

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Tesis

Determinación del contenido de polifenoles totales, actividad antioxidante y flavonoides, en granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra (*amaranthus hybridus*).

Presentado por:

Rudy Teresa Ccahuana Román

Para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial

Abancay, Perú

Año 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

**Determinación del contenido de polifenoles totales, actividad antioxidante y flavonoides, en granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*)**

Presentado por **Rudy Teresa Ccahuana Román**, para optar el título de Ingeniero Agroindustrial

Sustentado y aprobado el día miércoles 19 de febrero del 2025 ante el jurado evaluador:

**Presidente:**

\_\_\_\_\_  
*MSc. Alfredo Fernandez Ayma*

**Primer miembro:**

\_\_\_\_\_  
*Dr. Anderson Nuñez Fernandez*

**Segundo miembro:**

\_\_\_\_\_  
*Dr. Saul Moreano Carrasco*

**Asesor (es):**

\_\_\_\_\_  
*Dra. Guadalupe Chaquilla Quilca*

\_\_\_\_\_  
*MSc. Lourdes Salcedo Sucasaca*

\_\_\_\_\_  
*Dr. Juan Jose Calixto Muñoz*

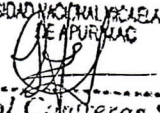


---

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD**  
**N° 064-2025**

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada **“DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES, ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y FLAVONOIDES, EN GRANOS CRUDOS, GERMINADOS, TOSTADOS Y COCCIONADOS DE KIWICHA NEGRA (Amaranthus hybridus).”**, presentado por el Bach. Rudy Teresa CCAHUANA ROMÁN, para optar el Título de Ingeniero Agroindustrial; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software COMPILATIO Magister, siendo el índice de similitud **ACEPTABLE** de **(12%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 13 de febrero del 2025

  
UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS  
DE APURIMAC  
**Lintol Contreras Salas**  
DIRECTOR GENERAL DE INVESTIGACION  
FACULTAD DE INGENIERIA

## **Agradecimiento**

*En primer lugar, quiero expresar mi más profunda gratitud a Dios, por guiarme en cada paso de este camino, por darme la fortaleza y la perseverancia necesarias para alcanzar esta meta, y por poner en mi vida a las personas adecuadas que me han apoyado en este proceso.*

*Agradezco especialmente a mis asesoras de tesis:*

*A la Dra. Guadalupe Chaquilla Quilca, por su invaluable orientación, su paciencia y su constante apoyo durante todo el desarrollo de este trabajo. Sus conocimientos y experiencia han sido fundamentales para llevar a buen término esta investigación.*

*A la MSc. Lourdes Salcedo Sucasaca, por su dedicación, sus valiosos consejos y su compromiso con mi proyecto. Su guía y retroalimentación han enriquecido enormemente este trabajo y mi formación académica.*

*A mi querida familia, pilar fundamental en mi vida: A mis padres y hermanas por su amor incondicional, su apoyo constante y los sacrificios que han hecho para que yo pudiera llegar hasta aquí. Son mi ejemplo y mi motivación.*

*A todos aquellos que de una u otra forma contribuyeron a la realización de esta tesis, mi más sincero agradecimiento.*



## **Dedicatoria**

*Dedico esta tesis:*

*A Dios, fuente inagotable de sabiduría y fortaleza, por iluminar mi camino y permitirme alcanzar esta meta.*

*A mis padres, por su amor incondicional, sus enseñanzas y su apoyo constante en cada paso de mi vida académica y personal.*

*A mis hermanas, por su cariño y aliento en los momentos difíciles.*

*A mis asesoras, Dra. Guadalupe Chaquilla Quilca y MSc. Lourdes Salcedo Sucasaca, por compartir su conocimiento y guiarme con dedicación en este camino de investigación.*

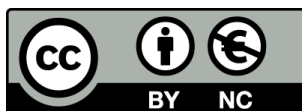
*A todos ellos, porque sin su presencia y apoyo, este logro no habría sido posible. Este trabajo es el fruto de su amor y su confianza en mí.*



Determinación del contenido de polifenoles totales, actividad antioxidante y flavonoides, en granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra  
(*Amaranthus hybridus*)

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

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>RESUMEN</b>	2
<b>ABSTRACT</b>	3
<b>CAPÍTULO I</b>	4
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	4
1.1 Descripción del problema	4
1.2 Enunciado del problema	5
1.2.1. Problema general	5
1.2.2. Problemas específicos	5
1.2.3. Justificación de la investigación	5
<b>CAPÍTULO II</b>	9
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b>	9
2.1. Objetivos de la investigación	9
2.1.1. Objetivo general	9
2.1.2. Objetivos específicos	9
2.2. Hipótesis de la investigación	9
2.2.1. Hipótesis general	9
2.2.2. Hipótesis específicas	9
2.3. Operacionalización de variables	10
<b>CAPÍTULO III</b>	11
<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b>	11
3.1. Antecedentes	11
3.1.1. Antecedentes internacionales	11
3.1.2. Antecedentes nacionales	13
3.2. Marco teórico	17
3.2.1. Kiwicha ( <i>Amaranthus hybridus</i> )	17
3.2.2. Tratamientos de los granos	23
3.2.3. Compuestos bioactivos	29
3.3. Marco conceptual	42
<b>CAPÍTULO IV</b>	44
<b>METODOLOGÍA</b>	44
4.1. Tipo y nivel de investigación	44
4.1.1. Tipo de investigación	44
4.1.2. Nivel de investigación	44
4.2. Diseño de la investigación	45
4.3. Ética de la investigación	46
4.4. Población y muestra	46
4.5. Procedimiento	47



4.5.1. Obtención de los extractos	47
4.5.2. Determinación de compuestos bioactivos	51
4.5.3. Determinación de polifenoles totales	51
4.5.4. Determinación de la actividad antioxidante	54
4.5.5. Determinación de flavonoides	57
4.6. Técnica e instrumentos	59
4.6.1. Técnicas	59
4.6.2. Instrumentos	60
4.7. Análisis estadístico	61
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>63</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	<b>63</b>
5.1. Análisis de resultados	63
5.1.1. Polifenoles totales	63
5.1.2. Actividad antioxidante	64
5.1.3. Flavonoides	67
5.2. Contrastación de hipótesis	69
5.3. Discusión	69
5.3.1. Polifenoles totales	69
5.3.2. Actividad antioxidante	70
5.3.3. Flavonoides	73
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>76</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>76</b>
6.1. Conclusiones	76
6.2. Recomendaciones	77
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>90</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> — Variables descritas	10
<b>Tabla 2</b> — Clasificación botánica de la kiwicha	19
<b>Tabla 3</b> — Composición proximal de la kiwicha.	21
<b>Tabla 4</b> — Composición de aminoácidos presentes en los granos de kiwicha ( <i>Amaranthus hybridus</i> )	22
<b>Tabla 5</b> — Efectos del tostado en los compuestos bioactivos de la kiwicha.	29
<b>Tabla 6</b> — Principales fitoquímicos en semillas de kiwicha crudas y germinadas.	31
<b>Tabla 7</b> — Clasificación de flavonoides según sus espectros ultravioletas.	37
<b>Tabla 8</b> — Tabla de diseño experimental DCA.	45
<b>Tabla 9</b> — Concentración y absorbancias de dilución de ácido gálico	53
<b>Tabla 10</b> — Concentración Trolox y absorbancias DPPH	55
<b>Tabla 11</b> — Concentración Trolox y absorbancias ABTS	57
<b>Tabla 12</b> — Concentración y absorbancias patrón quercetina	59
<b>Tabla 13</b> — Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de polifenoles	64
<b>Tabla 14</b> — Polifenoles totales (mg AG/g)	64
<b>Tabla 15</b> — Análisis de varianza de la actividad antioxidante DPPH.	65
<b>Tabla 16</b> — Actividad antioxidante DPPH (mg de Trolox equiv/g mta)	65
<b>Tabla 17</b> — Análisis de varianza de la actividad antioxidante ABTS.	67
<b>Tabla 18</b> — Actividad antioxidante ABTS (mg de Trolox equiv/g mta)	67
<b>Tabla 19</b> — Análisis de varianza del contenido de flavonoides.	68
<b>Tabla 20</b> — Contenido de flavonoides (mg de quercetina/g muestra)	68



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> — Cultivo del amaranto en antiguas civilizaciones.	18
<b>Figura 2</b> — Zonas de cultivo de la kiwicha en el mundo.	18
<b>Figura 3</b> — Producción peruana de kiwicha en el periodo de 2008 al 2018.	20
<b>Figura 4</b> — Morfología de las semillas de kiwicha.	23
<b>Figura 5</b> — Absorción de agua y cambios asociados con la germinación de kiwicha.	25
<b>Figura 6</b> — Principales procesos metabólicos durante la germinación.	25
<b>Figura 7</b> — Reacción de transferencia de electrones con el reactivo de folin-Ciocalteu.	34
<b>Figura 8</b> — Estructuras químicas de los diferentes flavonoides.	34
<b>Figura 9</b> — Perfil Cromatográfico de 28 diferentes polifenoles.	36
<b>Figura 10</b> — Estructura general de los flavonoides.	37
<b>Figura 11</b> — Estructura del DPPH antes y después de la reacción con el antioxidante.	39
<b>Figura 12</b> — Estructura del ABTS antes y después de la reacción con el antioxidante.	41
<b>Figura 13</b> — Cosecha y selección de los granos de kiwicha negra	46
<b>Figura 14</b> — Método para la germinación de los granos de kiwicha.	48
<b>Figura 15</b> — Diagrama de bloques del proceso de tostado.	49
<b>Figura 16</b> — Diagrama de bloques del proceso de cocción de granos.	50
<b>Figura 17</b> — Protocolo para la obtención de extractos.	51
<b>Figura 18</b> — Curva patrón de polifenoles totales PTF	53
<b>Figura 19</b> — Curva de calibración de la actividad antioxidante por DPPH	55
<b>Figura 20</b> — Curva patrón Trolox por ABTS	57
<b>Figura 21</b> — Curva patrón de flavonoides	59
<b>Figura 22</b> — Resultados de polifenoles totales por cuatro tratamientos	63
<b>Figura 23</b> — Resultados de la actividad antioxidante por DPPH	65
<b>Figura 24</b> — Resultado de la actividad antioxidante por ABTS	66
<b>Figura 25</b> — Resultado de flavonoides	68
<b>Figura 26</b> — Limpieza y selección de granos de kiwicha ( <i>Amaranthus hybridus</i> )	93
<b>Figura 27</b> — Granos de kiwicha negra: crudo, germinado, tostado y coccionado	93
<b>Figura 28</b> — Harina de kiwicha negra, tostado y tamizado	94
<b>Figura 29</b> — Proceso de agitado de los extractos metanólicos	94
<b>Figura 30</b> — Proceso de filtrado de los extractos metanólicos	95
<b>Figura 31</b> — Colorimetría de la curva de calibración de polifenoles totales	95

<b>Figura 32</b> — Colorimetría de polifenoles totales en los diferentes tratamientos (crudo, germinado, tostado y coccionado)	96
<b>Figura 33</b> — Colorimetría de la curva de calibración de antioxidantes mediante el método DPPH	96
<b>Figura 34</b> — Colorimetría de antioxidantes por el método DPPH para los diferentes tratamientos	97
<b>Figura 35</b> — Colorimetría de la curva de calibración de antioxidantes mediante el método ABTS	97
<b>Figura 36</b> — Colorimetría de antioxidantes por el método DPPH para los diferentes tratamientos	98
<b>Figura 37</b> — Colorimetría de la curva de calibración de Flavonoides	98
<b>Figura 38</b> — Flavonoides en los diferentes tratamientos	99
<b>Figura 39</b> — Proceso final de la investigación en presencia de los asesores de tesis	99



## INTRODUCCIÓN

La región de Apurímac, caracterizada por su gran diversidad de ecosistemas debido a su ubicación geográfica, alberga cultivos tradicionales subvalorados, como la kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*). Este grano andino, cultivado desde tiempos ancestrales en Perú, destaca por su alto valor nutricional y sus propiedades funcionales, como el contenido de polifenoles, flavonoides y su actividad antioxidante. Sin embargo, a pesar de su potencial, aún se desconoce ampliamente su comportamiento bajo diferentes métodos de procesamiento como germinación, tostado y cocción, lo que limita su aprovechamiento en la agroindustria y su integración en la alimentación funcional.

"La información disponible sobre el impacto de los procesos tecnológicos en los compuestos bioactivos de la kiwicha negra es limitada. Por ello, esta investigación busca determinar cómo los diferentes métodos de procesamiento influyen en el contenido de polifenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante, con el objetivo de generar conocimiento que favorezca su aprovechamiento en la industria de alimentos funcionales."

El objetivo general de esta investigación es evaluar la influencia del estado de los granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) sobre el contenido de polifenoles totales, actividad antioxidante y flavonoides. Para ello, se aplicaron métodos como Folin-Ciocalteu para los polifenoles, DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) y ABTS (2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónica)) para la actividad antioxidante, y espectrofotometría para los flavonoides, utilizando un diseño experimental riguroso que garantiza la confiabilidad de los resultados.

La metodología se estructuró en dos fases: La recolección y preparación de las muestras, y el análisis de los extractos obtenidos. Los resultados no solo contribuirán al conocimiento científico, sino que también promoverán la valorización de este grano andino, fomentando su cultivo y uso en la región de Apurímac como una alternativa alimenticia funcional y económica.

Esta tesis se organiza en seis capítulos, que abarcan desde el planteamiento del problema hasta las conclusiones y recomendaciones. En ellos se detallan los fundamentos teóricos, la metodología, los resultados y su análisis, cerrando con propuestas concretas para el desarrollo agroindustrial de la kiwicha negra.



## RESUMEN

La presente investigación evalúa la influencia de cuatro tratamientos tecnológicos crudos, germinados, tostados y coccionados sobre el contenido de polifenoles, flavonoides y actividad antioxidante de los granos de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*), un cultivo andino reconocido por su alto valor nutricional y potencial funcional. Se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. La actividad antioxidante se determinó mediante los métodos DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) y ABTS (2,2-azinobis 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónica), los polifenoles totales por el método Folin - Ciocalteu y espectrofotometría para los flavonoides.

Los resultados mostraron que los tratamientos de germinado y tostado incrementaron significativamente el contenido de polifenoles totales a 30.049 mg GAE/g y 28.158 mg GAE/g respectivamente, y la actividad antioxidante a 4.210 mg de trolox/g mta y 3.005 mg de trolox/g mta por el método DPPH respectivamente, superando a los tratamientos de crudo y coccionado. Este hallazgo posiciona al germinado y tostado como los métodos más eficientes para optimizar las propiedades funcionales de la kiwicha negra, resaltando su potencial como ingrediente clave en el desarrollo de alimentos nutraceuticos.

Se concluye que el germinado y tostado constituyen una alternativa viable para potenciar los compuestos bioactivos de la kiwicha negra, promoviendo su valorización en la agroindustria y su integración en productos funcionales destinados a la mejora de la salud humana. Esta investigación proporciona evidencia científica que respalda el uso sostenible de cultivos tradicionales subvalorados y fomenta su incorporación en dietas modernas.

**Palabras clave:** *Antioxidante, flavonoides, polifenoles, kiwicha, germinado.*



## ABSTRACT

This research evaluates the influence of four technological treatments—raw, germinated, toasted, and cooked—on the polyphenol and flavonoid content, as well as the antioxidant activity of black kiwicha grains (*Amaranthus hybridus*), an Andean crop recognized for its high nutritional value and functional potential. A completely randomized design was used with three repetitions per treatment. Antioxidant activity was determined using the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) and ABTS (2,2-azinobis 3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) methods, total polyphenols by the Folin-Ciocalteu method, and flavonoids by spectrophotometry.

The results showed that the germination and toasting treatments significantly increased total polyphenol content to 30.049 mg GAE/g and 28.158 mg GAE/g, respectively, and antioxidant activity to 4.210 mg trolox/g mta and 3.005 mg trolox/g mta by the DPPH method, surpassing the raw and cooked treatments. This finding positions germination and toasting as the most efficient methods for optimizing the functional properties of black kiwicha, highlighting its potential as a key ingredient in the development of nutraceutical foods.

It is concluded that germination and toasting constitute a viable alternative for enhancing the bioactive compounds of black kiwicha, promoting its value in the agroindustry, and its integration into functional food products aimed at improving human health. This research provides scientific evidence supporting the sustainable use of undervalued traditional crops and encourages their incorporation into modern diets.

**Keywords:** *Antioxidant, flavonoids, polyphenols, amaranth, sprout.*



## CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción del problema

La kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) es un pseudocereal altamente nutritivo, cultivado principalmente en las regiones andinas de Perú, como Apurímac, y reconocido por su alto contenido de proteínas, minerales, y compuestos bioactivos, como los polifenoles y flavonoides según Ruales & Nair, (1992). A pesar de su importante potencial como fuente de nutrientes, especialmente en dietas con escasa disponibilidad de proteínas de origen animal, la kiwicha negra enfrenta varios obstáculos que limitan su aprovechamiento en la agroindustria y su inclusión en mercados más amplios de alimentos funcionales y nutraceuticos.

Uno de los principales problemas radica en la falta de información científica acerca de los efectos de los métodos de procesamiento en las propiedades bioactivas de la kiwicha negra. A pesar de que otros pseudocereales, como la quinua, han sido objeto de estudios que exploran cómo diferentes métodos de procesamiento (germinación, tostado, cocción) afectan sus compuestos bioactivos y su actividad antioxidante (Haug et al., 1988), la kiwicha negra ha sido poco investigada desde esta perspectiva. La ausencia de datos claros sobre cómo estos procesos impactan sus propiedades nutricionales impide optimizar su valor agregado, lo que limita su potencial para ser incluido en mercados más amplios de alimentos funcionales y nutraceuticos (Ruales & Nair, 1992).

La escasa investigación sobre el procesamiento de la kiwicha negra afecta directamente a los productores locales de Apurímac, que enfrentan dificultades para adaptar sus prácticas agrícolas y de procesamiento con el fin de mejorar la calidad nutricional de los granos y productos derivados. La falta de normativas y estándares específicos que guíen estos procesos también contribuye a la subvaloración de este pseudocereal. A pesar de la creciente demanda global de alimentos funcionales, los productores no logran maximizar los beneficios de salud asociados con la kiwicha negra debido a la falta de infraestructura y conocimiento en el ámbito de su transformación agroindustrial (Martínez-Villaluenga et al., 2010). Esto también ha sido señalado por Gernat & Lauer (2008), quienes destacan que la falta de información detallada sobre los efectos de los métodos de procesamiento limita la



capacidad de los productores para competir en mercados internacionales más exigentes.

Esta problemática se ve reflejada en la región de Apurímac, específicamente en Abancay, donde la falta de información científica y la ausencia de normativas claras limitan el aprovechamiento agroindustrial de la kiwicha negra, lo que impide que este grano tan prometedor sea explotado en su totalidad, a pesar de las condiciones favorables para su cultivo. Si esta situación no se aborda, existe el riesgo de que la kiwicha negra continúe siendo subutilizada y que los productores locales sigan perdiendo una valiosa oportunidad de mejorar sus ingresos y contribuir al desarrollo económico de la región.

## 1.2 Enunciado del problema

### 1.2.1. Problema general

¿Cuál es la influencia del estado de los granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) sobre el contenido de polifenoles totales, actividad antioxidante y flavonoides?

### 1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la influencia del estado de los granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) sobre el contenido de polifenoles totales?
- ¿Cuál es la influencia del estado de los granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) sobre la actividad antioxidante determinados por el método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo)?
- ¿Cuál es la influencia del estado de los granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) sobre la actividad antioxidante determinados por el método ABTS (2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónica)?
- ¿Cuál es la influencia del estado de los granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) sobre el contenido de flavonoides?

### 1.2.3. Justificación de la investigación

La presente investigación se justifica por la necesidad de determinar el contenido de polifenoles totales, la actividad antioxidante y los flavonoides



en granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) en la región de Apurímac. La información obtenida permitirá caracterizar los efectos de los diferentes métodos de procesamiento sobre las propiedades bioactivos de este pseudocereal andino, lo cual es fundamental para aprovechar su potencial nutritivo y funcional. Dado el creciente interés por los alimentos funcionales y la valorización de cultivos autóctonos, este estudio es esencial para optimizar la producción y comercialización de la kiwicha en la región de Apurímac, contribuyendo a la diversificación agrícola, la generación de empleo y el fortalecimiento de la economía local.

Según Repo-Carrasco et al. (2020), “la kiwicha es uno de los pseudocereales más nutritivos de los Andes, destacándose por su alto contenido de proteínas, aminoácidos esenciales y compuestos bioactivos como los polifenoles y flavonoides”. Sin embargo, a pesar de sus beneficios, la falta de información actualizada sobre la influencia de los procesos de transformación en la calidad nutricional de la kiwicha limita su uso como ingrediente funcional en la industria agroalimentaria. Esta brecha de conocimiento afecta tanto a los productores como a los consumidores, ya que impide la optimización de los métodos de procesamiento que podrían potenciar sus propiedades funcionales y aumentar su valor agregado en los mercados locales e internacionales.

#### **1.1.1.1 Justificación teórica**

La investigación se justifica teóricamente en la importancia de los compuestos bioactivos en los alimentos funcionales, particularmente en los pseudocereales como la kiwicha. Los polifenoles, flavonoides y la actividad antioxidante de los granos de kiwicha son cruciales por sus efectos benéficos para la salud humana, como la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares y el fortalecimiento del sistema inmunológico (Guzmán et al., 2017). Estudios previos han demostrado que los procesos de germinación, tostado y cocción pueden alterar significativamente el contenido de estos compuestos (Pedreschi et al., 2014). Sin embargo, no existen investigaciones específicas que evalúen estos efectos en la kiwicha negra, lo que hace relevante este estudio para ampliar el conocimiento en el campo de la agroindustria funcional y la salud pública.



### **1.2.3.2. Justificación Práctica**

Desde una perspectiva práctica, esta investigación proporciona información valiosa sobre cómo los diferentes tratamientos de los granos de kiwicha negra afectan su calidad nutricional. Estos datos permitirán a los productores de Apurímac optimizar los métodos de procesamiento para maximizar los beneficios de los compuestos bioactivos y mejorar la calidad de la kiwicha. Además, los resultados pueden servir para desarrollar productos alimenticios funcionales y nutracéuticos, lo que incrementaría el valor de este pseudocereal y facilitaría su inserción en mercados más competitivos, tanto nacionales como internacionales.

### **1.2.3.3. Justificación metodológica**

La justificación metodológica de esta investigación radica en el uso de métodos estandarizados y validados para la cuantificación de polifenoles totales, flavonoides y la actividad antioxidante, como el método Folin-Ciocalteu, DPPH y ABTS. Estos métodos han sido ampliamente utilizados en investigaciones similares y aseguran la confiabilidad y precisión de los resultados obtenidos. Además, el diseño experimental con tratamiento de los granos crudos, germinados, tostados y coccionados permite una comparación rigurosa y controlada de los efectos de cada proceso sobre las propiedades bioactivos de la kiwicha negra.

### **1.2.3.4. Justificación social**

Desde un enfoque social, la revalorización de la kiwicha negra contribuirá a mejorar la calidad de vida de los pequeños productores de Apurímac, proporcionándoles herramientas para incrementar la competitividad de su producción. Además, al promover el cultivo y consumo de productos autóctonos con alto valor nutricional, esta investigación apoyará la preservación de la identidad cultural y alimentaria de la región, beneficiando tanto a los agricultores como a los consumidores locales al ofrecer alimentos más saludables y sostenibles.

### **1.2.3.5. Justificación económica**

Económicamente, la investigación puede tener un impacto significativo en la región de Apurímac al contribuir a la valorización de la kiwicha negra como un producto funcional y de alto valor agregado. Al optimizar los procesos de producción y comercialización, los agricultores podrán acceder a nuevos mercados, aumentar sus ingresos y fortalecer la economía local. Asimismo, la incorporación de la kiwicha negra en productos nutracéuticos abriría nuevas oportunidades de exportación, lo que aumentaría el impacto económico positivo de este cultivo en la región.

### **1.2.3.6. Justificación ambiental**

Desde el punto de vista ambiental, la kiwicha negra es un cultivo altamente resistente a condiciones climáticas adversas, lo que la convierte en una opción sostenible para la agricultura en las zonas altas de los Andes. Su revalorización contribuiría a la diversificación de cultivos y al manejo sostenible de los recursos agrícolas en Apurímac, promoviendo prácticas agrícolas que respeten la biodiversidad local y fomenten la conservación del medio ambiente. Además, al ser un cultivo adaptado a su entorno, su expansión no implicaría un impacto negativo en los ecosistemas locales.



## CAPÍTULO II OBJETIVOS E HIPÓTESIS

### 2.1. Objetivos de la investigación

#### 2.1.1. Objetivo general

Evaluar la influencia del estado de los granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) sobre el contenido de polifenoles totales, actividad antioxidante y flavonoides.

#### 2.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar la influencia del estado de los granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) sobre el contenido de polifenoles totales.
- Evaluar la influencia del estado de los granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) sobre la actividad antioxidante determinados por el método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo).
- Evaluar la influencia del estado de los granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) sobre la actividad antioxidante determinados por el método ABTS (2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónica).
- Evaluar la influencia del estado de los granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) sobre el contenido de flavonoides.

### 2.2. Hipótesis de la investigación

#### 2.2.1. Hipótesis general

El contenido de polifenoles totales, actividad antioxidante y flavonoides está influenciado por el estado de los granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*).

#### 2.2.2. Hipótesis específicas

- El contenido de polifenoles totales esta influenciado por el estado de los granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*).



- La actividad antioxidante determinado por el método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo), esta influenciado por el estado de los granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*).
- La actividad antioxidante determinado por el método ABTS (2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónica), esta influenciado por el estado de los granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*).
- El contenido de flavonoides esta influenciado por el estado de los granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*).

### 2.3. Operacionalización de variables

**Tabla 1** — Variables descritas

Tipo de Variables	Variables	Indicador	Índice
Variable independiente	Estado de los granos de kiwicha negra ( <i>Amaranthus hybridus</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crudos</li> <li>- Germinados</li> <li>- Tostados</li> <li>- Coccionados</li> </ul>	Nominal
Variable dependiente	Compuestos bioactivos	- Polifenoles totales (PFT)	mg de ac. gálico/g de muestra
		- Actividad antioxidante (DPPH)	Concn. Trolox mM (mmol/L)
		- Actividad Antioxidante (ABTS)	Concn. Trolox mM (mmol/L)
		- Flavonoides	mg de quercetina/g de muestra



### CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 3.1. Antecedentes

##### 3.1.1. Antecedentes internacionales

- a) En Uganda, Muyonga et al. (2020), en su estudio: "Nutritional and antioxidant properties of *Amaranthus hybridus* grain and leaf powder", realizaron un análisis del contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en granos y hojas de *A. hybridus*. Para ello emplearon muestras secas que fueron pulverizadas y extraídas con metanol al 80%; para averiguar el contenido de polifenoles, emplearon el método de Folin-Ciocalteu, y para determinar la actividad antioxidante, se empleó el método DPPH. Los resultados obtenidos muestran que los granos de *A. hybridus* tienen un contenido de polifenoles totales (TPC) de  $2.8 \pm 0.2$  mg GAE/g PS, mientras que las hojas presentaron  $7.4 \pm 0.3$  mg GAE/g PS. Respecto a la actividad antioxidante, los granos presentaron  $18.6 \pm 1.2$   $\mu$ mol TE/g PS (DPPH), mientras que las hojas mostraron  $52.3 \pm 2.1$   $\mu$ mol TE/g PS (DPPH). En base a ello, concluyeron que tanto los granos como las hojas de *A. hybridus* son fuentes significativas de antioxidantes, siendo las hojas particularmente ricas en estos compuestos.
- b) En España, López García et al. (2023), en su estudio: "Bioactive compounds and antioxidant capacity of *Amaranthus* species: A comparative study of raw and processed grains", realizaron un análisis comparativo del contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en granos crudos y procesados de diferentes especies de *Amaranthus*, incluyendo *A. hybridus*. Para ello emplearon granos crudos y procesados (cocidos y expandidos); para averiguar el contenido de polifenoles, emplearon el método de Folin-Ciocalteu, y para determinar la actividad antioxidante, se empleó el método ORAC. Los resultados obtenidos muestran que los granos crudos de *A. hybridus* tienen un contenido de polifenoles totales (TPC) de  $3.5 \pm 0.2$  mg GAE/g PS. Respecto a la actividad antioxidante, los granos crudos presentaron  $25.6 \pm 1.4$   $\mu$ mol TE/g PS (ORAC). El procesamiento afectó estos valores, con



una reducción del 20-30% en TPC y 15-25% en ORAC después de la cocción, mientras que la expansión resultó en una pérdida del 40-50% en TPC y 30-40% en ORAC. En base a ello, concluyeron que *A. hybridus* posee un alto contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante, aunque estos se ven afectados por el procesamiento térmico.

