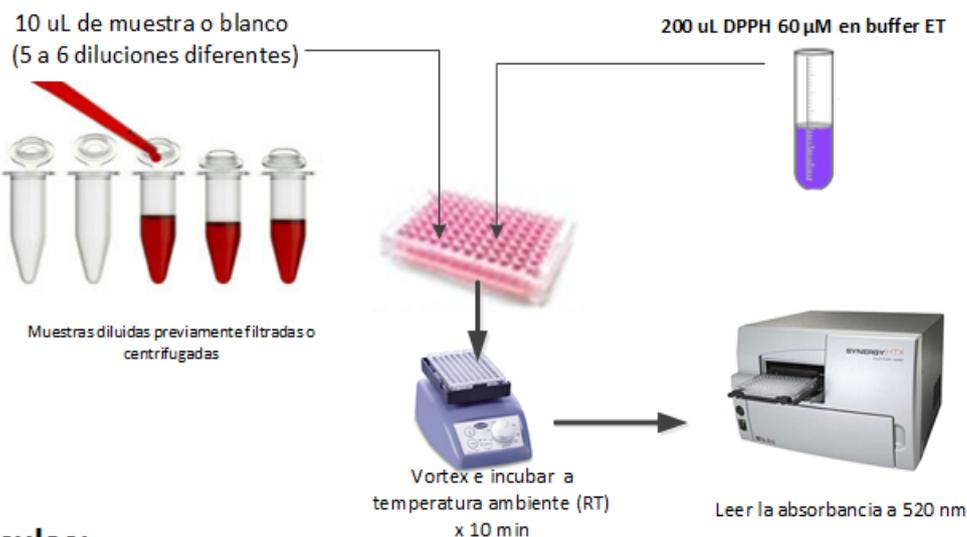


UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SANCHEZ CARRIÓN - HUACHO

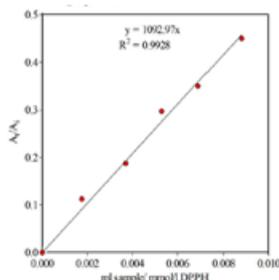
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN MODALIDAD FOCAM:

FORMULACIÓN DE BEBIDAS FUNCIONALES CON CAPACIDAD ANTIOXIDANTE A BASE DE FRUTAS Y VERDURAS

Protocolo Capacidad Antioxidante – SCI



Cálculos:



Eje X= concentración (dilución) muestras
Eje Y= porcentaje de inhibición
Control= 10 uL Buffer ET + 200 uL DPPH 60 μ M

Pendiente = SCI (ICI)
ICI=Índice de Capacidad de Inhibición
(mMol DPPH/ml muestra)

Preparación de reactivos

Buffer Tris-HCl (10 mM pH = 7.5):

W g Tris base = 0.0303 g ---- disolver en 20 mL de agua ---- ajustar el pH a 7.5 con HCl ---- ajustar el volumen a 25 mL en una fiola

Buffer ET: Mezclar buffer Tris-HCl (10 mM pH = 7.5) con Etanol (1:1 v/v)

DPPH stock 10 mM: 0.0039 g ---- disolver en etanol ---- ajustar el volumen a 1 mL en una fiola

60 μ L DPPH stock



DPPH 60 μ M

Ajustar el volumen a 10 mL con buffer ET en una fiola aforada

Referencia

Fatima Abderrahim, Silvia M. Arribas, M. Carmen Gonzalez, Luis Condezo-Hoyos. Food Chemistry, Volume 141, Issue 2, 15 November 2013, Pages 788-794



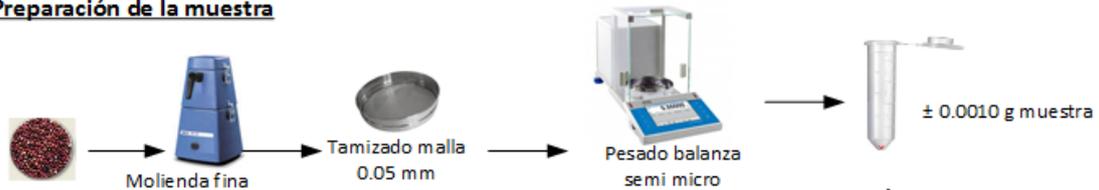
UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SANCHEZ CARRIÓN -HUACHO-

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN MODALIDAD FOCAM:

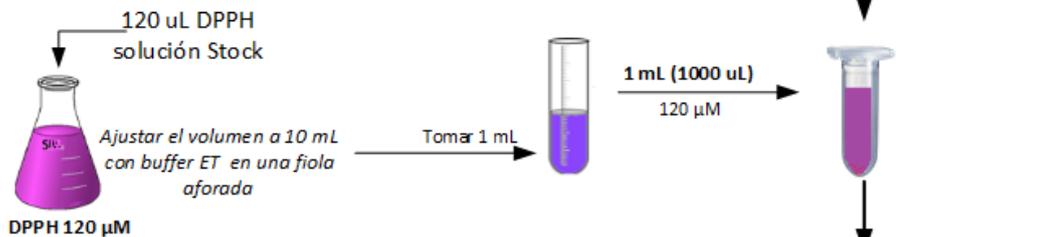
FORMULACIÓN DE BEBIDAS FUNCIONALES CON CAPACIDAD ANTIOXIDANTE A BASE DE FRUTAS Y VERDURAS

Protocolo Capacidad Antioxidante DPPH-QUENCHER

Preparación de la muestra



Adición directa del DPPH



Transferir a microplaca

200 uL muestra centrifugada (sobrenadante) o Control (DPPH 120 uM)

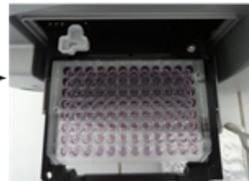
10000 g por 5 minutos



Microcentrifuga refrigerada a 4°C



Leer la absorbancia (A) a 520 nm



Cálculos:

$$\frac{\mu\text{Mol}}{\text{g}} = \frac{\text{FI} \times \text{Concentración DPPH} \times \text{Volumen DPPH}}{\text{Peso Muestra}}$$

FI= Fracción de Inhibición

FI= $\frac{A_{\text{control}} - A_{\text{muestra}}}{A_{\text{control}}}$

Preparación de reactivos

Buffer Tris-HCl (10 mM pH = 7.5):

W g Tris base = 0.0303 g ---- disolver en 20 mL de agua --- ajustar el pH a 7.5 con HCl ---

ajustar el volumen a 25 mL en una fiola



DPPH stock 10 mM: 0.0039 g ---- disolver en etanol ---

ajustar el volumen a 1 mL en una fiola

Referencia

Condezo-Hoyos L. A., Abderrahim F., Arriba S. M., González M.C. (2015). A novel, micro, rapid and direct assay to assess total antioxidant capacity of solid foods. *Talanta* 138 (2015)108–116. Elsevier B.V. <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2015.01.043>

ZOILA FELIPA HONORIO DURAND
ASESOR

JULIA DELIA VELASQUEZ GAMARRA
PRESIDENTE

CECILIA MAURA MEJIA DOMINGUEZ
SECRETARIO

LUCIANO AMADOR GARCIA ALOR
VOCAL