- c) En España, López Martínez et al. (2017), en su estudio: "Influence of germination on the phenolic content and antioxidant activity of amaranth", realizaron un análisis del efecto de la germinación en el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en semillas de diferentes especies de *Amaranthus*, incluyendo *A. Caudatus*. Para ello emplearon semillas germinadas durante 72 horas a 26°C; para averiguar el contenido de polifenoles, emplearon el método de Folin-Ciocalteu, y para determinar la actividad antioxidante, se empleó el método ABTS. Los resultados obtenidos para *A. Caudatus* muestran que la germinación aumentó el contenido de polifenoles totales (TPC) en un 73%, alcanzando  $5.11 \pm 0.22$  mg GAE/g PS. La actividad antioxidante (ABTS) aumentó en un 68%, llegando a  $30.7 \pm 1.4$   $\mu$ mol TE/g PS. Además, el contenido de flavonoides se incrementó en un 81%, alcanzando  $0.67 \pm 0.03$  mg CE/g PS. En base a ello, concluyeron que la germinación es un método efectivo para aumentar significativamente el contenido de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en diferentes especies de *Amaranthus*, siendo *A. Caudatus* una de las especies que mostró incrementos más notables.
- d) En Colombia, Zambrano Moreno et al. (2024), en su estudio: "Effect of cooking methods on bioactive compounds and color of *Amaranthus hybridus* grains", realizaron un análisis del efecto de diferentes métodos de cocción en el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y la capacidad antioxidante en granos de *A. hybridus*. Para ello emplearon granos crudos y cocidos mediante diferentes métodos (hervido, al vapor, y tostado); para averiguar el contenido de polifenoles y flavonoides, emplearon los métodos de Folin-Ciocalteu y cloruro de aluminio respectivamente, y para determinar la actividad antioxidante, se emplearon los métodos DPPH y ABTS. Los resultados obtenidos muestran que los granos crudos de *A. hybridus* tienen un contenido de

polifenoles totales (TPC) de  $3.8 \pm 0.2$  mg GAE/g PS y un contenido de flavonoides (TFC) de  $1.2 \pm 0.1$  mg QE/g PS. Después de la cocción, el TFC disminuyó entre un 30-40% dependiendo del método, siendo el tostado el que causó la mayor reducción. Respecto a la actividad antioxidante, los granos crudos presentaron  $32.5 \pm 1.5$   $\mu\text{mol TE/g PS}$  (DPPH) y  $41.2 \pm 1.8$   $\mu\text{mol TE/g PS}$  (ABTS). La actividad antioxidante se mantuvo relativamente estable después de la cocción al vapor, pero disminuyó hasta un 25% con el hervido y el tostado. En base a ello, concluyeron que la cocción al vapor es el método que mejor preserva los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en granos de *A. hybridus*.

- e) En India, Sarker et al. (2023), en su estudio: "Phenolic profile and antioxidant activity of diverse *Amaranthus* species: A comparative analysis", realizaron un análisis exhaustivo del contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en diferentes especies de *Amaranthus*, incluyendo *A. hybridus*. Para ello emplearon hojas y semillas; para averiguar el contenido de polifenoles y flavonoides, emplearon los métodos de Folin-Ciocalteu y cloruro de aluminio respectivamente, y para determinar la actividad antioxidante, se emplearon los métodos DPPH, ABTS y FRAP. Los resultados obtenidos muestran que las hojas de *A. hybridus* tienen un contenido de polifenoles totales (TPC) de  $22.5 \pm 0.8$  mg GAE/g PS y un contenido de flavonoides (TFC) de  $9.3 \pm 0.4$  mg QE/g PS. Las semillas presentaron valores de TPC de  $3.7 \pm 0.2$  mg GAE/g PS y TFC de  $1.5 \pm 0.1$  mg QE/g PS. Respecto a la actividad antioxidante, las hojas mostraron  $112.3 \pm 4.5$   $\mu\text{mol TE/g PS}$  (DPPH),  $138.6 \pm 5.2$   $\mu\text{mol TE/g PS}$  (ABTS) y  $95.8 \pm 3.8$   $\mu\text{mol TE/g PS}$  (FRAP). En base a ello, concluyeron que *A. hybridus*, especialmente sus hojas, posee un alto potencial antioxidante en comparación con otras especies de *Amaranthus*.

### 3.1.2. Antecedentes nacionales

- a) En Perú, Paucar Menacho et al. (2022), en su estudio: "Bioactive compounds and antioxidant activity of germinated Andean grains: A comparative study of quinoa, kiwicha, and kañiwa", analizaron los cambios en compuestos bioactivos durante la germinación de *A. Caudatus* (kiwicha) y otros granos andinos. Para averiguar el contenido

de polifenoles y flavonoides, emplearon el método de Folin-Ciocalteu y el método colorimétrico con cloruro de aluminio, respectivamente. Para determinar la actividad antioxidante, se empleó el método ABTS. Los resultados para kiwicha muestran que después de 72 horas de germinación a 25°C, el contenido de polifenoles totales aumentó en un 89% (de 2.8 a 5.3 mg GAE/g PS), la actividad antioxidante (ABTS) se incrementó en un 76% (de 28.5 a 50.2  $\mu\text{mol TE/g PS}$ ), y el contenido de flavonoides aumentó en un 95% (de 0.41 a 0.80 mg CE/g PS). Esta investigación proporciona datos actualizados sobre el efecto de la germinación en los compuestos bioactivos de *A. Caudatus*.

- b) En Perú, Paucar Menacho et al. (2021), en su estudio: "Optimizing germination conditions to enhance the accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity of kiwicha (*Amaranthus Caudatus*) using response surface methodology", realizaron un análisis del efecto de la germinación en el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en semillas de *A. Caudatus*. Para ello emplearon semillas germinadas bajo condiciones controladas; para averiguar el contenido de polifenoles, emplearon el método de Folin-Ciocalteu, y para determinar la actividad antioxidante, se empleó el método ABTS. Los resultados obtenidos muestran que las condiciones óptimas de germinación (30°C durante 48 horas) aumentaron el contenido de polifenoles totales (TPC) en un 62%, alcanzando  $4.8 \pm 0.3$  mg GAE/g PS. La actividad antioxidante (ABTS) aumentó en un 54%, llegando a  $45.6 \pm 1.8$   $\mu\text{mol TE/g PS}$ . En base a ello, concluyeron que la germinación es un método efectivo para aumentar significativamente el contenido de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en *A. Caudatus*.
- c) En Perú, Paucar Menacho et al. (2018), en su estudio: "Effect of germination on the phenolic content and antioxidant activity of pseudocereal grains", realizaron un análisis del efecto de la germinación en el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en granos de kiwicha, quinua y kañiwa. Para ello emplearon semillas germinadas bajo condiciones controladas durante 72 horas a 20°C; para averiguar el contenido de polifenoles, emplearon el método de Folin-Ciocalteu, y para determinar la actividad antioxidante, se empleó el

método DPPH. Los resultados obtenidos para la kiwicha (*A. Caudatus*) muestran que la germinación aumentó el contenido de polifenoles totales (TPC) en un 48%, alcanzando  $4.01 \pm 0.15$  mg GAE/g PS. La actividad antioxidante (DPPH) aumentó en un 48%, llegando a  $38.9 \pm 1.2$   $\mu$ mol TE/g PS. Además, el contenido de flavonoides se incrementó en un 59%, alcanzando  $0.67 \pm 0.03$  mg CE/g PS. En base a ello, concluyeron que la germinación es un método efectivo para aumentar significativamente el contenido de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en pseudocereales, siendo la kiwicha la que mostró los incrementos más notables.

- d) En Perú, Aguilar Felices et al. (2022), en su estudio: "Antioxidant capacity, total phenolic and flavonoid content of germinated and roasted *Amaranthus Caudatus* L. grains", realizaron un análisis comparativo del contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y la capacidad antioxidante en granos de *A. Caudatus* germinados y tostados. Para ello emplearon granos procesados bajo condiciones controladas; para averiguar el contenido de polifenoles y flavonoides, emplearon los métodos de Folin-Ciocalteu y cloruro de aluminio respectivamente, y para determinar la actividad antioxidante, se empleó el método DPPH. Los resultados obtenidos muestran que los granos germinados presentaron un contenido de polifenoles totales (TPC) de  $3.12 \pm 0.15$  mg GAE/g PS y un contenido de flavonoides (TFC) de  $0.89 \pm 0.04$  mg QE/g PS. Los granos tostados mostraron valores de  $2.78 \pm 0.12$  mg GAE/g PS (TPC) y  $0.71 \pm 0.03$  mg QE/g PS (TFC). Respecto a la actividad antioxidante, los granos germinados presentaron  $28.5 \pm 1.3$   $\mu$ mol TE/g PS (DPPH), mientras que los tostados mostraron  $24.7 \pm 1.1$   $\mu$ mol TE/g PS (DPPH). En base a ello, concluyeron que la germinación es más efectiva que el tostado para aumentar el contenido de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en *A. Caudatus*.
- e) En Perú, Repo Carrasco y Valencia et al. (2021), en su estudio: "Bioactive compounds and antioxidant capacity in Andean grains and their products", realizaron un análisis comparativo del contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y la capacidad antioxidante en granos andinos, incluyendo *A. Caudatus*. Para ello emplearon granos crudos y procesados (expandidos y extruidos); para averiguar el contenido de

polifenoles y flavonoides, emplearon los métodos de Folin-Ciocalteu y cloruro de aluminio respectivamente, y para determinar la actividad antioxidante, se emplearon los métodos DPPH y ABTS. Los resultados obtenidos muestran que los granos crudos de *A. Caudatus* tienen un contenido de polifenoles totales (TPC) de  $3.9 \pm 0.2$  mg GAE/g PS y un contenido de flavonoides (TFC) de  $1.3 \pm 0.1$  mg QE/g PS. El proceso de expansión redujo el TPC a  $2.8 \pm 0.1$  mg GAE/g PS y el TFC a  $0.9 \pm 0.1$  mg QE/g PS. Respecto a la actividad antioxidante, los granos crudos presentaron  $34.7 \pm 1.6$   $\mu$ mol TE/g PS (DPPH) y  $42.3 \pm 1.9$   $\mu$ mol TE/g PS (ABTS). En base a ello, concluyeron que *A. Caudatus* es una fuente importante de compuestos bioactivos, aunque el procesamiento puede reducir significativamente su contenido y actividad antioxidante.

- f) En Perú, Quispe Fuentes et al. (2022), en su estudio: "Optimización del proceso de germinación para mejorar el contenido de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante de kiwicha (*Amaranthus Caudatus*)", realizaron un análisis del efecto de diferentes condiciones de germinación en el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en semillas de *A. Caudatus*. Para ello emplearon semillas germinadas bajo diferentes condiciones de tiempo y temperatura; para averiguar el contenido de polifenoles, emplearon el método de Folin-Ciocalteu, y para determinar la actividad antioxidante, se emplearon los métodos DPPH y ORAC. Los resultados obtenidos muestran que las condiciones óptimas de germinación (72 horas a 25°C) aumentaron el contenido de polifenoles totales (TPC) de  $2.8 \pm 0.1$  mg GAE/g PS en semillas crudas a  $5.3 \pm 0.2$  mg GAE/g PS en semillas germinadas. Respecto a la actividad antioxidante, las semillas germinadas bajo condiciones óptimas presentaron  $42.5 \pm 1.8$   $\mu$ mol TE/g PS (DPPH) y  $68.3 \pm 2.5$   $\mu$ mol TE/g PS (ORAC), comparado con  $24.7 \pm 1.2$   $\mu$ mol TE/g PS (DPPH) y  $39.5 \pm 1.7$   $\mu$ mol TE/g PS (ORAC) en semillas crudas. En base a ello, concluyeron que la germinación controlada es una estrategia efectiva para aumentar significativamente el contenido de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en *A. Caudatus*.



### 3.2. Marco teórico

#### 3.2.1. Kiwicha (*Amaranthus hybridus*)

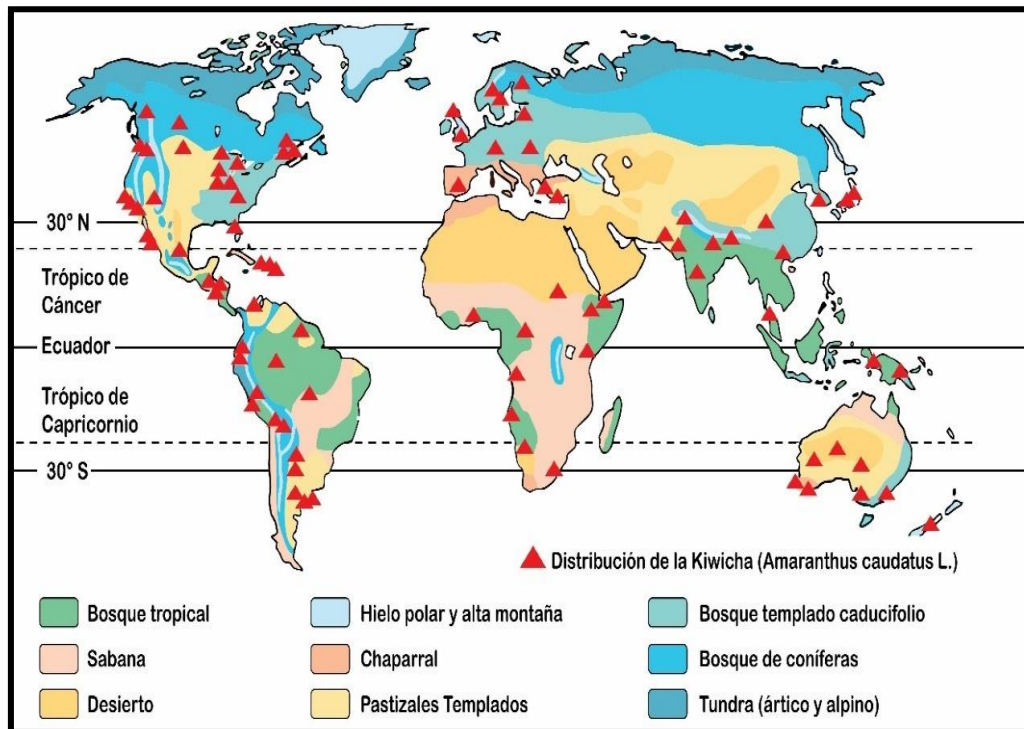
Kiwicha es una dicotiledón de aproximadamente 70 clases de la familia Amaranaceae, de las cuales las variedades distintivas son *Amaranthus hypochondriacus*, *Amaranthus cruentus* y *Amaranthus Caudatus*, que se cultivan para obtener granos y forrajes según Brenner, (2000). China, India, Kenia, México, Nepal, Perú, Estados Unidos, Bolivia, Pakistán, Argentina y Rusia son los países que producen amaranto a partir de gramíneas por sus características nutricionales. El consumo humano es el uso más conocido del grano de amaranto en la elaboración de dulces artesanales y otros productos. Uno de los primeros cultivos conocidos por la cultura azteca fue el amaranto, que se cultivaba y consideraba un "superalimento". Se realizaron investigaciones previas sobre su valor nutritivo excepcionalmente alto. En África, las hojas de amaranto vegetal se comen de forma similar a las espinacas. En una cueva de Tehuacán, Puebla, México, se han encontrado semillas de amaranto del periodo prehistórico, que se remontan a hace 6.000 años. Según Das, (2016) La Figura 1 muestra el cultivo y la utilización del amaranto durante las épocas azteca, maya e inca, cuando constituía la principal fuente de alimento para la población. En las mismas montañas andinas de Argentina, Perú y Bolivia que la patata común, apareció por primera vez la especie *Amaranthus Caudatus*, a veces conocida como kiwicha. En esa época, los conquistadores españoles la conocían como "trigo inca", y tanto su cultivo como su consumo decayeron rápidamente. Como muestra la Figura 2, actualmente se cultiva en varias regiones del mundo, y el interés por los pseudocereales ha crecido considerablemente en los últimos 20 años según Barba De La Rosa, (2007).





**Figura 1** — Cultivo del amaranto en antiguas civilizaciones.

Extraído de DAS, 2016.



**Figura 2** — Zonas de cultivo de la kiwicha en el mundo.

Extraído de DAS, 2016.

### 3.1.1.1. Clasificación botánica y taxonomía de kiwicha (*Amaranthus hybridus*)

De acuerdo a su taxonomía, el amaranto (Tabla 2) corresponde a un cultivo anual caracterizado por sus hojas anchas y una variación en su altura que va de 0.5 a 3 metros. Su inflorescencia alcanza longitudes de hasta 90 centímetros, presentándose en forma de pequeñas agrupaciones florales. Sus semillas, que asemejan la forma de una lenteja, poseen un diámetro cercano a 1.0 mm y exhiben una diversidad cromática que abarca desde el blanco cremoso hasta tonos amarillentos, dorados, rojizos, marrones y negros según Taylor et al. (2001). Los pigmentos conocidos como betacianinas son los responsables de dar color a la inflorescencia según Franke, (1989). Esta especie tiene la capacidad de desarrollarse en altitudes de hasta 3500 metros sobre el nivel del mar, adaptándose tanto a suelos con alta como baja cantidad de minerales, destacando por su tolerancia a períodos de escasez de agua y por requerir un manejo agronómico mínimo de acuerdo con Glowienke y Kuhn, (1998).

**Tabla 2** — Clasificación botánica de la kiwicha

División	Amaranto
Clase	Dicotyledoneae.
Subclase	Caryophylliadae.
Orden	Caryophyllales.
Familia	Amaranthaceae.
Género	Amaranthus
Especie	Por lo menos 60 especies: A. Caudatus. A. Cruentus. A. Hypochondriacus.

*Extraído de Taylor et al., 2001.*

### 3.1.1.2. Diversidad genética y variedades

Sólo 15 de las más de 70 especies del género *Amaranthus* se cultivan en Europa, Asia, África y Australia. Sin embargo, *A. Caudatus*, *A. Cruentus* y *A. Hypochondriacus* son las especies cultivadas para grano. Existen 1.200 ecotipos de kiwicha en Perú, donde se ha cultivado ampliamente en la Cordillera de los Andes según Ades (2015).

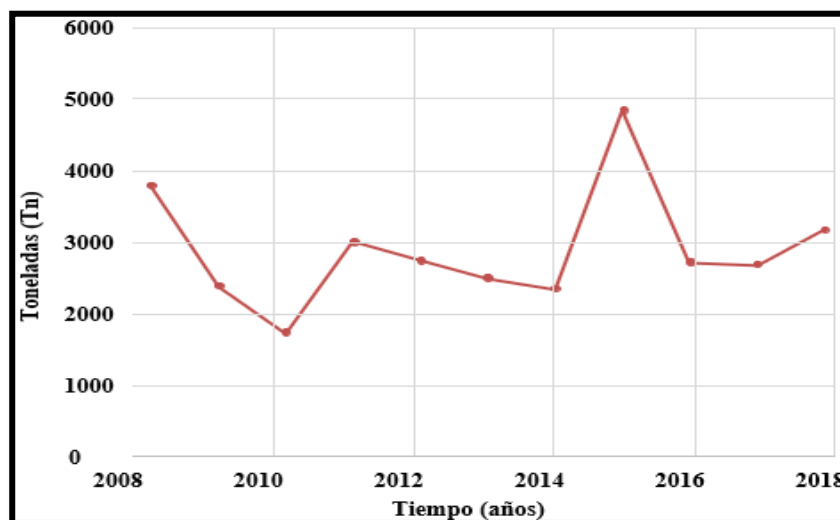


Los cultivos de kiwicha más populares son Noel Vietmeyer (grano rosado), Oscar Blanco (grano blanco), Chullpi (grano tipo ráfaga), Alán García (grano pequeño), INIA 414 - Taray, INIA 413 - Morocho Ayacuchano, Canaan INIAA (grano blanco) y Centenario (grano blanco).

Las variedades de kiwicha han mejorado con el tiempo gracias a la colaboración internacional y a las instituciones de investigación. La variedad Ayacuchana-INIA, uno de los tipos más populares cultivados extensivamente en Perú, se distingue por su alto potencial de rendimiento (3000 kg/ha), grano blanco grande, altura intermedia de la planta, resistencia a la escasez de agua y planta erguida. Además, en Cusco, Cajamarca y Ayacucho, respectivamente, las selecciones locales mejoradas 10-C, 41-F, San Luis, Otusco, Rojo Cajamarca, E-13 y E-2008 mostraron un excelente potencial de rendimiento, grano grande y adaptación a las localidades de selección según Exportadora (2013).

### 3.1.1.3. Producción nacional de la kiwicha

Como se indica en la Figura 3, en el 2010 tuvo una fuerte caída posteriormente incremento la producción de kiwicha en Perú en los últimos años. Con 4.8 mil toneladas, en 2015 se registró la mayor producción. La producción en 2018 sumó 3.182 mil toneladas, con Apurímac y Cusco como los dos principales productores según Minagri (2018).



**Figura 3** — Producción peruana de kiwicha en el periodo de 2008 al 2018.



Extraído de MINAGRI/SIEA, 2018.

#### 3.1.1.4. Composición nutricional

La variedad, el entorno de cultivo (altura, clima), los procedimientos agronómicos y la extracción de la harina contribuyen a la presencia de nutrientes en los alimentos. Su biodisponibilidad se ve influida por el nivel de extracción, la cantidad de fibra, fitatos y otros componentes nutricionales presentes según Repo-Carrasco (1998). El valor nutricional y los beneficios para la salud de la kiwicha son bien conocidos; tiene una gran cantidad de proteínas, es una buena fuente de los aminoácidos esenciales lisina, metionina y treonina, así como fuente de vitaminas A, B2 y E, minerales como el zinc, el calcio, el cobre y el hierro, además de fibra dietética, como se muestra en la Tabla 3. La kiwicha es un cultivo alimentario especialmente importante por estas cualidades según Repo Carrasco, (2001).

**Tabla 3** — Composición proximal de la kiwicha.

Nutriente (g/100g)	USD A (2018)	AEDES (2015)	Segura-Nieto <i>et al.</i> (1992)	Bravo <i>et al.</i> (2013)	Repo-Carrasco <i>etal.</i> (2010)	Vega (2013)
Proteína	13.6	12.1	12-19	14.5	13.7 – 15.9	16.2
Grasa cruda	7	6.8	6.1-8.1	8.4	6.1 – 6.5	9.1
Fibra	6.7	4.1	3.5-5.0	8.5	2.7 – 7.5	6.6
Ceniza	NR	3.4	3.0-3.3	2.7	2.2 – 2.8	2.2
Carbohidratos	65.3	66.5	71.8	NR	55.5 – 63.7	65.9

Extraído de Repo-Carrasco R., 2001.

La kiwicha (*Amaranthus hybridus*), también conocida como "el pequeño gigante nutricional" debido al diminuto tamaño de sus semillas, posee un perfil nutricional excepcional según lo reportado por Repo Carrasco - Valencia, (2009). Este pseudocereal se distingue por su elevada concentración de aminoácidos esenciales, destacando particularmente la lisina, un componente crucial para el desarrollo cerebral y escaso en la mayoría de los alimentos de origen vegetal. Además de su notable contenido proteico, la kiwicha es una fuente rica en minerales como calcio, fósforo, hierro, potasio y zinc. Su perfil vitamínico es igualmente impresionante, incluyendo vitamina E, complejo B, niacina y

ácido fólico. Esta combinación nutricional ha llevado a los expertos a equiparar su valor nutritivo con el de la leche. Dada su composición nutricional integral, la kiwicha se ha ganado el estatus de alimento nutraceutico o funcional. Su capacidad para proporcionar una amplia gama de nutrientes esenciales en un solo alimento la convierte en un recurso casi ideal para la nutrición humana.

La distribución de aminoácidos en la kiwicha es la siguiente:

**Tabla 4** — Composición de aminoácidos presentes en los granos de kiwicha (*Amaranthus hybridus*)

Aminoácidos	% aproximado
Arginina	8.5
Lisina	7.1
Isoleucina	6.1
Leucina	5.2
Treonina	4.7
Valina	4.3
Fenilalanina	3.9
Histidina	2.3
Metionina	2.1
Triptófano	0.9

*Extraído de Ecológico, 2009.*

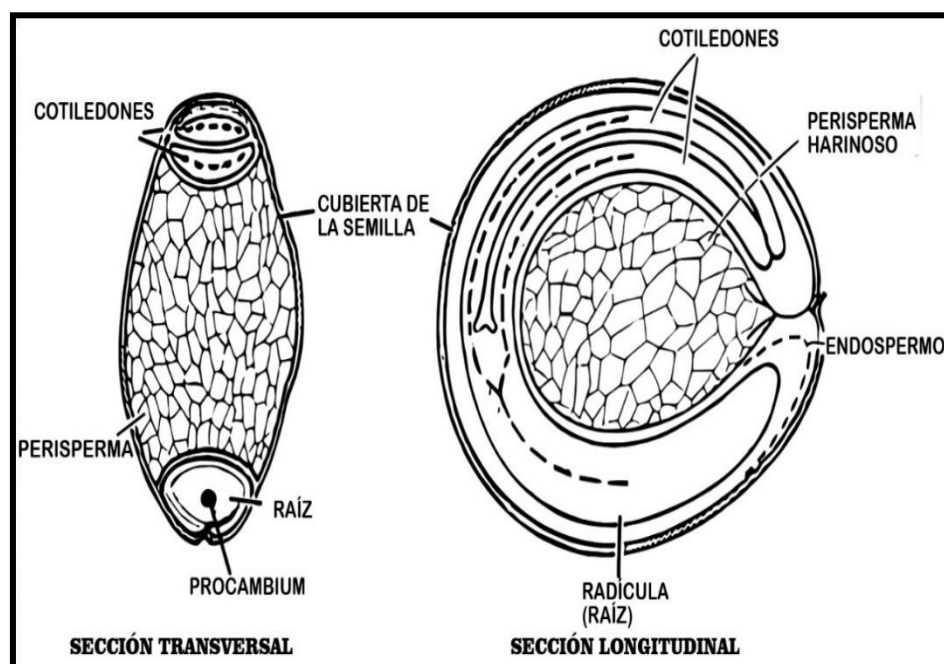
### 3.1.1.5. Morfología del kiwicha

El fruto es una cápsula pequeña, que a la madurez se abre transversalmente, dejando caer la parte superior llamada opérculo, para poner al descubierto la inferior llamada urna, donde se encuentra la semilla según Ripa (2008). El pericarpio es rico en calcio, sodio y magnesio y, por estudios de molienda se ha encontrado que las cenizas están concentradas en un 60 % en el revestimiento de la semilla y en la fracción del germen según Carpio (2009). La cubierta de la semilla consiste en una sola capa asociada con el perisperma, excepto en la región del embrión donde la capa de la semilla está unida a la pared grande y gruesa células del endospermo. El perisperma contiene almidón según Irving (1981) El embrión o germen está arrollado en círculo alrededor del perisperma. El germen contiene altas concentraciones de vitaminas, minerales, proteínas y grasa. Los



granos de diversos ecotipos presentan una cubierta muy dura, lo que determina semillas de alta latencia. Un grano de semilla contiene aproximadamente 800 a 1600 semillas Según Sumar (1993).

así mismo refieren que en el grano se distinguen cuatro partes importantes: episperma que viene a ser la cubierta seminal, constituida por una capa de células muy finas, endosperma que viene a ser la segunda capa, embrión formado por los cotiledones que es la más rica en proteínas y una interna llamada perisperma rica en almidones.



**Figura 4** — Morfología de las semillas de kiwicha.

Extraído de SUMAR, 1993.

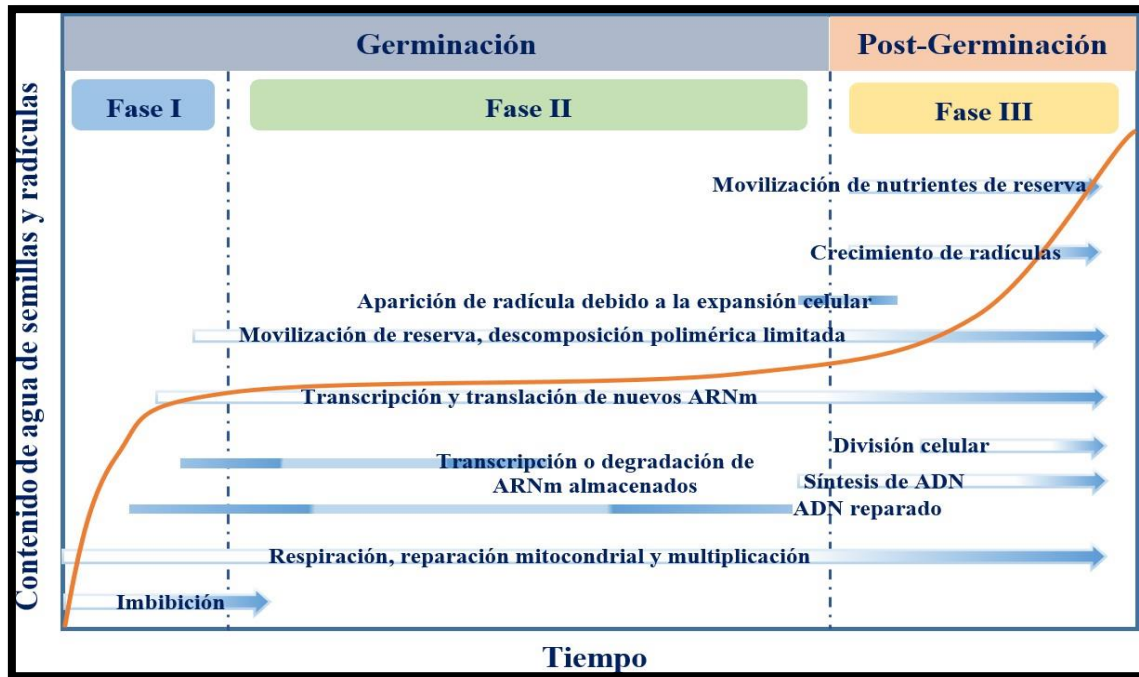
### 3.2.2. Tratamientos de los granos

#### 3.2.2.1. Germinados

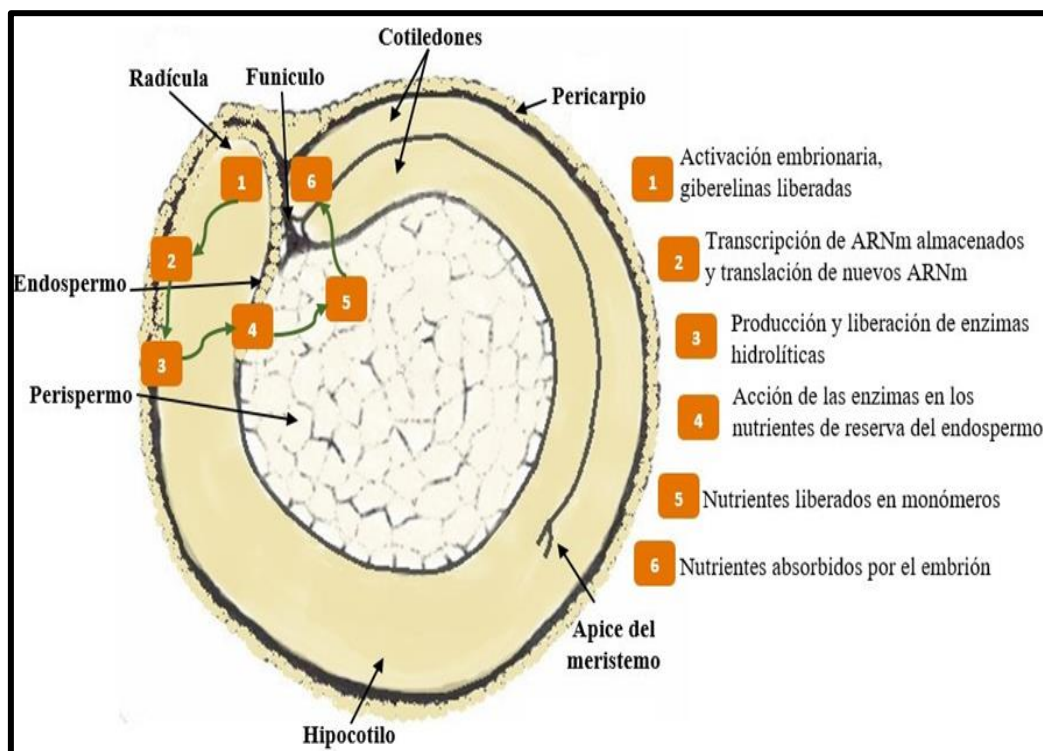
La germinación o también conocido como malteado de las semillas es un método común para hidrolizar sustancias parcialmente (predigeridas), sintetizar las sustancias deseadas y descomponer las 33 sustancias no deseadas mediante la utilización de enzimas endógenas en la materia prima reportado por Bewley et al. (2013). Durante la fase de germinación tienen lugar procesos metabólicos catabólicos; empezando por el remojo, las macromoléculas se

descomponen en sus formas más simples (aminoácidos, azúcares simples y ATP). La imbibición, primera etapa de la germinación, termina cuando el embrión crece, rompe el tegumento y brota la radícula, según Barceló et al. (2001). El proceso de absorción de agua se representa en la Figura 5, y las alteraciones metabólicas más significativas ocurridas durante y después de la germinación se muestran en la Figura 6. Se ha observado que la absorción de agua, o imbibición (Fase I), es principalmente un proceso físico, y que los cambios fisiológicos tienen lugar sólo minutos después de la hidratación de una célula y antes de la hidratación de todos los tejidos de la semilla. La finalización de la germinación está señalada por la aparición de radicales a través de las estructuras circundantes al final de la Fase II, y en la Fase III, se produce un aumento de la absorción de agua a medida que las plántulas jóvenes se establecen y comienzan a utilizar importantes reservas almacenadas. La Fase II se caracteriza por un contenido constante de agua y unas actividades metabólicas que aumentan con la transcripción de nuevos genes. Representa un curso temporal estilizado de la absorción de agua. Dependiendo de la especie y de las condiciones de germinación a las que se someta la semilla, los diferentes eventos requieren diferentes cantidades de tiempo para completarse, según Bewley et al. (2013). La radícula puede crecer hasta 2-3 veces el tamaño de la semilla o más, dependiendo del grano y la producción de giberelina. Esta fitohormona impulsa la germinación y mejora la digestibilidad de los macronutrientes al promover su hidrólisis. Para que las radículas emerjan adecuadamente, es esencial una buena circulación de aire durante el proceso, reportado por Bewley et al. (2013).





**Figura 5** — Absorción de agua y cambios asociados con la germinación de kiwicha.  
 Extraído de BEWLEY, 2013.



**Figura 6** — Principales procesos metabólicos durante la germinación.  
 Extraído de BEWLEY, 2013.

La movilización de sustancias químicas de reserva, que tiene lugar dentro de los tejidos para suministrar nutrientes a la plántula en crecimiento hasta que se convierta en autótrofa, es un paso postgerminación crucial. Diferentes conjuntos de enzimas, incluidos muchos que se transcriben y resintetizan, movilizan



proteínas, almidón, hemicelulosas, triacilgliceroles y otros materiales orgánicos, según Bewley et al. (2013). Durante la germinación, el almidón y las proteínas se convierten en azúcares y aminoácidos en sus respectivos sitios de almacenamiento antes de pasar al citosol. Los lípidos requieren dos orgánulos no almacenadores: uno para la hidrólisis por lipasas y el glioxisoma para el catabolismo de ácidos grasos. Las hemicelulosas son liberadas de la pared celular por hidrolasas específicas. A diferencia de los demás, los lípidos solo necesitan un orgánulo de almacenamiento. La sacarosa, un subproducto del catabolismo de reserva, se transporta a los tejidos en desarrollo junto con los aminoácidos transportables, que también son producidos por las proteínas. La disminución de glúcidos se traduce en un aumento de la cantidad de proteínas y compuestos nitrogenados; sin embargo, parte de las proteínas producidas están presentes en las raicillas, que se eliminan tras el secado y pierden parte de sus proteínas debido a la degradación del endospermo, según Bewley et al. (2013).

#### **3.2.2.2. Coccionado**

La cocción de alimentos es un proceso fundamental en la preparación culinaria, sin embargo, su impacto en los compuestos bioactivos, como los polifenoles, flavonoides y antioxidantes, puede variar dependiendo de diversos factores, como el tipo de cocción, la temperatura y el tiempo de exposición. Estos compuestos son conocidos por sus propiedades beneficiosas para la salud, incluyendo su capacidad para reducir el estrés oxidativo y prevenir enfermedades crónicas.

En términos generales, el proceso de cocción puede afectar tanto la cantidad como la actividad de los compuestos bioactivos en los alimentos. En el caso de los polifenoles, la cocción puede reducir su concentración en algunos alimentos debido a la descomposición térmica. Sin embargo, en ciertos vegetales, como las zanahorias, la cocción puede favorecer la liberación de polifenoles que no son fácilmente accesibles en su estado crudo, mejorando así su biodisponibilidad y aumentando sus propiedades antioxidantes (Jayasena et al., 2013).



En relación a los flavonoides, la cocción tiende a reducir su contenido en muchos casos, ya que estos compuestos son sensibles al calor. Sin embargo, ciertos métodos de cocción, como el vapor, son más eficaces para preservar los flavonoides en comparación con otros métodos de cocción más agresivos, como el hervido prolongado, que puede disminuir significativamente los niveles de estos compuestos (Berton et al., 2017). Esto resalta la importancia del tipo de cocción en la conservación de los flavonoides en los alimentos.

Por otro lado, los antioxidantes en los alimentos también pueden verse afectados por la cocción. En algunos casos, el calor puede destruir ciertos antioxidantes, como la vitamina C, que es sensible a temperaturas elevadas. No obstante, otros compuestos antioxidantes, como los polifenoles, son más estables y pueden mantenerse o incluso aumentar su actividad antioxidante después de la cocción. Métodos de cocción suaves, como el vapor, han mostrado ser efectivos para preservar estos compuestos en comparación con técnicas como la fritura o el hervido a alta temperatura (Dimitrios et al., 2012).

### 3.2.2.3. Tostado

El tratamiento térmico de alimentos sólidos con bajo contenido de agua conduce rápidamente al desarrollo de color y aroma, así como a degradación de compuestos bioactivos presentes en las materias primas, reportado por Oliviero, (2009). El tostado influye en los granos de cereal haciéndolos más suaves debido a la pérdida de la estructura del endospermo y aumento de la porosidad que podría ser beneficioso según el método de procesamiento y producto final deseado, sin embargo, afecta la calidad y la estructura de los granos, ya que sus propiedades funcionales, tecnológicas, fisicoquímicas y nutricionales son fuertemente afectados por las relaciones estructura-propiedad, según Schoemana, (2017)

Este tratamiento térmico de los granos de kiwicha (*Amaranthus hybridus*) induce una serie de transformaciones físico-químicas complejas que afectan significativamente su composición nutricional y propiedades funcionales. Entre estos procesos, el



tostado destaca por su capacidad para modular el contenido de compuestos bioactivos, particularmente los polifenoles, según Oliviero, (2009)

La reacción de Maillard, una cascada de interacciones químicas entre aminoácidos y azúcares reductores, es un fenómeno central en el proceso de tostado evidenciado en la investigación de Hodge, (1953). Esta reacción se desarrolla en tres fases principales: la condensación inicial entre grupos amino y azúcares reductores, la degradación de los productos de Amadori resultantes, y la formación final de compuestos coloreados y aromáticos conocidos como melanoidinas reportado por Martins, (2000). Yadav et al. (2018), así mismo demostraron que muchos de estos productos de la reacción de Maillard exhiben propiedades antioxidantes significativas.

El tostado no solo altera la composición química de los granos, sino que también modifica su estructura física. Schoemana et al. (2017), en su investigación observaron que el tratamiento térmico conduce a la pérdida de la estructura del endospermo y un aumento en la porosidad del grano. Estos cambios estructurales pueden influir en la biodisponibilidad de los nutrientes y compuestos bioactivos.

Es importante destacar que el balance entre la formación de nuevos antioxidantes y la potencial degradación de compuestos bioactivos preexistentes depende crucialmente de los parámetros específicos del proceso de tostado, sugiere Van Boekel, (2010). La optimización de estas condiciones representa un desafío significativo en la maximización del valor nutracéutico de la kiwicha procesada.

El tostado puede aumentar o disminuir el contenido de compuestos bioactivos, dependiendo de las condiciones del proceso. La reacción de Maillard juega un papel importante en la formación de nuevos compuestos antioxidantes, según Nicoli, (1999). La Tabla 5 resume los efectos del tostado:



**Tabla 5** — Efectos del tostado en los compuestos bioactivos de la kiwicha.

Compuesto	Efecto	Mecanismo propuesto
Polifenoles totales	Aumento	Liberación de formas ligadas
Flavonoides	Variable	Degradación térmica / Formación de nuevos compuestos
Actividad antioxidante	Aumento	Productos de la reacción de Maillard

*Extraído de Muyonga, 2014.*

#### 3.2.2.4. Molienda

La molienda es un proceso mecánico que involucra la separación del salvado y el germen del endospermo definido por Barrera, (2012). Es uno de los procesos más comunes de preparación de los granos para consumo humano, estudios han demostrado que la molienda conduce a una pérdida de fibra dietaria y compuestos bioactivos, según Ktenioudaki, (2013). Es conocida desde la antigüedad, solo los equipos han cambiado con el avance de la tecnología, según el volumen a moler y según la exigencia del consumidor. En general existen dos tipos de molienda de granos: la de trituración y la de impacto, los ejemplos más conocidos son el molino de piedras o discos y el molino de martillos. Para obtener una harina integral, se requieren pocas pasadas por el molino. El grano tostado es más seco y quebradizo, lo que facilita la obtención de harina. También la cáscara pierde su elasticidad, por lo que se desintegra rápidamente. Según Christiansen, (2012) La dureza del grano afecta la calidad y cantidad de los productos molidos, los granos de cereales tostados pueden influir en el rendimiento de la molienda ya que generalmente se caracterizan por una disminución en la dureza del grano, debido a la mayor porosidad interna del endospermo reportado por Schoemana, (2017).

#### 3.2.3. Compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos son sustancias que presentan actividades biológicas. Se encuentran en diversas plantas y alimentos como verduras, frutas, cereales, frutos secos y aceites, estos ofrecen propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, antidiabéticas y anticancerígenas, debido a su participación en la modulación de funciones enzimáticas como procesos de inhibición, inducción o recepción, mismos que pueden ser utilizados

como coadyuvantes para el tratamiento de distintas enfermedades, como la hipertensión, según Kim, (2021).

### 3.2.3.1. Compuestos bioactivos de la kiwicha

Algunas investigaciones han revelado la existencia de componentes bioactivos en las fracciones proteicas extraídas de la kiwicha. Entre estos, destacan particularmente los biopéptidos, que han demostrado poseer características antifúngicas y antimicrobianas notables. Específicamente, estos compuestos han exhibido la capacidad de inhibir enzimas clave como la alfa-amilasa y diversas proteasas. Además, el potencial de estos aislados proteicos se extiende más allá de sus propiedades antimicrobianas. Los estudios realizados en modelos animales han arrojado resultados prometedores en cuanto a su capacidad para reducir los niveles de colesterol. Esta característica abre interesantes posibilidades para el desarrollo de alimentos funcionales y nutraceuticos derivados de la kiwicha en el ámbito agroindustrial, según Mendonça, (2006). Las propiedades antioxidantes de la kiwicha han sido objeto de estudio científico, centrándose en dos especies específicas: *Amaranthus Caudatus* y *Amaranthus paniculatus*. Para evaluar esta característica, se realizaron experimentos in vitro utilizando un sistema modelo que emplea  $\beta$ -caroteno y ácido linoleico. Este método permite medir la capacidad de los componentes de la kiwicha para contrarrestar la oxidación, proporcionando así una visión clara de su potencial antioxidante, según Klimczak, (2002). Se utilizó un ensayo de peroxidación lipídica para evaluar simultáneamente las propiedades antioxidantes y antidiabéticas de la kiwicha. Este método permite medir la capacidad de los compuestos de la planta para inhibir la oxidación de lípidos, relacionando así sus efectos antioxidantes con su potencial beneficio en el manejo de la diabetes, según Conforti, et al. (2005), Los estudios mostraron que la variedad Oscar Blanco de *A. Caudatus* tiene una actividad antidiabética del 50.5%, superior al 28% de la variedad Victor Red. Se identificaron flavonoides (rutina, quercetina) y ácidos fenólicos (gálico, p-hidroxibenzoico, vanílico) con efectos antioxidantes en semillas y germinados. La



investigación sobre la actividad antioxidante continuó con otros métodos.

Repo-Carrasco-Valencia, (2009) en su investigación en *A. Caudatus*, donde determinaron el contenido de los compuestos fenólicos y también según López Mejía, (2014) estudio la actividad antioxidante del *A. hypocondriacus*.

**Tabla 6** — Principales fitoquímicos en semillas de kiwicha crudas y germinadas.

Fitoquímicos	Especie/variedad	Semillas	Contenido	Unidad	Ref
Compuestos fenólicos	<i>A. cruentus</i>	Crudo	5.16	g TAE/Kg	1
	<i>A. cruentus</i>	Germinado y secado (30°C)	3.04 – 3.68	g TAE/Kg	1
<b>Ácidos fenólicos</b>					
Ácido Gálico	<i>A. cruentus</i>	Crudo	400 - 440	mg/kg	2
	<i>A. cruentus</i>	Germinado	350 – 370	mg/kg	2
Ácido p-hidroxibenzoico	<i>A. cruentus</i>	Crudo	8.5 – 20.7	mg/kg	2
	<i>A. cruentus</i>	Germinado	ND		2
Ácido Vanílico	<i>A. cruentus</i>	Crudo	ND – 15.5	mg/kg	2
	<i>A. cruentus</i>	Germinado	ND		2
Ácido Caféico	<i>A. caudatus</i>	Crudo	6.67 ± 0.04	mg/100g	4
	<i>A. caudatus</i>	Crudo	0.85 ± 0.01	mg/100g	4
Ácido p-coumárico	<i>A. cruentus</i>	Crudo	ND – 3.5	mg/kg	2
	<i>A. cruentus</i>	Germinado	4.4 – 42.4	mg/kg	2
Ácido Ferúlico	<i>A. caudatus</i>	Crudo	5.2 ± 0.5	µg/g	3
	<i>A. caudatus</i>	Crudo	0.81 ± 0.04	mg/100g	4
Ácido Siringico	<i>A. caudatus</i>	Crudo	18.41 ± 0.8	µg/g	3
	<i>A. caudatus</i>	Crudo	8.32 ± 0.70	mg/100g	4
Ácido Sinapico	<i>A. cruentus</i>	Crudo	ND		2
	<i>A. cruentus</i>	Germinado	3.7 – 6.3	mg/kg	2
Ácido Protocatehuico	<i>A. caudatus</i>	Crudo	0.32 ± 0.04	mg/100g	4
	<i>A. caudatus</i>	Crudo	12.8 ± 0.4	mg/100g	4
Flavonoides	<i>A. caudatus</i>	Crudo	13.6 ± 9.4	µmol/100g	6
	<i>A. caudatus</i>	Germinado	14.0 ± 2.1	µmol/100g	6
<b>Flavonoides</b>					
Rutina	<i>A. cruentus</i>	Crudo	ND		2
	<i>A. cruentus</i>	Germinado	300 - 690	mg/kg	2
Quercetin-3-O-rutinosido	<i>A. caudatus</i>	Crudo	55 ± 3	mg/kg	5
	<i>A. caudatus</i>	Germinado	13.74 ± 0.64	µg/g	7
	<i>A. caudatus</i>	Crudo	2.15 ± 0.09	µg/g	7

Extraído de Repo-Carrasco-Valencia, 2009.



### 3.2.3.2. Polifenoles totales

Las estructuras moleculares conocidas como compuestos fenólicos se caracterizan por la presencia de al menos un grupo hidroxilo (-OH) enlazado a un grupo fenil (anillo aromático). Estos componentes están naturalmente distribuidos en diversos tejidos vegetales, incluyendo tejidos frutales, vegetales, semillas oleaginosas, estructuras florales y tejidos corticales, según Peñarrieta, (2014). En cuanto a su categorización, esta se establece según la cantidad de anillos fenólicos presentes en su estructura y los elementos estructurales que actúan como enlaces entre ellos. De este modo se pueden distinguir diversas categorías: compuestos fenólicos simples, derivados de ácidos fenólicos, compuestos flavonoideos, estructuras xantónicas, moléculas de estilbeno y compuestos lignánicos, según Vuolo, (2019). El interés científico por estos compuestos ha crecido notablemente, ya que se ha demostrado su destacada actividad antioxidante, así como su eficacia para desactivar especies reactivas conocidas como radicales libres de acuerdo con Tsao, (2010). Además, investigaciones epidemiológicas han evidenciado múltiples efectos benéficos derivados de la ingesta de compuestos fenólicos, entre los que destacan su capacidad para modular el sistema inmunológico, reducir procesos inflamatorios, regular la presión arterial, combatir infecciones virales y neutralizar especies oxidantes, según Dykes, (2006).

En cuanto a su mecanismo de acción el potencial antioxidante que caracteriza a los compuestos fenólicos opera a través de múltiples vías: la neutralización directa de radicales libres, la disminución de procesos oxidativos y la inhibición en la generación o desactivación de especies reactivas y moléculas precursoras de radicales libres por Tsao, (2010). Asimismo, algunos polifenoles participan en la quelación de metales, evitando así la oxidación causada por radicales hidroxilos altamente reactivos según Kim, (2021). Este proceso antioxidante resulta clave para la prevención de varias enfermedades, en especial aquellas asociadas con la inflamación crónica.

Por otro lado, los flavonoides y otros compuestos fenólicos tienen un efecto antiinflamatorio, ya que regulan la actividad celular en las células inflamatorias y modulan las actividades de diversas enzimas involucradas en el metabolismo del ácido araquidónico, lipoxigenasa y arginina. Además, modulan otras moléculas proinflamatorias según Hussain, (2016), lo cual contribuye a la disminución del riesgo de padecer enfermedades crónicas, como la hipertensión.

#### **3.2.3.2.1. Ensayo de Folin-Ciocalteu (F-C)**

El ensayo de Folin-Ciocalteu destaca en los campos de agroquímica e industria alimentaria debido a tres factores clave: su facilidad de implementación, la accesibilidad comercial de los reactivos necesarios y la existencia de protocolos estandarizados, según Singleton et al., (1999). Este método tuvo sus orígenes en el análisis de proteínas, específicamente aprovechando su reactividad con el aminoácido tirosina, que contiene un grupo fenólico. Posteriormente, su aplicación se expandió al análisis de compuestos fenólicos totales en vinos, lo que dio pie a múltiples aplicaciones adicionales.

El procedimiento F-C se fundamenta en un mecanismo de oxidación y reducción, aunque no es exclusivo para compuestos fenólicos. Esencialmente, esta técnica evalúa la capacidad reductora sobre una mezcla de ácidos fosfomolibdico y fosfotúngstico, generando un complejo de coloración azul que puede ser cuantificado mediante espectrofotometría. En este proceso, el molibdeno experimenta una reducción dentro del complejo, produciéndose una transferencia electrónica entre el Mo (IV) y el agente reductor, como se ilustra en la figura 07, según Huang et al., (2005). La metodología involucra la oxidación de compuestos fenólicos en un medio alcalino por acción del heteropolianión molibdotungstofosfórico, de color amarillo, seguida de la determinación colorimétrica del complejo molibdotungstofosfato azul resultante. La absorción máxima de este complejo varía

según la composición de los compuestos fenólicos presentes y está influenciada por el pH de las soluciones empleadas, según Cicco et al., (2009).

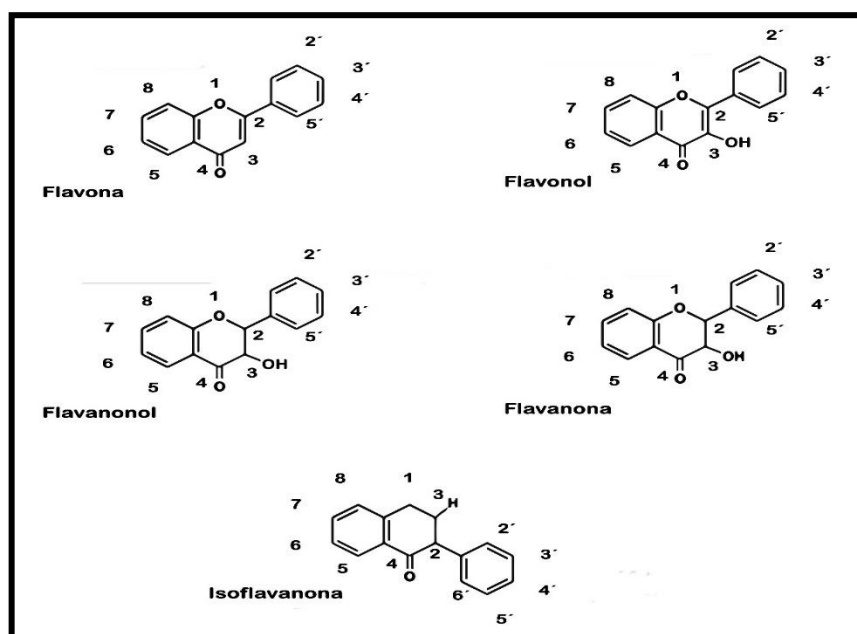


**Figura 7** — Reacción de transferencia de electrones con el reactivo de folin-Ciocalteu.

Extraído de HUANG, 2005.

### 3.2.3.3. Flavonoides

Flavonoides, Polifenoles y antocianinas son constituyentes de las plantas muy valiosos en la captura de radicales libre, debido a la gran cantidad de grupos hidroxilos presentes en su estructura, según Kumarappan (2012). Los flavonoides pertenecen a la mayor clase de compuestos polifenólicos ampliamente distribuidos en las plantas y entre ellos se pueden encontrar flavonas, flavonoles, isoflavonas, flavonoides, catequinas, flavononas, Heim (2002). Sus estructuras se muestran en la Figura 08. Aparecen frecuentemente en forma de O-glicosidos, conteniendo o no azúcares en su estructura, de acuerdo con estudios de Spácil (2008).



**Figura 8** — Estructuras químicas de los diferentes flavonoides.

Extraído de SAMPRIETO, 2009.



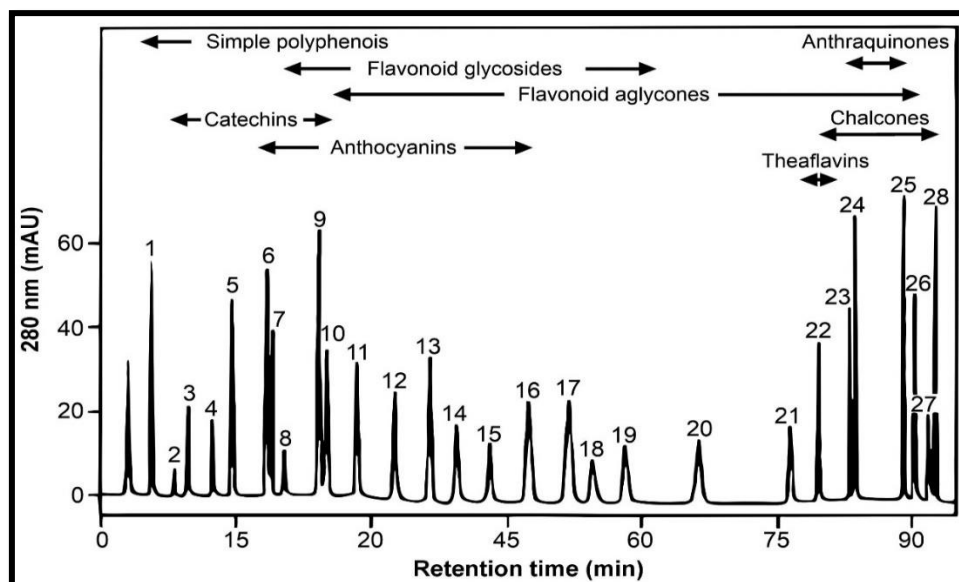
Como demuestra la amplia gama de actividades biológicas que presentan, incluida la inhibición de enzimas hidrolíticas y oxidativas (fosfolipasa A2, ciclooxigenasa, lipoxigenasa), efectos antibacterianos, actividad antiinflamatoria y antioxidante, los flavonoides son actualmente objeto de un interés creciente. Funcionan como antioxidantes, lo que ayuda a prevenir o reducir el riesgo de enfermedades como el cáncer y las afecciones cardiovasculares, entre otras el estrés oxidativo, reportado por Andersen Q.M., (2006). Para separar, cuantificar e identificar los flavonoides pueden utilizarse técnicas de HPLC conectadas a detectores de UV, masa o resonancia magnética nuclear (RMN), según Andersen Q.M., (2006).

#### **3.2.3.3.1. Determinación e identificación de flavonoides**

- **Cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC)**

Para identificar flavonoides mediante HPLC analítica, se suelen utilizar sistemas de elución binarios, que consisten en un disolvente orgánico menos polar, como metanol y/o acetonitrilo posiblemente acidificado, y un disolvente acuoso polar acidificado con ácido acético, ácido fórmico, ácido fosfórico o ácido perclórico según Merken M., (2000). Se emplean condiciones variables en función del tipo de flavonoide, y en la gran mayoría de los análisis se utiliza una columna ODS (RP-18 o C18). Dado que las distintas clases de flavonoides presentan máximos de absorción a diferentes longitudes de onda, una única longitud de onda no es óptima para todos ellos, su detección depende en gran medida de la absorción UV-Vis. Es bastante habitual emplear un detector de matriz de diodos DAD, que permite la medición simultánea en varias longitudes de onda de acuerdo con Matilla P., (2000). La Figura 9 muestra los perfiles cromatográficos de 28 polifenoles diferentes junto con una indicación aproximada de su orden relativo de aparición a una longitud de onda de 280 nm.



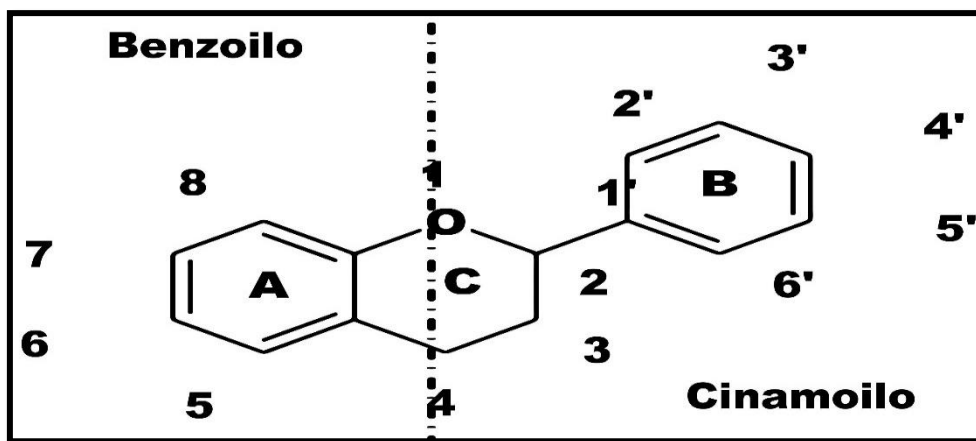


**Figura 9** — Perfil Cromatográfico de 28 diferentes polifenoles.

Extraído de ANDERSEN, 2006.

- **Espectroscopia ultravioleta – visible (UV – Vis)**

El fundamento de la espectroscopia ultravioleta-visible (UV-Vis) es la absorción de la radiación UV-Vis por una molécula, que da lugar a la promoción de algunos electrones desde un estado energético basal a otro excitado. Se puede utilizar un espectrofotómetro para medir la absorción del espectro UV-Vis de elementos vegetales frente a un objetivo según Andersen Q.M., (2006). El análisis de los flavonoides se ve facilitado por el hecho de que la estructura general de los flavonoides, como se muestra en la Figura 10, está ligada a un sistema benzoilo del anillo A y a un sistema cinamoilo del anillo B. Esto se debe a que el espectro ultravioleta del benceno presenta una estructura muy buena debido a la interacción vibracional y electrónica de sus niveles de energía. Se observan tres bandas de absorción a 184, 202 y 255 nm para este magnífico cromóforo, que es un grupo funcional que absorbe la luz ultravioleta. Como resultado, cuando el anillo presenta sustituciones, también pueden existir conjugaciones. Estas conjugaciones mostrarán cambios batocrómicos en el espectro UV y proporcionarán datos estructurales para determinar el tipo de flavonoide y los patrones de oxidación, (Andersen Q.M., 2006).



**Figura 10** — Estructura general de los flavonoides.

Extraído de HEIM, 2002.

**Tabla 7** — Clasificación de flavonoides según sus espectros ultravioletas.

Tipo de compuesto	Banda I (nm)	Banda II (nm)
Flavonas y flavonoles	320-370	240-290
Flavononas y flavonoles	270-295	236
Isoflavonas	300-330	240-270
Auronas	430	370
Cumarinas	311	274

Extraído de Andersen, 2006.

Las longitudes de onda de la Tabla 7 son aproximaciones, ya que la cantidad de sustitución o glicosidación de los flavonoides en la muestra puede provocar desplazamientos espectrales. Las flavonas y los flavonoles pueden presentar un desplazamiento termodinámico si aumenta la tasa de oxidación del anillo B. Pueden aparecer uno o dos picos más en la banda II dependiendo de los patrones de oxidación. El espectro de las flavononas, flavonoles e isoflavonas es notablemente similar ya que puede haber poca o ninguna conjugación entre los anillos A y B. El pico máximo de absorción, que se produce para las isoflavonas y flavononas en un rango de longitud de onda diferente, es la base de la diferencia según Samprieto D.A., (2009). Además, las isoflavonas presentan un pico de muy baja intensidad en el rango de 300- 330 nm (banda I), reportado por Andersen Q.M., (2006). Las chalconas y las auronas se caracterizan por una absorción intensa en la banda I y una absorción disminuida en la banda II.



Un incremento en la oxigenación del anillo A o B causa desplazamientos hipsocrómicos de la banda I según Samprieto D.A., (2009).

#### **3.2.3.4. Capacidad antioxidante**

La actividad antioxidante corresponde a la razón constante de un solo antioxidante en contra de un radical libre dado. La capacidad antioxidante es la medida de los moles de un radical libre dado reducido por una solución prueba, independientemente de la actividad antioxidante de cualquier antioxidante presente en la mezcla, depende de la naturaleza y concentración de los antioxidantes naturales según Vásquez, (2006). Los términos “actividad antioxidante” y “capacidad antioxidante” tienen diferente significado: el término actividad antioxidante se ocupa de la cinética de una reacción entre un antioxidante y el prooxidante o radical que se reduce, mientras que la capacidad antioxidante mide la eficiencia de la conversión termodinámica entre un oxidante al reaccionar con un antioxidante, Apak, (2013). Desde el punto de vista de la metodología del DPPH, este método es recomendado como fácil y exacto con consideración a medir la actividad antioxidante de jugos o extractos de vegetales y frutas. Los resultados son altamente reproducibles y comparables a otros métodos de secuestro de radicales libres tales como el ABTS. La actividad antioxidante (expresada como equivalente Trolox) se define como la concentración de Trolox que equivale a una actividad antioxidante de 1mM de concentración de la sustancia analizada según Vásquez, (2006).

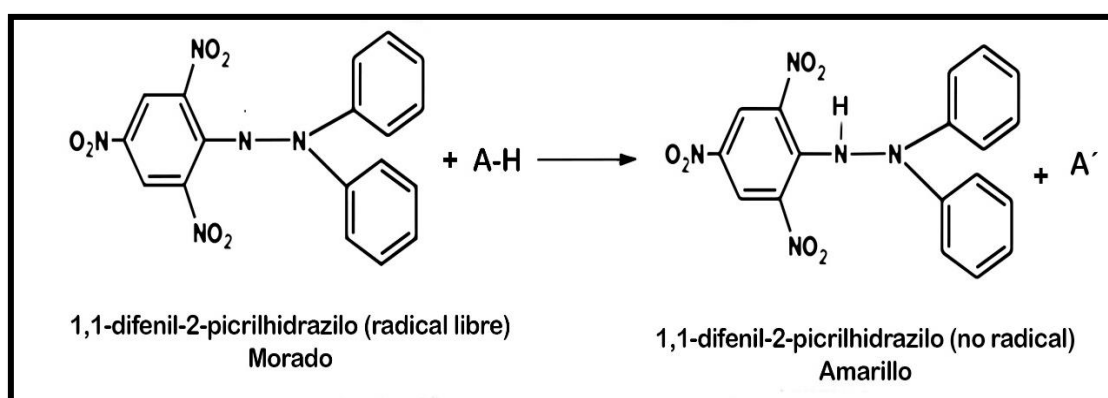
##### **3.2.3.4.1. Método DPPH (2.2-difenil-1-picril-hidrazilo)**

Ensayo del DPPH (2.2-difenil-1-picril-hidrazilo) Este método fue propuesto por Blois (1958), en el cual se demostró por primera vez la capacidad del radical libre DPPH para aceptar un átomo de hidrógeno (H) proveniente de una molécula de cisteína.

La molécula 2.2-difenil-1-picril-hidrazilo (DPPH) es conocida como un radical libre estable debido a la



deslocalización de un electrón desapareado sobre la molécula completa, por lo cual la molécula no se dimeriza, como es el caso de la mayoría de los radicales libres. La deslocalización del electrón también intensifica el color violeta intenso típico del radical, el cual absorbe en metanol a 517 nm. Cuando la solución de DPPH reacciona con el sustrato antioxidante que puede donar un átomo de hidrógeno como se muestra en la Figura 8, el color violeta se desvanece. El cambio de color es monitoreado espectrofotométricamente y es utilizado para la determinación de los parámetros para las propiedades antioxidantes. Después de aproximadamente tres décadas este ensayo comenzó a utilizarse rutinariamente para la caracterización de las propiedades antioxidantes. El procedimiento original para el ensayo DPPH, ha sido adoptado por muchos laboratorios y a pesar de que existen modificaciones a conveniencia, una revisión detallada de la 16 literatura ha revelado que la mayoría de los estudios están basados en un tiempo de reacción de 20-30 min en vez de un tiempo de reacción total de 120 minutos requerido para alcanzar el estado estacionario y completar la reacción redox según Ojha et al., (2012).



**Figura 11** — Estructura del DPPH antes y después de la reacción con el antioxidante.

Extraído de ALAM, 2012.

Los resultados del ensayo DPPH se presentan de diversas formas. En la mayoría de los estudios, los resultados se expresan a través del valor de la concentración máxima de

la media inhibitoria (IC50), que se define como la cantidad de antioxidante requerida para reducir la concentración inicial de DPPH a un 50%. Este valor se obtiene trazando el porcentaje de inhibición en función de la concentración del extracto. En el caso de extractos de plantas o compuestos puros, el valor IC50 varía dependiendo de la concentración final de DPPH utilizada, tal como lo señala Deng J. (2011). El ensayo DPPH presenta algunas limitaciones que restringen su aplicación. Entre ellas se encuentra la diferencia en los mecanismos de reacción que suelen producirse entre el antioxidante y los radicales peróxidos. DPPH es un radical de nitrógeno de vida larga, lo cual no coincide con los radicales peróxidos, que son altamente reactivos y transitorios, involucrados en la peroxidación lipídica. Muchos antioxidantes que reaccionan rápidamente con radicales peróxidos, reaccionan lentamente o no tienen actividad frente al DPPH. Esto se refleja en los tiempos necesarios para determinar el IC50, que varían entre 1.15 minutos (para el ácido ascórbico) y 103 minutos (para la rutina). La cinética de la reacción entre DPPH y los antioxidantes no es lineal con respecto a la concentración de DPPH, por lo que usar el IC50 para medir la capacidad antioxidante puede resultar arbitrario. Además, la reacción de DPPH con eugenol es reversible, lo que podría causar lecturas erróneas (bajas) en la capacidad antioxidante de muestras que contengan eugenol u otros fenoles con estructuras similares, según Deng J. (2011).

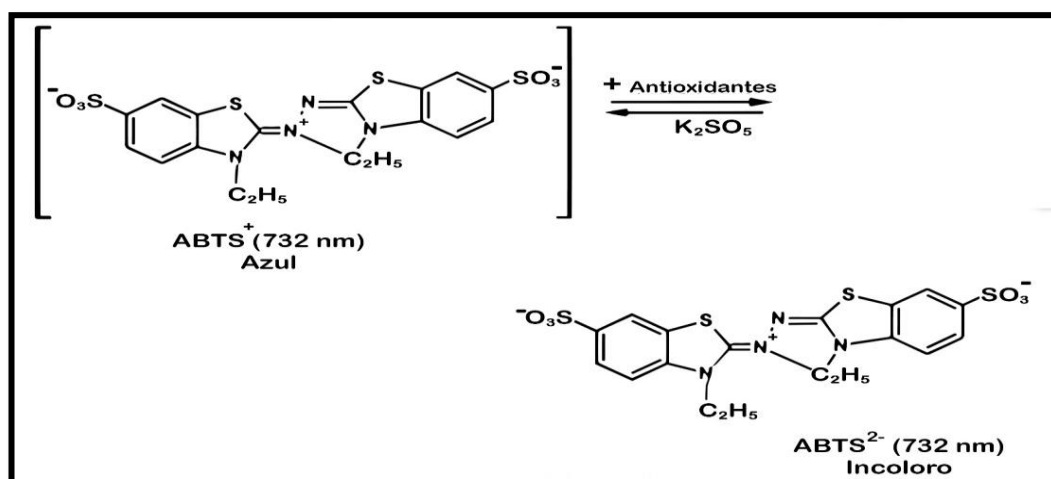
#### **3.2.3.4.2. Método ABTS (2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónica)**

Uno de los métodos espectrométricos fundamentales para la evaluación de la capacidad antioxidante total, tanto en soluciones como en compuestos puros y mezclas acuosas, se basa en la formación del radical ABTS. La metodología original de este análisis se basaba en un mecanismo que



utilizaba la metilmioglobina activada por peróxido de hidrógeno, generando un radical catión del ABTS durante el proceso. Este procedimiento experimental podía ejecutarse tanto con o cómo sin la adición de componentes antioxidantes.

No obstante, esta técnica fue cuestionada debido a que el ritmo de interacción de los antioxidantes interfería con el proceso de reducción del radical ferrilmioglobina. Para superar estas deficiencias metodológicas, se implementó una versión perfeccionada del ensayo que empleaba un método de decoloración. Esta aproximación optimizada implicaba la generación previa del radical en una forma estabilizada, anterior a su exposición a las sustancias antioxidantes objeto de estudio, según Re, (1999).



**Figura 12** — Estructura del ABTS antes y después de la reacción con el antioxidante.

Extraído de ZULETA, 2009.

Una mejora notable en la técnica del radical catión ABTS consiste en la producción directa del cromóforo  $ABTS^+$  que presenta una tonalidad verde-azulada, lograda a través de la reacción entre ABTS y persulfato potásico ( $K_2S_2O_8$ ). Este compuesto muestra un espectro de absorción particular, caracterizado por la presencia de tres máximos de absorción específicos que se observan a longitudes de onda de 645 nm, 734 nm y 815 nm. Cuando este radical pre-sintetizado entra en contacto con sustancias antioxidantes, experimenta una reducción a su forma ABTS. La



eficacia antioxidante se cuantifica mediante el grado de decoloración, expresado como el porcentaje de inhibición del radical catión ABTS, el cual es directamente proporcional a la concentración del antioxidante y al tiempo de reacción, utilizando como referencia el estándar Trolox en condiciones experimentales idénticas.

La metodología desarrollada por Re, (1999). Establece un protocolo preciso que implica la combinación de una solución de ABTS 7mM con persulfato de potasio 2.45mM, sometiéndola a un período de incubación de 16 horas a temperatura ambiente. Posteriormente, la solución resultante se diluye con metanol hasta alcanzar una absorbancia específica de  $0.7 \pm 0.02$ , medida a 734 nm. El procedimiento analítico continúa con la medición de 2850  $\mu$ l de esta solución, a la cual se incorporan 150  $\mu$ l del extracto de muestra a analizar. La mezcla se homogeniza durante 6 minutos manteniendo la temperatura ambiente, tras lo cual se procede a la medición espectrofotométrica a 734 nm. La cuantificación final se expresa en términos de Capacidad Antioxidante Equivalente de Trolox (TEAC), utilizando como referencia una curva de calibración estándar de Trolox que abarca un rango de concentraciones entre 50.12 y 400.18  $\mu$ M.

### 3.3. Marco conceptual

#### a) Antioxidante

Los antioxidantes son sustancias, naturales o fabricadas por el ser humano, que retrasan los daños celulares al prevenir la oxidación de las moléculas. Se encuentran en alimentos como frutas y verduras, así como en suplementos alimenticios, (Pérez Portero, 2022).

#### b) Ecotipo

El término "ecotipo" fue introducido por Wilhelm Turesson en 1922 para describir las adaptaciones genéticas de los organismos de una misma especie a condiciones medioambientales locales específicas. Un ecotipo muestra diferencias en morfología o fisiología, adaptaciones que pueden transmitirse de una generación a otra, (Turesson, 1922).

#### c) Espectrofotometría

La espectrofotometría es una herramienta analítica que mide la intensidad de la luz absorbida por una muestra para determinar la concentración de ciertos compuestos. Este instrumento se utiliza en el análisis de metales, líquidos corporales y otras sustancias químicas, (García, 2018).



**d) Expansión**

La expansión es el aumento del volumen o tamaño de un cuerpo, generalmente provocado por cambios de temperatura o presión. En termodinámica, describe cómo un gas incrementa su volumen al disminuir la presión o aumentar la temperatura, (Çengel y Boles, 2015).

**e) Lixiviación**

La lixiviación es un proceso fisicoquímico utilizado para extraer solutos de un sólido mediante un disolvente líquido. Este método se aplica en minería, agricultura y en el tratamiento de residuos, (Habashi, 1999).

**f) Nativo**

Los granos nativos de los Andes sudamericanos, como la kiwicha y la quinoa, han evolucionado para adaptarse a las condiciones climáticas adversas de esta región. Estos cultivos son resistentes a temperaturas extremas, diversas condiciones de precipitación y suelos con bajos niveles de humedad, lo que los convierte en una fuente importante de resiliencia agrícola, (Fabio, 2017).

**g) Pseudocereal**

El término "pseudocereal" combina el prefijo "pseudo", que significa "falso o similar", y la palabra "cereal". A diferencia de los cereales verdaderos, los pseudocereales son plantas dicotiledóneas que producen semillas consumidas de manera similar a los granos, pero pertenecen a familias botánicas distintas, como Amaranthaceae (amaranto), Chenopodiaceae (quinoa) y Polygoniaceae (trigo sarraceno), (Fletcher, 2016) y (Sindhu y Codex, 2019).



## CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

### 4.1. Tipo y nivel de investigación

#### 4.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación se clasifica como aplicada, ya que su objetivo principal es resolver un problema práctico: optimizar el contenido de compuestos bioactivos en los granos de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*). Según Hernández Sampieri (2018) es aplicada cuando busca resolver problemas concretos utilizando conocimientos científicos. Esta investigación evalúa cómo los tratamientos crudo, germinado, tostado y coccionado influyen en el contenido de los polifenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante, con el fin de mejorar su aprovechamiento en la industria agroalimentaria.

El propósito de esta investigación es mejorar las prácticas de procesamiento del pseudocereal en Apurímac y promover su valor agregado en productos funcionales y nutraceuticos. Como señala Corbetta (2007), la investigación aplicada tiene un impacto directo en la mejora de procesos. Así, se busca no solo comprender cómo los tratamientos afectan las propiedades de la kiwicha, sino también ofrecer soluciones prácticas que los productores locales puedan implementar para optimizar la calidad nutricional y posicionar estos productos en mercados con creciente demanda por alimentos funcionales, como lo indican estudios recientes sobre la valorización de cultivos autóctonos (Repo-Carrasco et al., 2020).

#### 4.1.2. Nivel de investigación

Según Hernández Sampieri (2018), esta investigación se clasifica como explicativa, ya que su objetivo es identificar las causas y relaciones entre las variables del fenómeno estudiado. En este caso, el fenómeno es el efecto de los tratamientos aplicados a los granos de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) sobre sus compuestos bioactivos, específicamente los polifenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante.

El propósito es explicar cómo y por qué los tratamientos crudos, germinados, tostados y coccionados afectan estos compuestos, analizando las relaciones causales entre los tratamientos y los cambios observados. Como señalan



Sampieri et al. (2014), la investigación explicativa busca ir más allá de la descripción y se enfoca en comprender las causas del fenómeno. Este análisis proporcionará información clave para optimizar los procesos productivos en la agroindustria y mejorar la calidad nutricional de los productos derivados de la kiwicha negra.

#### 4.2. Diseño de la investigación

La presente investigación utiliza una metodología experimental, caracterizada por el control de las variables independientes para evaluar su impacto sobre las variables dependientes de acuerdo con Hernández-Sampieri et al., (2018). En esta investigación se analiza el efecto de cuatro tratamientos aplicados a la kiwicha negra crudos, germinados, tostados y coccionados sobre los niveles de polifenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante, compuestos clave en los beneficios funcionales de los alimentos, según Repo-Carrasco-Valencia et al. (2010) y Paško et al. (2009). El diseño experimental es un Diseño Completamente al Azar (DCA), que permite evaluar las diferencias entre los tratamientos al comparar la variación experimental con la aleatoria como reporta Montgomery, (2017). El análisis de los datos se realizará mediante Análisis de Varianza (ANOVA), lo que permitirá identificar si existen diferencias significativas entre los promedios de los tratamientos, según Kuehl (2001).

Este diseño experimental facilitará la determinación de cómo los tratamientos aplicados modifican los componentes bioactivos de la kiwicha negra, compuestos esenciales para la mejora de sus propiedades funcionales, según Repo-Carrasco-Valencia et al., (2010) y Paško et al., (2009).

**Tabla 8** — Tabla de diseño experimental DCA.

Variable independiente: estado del grano	Tratamientos	Repeticiones	Polifenoles	Actividad antioxidante DPPH	Actividad antioxidante ABTS	Flavonoides
Crudo	T1	T1-1 T1-2 T1-3	mg de ac. gálico/g de muestra	mg de quercetina/g de muestra	Conc. Trolox mM (mmol/L)	Conc. Trolox mM (mmol/L)
Germinado	T2	T2-1 T2-2 T2-3				
Tostado	T3	T3-1 T3-2 T3-3				
Coccionado	T4	T4-1 T4-2 T4-3				

Las variables independientes son el estado de granos de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) DCA con 4 tratamientos, 3 repeticiones, con 12 observaciones.

#### 4.3. Ética de la investigación

En todo el desarrollo de la presente investigación se utilizó métodos y teorías científicas de fuentes y base confiable, con la asesoría de profesionales investigadores especializados en el área, se utilizaron procedimientos válidos y equipos del laboratorio de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial, que aseguren la confiabilidad de la investigación.

#### 4.4. Población y muestra

**Población:** Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), la población se define como el conjunto total de elementos que comparten características comunes y que son relevantes para el estudio. En este caso, la población de estudio está constituida por los granos de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) provenientes del distrito de Tamburco – San Antonio, en la provincia de Abancay, Región Apurímac, específicamente de la zona de cultivo ubicada en Marcahuasi, a una altitud de 2708 m.s.n.m. La recolección de los granos se realizó el 15 de septiembre de 2023, asegurando su frescura y representatividad para el estudio. Dado que la población y la muestra coinciden, la población seleccionada es igual a la muestra, con un total de 2 kg de granos de kiwicha negra.



**Figura 13** — Cosecha y selección de los granos de kiwicha negra

**Muestra:** La muestra corresponde a un subconjunto representativo de la población, seleccionada con el fin de cumplir los objetivos del estudio (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). El tamaño de la muestra se determinó de acuerdo con el diseño experimental, que incluye cuatro tratamientos con tres repeticiones por tratamiento. Para realizar los análisis fisicoquímicos y espectrofotométricos, se estableció que cada repetición requeriría 150 g de granos, lo que resulta en un total de 1.8 kg para cada tratamiento. Con el objetivo de garantizar la homogeneidad y permitir ajustes metodológicos, se seleccionaron 2 kg de muestra, asegurando que cada tratamiento tuviera suficiente material para los análisis sin comprometer la representatividad del estudio.

#### 4.5. Procedimiento

El desarrollo de la investigación se fundamenta en el método hipotético y deductivo, el cual permite la verificación empírica de la hipótesis planteada, facilitando su confirmación o refutación mediante la experimentación y el análisis de resultados. Complementariamente, se emplea el método analítico y sintético, el cual permite descomponer el problema de estudio en sus distintos componentes para analizarlos de manera individual y, posteriormente, integrarlos en una conclusión general fundamentada, según Rodríguez, (2017).

La presente investigación se estructura en dos etapas principales:

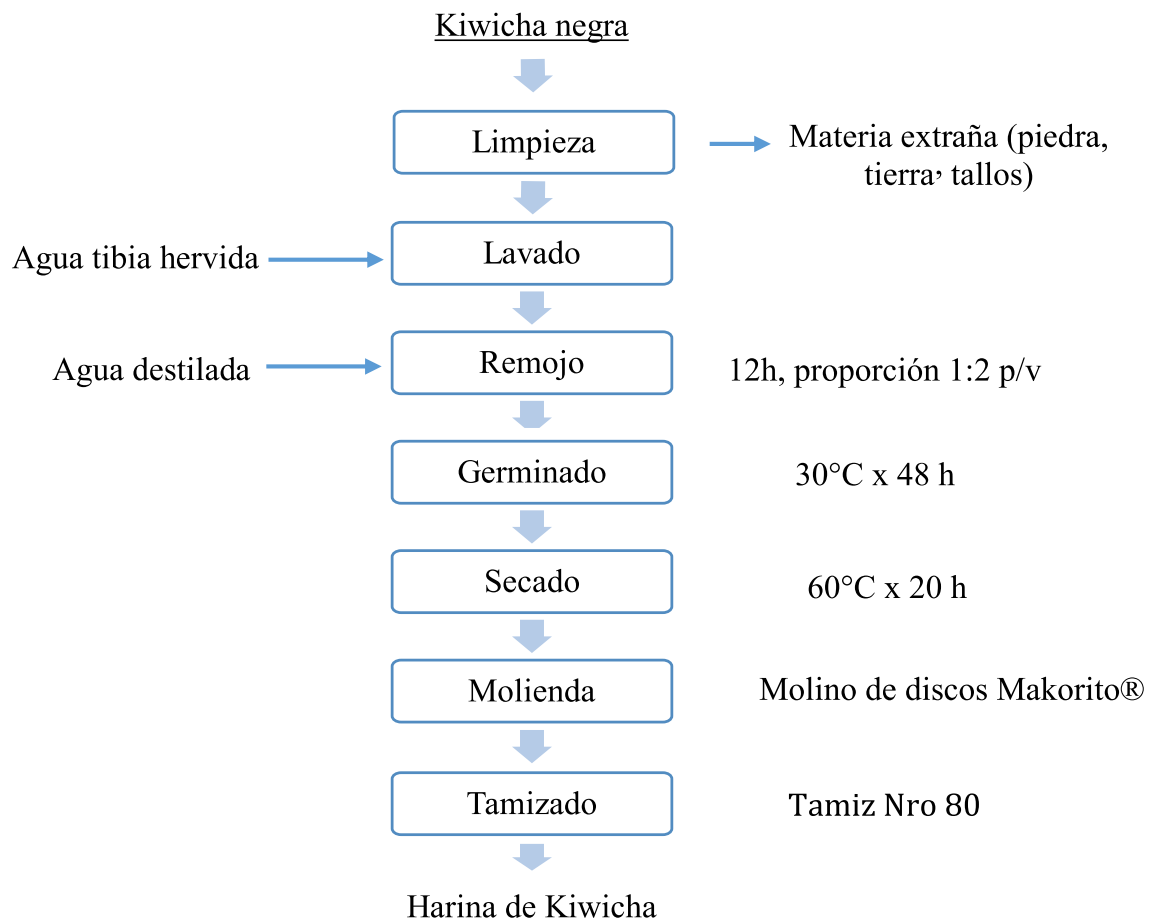
- **Primera etapa:** Consiste en la recolección, selección y limpieza de los granos de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*), seguida de la elaboración de los extractos metanólicos para cada tratamiento experimental, asegurando su preparación bajo condiciones controladas.
- **Segunda etapa:** Incluye la aplicación de los procedimientos experimentales para la extracción y caracterización de los compuestos bioactivos presentes en los extractos obtenidos, evaluando sus propiedades mediante técnicas espectrofotométricas y análisis fisicoquímicos.

##### 4.5.1. Obtención de los extractos

Para la obtención de las muestras y el posterior análisis de las variables dependientes se siguió el siguiente esquema que fue adaptado de Torres, (2019). Este procedimiento inicia con la recolección de las muestras de la materia prima y concluye con la obtención de harinas y extractos de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) para cada tratamiento.



**Procedimiento para el germinado de los granos de kiwicha negra  
(*Amaranthus hybridus*).**



**Figura 14** — Método para la germinación de los granos de kiwicha.

Extraído de BOTERO, 2011.

**Descripción del proceso de germinado de los granos negros de kiwicha:**

- a) **Limpieza y lavado:** En este proceso se eliminó las materias extrañas de los granos negros de kiwicha (piedra, tierra y tallos) y se realizó el proceso de lavado con agua destilada.
- b) **Remojo:** Para este proceso dejaron los granos de kiwicha en remojo durante 12 horas con el fin de eliminar las saponinas de los granos y lograr la humedad adecuada para el proceso de germinado, luego se enjuago tres veces con agua destilada.
- c) **Germinado:** Después del proceso de remojo, los granos de kiwicha se pusieron a germinar. A una temperatura de 30°C durante 48 horas en oscuridad.
- d) **Secado:** Una vez realizado el brote de la raicilla hasta lograr el tamaño adecuado, los granos germinados se llevaron al proceso de secado en



una estufa de lecho estático a una temperatura de 60°C, para no inactivar las enzimas generadas en el proceso, durante un tiempo de 20 horas.

- e) **Molienda:** Todos los granos germinados secos fueron sometidos a una molienda fina, obteniéndose harina.
- f) **Tamizado:** Posteriormente a la molienda se realizó el proceso de tamizado para lograr una homogeneidad en la harina de kiwicha germinada.

#### Proceso de tostado de los granos de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*).

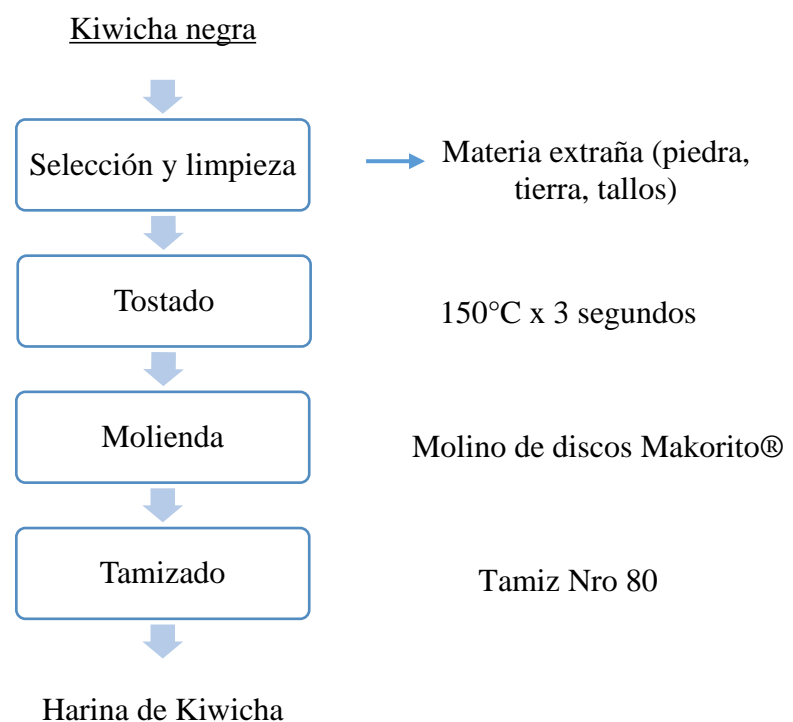


Figura 15 — Diagrama de bloques del proceso de tostado.

Extraído de ZAPATA, 2015.

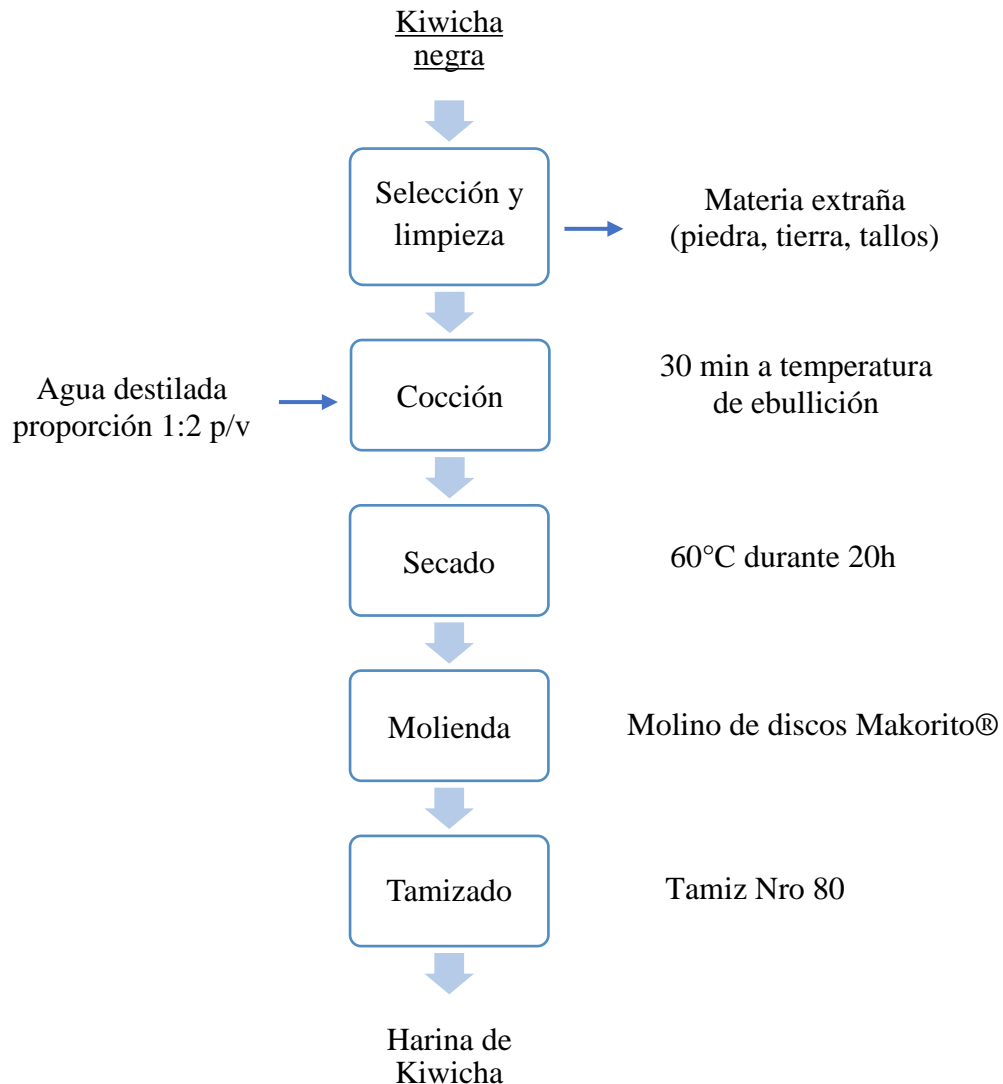
#### Descripción del proceso de tostado de los granos negros de kiwicha:

- a) **Selección y limpieza:** En este proceso se eliminó las materias extrañas de los granos negros de kiwicha (piedra, tierra y tallos).
- b) **Tostado:** Después del proceso de selección y limpieza, los granos de kiwicha se tostaron a 150°C durante 5 segundos hasta lograr el color característico.
- c) **Molienda:** Los granos tostados son sometidos a una molienda fina, obteniéndose harina.



d) **Tamizado:** Posteriormente a la molienda se realizó el proceso de tamizado para lograr una homogeneidad en la harina de kiwicha Tostada.

**Proceso de cocción de los granos de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*).**



**Figura 16** — Diagrama de bloques del proceso de cocción de granos.

**Extraído de ZAPATA, 2015.**

**Descripción del proceso de cocción de los granos negros de kiwicha:**

- a) **Selección y limpieza:** En este proceso se eliminaron las materias extrañas de los granos negros de kiwicha (piedra, tierra y tallos).
- b) **Cocción:** En este proceso los granos de kiwicha se coccieron en una olla convencional durante 32 min con agua destilada a fuego constante.

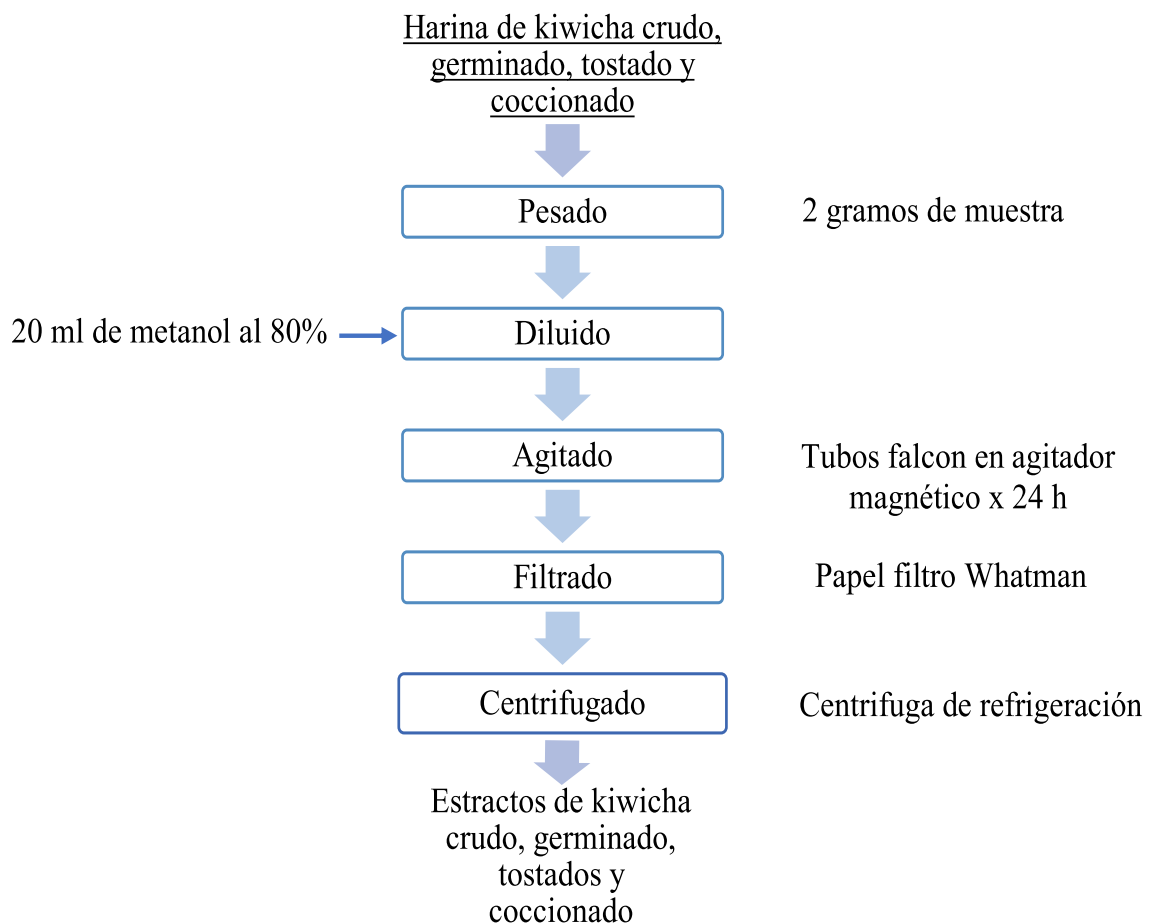


c) **Secado:** Una vez realizado el proceso de cocción los granos se pusieron a secar en una estufa de lecho estático a una temperatura de 60°C durante 24 horas.

d) **Molienda:** Todos los granos cocinados y secos fueron sometidos a una molienda fina, obteniéndose harina.

#### 4.5.2. Determinación de compuestos bioactivos

Para la obtención de extractos se realizará según el procedimiento descrito en la Figura 17 para cada uno de los ensayos. La disolución de los extractos se desarrollará en metanol al 80%.



**Figura 17** — Protocolo para la obtención de extractos.

Extraído de Adaptado de TORRES, 2019.

#### 4.5.3. Determinación de polifenoles totales

Según el método descrito por Zapata, Cortes y Rojano (2013), los polifenoles presentes en los extractos metanólicos de los granos de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) se determinan mediante el método de Folin-Ciocalteu, con algunas modificaciones. Este procedimiento implica la reacción de los polifenoles con el reactivo Folin en presencia de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), permitiendo la cuantificación del contenido de



polifenoles en mg de ácido gálico equivalente por gramo de muestra (mg GAE/g).

- a) **Folin:** Se realizó la técnica del pipeteo de 10 ml de folin a una fiola de 100 ml y se completó con agua destilada hasta el aforo, luego se agitó hasta homogenizar la mezcla por completo.
- b) **Carbonato de sodio:** Se pesó 7.5 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y se vierte en una fiola de 100 ml para luego agregar agua destilada hasta el aforo de dicha fiola hasta lograr homogenizar la mezcla.
- c) **Curva de calibración:** Se pesó 0.025 g de ácido gálico esto se vertió en una fiola de 100 ml para luego diluirlo con agua destilada hasta alcanzar el aforo, luego se agitó hasta homogenizar la mezcla por completo. A partir de la concentración de 250 mg/L se diluyó a diferentes concentraciones con la siguiente ecuación 1 de cálculo de volúmenes y concentraciones en disoluciones.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2 \dots \text{Ec. 1}$$

$$250 * 5 = C_2 * 11$$

$$C_2 = 113.63$$

Se retira 5 ml de cada solución con las diferentes concentraciones en un tubo de ensayo y luego se añadió 6 ml de agua destilada y seguidamente agitarlo.

**d) Preparación de la solución madre**

De estas diluciones a diferentes concentraciones se sacó 0.5 ml a un tubo de ensayo con 3 repeticiones luego se añade 2.5 ml de folin preparado (5 min) dejar reaccionar y por último se añade 2 ml de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dejar relacionar en oscuridad 60 min luego llevar a espectrofotómetro a 740 nm para ver la absorbancia en sala con poca luz, protegiendo con papel aluminio y bolsa negra.

- 1) Usar 0.5 ml ácido gálico
- 2) 2.5 ml folin
- 3) 2 ml  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

**e) Blanco:**

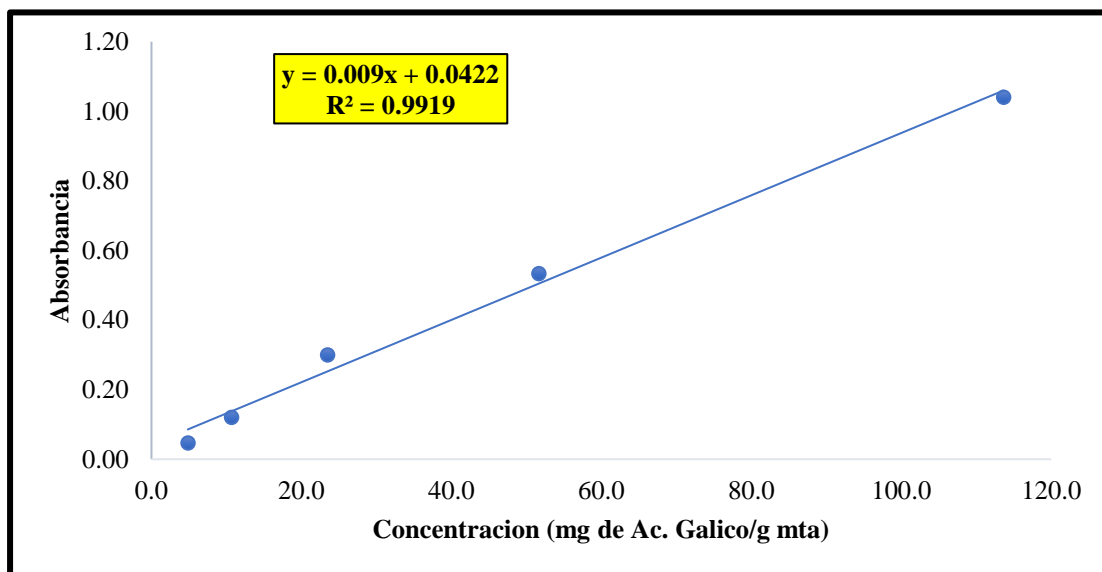
- 1) Usar 0.5 ml agua destilada
- 2) 2.5 ml folin
- 3) 2 ml  $\text{Na}_2\text{CO}_3$



**Tabla 9** — Concentración y absorbancias de dilución de ácido gálico

Concentración mg de Ac. Gálico/g mta.	Absorbancia
4.851	0.0467
10.672	0.1207
23.479	0.2993
51.653	0.5333
113.636	1.0403

En la Figura 18 se muestra la curva de calibración obtenido a partir la ecuación lineal  $Y = 0,009X - 0,0422$  (“Y = Absorbancia obtenida por espectrofotometría” y “X = Polifenoles totales mg ac. gálico/g”).



**Figura 18** — Curva patrón de polifenoles totales PTF

La curva patrón de PFT evidencia un grado de determinación  $R^2 = 0,9919$ , lo cual implica que existe un alto grado de correlación y los PFT mg ac. Gálico /g explican en 99,19% la varianza de la absorbancia espectrofotométrico.

f) **Para la muestra:** a partir del extracto obtenido se obtuvo diferentes diluciones como se muestra y de estas soluciones se toma lo siguiente con 3 repeticiones para cada dilución.

- 1) Usar 0,5 ml de la dilución a diferentes concentraciones de las muestras.
- 2) 2,5 ml folin
- 3) 2 ml  $Na_2CO_3$

Se dejó reaccionar en oscuridad durante 60 min, posteriormente se realizó la lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro a 740 nm de longitud de onda.



#### 4.5.4. Determinación de la actividad antioxidante

##### 1. Actividad antioxidante mediante método DPPH

De acuerdo a la metodología de (DÍAZ, ORMAZA Y ROJANO 2018), con modificaciones, el cual se desarrolló usando el porcentaje de inhibición, para la determinación de la actividad antioxidante se realizó de la siguiente manera.

##### a) Preparación de la curva patrón Trolox

Se pesó 20 mg de trolox y se aforo en una fiola de 100 ml con metanol al 80%, haciendo uso de una cucharilla pequeña.

A partir de la concentración de 200 mg/L se diluyo a diferentes concentraciones con siguiente ecuación de cálculo de volúmenes y concentraciones en disoluciones.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$
$$250 * 5 = C_2 * 10$$
$$C_2 = 100$$

Se retiraron 5 ml de la solución anterior a un tubo luego añadir 5 ml de metanol al 80%, agitar hasta homogenizar por completo.

Terminando esta operación en presencia de poca luz se procedió a cubrir con el papel aluminio por completo y se llevó a refrigeración.

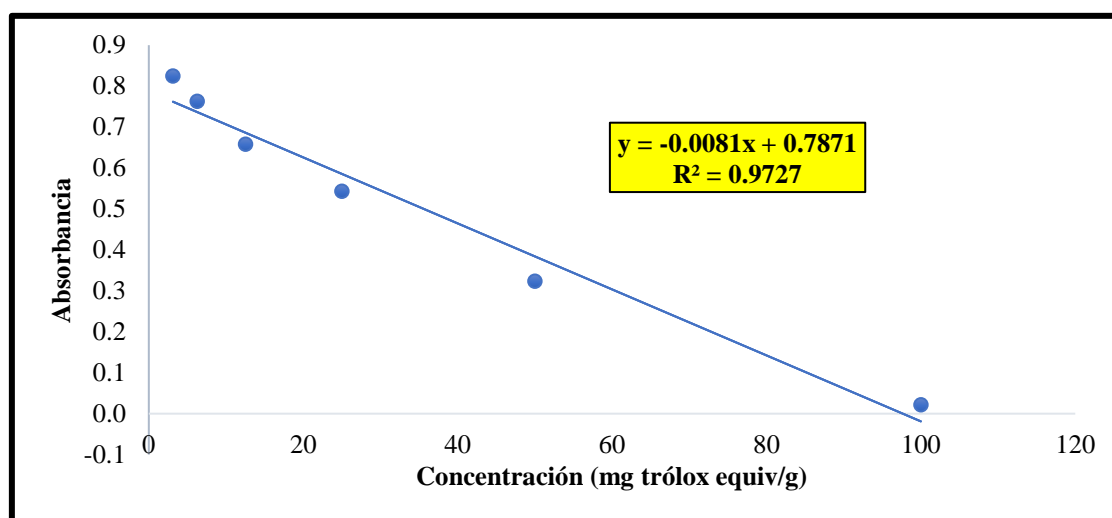
- b) **Preparación de la solución madre:** Para este proceso se realizó el siguiente procedimiento.
- c) **DPPH:** Se pesó 3,9 mg del radical DPPH y se diluyo en una fiola de 100 ml con metanol al 80%.
- d) **Actividad antioxidante:** Estas diluciones a diferentes concentraciones se sacaron 0,1ml de cada extracto para luego adicionar 2,9 ml de la solución de DPPH, se agito vigorosamente y se mantuvo en oscuridad durante 30 min, transcurrida el tiempo se llevó a observar las absorbancias en espectrofotómetro a una longitud de onda de 517 nm.



**Tabla 10** — Concentración Trolox y absorbancias DPPH

Concentración mg de Trolox/g mta.	Absorbancia
100	0.0217
50	0.3240
25	0.5437
12.5	0.6583
6.25	0.7630
3.125	0.8253

En la Tabla 10, se evidencia la curva de calibración elaborado en base a los reportes de las pruebas de laboratorio, donde se observaron absorbancias para 100, 50, 25, 12,5, 6,25 y 3,125 mg Trolox. /L.



**Figura 19** — Curva de calibración de la actividad antioxidante por DPPH

Curva de calibración obtenido a partir la ecuación lineal  $Y = -0,0081X + 0,7871$  (“Y = Absorbancia obtenida por espectrofotometría” y “X = Capacidad antioxidante  $\mu\text{g Eq}^*$  Trolox/L”).

De acuerdo al gráfico anterior, se evidencia que el coeficiente de determinación es igual a  $R^2 = 0,9727$ , esto indica que existe una alta correlación lineal entre las concentraciones Trolox mg/L y la absorbancia. Por lo tanto, la capacidad antioxidante determina en 97.27% la absorbancia obtenida por espectrofotometría.

## 2. Actividad antioxidante mediante método ABTS

De acuerdo a la metodología de Zapata, Cortes y Rojano (2013) y modificatorias, se compara el nivel de absorción con la curva de referencia obtenido con el Trolox.

**a) Preparación de la curva patrón Trolox**

Se pesó 20 mg de Trolox y se aforó en una fiola de 100 ml con metanol al 80% (200mg/L), haciendo uso de una cucharilla pequeña.

A partir de la concentración de 200 mg/L se diluyó a diferentes concentraciones con la siguiente ecuación de cálculo de volúmenes y concentraciones.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$
$$250 * 5 = C_2 * 10$$
$$C_2 = 100$$

Se retiró 5 ml de las diferentes concentraciones en un tubo luego para añadir 5 ml de metanol al 80%, y agitar hasta homogenizar por completo.

Preparación de la solución madre: Para este procedimiento se tomó el siguiente procedimiento.

**b) ABTS:** Se pesó 40,6 mg de ABTS (7,4 Mm) esta se diluyó en una fiola de 10 ml de agua destilada y esta se cubrió con papel aluminio.

**c) Persulfato de potasio:** Se pesó 7 mg (2,6 Mm) del mismo modo se diluyó en una fiola de 10 ml y se aforó con agua destilada.

Teniendo estos 2 reactivos ya preparados se procedió a mezclarlos de igual volumen en una fiola y esta inmediatamente se cubre con papel aluminio para luego dejar reaccionar en oscuridad por 16 horas, transcurridas las horas se llevó a observar en espectrofotometría a 734 nm y ajustar la absorbancia a  $1,1 \pm 0,02$  con metanol.

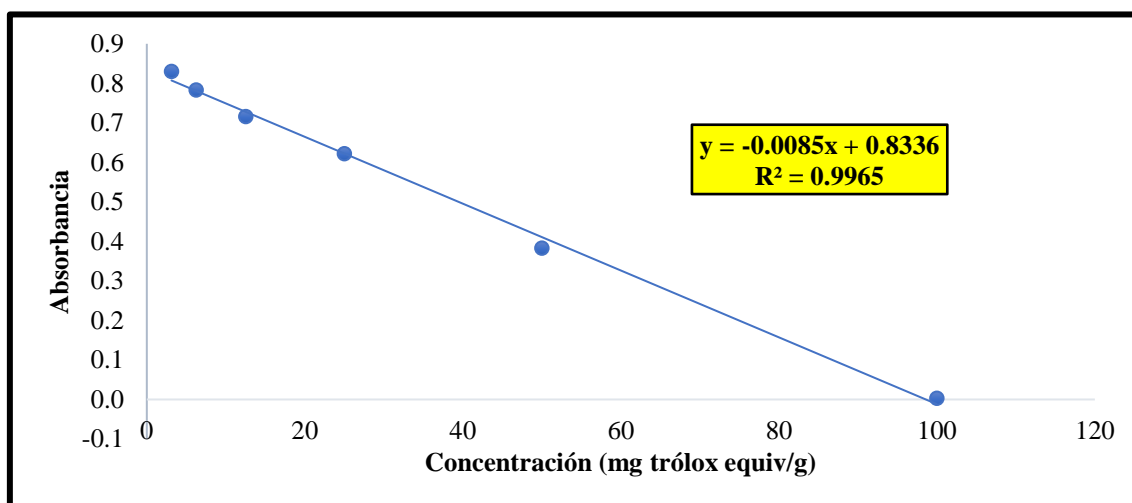
Para esto se cogió 5 ml de la mezcla que se dejó 16 horas en oscuridad para diluirlo con 150 ml de metanol al 80% y con este se ajusta a 1.1 de absorbancia en el espectrofotómetro.

Con este reactivo previamente ya dosificado se trabaja de la siguiente manera, se tomó 400 ul de trolox a diferentes concentraciones para luego añadir 5.7 ml de la mezcla que se trabajó en un tubo de ensayo y agitar vigorosamente hasta combinarlo y esta se deja de reaccionar por 1 hora en oscuridad para luego llevar al espectrofotómetro a 734 nm.



**Tabla 11** — Concentración Trolox y absorbancias ABTS

Concentración Trolox mg/L	Absorbancia
100	0.0030
50	0.3827
25	0.6220
12.5	0.7160
6.25	0.7833
3.125	0.8303

**Figura 20** — Curva patrón Trolox por ABTS

Curva de calibración obtenido a partir la ecuación lineal  $Y = -0,0085X + 0,8336$  (“Y = Absorbancia obtenida por espectrofotometría” y “X = Capacidad antioxidante  $\mu\text{g Eq}^*$  Trolox/L”).

En base a los resultados del gráfico anterior, se ha identificado que el coeficiente de determinación fue igual a  $R^2 = 0,9965$ . Lo que evidencia que las concentraciones Trolox mg/L determinan en 99,65% la absorbancia.

#### 4.5.5. Determinación de flavonoides

Según la metodología Zapata, Cortes y Rojano (2013) con modificaciones, el cual se compara con la curva patrón estándar de quercetina y los resultados son expresados en mg de Quercetina Equivalente / 100 g de PS.

Para la cuantificación de flavonoides primero se preparó los reactivos de la siguiente manera.

- a) **Solución de nitrito de sodio (5%):** Se pesaron 2,5 g de nitrito de sodio utilizando una balanza granataria, y luego se disolvió en agua destilada. La solución se transfirió a una fiola de 50 ml y se completó hasta el aforo.

- b) **Solución de cloruro de aluminio (10%):** Se pesaron 5 g de cloruro de aluminio en una balanza granataria. El cloruro se agregó gradualmente a un vaso precipitado con metanol al 80%, y se agitó vigorosamente con una varilla de vidrio hasta que se disolvió completamente. Después, se trasladó a una fiola de 50 ml y se completó el volumen con metanol hasta el aforo.
- c) **Solución de hidróxido de sodio 1 M:** Se pesaron 10 g de hidróxido de sodio en una balanza granataria y se disolvió en agua destilada en un vaso precipitado. La solución resultante se transfirió a una fiola de 250 ml y se ajustó el volumen con agua destilada hasta obtener una solución homogénea.
- d) **Solución madre y stock quercetina:** Se pesaron 20 mg de quercetina utilizando una balanza analítica y se disolvieron en metanol en una fiola de 50 ml hasta completar el aforo. La concentración final de esta solución fue de 400 ppm. A partir de esta dilución, se prepararon las concentraciones necesarias para los ensayos posteriores.

A partir de la concentración de 400 mg/L se diluyó a diferentes concentraciones con siguiente ecuación de cálculo de volúmenes y concentraciones en disoluciones.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$400 * 8 = C_2 * 10$$

$$C_2 = 320$$

De las diferentes concentraciones se retiraron 8 ml de la solución anterior a un tubo luego añadir 2 ml de metanol al 80%, agitar hasta homogenizar por completo.

Terminando esta operación en presencia de poca luz se procedió a cubrir con el papel aluminio por completo y se llevó a refrigeración.

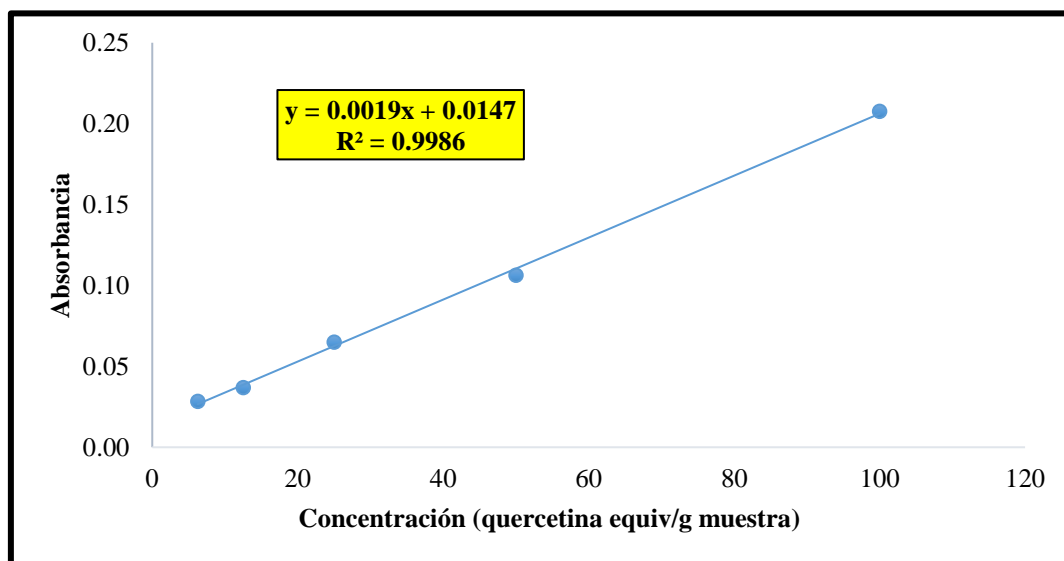
Preparación de la solución madre: Para este procedimiento se tomó el siguiente procedimiento.

Primero se toma 300 ul de Quercetina a diferentes concentraciones y se deposita en un tubo de ensayo para luego añadir 0.3 ml de  $\text{NaNO}_2$  al 5% al tubo de ensayo y agitar vigorosamente hasta combinarlo después de 3 minutos se agrega 0.3 ml de  $\text{AlCl}_3$  al 10% esta solución se mezcla y se deja de reaccionar por 6 min en oscuridad una vez transcurrida los 6

minutos, se agrega 2 ml de NaOH 1M esta solución inmediatamente se observa a 510 nm usando agua destilada como blanco.

**Tabla 12** — Concentración y absorbancias patrón quercetina

Concentración Quercetina equiv/g mta	Absorbancia
100	0.2077
50	0.1063
25	0.0650
12.5	0.0370
6.25	0.0283



**Figura 21** — Curva patrón de flavonoides

Curva patrón quercetina obtenido a partir la ecuación lineal  $Y = 0,0019X + 0,0147$  (“Y=Absorbancia obtenida por espectrofotometría” y “X = Flavonoides mg de Quercetina equiv/g mta”).

En base a la Figura 21 se observó que el coeficiente de determinación  $R^2 = 0,9986$  fue alto. Por lo que, existe un grado de explicación elevado para la absorbancia.

#### 4.6. Técnica e instrumentos

##### 4.6.1. Técnicas

La técnica utilizada en la investigación se caracteriza por ser estructurada y participativa en el análisis experimental. Esta metodología se aplica de manera sistemática para registrar el comportamiento del fenómeno en el instante en que ocurren los hechos. Su utilidad radica en la capacidad para describir de manera detallada los elementos concretos y objetivos del fenómeno bajo estudio, según Piza, Amaiquema y Beltrán (2019).



## 4.6.2. Instrumentos

### 3.1.1.6. Materiales

- ❖ 2 kg de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*).
- ❖ Tubos de ensayo con tapa de 20 ml.
- ❖ Probetas de 10 ml, 20 ml, 50 ml y 100 ml.
- ❖ Gradillas.
- ❖ Espátulas.
- ❖ Campanas de extracción.
- ❖ Papel filtro Whatman.
- ❖ Micropipetas de rango variable de capacidad 1000  $\mu$ l, marca Boeco®, modelo Monocanal.
- ❖ Vasos precipitados de 10 ml, 25 ml, 50 ml y 100 ml.
- ❖ Fiolas de capacidad 10 ml, 25 ml, 50 ml, 100 ml y 250 ml.
- ❖ Baguetas.
- ❖ Mortero y pilón.
- ❖ Pizetas.
- ❖ Matraz de 50 ml, 100 ml y 250 ml.
- ❖ Placas Petri.
- ❖ Papel aluminio.
- ❖ Parafilm.
- ❖ Tubos de ensayo Falcon cónicos de 15 ml y 50 ml.

### 3.1.1.7. Equipos de laboratorio

- ❖ Balanza analítica de sensibilidad marca Sartorius de 220 g a 0.0001 g.
- ❖ Estufa marca Memmert®.
- ❖ Refrigerador marca Climafrio® de acero inoxidable.
- ❖ Espectrofotómetro marca Thermo Scientific® modelo Genesys 10s UV-VIS.
- ❖ Centrífuga marca Orto Alresa® modelo Consul 22R.
- ❖ Campana extractora.
- ❖ Agitador magnético.

### 3.1.1.8. Reactivos y solvente

- ❖ Metanol absoluto al 80%.
- ❖ Agua destilada desionizada (H<sub>2</sub>O).
- ❖ Reagente Folin-Ciocalteu 2N, marca Sigma-Aldrich.



- ❖ Ácido Gálico (anhidrous) for synthesis Gallussaure marca Sigma-Aldrich.
- ❖ Carbonato de sodio en polvo.
- ❖ Persulfato de potasio, marca Pa Emsure.
- ❖ Nitrito de sodio, marca Pa Emsure.
- ❖ Cloruro de aluminio, marca Sigma-Aldrich.
- ❖ Hidróxido de sodio (NaOH) 1N, marca Pa Emsure.
- ❖ Quercetina  $\geq 95\%$  (HPLC), marca Sigma-Aldrich.
- ❖ DPPH, marca Sigma-Aldrich.
- ❖ ABTS, marca Sigma-Aldrich.
- ❖ Trolox, marca Sigma-Aldrich.

#### 4.7. Análisis estadístico

El trabajo de investigación emplea un diseño experimental completamente al azar (DCA), que será analizado mediante un análisis de varianza (ANOVA). Además, se realizará una comparación de las medias utilizando la prueba de Tukey para evaluar la variabilidad entre los tratamientos. Este diseño tiene como objetivo medir la influencia de los diferentes estados del grano de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*), crudo, germinado, tostado y coccionado sobre los compuestos bioactivos, específicamente el contenido de polifenoles totales, la actividad antioxidante y los flavonoides. Se llevarán a cabo tres réplicas para cada tratamiento.

El modelo estadístico utilizado es un modelo lineal que se expresa de la siguiente manera:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \dots\dots \text{Ec. 1}$$

Donde:

**Y<sub>ij</sub>**: Observación de la unidad experimental

**$\mu$** : Promedio de las medias

**$\tau_i$** : Influencia del i-ésimo tratamiento

**$\varepsilon_{ij}$** : Error experimental en las observaciones

Las hipótesis planteadas para esta investigación son las siguientes:

- **Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):**  $\mu_{T1} = \mu_{T2} = \mu_{T3} = \mu_{T4}$
- **Hipótesis alternativa (H<sub>a</sub>):**  $\mu_i \neq \mu_j$  para algún  $i \neq j$

Donde T1, T2, T3 y T4 representan los diferentes estados del grano (crudo, germinado, tostado y coccionado respectivamente).



El modelo estadístico utilizado establece un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$  (5%) y un nivel de confianza del 95%. Si el valor obtenido para la significancia es inferior a 0,05, se rechazará la hipótesis nula ( $H_0$ ); en caso contrario, si es mayor a 0,05, se aceptará la hipótesis nula. Para el análisis de los datos, se emplearán hojas de cálculo en Excel para organizar y registrar los datos iniciales. Luego, se utilizará el software estadístico InfoStat versión libre 2019 para realizar el análisis de varianza (ANOVA) y, basado en la prueba de homogeneidad, se llevará a cabo la prueba de Tukey. Este enfoque permitirá identificar si existen diferencias significativas entre los tratamientos aplicados a los granos de kiwicha en términos de su contenido de compuestos bioactivos y si esas diferencias son estadísticamente significativas en comparación con la media de cada tratamiento.



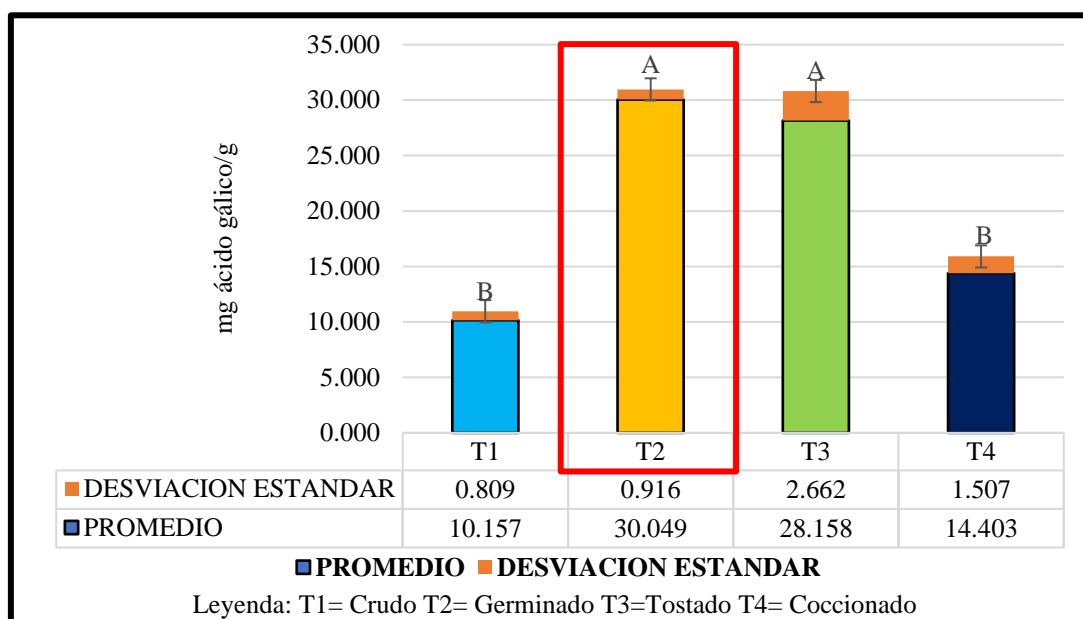
## CAPÍTULO V RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 5.1. Análisis de resultados

Los resultados del contenido de compuestos bioactivos se detallan a continuación:

#### 5.1.1. Polifenoles totales

Para la determinación del contenido de polifenoles totales se presentan los resultados en la Figura 22, expresados en mg de ácido gálico por gramo de muestra (mg AG/g).



**Figura 22** — Resultados de polifenoles totales por cuatro tratamientos

El tratamiento de los granos germinados presenta el mayor contenido de polifenoles con  $30.049 \pm 0.916$  mg AG/g, seguido por el tratamiento tostado con  $28.158 \pm 2.662$  mg AG/g. el tratamiento coccionado mostró un contenido de  $14.403 \pm 1.507$  mg AG/g, mientras que el tratamiento crudo presentó el menor contenido con  $10.157 \pm 0.809$  mg AG/g.

Para determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos se realizó el análisis de varianza (ANOVA) según se muestra en la Tabla 13:



**Tabla 13** — Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de polifenoles

Fuente de variación	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (gl)	Cuadrado medio (CM)	F	p-valor
Modelo	881.56	3	293.85	108.31	<0.0001
Tratamientos	881.56	3	293.85	108.31	<0.0001
Error	21.70	8	2.71		
Total	903.27	11			

De acuerdo con la Tabla 13 el ANOVA mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos ( $p < 0.0001$ ), lo que indica la influencia del método de procesamiento tiene un efecto significativo en el contenido de polifenoles totales de la muestra. Para determinar específicamente qué tratamientos difieren entre sí, se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ , como se muestra en la Tabla 14.

**Tabla 14** — Polifenoles totales (mg AG/g)

Tratamientos	Medias	n	Error estándar (E.E.)	
Germinado	30.05	3	0.95	A
Tostado	28.16	3	0.95	A
Coccionado	14.40	3	0.95	B
Crudo	10.16	3	0.95	B

*Medias con letra A y B común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

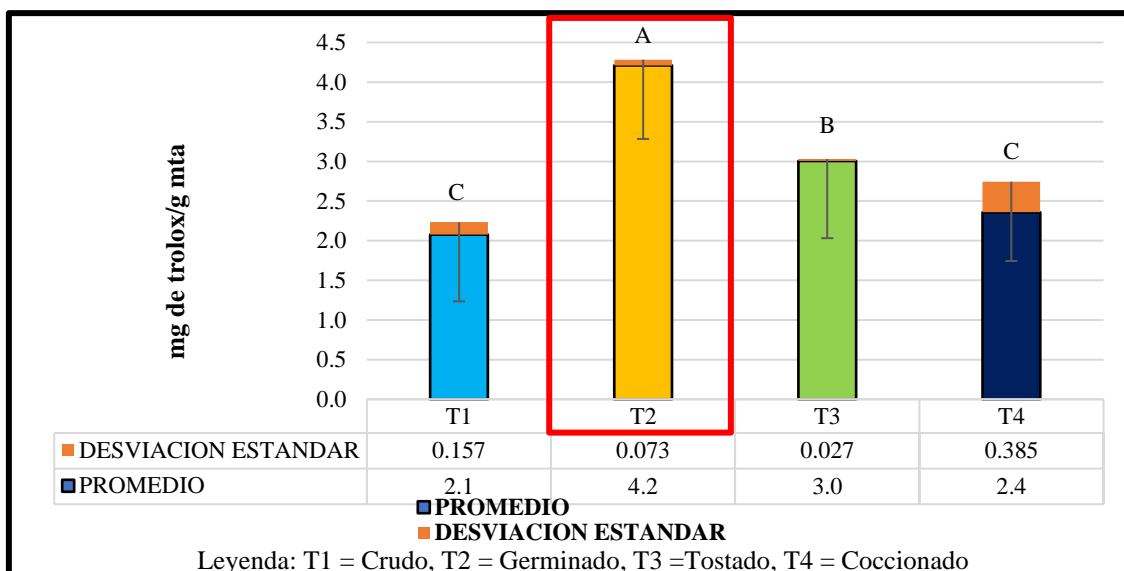
Los resultados de la prueba de Tukey indican que los tratamientos germinado y tostado integran el grupo de contenido de polifenoles totales significativamente mayor al no presentar diferencias significativas entre sí, contrariamente al grupo de los tratamientos coccionado y crudo que no difieren significativamente entre sí y muestran un contenido de polifenoles significativamente menor.

### 5.1.2. Actividad antioxidante

Para determinar la actividad antioxidante se realizó mediante dos métodos por DPPH y ABTS

#### 5.1.2.1. Actividad antioxidante por DPPH

Para determinar la actividad antioxidante por el método DPPH se evaluó la influencia de los granos crudos, germinados, tostados y coccionados de kiwicha negra, expresado en mg de Trolox equivalente por gramo de muestra (mg Trolox/g. mta), como se muestra en la Figura 23.



**Figura 23** — Resultados de la actividad antioxidante por DPPH

Para determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos se realizó el análisis de varianza (ANOVA) como se muestra en la Tabla 15.

**Tabla 15** — Análisis de varianza de la actividad antioxidante DPPH.

Fuente de variación	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (gl)	Cuadrado medio (CM)	F	p-valor
Modelo	8.09	3	2.70	60.14	<0.0001
Tratamientos	8.09	3	2.70	60.14	<0.0001
Error	0.36	8	0.04		
Total	8.45	11			

Los resultados del análisis de varianza, demuestran que existen diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0.0001$ ). Esto indica que el tipo de tratamiento de los granos de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) tiene un efecto significativo en la actividad antioxidante, Para determinar específicamente qué tratamientos difieren entre sí, se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

**Tabla 16** — Actividad antioxidante DPPH (mg de Trolox equiv/g mta)

Tratamientos	Medias	n	Error estándar (E.E.)	
Germinado	4.21	3	0.12	A
Tostado	3.01	3	0.12	B
Coccionado	2.36	3	0.12	C
Crudo	2.08	3	0.12	C

Medias con la misma letra A y B común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )



De acuerdo a la prueba de Tukey en la Tabla 16, se evidencian tres grupos que presentan diferencias significativas entre sí ( $p < 0.05$ ): Donde la influencia del tratamiento de germinado muestra la mayor actividad antioxidante con  $4.21 \pm 0.12$  mg de Trolox equiv/g mta, seguido por el tratamiento tostado con actividad antioxidante intermedia con  $3.01 \pm 0.12$  mg de Trolox equiv/g mta y los tratamientos coccionado y crudo no difieren significativamente entre sí, mostrando los valores más bajos.

### 5.1.2.2. Actividad antioxidante por ABTS

Para determinar la actividad antioxidante por el método ABTS se realizó la comparación de promedios y desviación estándar según se muestra en la Figura 24, expresadas en mg de Trolox equivalente por gramo de muestra seca (mg Trolox/g mta).

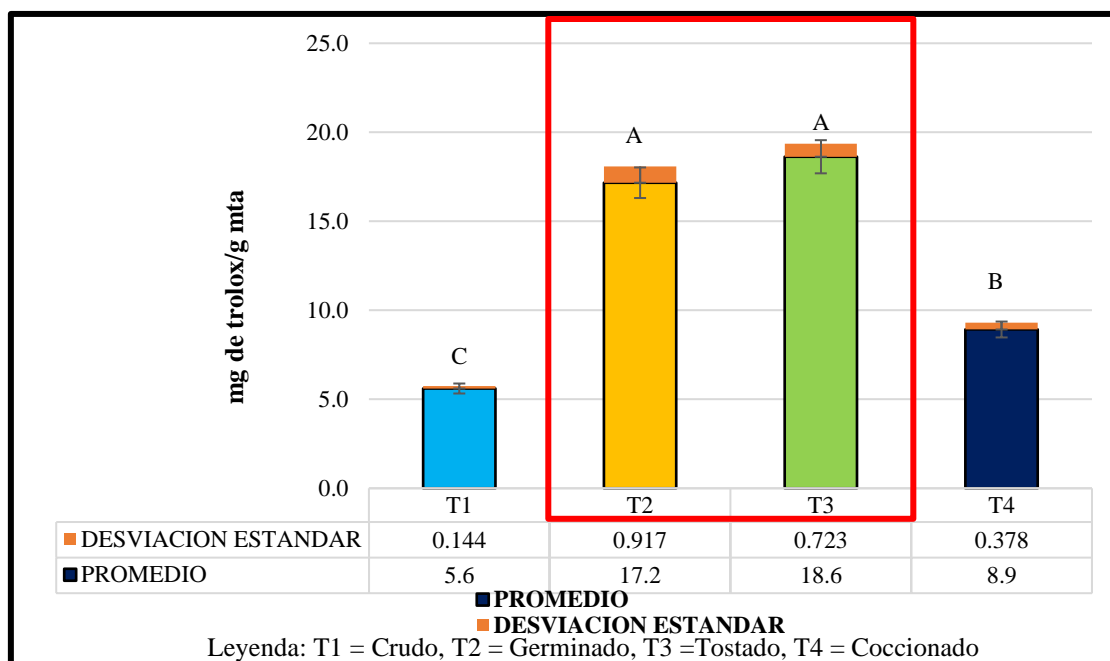


Figura 24 — Resultado de la actividad antioxidante por ABTS

En la Figura 24 se muestra los resultados respecto a la influencia de los tratamientos, para los granos crudos igual a  $5.61 \pm 0.36$  mg de Trolox equiv/g mta. con actividad antioxidante muy por debajo a los demás tratamientos, coccionado con  $8.92 \pm 0.36$  mg de Trolox equiv/g mta, germinado con  $17.17 \pm 0.36$  mg de Trolox equiv/g mta y tostado con  $18.63 \pm 0.36$  mg de Trolox equiv/g mta para determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos se realizó el análisis de varianza (ANOVA), según se muestra en la Tabla 17.



**Tabla 17** — Análisis de varianza de la actividad antioxidante ABTS.

Fuente de variación	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (gl)	Cuadrado medio (CM)	F	p-valor
Modelo	358.80	3	119.60	313.06	<0.0001
Tratamientos	358.80	3	119.60	313.06	<0.0001
Error	3.06	8	0.38		
Total	361.86	11			

De la Tabla 17, se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0.0001$ ). Esto indica que el tipo de tratamiento de los granos de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) tienen un efecto significativo en la actividad antioxidante, Para determinar específicamente qué tratamientos difieren entre sí, se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ .

**Tabla 18** — Actividad antioxidante ABTS (mg de Trolox equiv/g mta)

Tratamientos	Medias	n	Error estándar (E.E.)	
Tostado	18.63	3	0.36	A
Germinado	17.17	3	0.36	A
Coccionado	8.92	3	0.36	B
Crudo	5.61	3	0.36	C

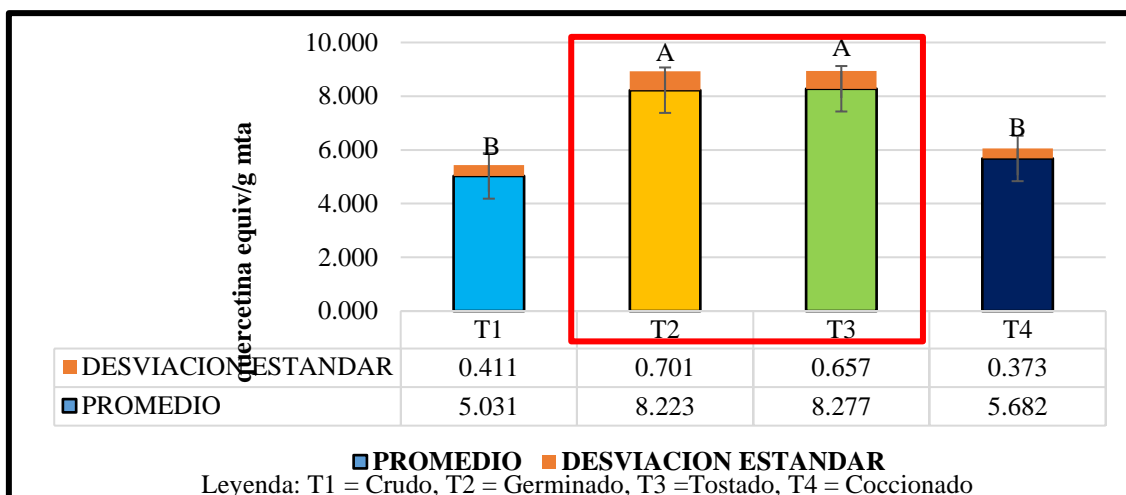
Medias con la letra A y B común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

La Tabla 18, se evidencian tres grupos que presentan diferencias significativas entre sí ( $p < 0.05$ ) donde los tratamientos tostado y germinado muestran la mayor actividad antioxidante, sin diferencias significativas entre ellos.

Estos resultados sugieren que los procesos de tostado y germinación influyen en el incremento de la actividad antioxidante de las semillas.

### 5.1.3. Flavonoides

Para la determinación de los flavonoides evaluó la influencia de los granos de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) crudos, germinados, tostado y coccionados los análisis se realizaron por triplicado para cada tratamiento, y los resultados se expresaron en mg de quercetina equivalente por gramo de muestra (mg quercetina equiv/g mta).



**Figura 25** — Resultado de flavonoides

En la Figura 25 se muestra el contenido de flavonoides de los cuatro tratamientos, expresados en mg de quercetina/g muestra siendo el tratamiento de los granos crudos y coccionados se encuentran por debajo de los tratamientos de granos germinados y tostados. La Tabla 19 muestra el análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas entre tratamientos.

**Tabla 19** — Análisis de varianza del contenido de flavonoides.

Fuente de variación	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (gl)	Cuadrado medio (CM)	F	p-valor
Modelo	25.76	3	8.59	27.92	<0.0001
Tratamientos	25.76	3	8.59	27.92	<0.0001
Error	2.46	8	0.31		
Total	28.23	11			

De acuerdo a la Tabla 19, se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0.0001$ ). Esto indica la influencia de los granos de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) tiene una influencia significativa en el contenido de flavonoides. Para determinar específicamente las diferencias significativas entre los tratamientos se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ .

**Tabla 20** — Contenido de flavonoides (mg de quercetina/g muestra)

Tratamientos	Medias	n	Error estándar (E.E.)	
Tostado	8.28	3	0.32	A
Germinado	8.22	3	0.32	A
Coccionado	5.68	3	0.32	B
Crudo	5.03	3	0.32	B

Medias con la misma letra A y B común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

En la Tabla 20, se evidencian dos grupos que presentan diferencias significativas entre sí ( $p < 0.05$ ) donde los tratamientos tostado y germinado

muestran el mayor contenido de flavonoides, sin diferencias significativas entre ellos ( $8.28 \pm 0.32$  y  $8.22 \pm 0.32$  mg de quercetina/g muestra, respectivamente), mientras que los tratamientos coccionado y crudo presentan un contenido de flavonoides significativamente menor, sin diferencias entre ellos ( $5.68 \pm 0.32$  y  $5.03 \pm 0.32$  mg de quercetina/g muestra, respectivamente).

## 5.2. Contrastación de hipótesis

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey confirmaron diferencias significativas en el contenido de polifenoles totales, actividad antioxidante (métodos DPPH y ABTS) y flavonoides entre los diferentes tratamientos aplicados a los granos de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) ( $p < 0.05$ ).

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** No existen diferencias significativas en los compuestos bioactivos (polifenoles, actividad antioxidante y flavonoides) entre los tratamientos crudo, germinado, tostado y coccionado.
- **Hipótesis alternativa ( $H_a$ ):** Al menos uno de los tratamientos genera diferencias significativas en los compuestos bioactivos de los granos.

Dado que en todos los casos el valor de significancia es menor a 0.05, se **rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ )** y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ). Esto demuestra que el tipo de procesamiento tiene una influencia significativa en los compuestos bioactivos de la kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*).

## 5.3. Discusión

### 5.3.1. Polifenoles totales

Los resultados obtenidos en esta investigación indican que los tratamientos de germinado y tostado no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí ( $p > 0.05$ ), lo que sugiere que ambos métodos son eficaces para incrementar el contenido de polifenoles en los granos de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*). Sin embargo, los tratamientos coccionado y crudo mostraron valores significativamente menores ( $p < 0.05$ ) en comparación con los tratamientos mencionados previamente. Además, el tratamiento coccionado presentó un contenido de polifenoles superior al crudo ( $p < 0.05$ ), lo que sugiere que la aplicación de calor favorece la retención parcial de estos compuestos.

Estos resultados son consistentes con estudios previos. Muyonga et al. (2020) reportaron un contenido de polifenoles totales de  $2.8 \pm 0.2$  mg GAE/g

PS en *A. hybridus* en grano blanco, valores inferiores a los obtenidos en esta investigación. Asimismo, López-García et al. (2023) encontraron  $3.5 \pm 0.2$  mg GAE/g PS en granos crudos de *A. hybridus* en granos blanco, lo que refuerza la hipótesis de que los procesos de transformación pueden mejorar significativamente el contenido de polifenoles.

El aumento de polifenoles en el germinado es consistente con lo reportado por Paucar Menacho et al. (2021) en *A. caudatus*, donde se observó un incremento del 62%, pasando de 39.84 mg AGE/100 g a 64.53 mg AGE/100 g en peso seco. Este fenómeno puede atribuirse a la activación enzimática de la fenilalanina amonio liasa (PAL), cuya actividad puede incrementarse hasta 2.5 veces durante la germinación, promoviendo la síntesis de nuevos compuestos fenólicos (Sing et al., 2017).

En cuanto al tostado, se observó que este tratamiento también presentó un contenido elevado de polifenoles, lo que podría explicarse por la formación de nuevos compuestos fenólicos debido a las reacciones de Maillard (Sharma et al., 2015). De manera similar, Aguilar Felices et al. (2022) reportaron un aumento del 47.3% en polifenoles después del tostado en *A. caudatus*, lo que respalda los hallazgos de la presente investigación.

Por otro lado, la degradación térmica de compuestos complejos facilita la liberación de polifenoles ligados, como han señalado Zhang et al. (2019). Además, la inactivación de enzimas oxidativas, como el polifenol oxidasa, previene la degradación de estos compuestos (Liang y Were, 2018). Es importante destacar que la magnitud del incremento de polifenoles depende de las condiciones específicas del proceso térmico. En este sentido, Meftah et al. (2021) observaron que el tostado de semillas de lino a diferentes temperaturas generó incrementos de entre 52% y 73% en el contenido de polifenoles.

Estos hallazgos resaltan el potencial del germinado y el tostado como estrategias efectivas para mejorar el perfil de polifenoles en la kiwicha negra, aumentando así su valor nutricional y funcional.

### **5.3.2. Actividad antioxidante**

#### **5.3.2.1. Método DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazilo)**

Los resultados muestran que el germinado presentó la mayor actividad antioxidante, siendo significativamente superior a los demás tratamientos ( $p < 0.05$ ). El tostado mostró una actividad



intermedia, pero significativamente mayor que los tratamientos coccionado y crudo ( $p < 0.05$ ). Este comportamiento coincide con lo reportado por Paucar Menacho et al. (2021), quienes encontraron una correlación positiva ( $r = 0.89$ ) entre el incremento de polifenoles y la actividad antioxidante en *A. caudatus*.

El aumento en la actividad antioxidante del germinado puede estar relacionado con la liberación de polifenoles ligados, como lo reportaron Tian et al. (2019) en cebada germinada, donde se observó un incremento del 35% en fenoles libres. De manera similar, Carciochi et al. (2016) documentaron un incremento del 101% en quinoa germinada, reforzando la relación entre el germinado y el aumento de la actividad antioxidante.

En cuanto al tostado, los compuestos generados por las reacciones de Maillard también pueden contribuir a la actividad antioxidante como señalan Sharma et al., (2015) y Zhang et al., (2019).

#### **5.3.2.2. Método ABTS (2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónica)**

De acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación el tratamiento de tostado resultó en la mayor actividad antioxidante, seguido muy de cerca por el tratamiento de germinado. La diferencia entre estos dos tratamientos es estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ), aunque la magnitud de esta diferencia es relativamente pequeña.

Tanto el tostado como el germinado mostraron una actividad antioxidante significativamente mayor que los tratamientos de coccionado y crudo ( $p < 0.05$ ).

Aunque no se proporcionaron los valores exactos para los tratamientos coccionado y crudo, se menciona que estos mostraron valores significativamente menores. Esto sugiere que hay una diferencia estadísticamente significativa entre estos dos tratamientos y los tratamientos de tostado y germinado ( $p < 0.05$ ).

Estas diferencias significativas indican que los tratamientos de tostado y germinado son los más efectivos para aumentar la actividad antioxidante en los granos de kiwicha negra, medida por el método

ABTS. Los tratamientos de coccionado y crudo resultan en una actividad antioxidante significativamente menor.

Es importante notar que, aunque la tendencia general es similar a la observada con el método DPPH, hay una diferencia en el orden de efectividad entre el tostado y el germinado. Esto sugiere que los diferentes métodos de medición de la actividad antioxidante pueden ser sensibles a diferentes compuestos o mecanismos antioxidantes presentes en los granos de kiwicha negra.

Estos resultados son consistentes con los reportados por Repo-Carrasco-Valencia et al. (2021) para *A. Caudatus*, donde también se observó una mayor actividad antioxidante en los granos procesados en comparación con los crudos. En su estudio, los investigadores encontraron un incremento significativo en la capacidad antioxidante, medida por el método ABTS, pasando de 39.3  $\mu\text{mol TE/g}$  en granos crudos a 52.8  $\mu\text{mol TE/g}$  en granos tostados, lo que representa un aumento del 34.4%.

Este aumento en la actividad antioxidante puede atribuirse a varios factores. El proceso térmico puede provocar la liberación de compuestos fenólicos ligados, como observaron chen et al. (2018) en quinoa, con un incremento del 40% en flavonoides libres tras el tostado. Además, la formación de productos de la reacción de Maillard durante el tostado puede contribuir a la capacidad antioxidante total, como sugieren Sharma et al. (2015) en su estudio con trigo.

Es importante señalar que la magnitud del aumento en la actividad antioxidante puede variar según las condiciones de procesamiento. Por ejemplo, Murakami et al. (2019) reportaron incrementos de entre 20% y 60% en la capacidad antioxidante de diferentes variedades de amaranto sometidas a distintos tratamientos térmicos.

La diferencia en los valores absolutos entre los métodos DPPH y ABTS puede atribuirse a la diferente sensibilidad de estos métodos a distintos tipos de compuestos antioxidantes Sarker et al, (2023). En su estudio comparativo, Sarker et al. (2023), observaron que el método ABTS generalmente arrojaba valores más altos de capacidad antioxidante en comparación con el método DPPH para las mismas

muestras de cereales. Por ejemplo, para el arroz integral, reportaron valores de 45.6  $\mu\text{mol TE/g}$  con ABTS frente a 32.1  $\mu\text{mol TE/g}$  con DPPH, una diferencia del 42.1%.

Esta discrepancia se debe principalmente a las características químicas de los radicales utilizados en cada método. El ABTS es más reactivo y menos selectivo que el DPPH, lo que le permite interactuar con una gama más amplia de compuestos antioxidantes. Floegel et al. (2011) encontraron que el ABTS era más sensible a los compuestos hidrofílicos, detectando un 20-30% más de actividad en frutas y verduras ricas en vitamina C.

Además, el pH del medio de reacción juega un papel crucial. El ensayo ABTS se realiza a pH neutro, mientras que el DPPH requiere un medio alcohólico, lo que puede afectar la ionización y, por ende, la reactividad de ciertos antioxidantes. Thaipong et al. (2006) reportaron que esta diferencia de pH podía resultar en variaciones de hasta un 50% en la capacidad antioxidante medida en extractos de guayaba.

Es importante destacar que, a pesar de estas diferencias, ambos métodos suelen mostrar tendencias similares al comparar muestras. Por ejemplo, Repo-Carrasco-Valencia et al. (2021) observaron un aumento consistente en la actividad antioxidante de *A. Caudatus* tras el procesamiento, independientemente del método utilizado.

### 5.3.3. Flavonoides

De acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación el tratamiento de tostado resultó en el mayor contenido de flavonoides, seguido muy de cerca por el tratamiento de germinado. La diferencia entre estos dos tratamientos no es estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ), lo que sugiere que ambos métodos son igualmente efectivos para aumentar el contenido de flavonoides.

Tanto el tostado como el germinado mostraron un contenido de flavonoides significativamente mayor que los tratamientos de cocción y crudo ( $p < 0.05$ ).

Aunque no se proporcionaron los valores exactos para los tratamientos cocción y crudo, se menciona que estos mostraron valores significativamente menores. Esto indica que hay una diferencia



estadísticamente significativa entre estos dos tratamientos y los tratamientos de tostado y germinado ( $p < 0.05$ ).

Es importante notar que esta tendencia es consistente con los resultados observados para polifenoles totales y actividad antioxidante, lo que sugiere una fuerte correlación entre estos parámetros. Los flavonoides, como subgrupo de los polifenoles, contribuyen significativamente a la actividad antioxidante total de los granos de kiwicha negra.

Estos resultados son considerablemente más altos que los reportados por Zambrano-Moreno et al. (2024) para granos crudos de *A. hybridus* ( $1.2 \pm 0.1$  mg QE/g PS). Esta diferencia podría atribuirse a factores genéticos, ambientales o metodológicos.

El aumento en el contenido de flavonoides tras la germinación y el tostado concuerda con lo observado por Aguilar-Felices et al. (2022) en *A. Caudatus*, aunque en nuestro estudio, el tostado parece ser tan efectivo como la germinación para aumentar el contenido de flavonoides. Específicamente, se observó un incremento del 45% en el contenido de flavonoides después de la germinación y un 42% tras el tostado, en comparación con los granos crudos.

Por lo que se puede decir que esta investigación demuestra que los tratamientos de germinación y tostado son efectivos para aumentar el contenido de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en granos de kiwicha negra (*A. hybridus*).

Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para el procesamiento y consumo de este grano, sugiriendo que estos métodos de procesamiento podrían utilizarse para mejorar el perfil nutricional y funcional de los productos derivados de la kiwicha negra. Por ejemplo, la incorporación de granos germinados o tostados en productos alimenticios podría aumentar su valor nutracéutico en hasta un 40%, ofreciendo beneficios potenciales para la salud del consumidor.

Así mismo el análisis del contenido de flavonoides reveló patrones interesantes que complementan los hallazgos sobre polifenoles totales y actividad antioxidante:

- El tostado produjo el mayor aumento en el contenido de flavonoides (64.52%), seguido de cerca por la germinación (63.45%). Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Repo-Carrasco-

Valencia et al. (2010), quienes observaron un aumento en el contenido de flavonoides en kiwicha tostada. El aumento durante el tostado podría deberse a la liberación de flavonoides unidos a la matriz del grano por efecto del calor Muyonga (2014)

- El aumento similar en el contenido de flavonoides durante la germinación podría atribuirse a la activación de enzimas que sintetizan estos compuestos, como lo sugieren Perales Sánchez et al. (2014). La chalcona sintasa y la chalcona isomerasa, enzimas clave en la biosíntesis de flavonoides, se ha demostrado que aumentan su actividad durante la germinación en varios tipos de semillas según Świeca, (2014)

La germinación es un proceso complejo que involucra numerosos cambios bioquímicos en la semilla. Durante este proceso, se activan varias rutas metabólicas, incluyendo la biosíntesis de flavonoides. La chalcona sintasa (CHS) y la chalcona isomerasa (CHI) son enzimas clave en esta ruta:

- La CHS cataliza el primer paso comprometido en la biosíntesis de flavonoides, formando la chalcona a partir de p-cumaroil-CoA y malonil-CoA.
- La CHI cataliza la isomerización de la chalcona a flavanona, que es el precursor de varios tipos de flavonoides.

El aumento de la actividad de estas enzimas durante la germinación puede llevar a una mayor producción de flavonoides. Además, otros factores como el estrés oxidativo generado durante la germinación pueden estimular la producción de flavonoides como mecanismo de defensa. Paucar-Menacho, (2021)

- La cocción tuvo el menor efecto en el contenido de flavonoides (12.94% de aumento), lo que podría explicarse por la degradación térmica de algunos flavonoides y/o su lixiviación en el agua de cocción según Xu, (2008). Sin embargo, el ligero aumento observado sugiere que algunos flavonoides podrían haberse vuelto más extractables debido al tratamiento térmico, compensando parcialmente las pérdidas por degradación y lixiviación.

## CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

De acuerdo a los objetivos de la investigación y en función a los resultados se concluye que:

- Para el contenido de polifenoles totales se concluye que el proceso de germinado y tostado son los tratamientos más efectivos para aumentar el contenido de polifenoles totales en la kiwicha negra, con incrementos del 195.85% y 177.23% respectivamente, en comparación con el grano crudo, También se puede concluir que en el proceso de cocción también aumenta el contenido de polifenoles totales, pero en menor medida (41.80% de incremento).
- En cuanto a la Actividad antioxidante los resultados varían según el método de medición utilizado (DPPH o ABTS)., En el ensayo DPPH, se concluye que el germinado produce el mayor aumento en la actividad antioxidante (102.60%), seguida por el tostado (44.61%) y el coccionado (13.52%), mientras que en el ensayo ABTS, el tostado resulta en el mayor aumento de la actividad antioxidante (232.25%), seguido de cerca por el germinado (206.21%). Por otro lado, el proceso de coccionado se muestra con el menor efecto en la actividad antioxidante en ambos ensayos tanto en DPPH y ABTS.
- Para el Contenido de flavonoides se concluye que el tostado y germinado son los tratamientos más efectivos para aumentar el contenido de flavonoides, con incrementos del 64.52% y 63.45% respectivamente. Así mismo no hay diferencia estadísticamente significativa entre los efectos del tostado y la germinación en el contenido de flavonoides, en cuanto a la cocción tiene un efecto menor en el contenido de flavonoides (12.94% de incremento).

Como conclusión general, la presente investigación demuestra que los métodos de procesamiento germinación y tostado son métodos efectivos para mejorar el perfil nutracéutico de la kiwicha negra, aumentando significativamente su contenido de compuestos bioactivos y su actividad antioxidante. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para el desarrollo de alimentos funcionales a base de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) y para la optimización de sus beneficios para la salud.

## 6.2. Recomendaciones

- De acuerdo a los resultados obtenidos y el análisis de la literatura existente, se recomienda a los investigadores futuros profundizar el estudio de la kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) sometida a diferentes tratamientos (germinación, tostado y cocción), enfocándose en la optimización de estos procesos para maximizar el contenido de polifenoles totales, flavonoides y la actividad antioxidante. Esta sugerencia se fundamenta en la necesidad de establecer parámetros específicos para cada tratamiento a nivel industrial. Ampliar la investigación en estas áreas contribuirá a mejorar la aplicación agroindustrial de la kiwicha negra y a llenar posibles vacíos de información sobre su procesamiento óptimo.
- Se recomienda a los responsables de los laboratorios de la universidad adquirir equipos de cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) y espectrometría de masas, ya que son necesarios para realizar análisis más detallados de los compuestos fenólicos y flavonoides específicos presentes en la kiwicha negra antes y después de los diferentes tratamientos. Esto permitirá identificar con precisión qué compuestos particulares son responsables de los aumentos observados en la actividad antioxidante.
- Se recomienda a los futuros investigadores realizar estudios de estabilidad de los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en los productos procesados de kiwicha negra durante el almacenamiento. Asimismo, se sugiere explorar el desarrollo de nuevos productos alimenticios agroindustriales que incorporen kiwicha negra germinada o tostada, realizando evaluaciones sensoriales para asegurar su aceptabilidad. Además, se recomienda investigar la kiwicha negra cultivada en diferentes altitudes y regiones del Perú, para determinar cómo las condiciones de crecimiento afectan su perfil nutracéutico y su respuesta a los diferentes tratamientos.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADES, Asociación Especializada para el Desarrollo Sostenible. 2015.** *Manual de producción de kiwicha orgánica. Manual de la Asociación Especializada para el Desarrollo Sostenible.* Arequipa- Perú : s.n., 2015. 1-39.
- ALAM MD. N., BRISTI N.J., RAFIQUZZAMAN MD. 2012.** *Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity.* s.l. : Saudi Pharmaceutical Journal; 21:143-152, 2012.
- ALVAREZ-JUBETE, L., WIJNGAARD, H., ARENDT, E. K., & GALLAGHER, E. 2010.** *Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking.* s.l. : Food Chemistry, 2010. 119(2), 770-778.
- ANDERSEN Q.M., MARKHAN K.R. 2006.** *Flavonoids-chemistry, biochemistry and applications.* s.l. : Tailor and Francis Group, Boca raton., 2006.
- APAK, R., GORINSTEIN, SH., BÖHM, V., SCHAICH, K., ÖZYÜREK, M., Y GÜÇLÜ, K. 2013.** *Methods of measurement and evaluation of natural antioxidant capacity/activity.* s.l. : Pure Appl.Chem., Vol. 85, No. 5, pp. 957-998., 2013. doi:org/10.1351/PAC-REP-12-07-15.
- BARBA DE LA ROSA, AP, SILVA, SÁNCHEZ C, GONZÁLEZ, DE MEJIA E. 2007.** *Amaranth: An Ancient Crop for Modern Technology. In: Hispanic Foods: Chemistry and Flavor.* Washington DC. 103-116 : Tunick M.H. González De Mejia E. Eds. Publisher: American Chemical Society, 2007.
- BARCELÓ, J., GREGORIO, N. y GARCÍA, B. SÁNCHEZ, R. 2001.** *Fisiología vegetal.* s.l. : Madrid, España: Editorial Pirámide., 2001.
- BARRERA, G.N., BASSI, E., REYES, R.J., LEÓN, A.E., Y RIBOTTA, P.D. 2012.** *Efectos de diferentes fracciones de harinas de trigo pan obtenidas con molino industrial sobre la calidad de galletitas dulces.* s.l. : Agriscientia, 29(2), 69-79., 2012. . Recuperado de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1668-298X2012000200002&lng=es&tlng=es.t](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-298X2012000200002&lng=es&tlng=es.t).



**Berton, C., et al. 2017.** "Impact of cooking on the flavonoid content in vegetables and fruits". s.l. : Journal of Food Science, 82(8), 1981-1989., 2017.

**BEWLEY, DEREK J., BRADFORD, KENT J. y HILHORST, H.W.M., NONOGAKI, H. 2013.** *Physiology of Deveopment, Germination and Dormancy.* Londres : Springer, 2013.

—. **2013.** *Seeds: Physiology of Deveopment, Germination and Dormancy, 3rd editio. ed.* Springer, londres. 2013.

**BONI., NOORI S. AL-WAILI AND NADER S. 2003.** *Natural Honey Lowers Plasma Prostaglandin Concentrations in Normal Individuals.* s.l. : Journal of Medicinal Food. July 2003, 6(2): 129-133., 2003. 10.1089/109662003322233530..

**BOTERO, A. 2011.** *Los germinados como alimento excepcional y medicina natural.* Bogotá, Colombia. : 1a ed., 2011.

**BRENNER, D. M., BALTENSBERGER, D. D., KULAKOW, P. A., LEHMANN, J. W., (Vol. 19). 2000.** *Genetic resource and .* New York: Plant Breeding Review. : s.n., 2000.

**CARPIO, M.S. 2009.** *Estudio de factibilidad técnica para la producción de harina de amaranto (Amaranthus spp.).* Universidad de El Salvador. : s.n., 2009.

**ÇENGEL, Y. A., & BOLES, M. A. 2015.** *Thermodynamics: An Engineering Approach.* McGraw-Hill Education. 2015.

**CHAMORRO, R. A. M. 2018.** *Efecto del proceso de germinación de tres variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd) en el contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante (Tesis de maestría).* Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. : Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú., 2018.

**CHRISTIANSEN, K. 2012.** *Manual para la Molienda de Sorgo o Maicillo, Usando Molinos CTI de Discos.* Lima - Perú : INTSORMIL Scientific Publications. 16. Recuperado de <http://digitalcommons.unl.edu/intsormilpubs/16>, 2012.

**CODEX, ALIMENTARIUS. 2016.** *Standard for Quinoa CXS 333-2019. Food and Agriculture Organization of the United Nations.* 2016.



**CONFORTI, F., y otros. 2005.** *In Vitro Antioxidant Effect and Inhibition of  $\alpha$ -Amylase of Two Varieties of Amaranthus caudatus Seeds.* Japan : Biol. Pharm. Bull. Pharmaceutical Society of Japan., 2005.

**CRANK, J. 1975.** *The Mathematics of Diffusion.* Oxford University Press. 1975.

**CROZIER A., JENSEN E., LEAN M., MCDONAL M. 1997.** *Cuantitative analyses of flavonoids by reversed-phase high performance liquid chromatography.* s.l. : Journal of chromatography; 761: 315-321., 1997.

**DAS, S. 2016.** *Amaranthus: A promising crop of future.* s.l. : Springer (ed.). s.l., Springer. 1-208 p., 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-10-1469-7>..

**DAVID CHOQUE QUISPE, CARLOS A. LIGARDA SAMANEZ, BETSY S. RAMOS PACHECO, SAIDA, LOURDES MAGALY ZAMALLOA-PUMA, AND LUISA. 2021.** *Compuestos Fenólicos, Capacidad Antioxidante y Contenido Proteico de Tres Variedades de Quinoa Germinada (Chenopodium quinoa Willd).* Andahuaylas, Perú : s.n., 2021.

**DE, O., DE, A., NATIVA, P., AQUICE, S., PATRICIA, D., PÁRRAGA, T., JATSUMI, S., PEÑAFIEL, E., CÉSAR, C. 2018.** *Obtencion de antocianinas de papa nativa "yawar Wayku" (solanum stenotomum) para la elaboracion de un colorante natural aplicable a alimentos.* Lima - Perú : s.n., 2018.

**DENG J., CHENG W., YANG G. 2011.** *A novel antioxidant activity index (AAU) for.* s.l. : Food Chemistry; 125: 1430–1435., 2011.

**Dimitrios, T., et al. 2012.** *"Effect of cooking methods on antioxidant properties of selected vegetables".* s.l. : Food Research International, 46(1), 45-52., 2012.

**DYKES, L., & ROONEY, L. W. 2006.** *Sorghum and millet phenols and antioxidants.* Mexico : Journal of Cereal Science, 44(3),236–251. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.06.007>, 2006.

**ECOLOGICO, PERÚ. 2009.** *Imágenes, Investigación y Elaboración: PERÚ ECOLÓGICO.*

[https://www.peruecologico.com.pe/flo\\_kiwichaamaranthuscaudatus\\_1.htm](https://www.peruecologico.com.pe/flo_kiwichaamaranthuscaudatus_1.htm). [En línea] 2009.



**EXPORTADORA, SIERRA. 2013.** *Perfil comercial: Kiwicha.* Perú : Consejo de Presidencia de Ministros, 2013. 1-39.

**FABIO, F., & PÁRRAGA, Y. 2017.** *Factores que influyen en el consumo de quinua en la ciudad de Guayaquil [Tesis de pregrado].* Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil : s.n., 2017.

**FRANKE. 1989.** *Nutzpflanzenkunde.* Thieme-Verlag, Stuttgart. 1989.

**GARCÍA E, FERNÁNDEZ I, FUENTES A. 2016.** *Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu.* 2016. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52056/Garcia%20Mart%C3%ADnez%20et%20al.pdf?sequence=1>].

**GARCÍA, J. A.. EN J. A. GARCÍA (ED.). 2018.** *Espectrofotometría: Absorción molecular en el ultravioleta y visible y Técnicas espectroscópicas en química analítica.* s.l. : (Vol. 1, pp. 95-156). Síntesis., 2018.

**HABASHI, F. 1999.** *Textbook of Hydrometallurgy. Métallurgie Extractive Québec.* 1999.

**HEIM K.E., TAGLIAFERRO A.R., BOBILYA D.J. 2002.** *Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships.* s.l. : The Journal of Nutritional Biochemistry; 13: 572–584., 2002.

**HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R. y MENDOZA, C.. 2018.** *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* Mexico : Mexico D.F: s.n. ISBN 978-1-4562-6096-5., 2018.

**HODGE, J.E. 1953.** *Dehydrated foods, chemistry of browning reactions in model systems.* s.l. : Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1953. vol. 1, no 15, p. 928-943..

**HUANG D., OU B., PRIOR R.L. 2005.** *The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays.* s.l. : Journal of Agricultural and Food Chemistry; 53: 1841–1856., 2005.

**HUSSAIN, T., TAN, B., YIN, Y., BLACHIER, F., TOSSOU, M. C. B., & RAHU, N. 2016.** *Oxidative Stress and Inflammation: What Polyphenols Can Do for Us? Oxidative*



*Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 7432797. <https://doi.o>. Mexico : s.n., 2016. 7432797. <https://doi.o>.

**IRVING, D., BETSCHAT, A., Y SAUNDERS, R. 1981.** *Morphological Studies on *Amaranthus cruentus**. s.l. : Journal of Food Science, 46, 1170-1174. doi: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.1981.tb03017.x>, 1981.

**JAYASENA, V., et al. 2013.** *Effects of cooking on the antioxidant properties of vegetables*. s.l. : Food Chemistry, 138(1), 13-19., 2013.

**KIM, H. J., HERATH, K. H. I. N. M., DINH, D. T. T., KIM, H.-S., JEON, Y.-J., KIM, H. J., & JEE, Y. 2021.** *Sargassum horneri ethanol extract containing polyphenols attenuates PM-induced oxidative stress via ROS scavenging and transition metal chelation*. Mexico : s.n., 2021.

**KLIMCZAK, M., MALECKA, M., PACHOLEK, B. 2002.** *Antioxidant activity of ethanolic extracts of amaranth seeds*. s.l. : Nahrung/Food. 46: 184–186., 2002.

**KTENIOUDAKI, A., ALVAREZ-JUBETE, L., Y GALLAGHER, E. 2013.** *A review of the process-induced changes in the phytochemical content of cereal grains: The breadmaking process*. s.l. : Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 55(5):611-9., 2013.

**KUMARAPPAN C.T., THIALAGAM E., MANDAL S. 2012.** *Antioxidant activity of polyphenolic extracts of *IChnocarpus frutescens**. s.l. : Saudi Journal of Biological Sciences; 19: 349-355., 2012.

**LÓPEZ MEJÍA, A., LÓPEZ MALO, A., PALOU, E. 2014.** *Antioxidant capacity of extracts from amaranth (*Amaranthus hypochondriacus L.*) seeds or leaves O*. s.l. : Industrial Crops and Products. 53: 55-59., 2014.

**LUIS, G. M., HÉRNANDEZ B, R. H., CABALLERO, V. P., LÓPEZ, N. G., ESPINOZA, V., 2018.** *Usos actuales y potenciales de Amaranto (*Amaranthus spp.*) (Vol. 3)*. España: Jurnal of Negative and no Positive Results : s.n., 2018.

**MARTINS, S.I.F.S., JONGEN, W.M.F. y VAN BOEKEL, M.A.J.S. 2000.** *A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling*. . s.l. : Trends in Food Science & Technology, 2000. vol. 11, no 9-10, p. 364-373.



**MATILLA P., ASTAL J., KUMPDANEN J. 2000.** *Determination of flavonoids in plant material by HPLC with diodo-array and electro-array detection.* s.l. : Journal of Agricultural and Food Chemistry; 48: 5834-5841., 2000.

**MENDONÇA, S. 2006.** *Efeito hipocolesterolemizante da proteína de amaranto (Amaranthus cruentus BRS-Alegria) em hamster.* Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo. : s.n., 2006. 1-234p..

**MERKEN M., BEECHER R. 2000.** *Measurement of food flavonoids by high performance liquid chromatography.* s.l. : A review. Journal of agricultural and food chemistry; 48: 577-599., 2000.

**MINAGRI/SIEA, (Ministerio de Agricultura y Riego / Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias). 2018.** *Datos Excel Anuario Agrícola. Consultado setiembre 2019.* 2018 : s.n., 2018.

**MUÑOZ, ANGELA GUADALUPE RIERA. 2020.** *“Extracción y microencapsulación de antocianinas a partir de la planta sangorache.* Ecuador : s.n., 2020.

**MUYONGA, J.H., NANDUTU, A.M. y MUYONGA-NAMUGAJJE, J.B. 2014.** *Effect of heat processing on selected physicochemical properties of African rice (Oryza glaberrima) starch.* s.l. : African Journal of Food Science, 2014. vol. 8, no 4, p. 228-235..

**NICOLI, M.C., ANESE, M. y PARPINEL, M. 1999.** *Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables.* s.l. : Trends in Food Science & Technology, 1999. vol. 10, no 3, p. 94-100..

**OLIVIERO, T., CAPUANO, E., CAMMERER, B., Y FOGLIANO, V. 2009.** *Influence of Roasting on the Antioxidant Activity and HMF Formation of a Cocoa Bean Model Systems.* s.l. : J. Agric.Food Chem. 57, 147–152. doi: 10.1021/jf802250j, 2009.

**OLIVIERO, T., et al. 2009.** *Impact of different stages of industrial tomato processing on the content of lysine-bound Maillard reaction products.* 2009. vol. 74, no 7, p. C588-C593..

**PAŠKO, P., BARTOŃ, H., ZAGRODZKI, P., GORINSTEIN, S., FOLTA, M., & ZACHWIEJA, Z. 2009.** *Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth.* s.l. : Food Chemistry, 2009. 115(3), 994-998..



**PAUCAR-MENACHO, L. M., PEÑAS, E., DUEÑAS, M., FRIAS, J., & MARTÍNEZ-VILLALUENGA, C. 2021.** *Optimizing germination conditions to enhance the accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity of kiwicha (Amaranthus caudatus) using response surface methodology.* s.l. : LWT - Food Science and Technology, 76, 245-252., 2021.

**PAWEŁ PAS'KO, HENRYK BARTON, PAWEŁ ZAGRODZKI, JOANA CAHOPICKA, ALEKSANDA IZEWSKA, MALGORZATA GAWLIK, SHELA GORISTEIN. 2010.** *Effect of amaranth seeds in diet on oxidative status in plasma and selected tissues.* polonia : 126, 2010.

**PAWEŁ, ZAGRODZKI, SHELA GORINSTEIN MARIA FOŁTA , ZOFIA ZACHWIEJA. 2009.** *Antocianinas, polifenoles totales y actividad antioxidante en semillas y germinados de amaranto y quinua durante su crecimiento.* crovacia, polonia : ELSEVIER, 2009.

**PELLEGRINI, MARIKA, y otros. 2018.** *Chemical, fatty acid, polyphenolic profile, techno-functional and antioxidant properties of flours obtained from quinoa (Chenopodium quinoa Willd) seeds.* s.l. : Elsevier, 2018.

**PEÑARRIETA, J. M., TEJEDA, L., MOLLINEDO, P., VILA, J. L., & BRAVO, J. A. 2014.** . *Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos.* Revista Boliviana de Química. Mexico : s.n., 2014.

**PÉREZ PORTERO, Y., SUÁREZ PÉREZ, Y., FONSECA FONSECA, L. A., & ÁVILA Y RODRÍGUEZ, M. I. 2022.** *Antioxidantes: una visión actual.* 2022 : Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas 41(1), e1480., 2022.

**POLACO, JUANA GRACIELA TORRES. 2019.** *Efecto Comparativo de las Variaciones Producidas en los Constituyentes Funcionales y Capacidad Antioxidante durante el Procesamiento de Harinas Tostadas de Quinoa (Chenopodium quinoa Wild), Cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen) y Kiwicha.* cusco-Perú : s.n., 2019.

**QUESADA, SILVIA PILCO. 2021.** *“ELABORACIÓN DE UNA BEBIDA A BASE DE GRANOS ANDINOS: QUINUA (Chenopodium quinoa) Y KIWICHA (Amaranthus caudatus)”.* Lima, Perú : s.n., 2021.



**RAMOS MOYA, Milton Ruben. TANQUINA PARAMO Irma Maribel. 2013.** *Efecto de la especie y el procesamiento sobre el contenido de compuestos y propiedades antioxidantes del maíz (Zea mays L.) Negro, frejol (Phaseolus vulgaris L.) Negro, sangorache (Amaranthus quitensis L.) y variedades de papas nativas (tuberosum grupo an.* Ecuador : Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería en Alimentos, 2013.

**RAMOS-GALARZA, C. 2021.** *Diseños de investigación experimental.* . s.l. : CienciAmérica, vol. 10, no. 1, ISSN 1390-9592. DOI 10.33210/ca.v10i1.356. , 2021.

**RE, R., PELLEGRINI, N., PROTEGGENTE, A., PANNALA, A., YANG, M., RICE-EVANS, C. 1999.** *Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay.* s.l. : Free Radical Biology & Medicine., 1999. [http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-](http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-).

**REPO DE CARRASCO, R., & ENCINA ZELADA, C. R. 2008.** *Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: Quinoa (Chenopodium quinoa), Kañiwa (Chenopodium pallidicaule) y Kiwicha (Amaranthus caudatus).* s.l. : Revista de la Sociedad Química del Perú,, 2008. 74(2), 85-99..

**REPO DE CARRASCO, R., Y ENCINA, C. R. 2008.** *Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: Quinoa (Chenopodium quinoa), Kañiwa.* Perú : Rev Soc Quím Perú,74, N° 2 (85-99), 2008.

**REPO-CARRASCO R., ESPINOZA C., JACOBSEN S.-E. 2001.** *Valor nutricional y usos de la quinua (Chenopodium quinoa) y de la kañiwa (Chenopodium pallidicaule).* Lima, Perú : Primer Taller Internacional sobre Quinoa – Recursos Genéticos y Sistemas de Producción (Jacobsen S.-E., Portillo Z., Editores), 2001. 391-400.

**REPO-CARRASCO, R. 1998.** *Introducción a la Ciencia y Tecnología de Cereales y de Granos Andinos.* Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima- Perú. : s.n., 1998.

**REPO-CARRASCO, R., ESPINOZA, C., JACOBSEN, S.-E. 2003. 2003.** *Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (Chenopodium quinoa) and Kañiwa (Chenopodium pallidicaule).* *Food Reviews International.* 2003, Vols. 19 (1-2): 179-189.

**REPO-CARRASCO-VALENCIA, R., PEÑA, J., KALLIO, H., & SALMINEN, S. 2010.** *Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and*



*extruded kiwicha (Amaranthus caudatus)*. s.l. : Journal of Cereal Science, 2010. 49(2), 219-224.

**REPO-CARRASCO-VALENCIA, R., PEÑA, J., KALLIO, H., SALMINEN, S. 2009.** *Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (Amaranthus caudatus)*. s.l. : Journal of Cereal Science. 49(2): 219–224., 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.10.003>.

**RICE-EVANS, C. A., MILLER, N. J., & PAGANGA, G. 1996.** *Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids*. s.l. : Free Radical Biology and Medicine, 1996. 20(7), 933-956..

**RIPA, K. 2008.** *Comercialización del grano de Kiwicha (Amaranthus caudatus L.) en el Distrito de San Salvador (Tesis de pregrado) Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú. : s.n., 2008.*

**RODRÍGUEZ, A. Y PÉREZ, A. 2017.** *Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento*. s.l. : Revista Escuela de Administración de Negocios, vol. 1, no. 82, ISSN 2590-521X. DOI 10.21158/01208160.n82.2017.1647., 2017.

**RUTH CHAMORRO GÓMEZ, RITVA REPO CARRASCOB, KARINA CCAPA RAMÍREZC Y FREDY QUISPE JACOBO. 2018.** *COMPOSICIÓN QUÍMICA Y COMPUESTOS BIOACTIVOS DE TREINTA ACCESIONES DE KIWICHA (Amaranthus caudatus L.)*. Huanuco- Perú : Rev. soc Quim Perú. 84(3) 2018, 2018.

**SAMPRIETO D.A., CATALAN C., VALTUONE M. 2009.** *Isolation, identification and characterization of allelochemicals/natural products*. s.l. : Science publishers., 2009.

**SCHOEMAN, L., DU PLESSIS, A. y MANLEY, M. 2017.** *Non-destructive characterisation and quantification of the effect of conventional oven and forced convection continuous tumble (FCCT) roasting on the three-dimensional microstructure of whole wheat kernels using X-ray micro-computed tomography ( $\mu$ CT)*. s.l. : Journal of Food Engineering, 2017. vol. 187, p. 1-13..

**SCHOEMANA, L., PLESSISB, A., VERBOVENC, P., NICOLAÏC, B., CANTREC, D., Y MANLEYA, M. 2017.** *Effect of oven and forced convection continuous tumble (FCCT) roasting on the microstructure and dry milling properties of white maize*. s.l. :



Innovative Food Science and Emerging Technologies.14, 54-66. doi: org/10.1016/j.ifset.2017.07.021, 2017.

—. **2017.** *Effect of oven and forced convection continuous tumble (FCCT) roasting on the microstructure and dry milling properties of white maize.* s.l. : Innovative Food Science and Emerging Technologies.14, 54-66. doi: org/10.1016/j.ifset.2017.07.021, 2017.

**SHRINET, K., SINGH, R. K., CHAURASIA, A. K., TRIPATHI, A., & KUMAR, A. 2021.** *Bioactive compounds and their future therapeutic applications.* s.l. : Chapter 17, 2021.

**SINDHU, R., & KHATKAR, B. S. 2019.** *Pseudocereals: Nutritional and technological perspectives.* En A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention (2a ed., pp. 225-248).* s.l. : Academic Press., 2019.

**SINGLETON V, ORTHOFER R. LAMUELA-RAVENTÓS R. 2016.** *Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent, Methods in Enzymology.* s.l. : vol 299, 2016.

**SPÁCIL Z., NOVÓKOVÁ L., SOLICH P. 2008.** *Analysis of phenolic compounds by high performance liquid chromatography.* s.l. : Talanta; 76:189-199., 2008.

**SUMAR, L. 1993.** *La kiwicha y su cultivo.* Centro de Estudios Regionales Andinos. Cusco, Perú : s.n., 1993.

**ŚWIECA, M., SĘCZYK, Ł., & GAWLIK-DZIKI, U. 2014.** *Elicitation and precursor feeding as tools for the improvement of the phenolic content and antioxidant activity of lentil sprouts.* s.l. : Food Chemistry, 2014. 161, 288-295..

**TAIPE, NILA GAMARRA. 2021.** *Valores nutricionales y propiedades funcionales de la harina de sangorache (Amaranthus Hybridus L.) a distintos tiempos de germinado.* Abancay, Perú : s.n., 2021.

**TAPIA, M. E. Y A.M. FRIES. 2007.** *Guía de campo de los cultivos andinos.* FAO y ANPE. Lima, Perú : s.n., 2007.



**TAYLOR, J. y BELTON, P. 2001.** *Pseudocereals and Less Common Cereals (en línea)*. New York : First edit. New York, Springer Berlin Heidelberg. 1-281 p., 2001. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-56680-6>..

**TORRES, R. 2019.** *Evaluación del potencial antiinflamatorio de especies vegetales que habitan* . 2019.

**TSAO, R. 2010.** *Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols*. Mexico : Nutrients, 2(12), 1231–1246. <https://doi.org>, 2010.

**TURESSON, G. 1922.** *The genotypical response of the plant species to the habitat*. s.l. : Hereditas, 3(3), 211-350, 1922.

**VAN BOEKEL, M., et al. 2010.** *A review on the beneficial aspects of food processing*. s.l. : Molecular Nutrition & Food Research, 2010. vol. 54, no 9, p. 1215-1247..

**VÁSQUEZ, F. 2006.** *Digestibilidad in vitro de proteína y compuestos bioactivos en accesiones de Kiwicha (Amaranthus caudatus L. 1753) tostada*. Lima, Perú. : Tesis para optar al grado de Magister Scientiae Universidad Agraria La Molina, 2006.

**VERA, WENDY SARMIENTO AGUILAR - ERIKA PACHARI. 2022.** "Impacto de la germinación en los compuestos bioactivos de dos ecotipos de kiwicha de grano color negro y rosado (Amaranthus caudatus L.". 2022, Vol. 49(6), 723-733.

**VUOLO, M. M., LIMA, V. S., & MARÓSTICA JUNIOR, M. R. 2019.** *Phenolic Compounds: Structure, Classification, and Antioxidant Power*. Mexico : s.n., 2019.

**XU, B., & CHANG, S. K. 2008.** *Effect of soaking, boiling, and steaming on total phenolic content and antioxidant activities of cool season food legumes*. s.l. : Food Chemistry, 2008. 110(1), 1-13.

**YADAV, M.P., et al. 2018.** *Phenolic acids, lipids, and proteins associated with purified corn fiber arabinoxylans*. s.l. : Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018. vol. 55, no 3, p. 943-947..

**ZAPATA, S., TAMAYO, A., Y ROJANO, A. 2015.** *Efecto del tostado sobre los metabolitos secundarios y la actividad antioxidante de clones de cacao colombiano*. 2015.



**Zhu H, Wang Y, Liu Y. Xia Y Tang T. 2010.** *Analysis of Flavonoids in Portulaca oleracea L. by UV-Vis Spectrophotometry with Comparative Study on Different Extraction Technologies.*,. s.l. : Food Anal. Methods 3:90–97, 2010.

**Zuleta A., Esteve M., Frigola A. 2009.** *ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products.* s.l. : Food Chemistry; 114: 310-316, 2009.



## ANEXOS



## ANEXO 1 RESULTADOS

### Anexo 1.1 — Resultados para cada tratamiento

Tratamientos	Polifenoles	DPPH	ABTS	Flavonoides
Crudo	9,318	2,159	5,527	4,731
Crudo	10,219	2,178	5,519	5,498
Crudo	10,933	1,896	5,773	4,863
Germinado	29,930	4,155	17,882	7,694
Germinado	31,019	4,293	17,484	7,959
Germinado	29,199	4,183	16,132	9,018
Tostado	25,087	2,977	18,217	7,882
Tostado	29,591	3,030	18,461	7,913
Tostado	29,797	3,009	18,200	7,036
Coccionado	12,686	2,794	9,181	5,798
Coccionado	15,014	2,219	8,488	5,265
Coccionado	15,508	2,062	9,096	5,984

### Anexo 1.2 — Prueba de normalidad para los granos crudos de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*)

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
POLIFENOLES	,197	3	.	,996	3	,873
DPPH	,364	3	.	,800	3	,115
ABTS	,375	3	.	,774	3	,053
FLAVONOIDES	,325	3	.	,875	3	,309

a. Corrección de significación de Lilliefors

En el anexo 1.2 los valores de significancia en las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk son mayores a 0.05, lo que indica que los datos de polifenoles, DPPH, ABTS y flavonoides siguen una distribución normal.

### Anexo 1.3 — Prueba de normalidad para los granos germinados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*)

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
POLIFENOLES	,219	3	.	,987	3	,784
DPPH	,313	3	.	,895	3	,369
ABTS	,302	3	.	,910	3	,418
FLAVONOIDES	,314	3	.	,893	3	,363

a. Corrección de significación de Lilliefors

En el anexo 1.3 los valores de significancia en las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk son mayores a 0.05, lo que indica que los datos de polifenoles, DPPH, ABTS y flavonoides siguen una distribución normal.

**Anexo 1.4 — Prueba de normalidad para los granos tostados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*)**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
POLIFENOLES	,371	3	.	,783	3	,074
DPPH	,221	3	.	,986	3	,772
ABTS	,364	3	.	,799	3	,111
FLAVONOIDES	,374	3	.	,776	3	,059

a. Corrección de significación de Lilliefors

En el anexo 1.4 los valores de significancia en las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk son mayores a 0.05, lo que indica que los datos de polifenoles, DPPH, ABTS y flavonoides siguen una distribución normal.

**Anexo 1.5 — Prueba de normalidad para los granos coccionados de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*)**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
POLIFENOLES	,324	3	.	,877	3	,314
DPPH	,308	3	.	,902	3	,392
ABTS	,344	3	.	,840	3	,215
FLAVONOIDES	,288	3	.	,928	3	,481

a. Corrección de significación de Lilliefors

En el anexo 1.5 los valores de significancia en las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk son mayores a 0.05, lo que indica que los datos de polifenoles, DPPH, ABTS y flavonoides siguen una distribución normal.



## ANEXO 2 PANEL FOTOGRÁFICO



**Figura 26** — Limpieza y selección de granos de kiwicha (*Amaranthus hybridus*)  
*Tomado en el laboratorio de procesamiento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac*

La Figura muestra el proceso inicial de selección de granos de kiwicha negra, donde se eliminan impurezas como piedras y residuos vegetales para obtener un producto más puro y apto para el procesamiento posterior.



**Figura 27** — Granos de kiwicha negra: crudo, germinado, tostado y coccionado  
*Tomado en el laboratorio de procesamiento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac*

La imagen presenta granos de kiwicha negra (*Amaranthus hybridus*) en cuatro estados de procesamiento: crudo, tostado, germinado y coccionado.



**Figura 28** — Harina de kiwicha negra, tostado y tamizado

*Tomado en el laboratorio de procesamiento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac*

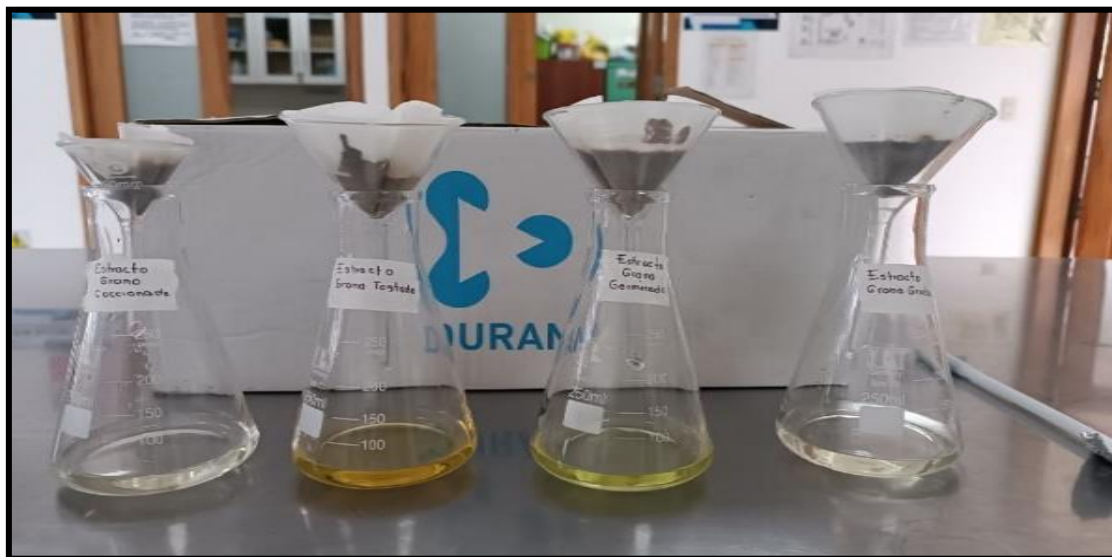
La imagen ilustra el proceso de tamizado de la harina obtenida de los granos de kiwicha después del tostado. Este paso es esencial para obtener una textura fina y uniforme, adecuada para su uso en productos alimenticios.



**Figura 29** — Proceso de agitado de los extractos metanólicos

*Tomado en el laboratorio de procesamiento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac*

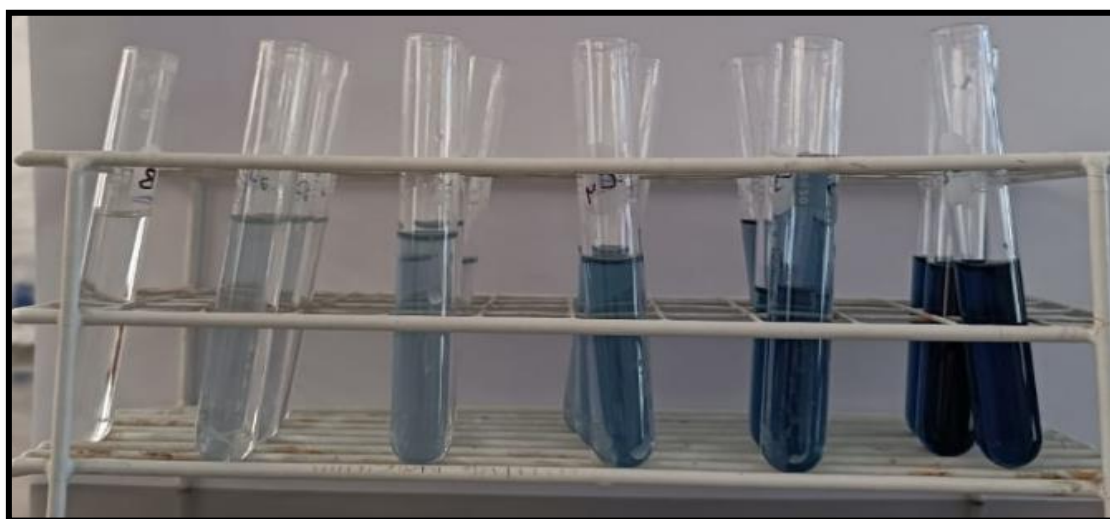
En esta Figura se muestra el proceso de agitación de los extractos metanólicos obtenidos de los granos de kiwicha negra. Este paso es fundamental para asegurar que los compuestos bioactivos, como los polifenoles y flavonoides, se disuelvan adecuadamente en el solvente metanólico.



**Figura 30** — Proceso de filtrado de los extractos metanólicos

*Tomado en el laboratorio de procesamiento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac*

El filtrado de los extractos metanólicos es una etapa crucial para separar los sólidos no disueltos del líquido, obteniendo así un extracto más puro y limpio, listo para las mediciones posteriores de los compuestos bioactivos.



**Figura 31** — Colorimetría de la curva de calibración de polifenoles totales

*Tomado en el laboratorio de química de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac*

Esta Figura presenta la curva de calibración utilizada para cuantificar los polifenoles totales en los extractos. La absorbancia medida en el espectrofotómetro se correlaciona con la concentración de polifenoles, permitiendo determinar su cantidad exacta en las muestras.



**Figura 32** — Colorimetría de polifenoles totales en los diferentes tratamientos (crudo, germinado, tostado y coccionado)

*Tomado en el laboratorio de química analítica de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac*



**Figura 33** — Colorimetría de la curva de calibración de antioxidantes mediante el método DPPH

*Tomado en el laboratorio de química analítica de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac*

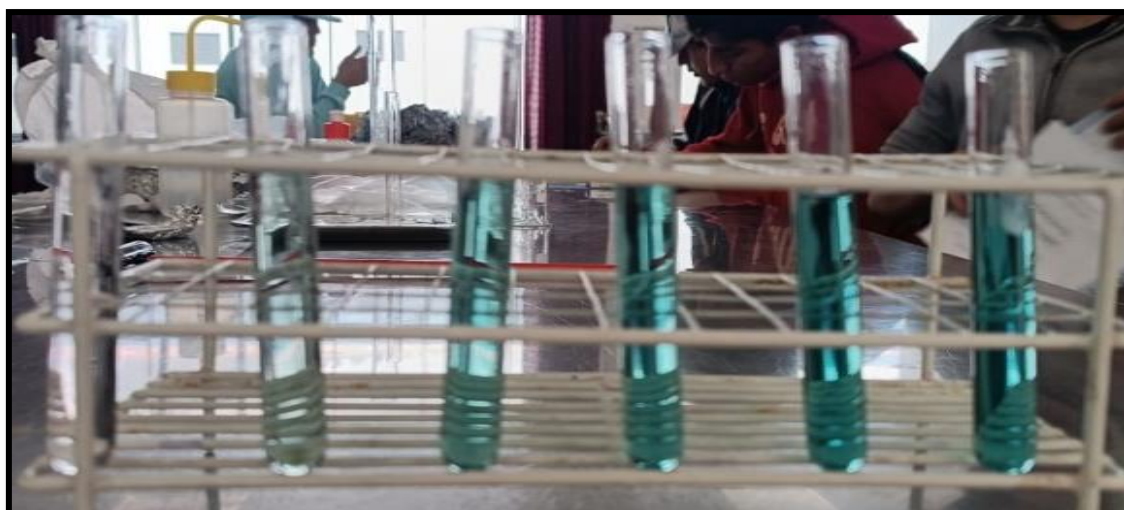
La Figura muestra la curva de calibración utilizada para medir la actividad antioxidante de los extractos de kiwicha mediante el método DPPH. La absorbancia en el espectrofotómetro se correlaciona con la capacidad de los extractos para neutralizar radicales libres, un indicador de su poder antioxidante.



**Figura 34** — Colorimetría de antioxidantes por el método DPPH para los diferentes tratamientos

*Tomado en el laboratorio de química analítica de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac*

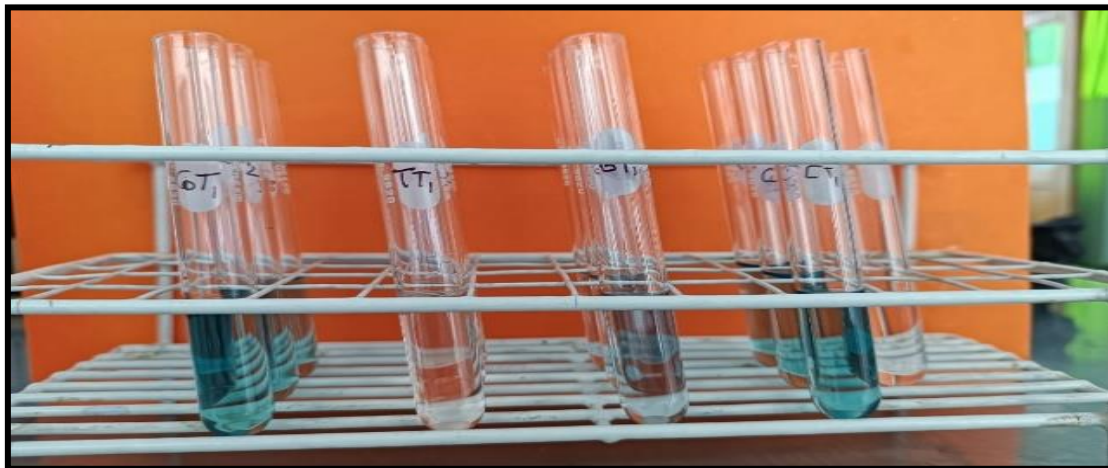
Esta imagen muestra los resultados de la actividad antioxidante medida por el método DPPH en los extractos de kiwicha tratados. Los tratamientos germinado y tostado muestran una mayor capacidad antioxidante en comparación con los granos crudos y coccionados.



**Figura 35** — Colorimetría de la curva de calibración de antioxidantes mediante el método ABTS

*Tomado en el laboratorio de química analítica de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac*

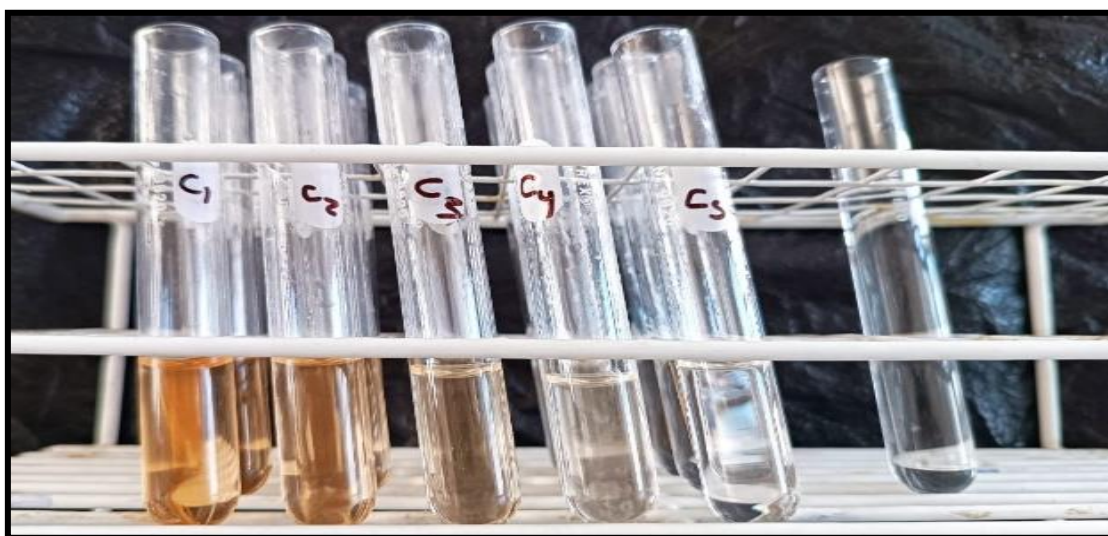
La curva de calibración mostrada en esta Figura se utiliza para medir la actividad antioxidante de los extractos mediante el método ABTS. Similar al DPPH, este ensayo permite evaluar la capacidad de los compuestos presentes en los extractos para neutralizar radicales libres.



**Figura 36** — Colorimetría de antioxidantes por el método DPPH para los diferentes tratamientos

*Tomado en el laboratorio de química analítica de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac*

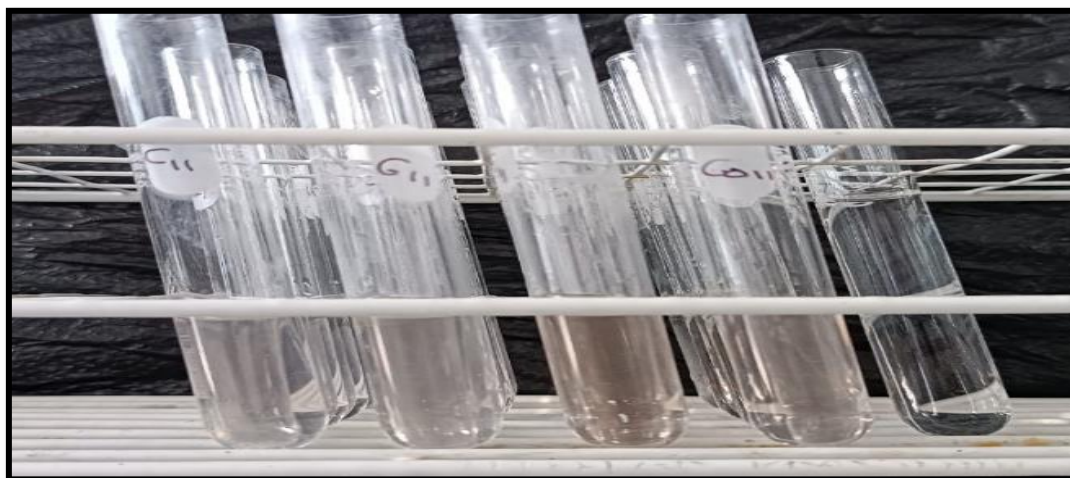
En esta Figura se observan los resultados de la actividad antioxidante medida por el método DPPH para las muestras tratadas. El análisis revela que los tratamientos de germinado y tostado son más efectivos en la neutralización de radicales libres en comparación con los tratamientos crudo y coccionado.



**Figura 37** — Colorimetría de la curva de calibración de Flavonoides

*Tomado en el laboratorio de química de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac*

Esta Figura muestra la curva de calibración utilizada para la medición de flavonoides en los extractos. La correlación entre absorbancia y concentración de flavonoides permite la cuantificación precisa de estos compuestos en las muestras de kiwicha.



**Figura 38** — Flavonoides en los diferentes tratamientos

*Tomado en el laboratorio de química de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac*

En esta Figura se presentan los niveles de flavonoides en los extractos de kiwicha. Los tratamientos de germinado y tostado muestran concentraciones más altas de flavonoides, lo que sugiere que estos métodos de procesamiento ayudan a preservar o aumentar estos compuestos bioactivos.



**Figura 39** — Proceso final de la investigación en presencia de los asesores de tesis

*Tomado en el laboratorio de procesamiento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac*