

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



TESIS:

**Contenido de calcio, hierro, fósforo y zinc, en cuatro
accesiones de *Chenopodium quinoa* Willdenow en
función al tiempo de germinación. Ayacucho 2023.**

Para optar el título profesional de:
BIÓLOGA, ESPECIALIDAD: MICROBIOLOGÍA

PRESENTADO POR:

Bach. Monica LAZARO TAYPE

ASESORA:

Dra. Roberta Brita ANAYA GONZÁLEZ

COASESORA:

Blga. Roxana CARHUAZ CONDORI

AYACUCHO - PERÚ

2025

A mi amado padre Arturo Lázaro, por enseñarme el sentido de la perseverancia frente a las adversidades que se nos presentan en este gran camino llamado vida, por su confianza y apoyo incondicional, que ha sido mi pilar de fortaleza. A ti, amada madre, que sé que sigues cuidando de mí desde el cielo.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por acogerme en su campus y facilitar mi formación y desarrollo profesional a lo largo de mi carrera universitaria.

A la facultad de Ciencias Biológicas y a sus distinguidos docentes, por inculcarme sólidos valores y principios éticos. Su constante dedicación a la investigación y al perfeccionamiento académico enriqueció significativamente mi formación, favoreciendo el desarrollo de mis actividades y aprendizajes en la carrera profesional de Biología.

A la Dra. Roberta Brita Anaya González, asesora de la presente tesis, por su dedicación y enseñanza constante; su apoyo ha sido fundamental para alcanzar nuestros objetivos y hacer posible la realización y culminación del presente trabajo de investigación.

A la Blga. Roxana Carhuaz Condori, coasesora de la tesis, por su apoyo en la elaboración de la tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Página
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Marco conceptual	5
2.3. Bases teóricas	6
2.3.1. Pseudocereales	6
2.3.2. <i>Chenopodium quinoa</i>	6
2.3.3. Germinación	7
2.3.4. Germinados	8
2.3.5. Minerales	9
2.3.6. Incineración	13
2.3.7. Ceniza	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1. Ubicación de la zona de estudio	14
3.3. Muestra	14
3.4. Metodología	14
3.5. Determinación de minerales	16
3.6. Tipo de investigación	20
3.7. Análisis de datos	21
IV. RESULTADOS	22
V. DISCUSIÓN	27
VI. CONCLUSIONES	32
VII. RECOMENDACIONES	33
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
ANEXOS	41

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Clasificación taxonómica de la quinua.	6
Tabla 2. Variables independientes e indicadores.	20
Tabla 3. Variables dependientes e indicadores.	21

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura N° 1. Concentración promedio de calcio en cuatro accesiones de quinua bajo diferentes tiempos de germinación.	23
Figura N° 2. Concentración promedio de hierro en cuatro accesiones de quinua bajo los diferentes tiempos de germinación.	24
Figura N° 3. Concentración promedio de fósforo en cuatro accesiones de quinua bajo diferentes tiempos de germinación.	25
Figura N° 4. Concentración promedio de zinc en cuatro accesiones de quinua bajo diferentes tiempos de germinación.	26

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Concentración de calcio en cuatro accesiones de quinua después de 0, 24, 48 y 72 horas de germinación.	42
Anexo 2. Concentración de hierro en cuatro accesiones de quinua después de 0, 24, 48 y 72 horas de germinación.	43
Anexo 3. Concentración de fósforo en cuatro accesiones de quinua después de 0, 24, 48 y 72 horas de germinación.	44
Anexo 4. Concentración de zinc en cuatro accesiones de quinua después de 0, 24, 48 y 72 horas de germinación.	45
Anexo 5. Viabilidad de las 100 semillas de las cuatro accesiones de quinua, después de las 24 horas de germinación.	46
Anexo 6. Curva de calibración para hierro.	47
Anexo 7. Curva de calibración para fósforo.	48
Anexo 8. Prueba de Normalidad y Homogeneidad de varianza con respecto al contenido de calcio.	49
Anexo 9. Análisis de varianza de dos factores con interacción con respecto al contenido de calcio.	50
Anexo 10. Comparación múltiple de Tukey del contenido de calcio en función a las accesiones de quinua.	51
Anexo 11. Comparaciones múltiples de Tukey del contenido de calcio en función al tiempo de germinación.	52
Anexo 12. Comparación múltiple de Tukey del contenido de calcio con respecto a la interacción que hay entre la accesión y tiempo de germinación.	53
Anexo 13. Prueba de Normalidad y Homogeneidad de varianza con respecto al contenido de hierro.	54
Anexo 14. Análisis de varianza de dos factores con interacción con respecto al contenido de hierro.	55
Anexo 15. Comparación múltiple de Tukey del contenido de hierro en función a las accesiones de quinua.	56
Anexo 16. Comparaciones múltiples de Tukey del contenido de hierro en función al tiempo de germinación.	57

Anexo 17. Comparación múltiple de Tukey del contenido de hierro con respecto a la interacción que hay entre la accesión y tiempo de germinación.	58
Anexo 18. Prueba de Normalidad y Homogeneidad de varianza con respecto al contenido de fósforo.	59
Anexo 19. Análisis de varianza de dos factores con interacción con respecto al contenido de fósforo.	60
Anexo 20. Comparación múltiple de Tukey del contenido de fósforo con respecto a la accesión.	61
Anexo 21. Comparación múltiple de Tukey del contenido de fósforo con respecto a la interacción tiempo de germinación.	62
Anexo 22. Comparación múltiple de Tukey del contenido de fósforo con respecto a la interacción de la accesión y tiempo de germinación.	63
Anexo 23. Prueba de Normalidad y Homogeneidad de varianza con respecto al contenido de zinc.	64
Anexo 24. Análisis de varianza de dos factores con interacción con respecto al contenido de zinc.	65
Anexo 25. Comparación múltiple de Tukey del contenido de zinc en función a las accesiones de quinua.	66
Anexo 26. Comparación múltiple de Tukey del contenido de zinc con respecto a la interacción entre la accesión y tiempo de germinación.	67
Anexo 27. Protocolo de germinado para la obtención de harina de cuatro accesiones de quinua.	68
Anexo 28. Germinados de cuatro accesiones de quinua en diferentes tiempos de germinación.	69
Anexo 29. Procedimiento para determinar el contenido de calcio.	70
Anexo 30. Procedimiento para determinar el contenido de hierro.	71
Anexo 31. Procedimiento para determinar el contenido de fósforo.	72
Anexo 32. Procedimiento para determinar el contenido de zinc.	73
Anexo 33. Constancia de las accesiones de quinua.	74
Anexo 34. Matriz de consistencia.	75

RESUMEN

Esta investigación se realizó con el objetivo de evaluar los contenidos de calcio, hierro, fósforo y zinc, en cuatro accesiones de *Chenopodium quinoa* Willdenow, en función al tiempo de germinación, desarrollado en el laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Donde el contenido promedio más alto de cada mineral se observó después de las 72 horas de germinación; para el hierro se registró en la accesión Amarilla con 15,87 mg/100g; para el calcio, el mayor valor se registró en la accesión Negra con 151,10 mg/100g; con relación al contenido promedio de fósforo, la accesión Amarilla mostró el máximo valor con 88,27 mg/100g, la accesión Roja fue la que mostró el mayor contenido de zinc con 5,88 mg/100g. Por lo tanto, podemos afirmar que el tiempo de germinación hasta las 72 horas influye en el incremento de los minerales: calcio, hierro, fósforo y zinc en las cuatro accesiones de quinua.

Palabras clave: *Chenopodium quinoa* Willdenow, calcio, hierro, fósforo, zinc, germinación.

I. INTRODUCCIÓN

Chenopodium quinoa es actualmente valorada como una fuente alimenticia de alta calidad, gracias a sus destacadas propiedades nutricionales, que incluyen proteínas, vitaminas, lípidos, carbohidratos, minerales y compuestos antioxidantes (Comino et al., 2013).

En este contexto, tanto la quinua como el amaranto son considerados fuentes abundantes en hierro, cobre, manganeso y zinc. Además, se evidencia que el contenido de fósforo y magnesio en la quinua puede contribuir hasta un 55 % de la ingesta diaria recomendada. Aunque la quinua es ampliamente reconocida por su elevado valor nutricional, persiste una notable carencia de información específica respecto a su composición mineral (Nascimento et al., 2014).

La germinación es un método de cultivo sencillo que mejora la calidad nutricional y funcional de las plantas, durante este proceso las reservas de las semillas se movilizan para favorecer el crecimiento de las plántulas, lo que resulta un aumento notable de metabolitos bioactivos (Matilla, 2008).

La inclusión de cereales germinados en la dieta tiene un potencial significativo debido a su rico perfil nutricional, que incluye vitaminas, minerales, proteínas, carbohidratos, ácidos grasos, enzimas y bioactivos. Además, representan una alternativa alimentaria que puede ayudar a combatir la desnutrición en niños, así como en madres gestantes y lactantes (Huaraca et al., 2021).

Además, los germinados en quinua son considerados aptos para dietas libres de gluten, dado su reducido contenido de prolaminas, proteínas que generan respuestas inmunológicas adversas en personas con celiaquía (Peñas et al., 2014). Sin embargo, la concentración de nutrientes y compuestos bioactivos en

los brotes varía considerablemente según las condiciones de germinación (Paucar et al., 2017).

Dicha esta premisa se tomó la iniciativa de aprovechar los efectos benéficos de la germinación en la mejora de la calidad nutricional de la quinua. En este contexto, el propósito de la presente investigación ha sido aportar al conocimiento sobre el contenido mineral de las accesiones de quinua analizadas. Asimismo, los resultados obtenidos constituyen una valiosa fuente de información para futuras investigaciones orientadas al desarrollo de productos enriquecidos con dichos minerales. Esto podría, a su vez, fomentar el consumo tanto de quinua como de sus germinados, posicionándolos como alternativas nutricionales de alto interés para la dieta humana. En función de estas consideraciones, se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Evaluar el contenido de calcio, hierro, fósforo y zinc en cuatro accesiones de *Chenopodium quinoa* Willdenow en función al tiempo de germinación.

Objetivos específicos

- Determinar el contenido de calcio, hierro, fósforo y zinc en semillas no germinadas de cuatro accesiones de *Chenopodium quinoa* Willdenow.
- Comparar el contenido de calcio, hierro, fósforo y zinc en cada accesión de *Chenopodium quinoa* Willdenow en función al tiempo de germinación.
- Comparar el contenido de calcio, hierro, fósforo y zinc entre las cuatro accesiones de *Chenopodium quinoa* Willdenow después de 24, 48 y 72 horas de germinación.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Alfaro et al., (2020) Analizaron el valor nutricional de los germinados de cinco variedades de quinua, encontrándose que el proceso de germinación contribuye a un aumento significativo en los niveles de hierro y vitamina C presentes en este pseudocereal. Al llevar a cabo un análisis bromatológico, observaron en cuanto al contenido de hierro en granos secos en las distintas variedades de quinua oscila entre 2,23 y 3,2 mg/100 g. En contraste, los granos de quinua que han sido germinados presentan un contenido de hierro notablemente mayor, que oscila entre 5,13 y 7,47 mg/100 g.

Huaraca et al., (2021) investigaron el efecto de la germinación en tres variedades de quinua (Negra Collana, Blanca Huancayo y Roja Pasankalla) se analizó el contenido de minerales (hierro y calcio) y proteínas totales. Los resultados revelaron que la germinación aumentó el contenido proteico en las variedades Negra Collana y Roja Pasankalla, con incrementos del 12,48 % y 12,13 %. En cambio, la variedad Blanca J. mostró un menor nivel de proteínas y no presentó un aumento significativo. Además, el estudio evidenció que los niveles de minerales como el calcio y el hierro también aumentaron tras la germinación. Por ejemplo, la variedad Negra Collana germinada alcanzó un contenido de calcio de 71,23 mg/100 g, en comparación con los 55,6 mg/100g de las semillas no germinadas.

De manera similar, la variedad Roja Pasankalla mostró un incremento en el calcio, pasando de 49,81 mg/100 g en su estado no germinado a 61,45 mg/100 g en su forma germinada.

Darwish et al., (2020) a través del método espectrofotométrico reportaron que, durante la germinación de las semillas de quinua, se produce un aumento en los contenidos de hierro, calcio y zinc en un 39,43 %, 49,04 % y 20,25 %, respectivamente. Además, se observó un incremento en la vitamina C y los carotenoides del 32,17 % y 26,02 %. El proceso de germinación provocó una reducción significativa de los factores antinutricionales, disminuyendo la concentración de saponinas, ácido fítico y taninos en un 59,60 %, 50,0 % y 11,32 %, respectivamente. Asimismo, se evidenció que la germinación eleva de manera significativa el contenido total de compuestos fenólicos en la quinua, lo cual contribuye a mejorar su valor nutricional, especialmente en las variedades roja y amarilla.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Bravo et al., (2013) reportaron que, tras la germinación, el contenido de fósforo en los granos andinos disminuye, mientras que el hierro presenta un ligero aumento. Por otro lado, el calcio se incrementa en cantidades significativas. En términos de minerales, evidenciaron 4,56 mg % de hierro, 405,44 mg % de calcio y 39,86 mg % de fósforo para la quinua. Los resultados mostraron que la quinua en estado no germinado presentó contenidos de ceniza, proteína y grasa de 3,05 %, 12,94 % y 7,83 %, respectivamente. En contraste, la quinua germinada mostró valores de 1,5 % para ceniza, 13,09 % para proteína y 6,1 % para grasa. Por otro lado, la kiwicha sin germinar registró porcentajes de ceniza, proteína y grasa de 2,68 %, 14,45 % y 8,36 %, y tras la germinación, los valores fueron de 3,18 %, 16,45 % y 8,29 %. Según esta investigación, demostraron un aumento en cuanto al contenido de calcio en ambos granos después del proceso de germinación. Cruz Valderrama (2017) llevó a cabo una investigación sobre la germinación de quinua, enfocándose en su potencial para mejorar la calidad nutricional de los alimentos. El propósito de su investigación fue evaluar las características nutricionales que presenta la quinua tras el proceso de germinación. Los resultados indicaron que en cuanto al contenido de calcio en la quinua germinada hubo un incremento de un 24,75 %. En términos de composición, se encontraron los siguientes valores en base seca: 13,09 % de proteína, 6,10 % de grasa 1,50 % de ceniza y 2,68 % de fibra total.

Además, se registraron 4,24 mg de niacina y 6,20 mg de ácido ascórbico en vitaminas, así como minerales que incluyeron 4,56 mg de hierro, 405,44 mg de calcio y 39,86 mg de fósforo. Todos los análisis se realizaron siguiendo los métodos establecidos por la AOAC.

Blasco et al., (2002) reportaron en granos de quinua que el contenido promedio más alto de magnesio se encontró en la variedad Junín, alcanzando 295 mg por cada 100 g, lo que satisface el 95 % de las necesidades diarias de un adulto. En cuanto al hierro, los niveles más elevados se registraron en Cusco, con 8,21 mg por cada 100 g, cubriendo así el 80 % de los requerimientos diarios. Por otro lado, el contenido promedio más alto de cobre fue también en Junín, con 1,16 mg, lo que representa el 78 % de las necesidades diarias recomendadas (entre 1,5 y 3 mg).

2.2. Marco conceptual

- **Accesiones**

Conjunto de semillas de una especie recolectadas en un lugar y momento específicos. Estas muestras se identifican por características particulares, tales como el color, el tamaño o la forma. Cada lote almacenado en un banco de germoplasma representa una población específica y cuenta con un registro propio, lo que permite su seguimiento y estudio (Henríquez et al., 2002).

- **Espectrofotometría**

Es una técnica analítica muy empleada en investigación, la producción y el control de calidad, permitiendo la identificación y el análisis de diversas sustancias. Esta técnica se fundamenta en medir la absorción de luz por parte de una muestra; evaluando la cantidad de luz absorbida y la longitud de onda correspondiente, es posible determinar la concentración y la pureza de la muestra analizada (Luftman, 2018).

- **Minerales**

Son nutrientes indispensables en la alimentación, y se caracterizan por estar compuestos por un solo átomo. Su funcionamiento se basa en la interacción con otras moléculas y átomos y al igual que las vitaminas, se requieren en cantidades mínimas. Dado que no podemos sintetizarlos en nuestras células debido a su estructura química sencilla, es crucial incluirlos en nuestra dieta para satisfacer las necesidades de nuestro organismo (FAO/WHO, 2004).

- **Germinación**

Es un proceso metabólico que activa diversas reacciones enzimáticas en los granos, lo que favorece su digestibilidad y eleva su valor nutricional (Doria, 2010).

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Pseudocereales

Son plantas dicotiledóneas cuyas semillas se consumen como granos y se agrupan principalmente en las familias *Amaranthaceae* (como el amaranto y la Cañihua), *Chenopodiaceae* (quinua) y *Polygoniaceae* (trigo sarraceno), incluyendo también especies como la chía de la familia *Lamiaceae* (Alfaro et al., 2020). Estas plantas se distinguen por producir semillas con bajo contenido de gluten y un perfil nutricional destacado, ya que aportan cantidades significativas de almidón, fibra dietética, proteínas de alto valor biológico, lípidos ricos en ácidos grasos insaturados, minerales y vitaminas. Su composición y aplicaciones son similares a las de los cereales tradicionales, pero los pseudocereales andinos como la quinua, el amaranto y la Cañihua sobresalen por su elevado valor nutricional y sus beneficios para la salud, siendo una alternativa adecuada para personas que requieren dietas libres de gluten (Huamanchumo, 2020).

2.3.2. *Chenopodium quinoa*

Es un grano originario de la región andina de Sudamérica, clasificado como pseudocereal debido a su morfología y composición química. Su amplia diversidad genética le permite adaptarse a una variedad de entornos, siendo cultivable en desiertos, climas fríos y secos, áreas templadas y lluviosas, así como en altiplanos y zonas de gran altitud (Fabio y Párraga, 2017).

Es una especie herbácea anual y dicotiledónea cuyas semillas, aunque no pertenecen a las gramíneas, se consumen de forma similar a los cereales, razón por la cual se clasifica como pseudocereal. Destacada por su alto valor nutricional, ya que aporta proteínas de calidad, todos los aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales superando en muchos aspectos a los cereales tradicionales (De La Cruz, 2023).

2.3.2.1. Clasificación taxonómica de la quinua

Tabla 1. Clasificación taxonómica de *Chenopodium quinoa* por Cronquist. A. (1988):

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Caryophyllidae
Orden	Caryophyllales
Familia	<i>Chenopodiaceae</i>
Género	<i>Chenopodium</i>
Especie	<i>Chenopodium quinoa</i> Willdenow
Nombre vulgar	“quinua”

2.3.3. Germinación

Es un proceso de cambio que se inicia con la absorción de agua por la semilla y concluye cuando la radícula atraviesa la cubierta seminal. Durante esta etapa, se llevan a cabo diversas reacciones químicas y fermentativas que producen una gran cantidad de enzimas y vitaminas, además de descomponer minerales, convirtiéndolos en biodisponibles. Se ha observado que la acción de las proteasas durante la germinación aumenta los ácidos grasos poliinsaturados y oligopéptidos al movilizar las proteínas de almacenamiento (Luque et al., 2019).

2.3.3.1. Fases de la germinación

a) Fase de Hidratación o Imbibición

Esta fase comienza con la hidratación de la semilla, lo que activa una serie de procesos metabólicos esenciales para las etapas posteriores de la germinación. La velocidad de este proceso puede verse afectada por el contenido de agua: un déficit hídrico ralentiza la germinación, mientras que un exceso de agua dificulta la entrada de oxígeno al embrión. Además, la hidratación de las semillas a temperaturas bajas en ciertas especies puede influir negativamente, provocando alteraciones en su crecimiento y desarrollo posterior (Matilla, 2008).

b) Fase de Germinación

Cuando el agua atraviesa las cubiertas de la semilla y llega en cantidad suficiente al embrión, este se activa y comienzan los procesos metabólicos esenciales para el desarrollo de la plántula. Durante esta etapa, se observa una reducción en la

absorción de agua por parte de la semilla y una estabilización en el consumo de oxígeno, lo que permite el inicio de la actividad metabólica necesaria para el crecimiento posterior. Este proceso provoca la conversión de los compuestos de reserva, pasando de macromoléculas a moléculas más simples. Cuando la semilla cuenta con el agua, el oxígeno y el calor adecuados, comienza a germinar, dando lugar a un nuevo organismo, una planta, que a su vez generará nuevas semillas. Durante esta etapa, las enzimas activan numerosas reacciones químicas que son fundamentales para el desarrollo (Matilla, 2008).

c) Fase de crecimiento

Se produce la emergencia de la radícula y un aumento en las actividades metabólicas, lo que conlleva el desarrollo de la plántula. Este desarrollo implica un considerable gasto de energía, que se obtiene mediante la movilización de los nutrientes almacenados en las semillas, como carbohidratos, lípidos y proteínas. Cuando la radícula logra atravesar la cubierta de la seminal, se desencadena un proceso complejo de crecimiento, que requiere un alto consumo energético proveniente de estas reservas nutritivas. Mientras que las dos primeras etapas de la germinación pueden revertirse, una vez que las semillas entran en la fase de crecimiento, entran en un estado fisiológico irreversible y no pueden retroceder a etapas anteriores. Si las condiciones necesarias para continuar con este proceso no se presentan, la semilla finalmente morirá (Matilla, 2008).

2.3.4. Germinados

Los germinados son semillas que han experimentado transformaciones químicas y morfológicas durante el proceso de germinación. Este proceso enriquece su contenido nutricional, aumentando la presencia de enzimas, minerales, vitaminas, aminoácidos y oligoelementos vivos. Por esta razón, los germinados se consideran alimentos valiosos que pueden ayudar a abordar y satisfacer las deficiencias nutricionales actuales (Arrieta, 2021). Los germinados tienen un notable impacto tanto nutricional como medicinal, ya que incrementan los antioxidantes, minerales y aminoácidos esenciales. Además, promueven la digestión y ayudan a regenerar la microbiota intestinal, actuando como antioxidante, depurativo y remineralizante. Durante la germinación, se pueden encontrar nutrientes que no están presentes en la semilla seca, como las vitaminas C, B9 (ácido fólico), β -caroteno (provitamina A), E y K, además de minerales como el magnesio, potasio, hierro, zinc y calcio (Leguía, 2018).

2.3.4.1. Importancia de los germinados

Los germinados son actualmente reconocidos como una fuente vital de salud, considerados entre los mejores alimentos que la naturaleza ofrece debido a su alto contenido de enzimas, vitaminas, clorofila, proteínas y antioxidantes. Esta rica composición los convierte en alimentos completos y seguros.

Entre sus beneficios para el organismo se destacan:

- Favorece la digestión.
- Contribuyen a la regeneración de la microbiota intestinal.
- Poseen propiedades antioxidantes, depurativas y remineralizante.
- Refuerzan el sistema inmunológico (Arrieta, 2021).

2.3.5. Minerales

El grano de quinua se destaca por su alto contenido mineral, superando al de otros cereales. Su contenido de hierro es de 13,2 mg por cada 100 g de peso seco, lo que representa el doble que el del trigo y el triple que el del arroz, alcanzando niveles casi equivalentes al frijol (Campos et al., 2022). La quinua aporta el doble de magnesio (246,5 mg/100 g de peso seco) en comparación con el arroz (120 mg/100 g) y el trigo (118 mg/100 g), y supera al frijol en más de un 20%, ya que este último contiene 200 mg/100 g de peso seco. Además, la quinua es una fuente destacada de calcio, magnesio, hierro y fósforo (ALADI & FAO, 2014).

2.3.5.1. Hierro

El hierro no hemo está presente en alimentos de origen vegetal como legumbres, frutos secos y verduras, y su absorción depende principalmente de su solubilidad en la parte superior del intestino delgado. Esta solubilidad está influenciada por la comida consumida y por la proporción de potenciadores e inhibidores de solubilidad presentes en la misma comida (Bowman & Russell, 2004). Existen varios factores que pueden potenciar o inhibir la absorción del hierro no hemo. Por ejemplo, la vitamina C (ácido ascórbico) favorece la absorción del hierro en el tracto gastrointestinal, ayudando a movilizarlo desde sus reservas. Por otro lado, la vitamina A es necesaria para mantener niveles adecuados de hierro, aunque su papel específico no está completamente claro.

Se ha observado que una deficiencia de vitamina A puede estar asociada con la anemia, aun cuando las concentraciones de hierro se encuentran dentro de los rangos normales. En los alimentos, este mineral se clasifica en dos tipos distintos:

- **Hierro hémico**

Es aquel que forma parte de la hemoglobina, mioglobina, citocromos y otras hemoproteínas y se encuentra principalmente en alimentos de origen animal, como la sangre, riñones, mollejas, bazo, corazón, hígado, carnes rojas, cuy y pescados. Este tipo de hierro se encuentra asociado a un anillo orgánico complejo llamado protoporfirina, al que se une un átomo de hierro en estado divalente. En total, se forman seis enlaces coordinados: cuatro con la protoporfirina, uno con el nitrógeno de la parte proteica y el último queda libre para unirse a una molécula de oxígeno (Tostado et al., 2015).

- **Hierro no hémico**

El hierro no hémico se halla principalmente en alimentos de origen vegetal, y su absorción puede verse afectada por varios factores dietéticos que aumentan o disminuyen su solubilidad. Para que el hierro no hémico se absorba adecuadamente, es necesario un ambiente ácido que convierta el hierro férrico (Fe III) en su forma ferrosa (Fe II). Esta forma ferrosa puede asociarse con complejos solubles de bajo peso molecular, lo que facilita su absorción. Diversos compuestos contribuyen a mantener el hierro en su forma ferrosa (Fe II) estable, entre ellos el ácido clorhídrico, ciertos ácidos orgánicos presentes en los alimentos especialmente el ácido ascórbico y algunos aminoácidos como la cisteína (Quintero, 2002). Se encuentra en cereales, legumbres y verduras, y es más abundante que el hierro hémico en la dieta. Sin embargo, su absorción está influenciada por diversos factores dietéticos.

- **Funciones**

El hierro es fundamental para la síntesis de hemoglobina, una proteína ubicada en los glóbulos rojos responsable de transportar oxígeno como del dióxido de carbono. La función del hierro está relacionada con su capacidad para participar en reacciones de oxidación y reducción, lo que lo convierte en un elemento clave en el transporte sanguíneo. Asimismo, el hierro forma parte de los citocromos, los cuales participan en la respiración celular y en la generación de energía (Tostado et al., 2015). La deficiencia de hierro se manifiesta principalmente en forma de anemia, pero también puede generar síntomas no hematológicos, como disfunciones enzimáticas debido al mal funcionamiento de enzimas dependientes de hierro (Peirano et al., 2001).

2.3.5.2. Calcio

Es el mineral más abundante en el organismo; bajo circunstancias normales, el 99 % de este mineral se encuentra en huesos y dientes, y el 1 % está en la sangre, líquidos extracelulares y dentro de las células de tejidos blandos, donde regula muchas funciones metabólicas (Criollo et al.,2010).

El calcio se clasifica como un macromineral, porque se requiere una ingesta diaria superior a 100 mg. En condiciones normales, los niveles de calcio en la sangre se sitúan alrededor de 10 mg/dL variando entre 8,8 y 10,6 mg/dL (Valencia et al., 2011).

Después de ser ingerido, el calcio presente en los alimentos se ioniza en el ambiente ácido del estómago y luego es absorbido principalmente en el duodeno y el yeyuno del intestino delgado. Durante este proceso, el calcio puede complejarse con otros componentes de la dieta, y la solubilidad de estos complejos, influida por diversos factores, determina la cantidad de calcio que finalmente se absorbe (Valencia et al., 2011).

- **Funciones**

El calcio es fundamental tanto para la estructura de los tejidos como para la regulación de la transmisión neuromuscular, la secreción celular y la coagulación de la sangre, la contracción muscular y la formación de huesos, lo que lo convierte en un nutriente esencial en la dieta. (FAO, 2000).

El calcio, además de su papel en los huesos, cumple funciones esenciales en las células, tanto estructurales (manteniendo la integridad celular, los gránulos de secreción y las membranas) como reguladoras, actuando de manera pasiva o activa en diversos procesos celulares, el calcio regula las reacciones enzimáticas de manera pasiva y controla activamente su concentración dentro de las células. Este mineral debe obtenerse a través de la alimentación, siendo la leche y sus derivados la principal fuente, aunque también se encuentra en verduras, frutas y legumbres (Martínez, 2016).

2.3.4.5. Fósforo

El fósforo es un elemento esencial para todos los seres vivos y en el cuerpo humano, es el segundo mineral más abundante. Aproximadamente el 80% se encuentra en huesos y dientes, mientras que el resto está distribuido en grasas,

proteínas, azúcares, enzimas y sales presentes en todas las células. El fósforo es un mineral fundamental para el funcionamiento normal de todas las células del organismo. En las semillas vegetales con frijoles, guisantes, cereales y nueces, el fósforo se almacena principalmente en forma de ácido fítico o fitato. Sin embargo, los seres humanos solo pueden aprovechar aproximadamente el 50 % de este fósforo (Calvo, 2013). El fosforo en los alimentos puede ser inorgánico, que se absorbe fácilmente, o estar ligado a materia orgánica, principalmente en forma de fitatos en semillas, legumbres, cereales y frutos secos. Sin embargo, debido a que el intestino humano carece de la enzima fitasa para descomponer los fitatos, el fosforo orgánico tiene una biodisponibilidad mucho menor que el fósforo inorgánico (Fuentes, 2017).

- **Funciones**

Intervienen en el funcionamiento adecuado de las membranas celulares, en el metabolismo energético, en la conservación de la salud ósea y dental, así como en el crecimiento y desarrollo de los huesos en la infancia (FAO/WHO, 2004). El fósforo constituye uno de los principales elementos estructurales del hueso, formando parte de hidroxiapatita, una sal de fosfato de calcio, además los fosfolípidos (por ejem., fosfatidilcolina) son importantes componentes estructurales de las membranas celulares. La generación y el almacenamiento de energía en el organismo dependen de compuestos que contienen fósforo, como el ATP y la creatina fosfato. Además, el fósforo contribuye al mantenimiento del equilibrio ácido-base (pH) normal, actuando como uno de los principales sistemas amortiguadores del cuerpo (Knochel 2006).

2.3.4.6. Zinc

El zinc es un oligoelemento metálico indispensable para numerosas funciones en el cuerpo. Aunque es el segundo mineral más relevante después de hierro, sus concentraciones en el organismo no son altas. Entre otros minerales esenciales se encuentran el magnesio, el calcio y el yodo. Algunos suplementos contienen una combinación de estos minerales. Sólo se necesita una pequeña cantidad de zinc para que las enzimas de nuestro organismo creen reacciones químicas que lo mantienen sano, como ayudar al crecimiento y desarrollo de nuestro cuerpo. Nuestro organismo no produce zinc de forma natural, por lo que éste se obtiene de los alimentos que consumimos. Se señala que la carencia de zinc puede provocar problemas en el crecimiento y desarrollo, alteraciones en la piel y

disminución del apetito. Además, el zinc es esencial para el crecimiento y desarrollo infantil, ya que actúa como cofactor en más de 300 enzimas involucradas en el recambio celular (FAO/WHO, 2004).

- **Funciones**

Participa en el equilibrio ácido-base, metabolismo de los hidratos de carbono, en la función cognitiva, síntesis de ADN, fertilidad y reproducción, metabolismo de los macronutrientes, en el correcto desempeño del sistema inmunológico, la defensa celular contra el daño oxidativo y el proceso de división celular (FAO/WHO, 2004). Aproximadamente el 5% del zinc presente en el cuerpo humano se encuentra en la piel. Este mineral es fundamental para la cicatrización, ya que favorece la producción de colágeno y ayuda a reducir la inflamación. Dado que el colágeno es clave en la reparación de tejidos dañados, el zinc suele emplearse en hospitales para el tratamiento de quemaduras y heridas de consideración.

2.3.6. Incineración

Es la combustión completa de la materia orgánica hasta su conversión en cenizas. La incineración consiste en someter a temperaturas elevadas (usualmente por encima de 900°C), en presencia de una cantidad adecuada de aire y durante un periodo de tiempo específico. En el caso de incineración de residuos sólidos, los compuestos orgánicos son reducidos a sus constituyentes minerales, principalmente dióxido de carbono gaseoso, vapor de agua y residuos inorgánicos (ceniza) (García, 2019).

2.3.7. Ceniza

Se trata de un polvo fino que se obtiene tras la combustión de diversos materiales. Su composición es mayormente de sustancias inorgánicas no combustibles, como sales minerales. Al quemar un combustible, una porción de la ceniza se deposita en el lugar de la combustión, mientras que otra parte puede ser liberada al aire en forma de humo (ASALE, 2024).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la zona de estudio

Laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, de la ciudad universitaria “los módulos”.

3.1.1 Ubicación política

País: Perú

Región: Ayacucho

Provincia: Huamanga

Distrito: Ayacucho

3.1.2 Ubicación geográfica

Latitud Sur: 13°08'44,04”

Longitud Oeste: 74°13'15,85”

Altitud: 2791 msnm.

3.2. Población

Constituidas por cuatro accesiones de semillas de quinua, que fueron recolectadas en el distrito de Acocro.

3.3. Muestra

500 g de cada una de las cuatro accesiones, Blanca, Negra, Amarilla y Roja de quinua.

3.4. Metodología

3.4.1. Métodos y técnicas empleadas para la realización de la investigación

Obtención de la muestra

- ✓ Las muestras fueron recolectadas del distrito de Acocro, en bolsas herméticas de plástico debidamente rotuladas y fueron trasladadas del lugar de colecta

al Laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

- **Limpieza y desinfección de las semillas**

- ✓ La limpieza se realizó de manera manual para eliminar las impurezas presentes como piedras, pajas, restos vegetales de la quinua, semillas defectuosas.
- ✓ La desinfección se llevó a cabo utilizando una solución de hipoclorito de sodio al 0,4 % durante 5 minutos. Luego, las muestras se enjuagaron entre 3 y 5 veces con agua destilada para eliminar completamente los residuos de hipoclorito.

- **Desaponificación**

Para llevar a cabo este procedimiento, se empleó el método descrito por (Hinostroza, 2020).

- ✓ Se remojó las semillas en 3 partes de agua y 1 de quinua durante 10 a 15 minutos.
- ✓ Se friccionaron las semillas con las manos aproximadamente por 3 minutos, y se desechó el agua. Este proceso se repitió de tres a cinco veces, hasta que no se observara espuma en las muestras de semillas.

- **Remojo**

- ✓ Las semillas de cada accesión se sumergieron en recipientes que contenían agua destilada en una proporción de 1:3, el remojo se realizó durante 8 horas (Srujana et al., 2020). Al finalizar este tiempo, se desechó el exceso de agua utilizada en el proceso.

- **Germinación**

- ✓ Se tomó una porción de aproximadamente 30 g de cada accesión para el tiempo cero.
- ✓ El proceso de germinación se realizó en una cámara; dentro de ella se colocaron bandejas de plástico con papel filtro.
- ✓ Las semillas de cada accesión previamente remojadas se colocaron en las bandejas de plástico formando una capa.
- ✓ Las condiciones de germinación fueron en oscuridad y temperatura ambiente; la germinación se efectuó por un tiempo de 24, 48, y 72 horas. Para ello se mantuvo la humedad debida, añadiendo agua destilada durante el tiempo de germinación de cada accesión de quinua (Hinostroza, 2020).

- **Secado**

- ✓ Una vez germinadas las semillas de las cuatro accesiones en los diferentes tiempos, se trasladaron a placas donde las semillas germinadas fueron secadas mediante una estufa a 40 °C por un lapso de 24 horas.

- **Molienda y almacenamiento**

- ✓ Las semillas secas se trituraron en un mortero de porcelana hasta la obtención de harina y se pasaron por un tamiz de 100 µm. La harina obtenida se guardó en frascos ámbar con boca ancha y tapa rosca con la etiqueta del producto.

- **Obtención de la ceniza**

- ✓ Se pesó 20 g de harina de quinua pulverizada de cada accesión, cada muestra se transfirió a un crisol y posteriormente se colocó en una cocina eléctrica donde se sometió a calentamiento hasta obtener carbón, se dejó enfriar y se llevó a la mufla a una temperatura de 550 °C por 2 horas y 30 minutos. Una vez obtenida las cenizas de cada accesión se pesó y se colocó en un frasco ámbar previamente rotulado para su ser utilizado posteriormente.

3.5. Determinación de minerales

3.5.1. Determinación de calcio

La determinación de calcio se realizó utilizando el método complexométrico mediante titulación con EDTA.

- **Procedimiento en la determinación de calcio**

- ✓ Se pesó 0,1 g de ceniza y en un matraz se mezcló con 5 mL de alcohol etílico; posteriormente se filtró con papel Whatman.
- ✓ Posteriormente, se tomó 5 mL del filtrado y se enrasó con agua destilada al volumen total de 10 mL.
- ✓ Seguidamente se agregó 2 gotas de hidróxido de sodio (NaOH) 2 N.
- ✓ La mezcla se agitó y se añadieron 2 gotas de murexida al 1 % como indicador.
- ✓ Se procedió a titular con la solución estandarizada de EDTA 0,04 N, agitando de forma continua hasta que el color rosa cambiara a malva, utilizando una muestra de testigo para comparar el punto final (color violeta). Este procedimiento se repitió en tres ocasiones, registrando los mililitros de EDTA empleados en cada ensayo para realizar los cálculos correspondientes.

Estandarización de EDTA (factor de corrección volumétrico de EDTA)

- ✓ Se transfirieron 25 mL de la solución estándar de calcio en un matraz de 250 mL.

- ✓ Se incorporaron 25 mL de agua destilada, 1 mL de NaOH 2N y 20 gotas del indicador murexida al 1 %, mezclando cuidadosamente la solución.
- ✓ Luego, se realizó la titulación con la solución de EDTA 0,04 N hasta observar el cambio de color rosa a malva.
- ✓ El factor de corrección volumétrico para la solución de EDTA 0,04 N, se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$F = \frac{\text{volumen de CaCO}_3}{\text{volumen de EDTA}}$$

Donde:

F= factor de corrección volumétrica de la solución de EDTA 0,04 N.

Volumen de CaCO₃= volumen de solución estándar de calcio titulada en mL.

Volumen de EDTA= volumen de EDTA 0,04 N gastado en la titulación en mL.

3.5.2. Determinación de hierro

Se realizó por espectrofotometría a 510nm. de hierro total utilizando el método de Munsey con fenantrolina.

- **Preparación de la solución patrón**

Se disolvieron 0,7 g de sulfato de amonio y hierro (II) hexahidratado en 50 mL de agua destilada y posteriormente se añadieron 2 gotas de [HCl] concentrado. La mezcla se diluyó hasta alcanzar un volumen de 1000 mL, con agua destilada.

- **Preparación del estándar**

Se utilizaron ocho fioles de 25 mL, en cada una de las cuales se midieron volúmenes solución patrón de 1,25; 2,5; 3,75; 5; 6,25; 7,5; 8,75 y 10 mL, respectivamente. Posteriormente se añadieron 2 mL de [HCl] concentrado a cada fiola y se aforó a 25 mL.

- **Obtención de la curva**

- ✓ Se transfirieron 2 mL de cada solución estándar a ocho fioles de 25 mL, añadiendo a cada una 1 mL de solución de clorhidrato de hidroxilamina al 10%, y se dejó reposar durante 5 min.

- ✓ A continuación, se añadieron 5 mL de solución buffer de acetato y 1 mL de solución de fenantrolina a cada frasco, completando el volumen con agua destilada. La mezcla se homogenizó y se dejó reposar nuevamente por 5 min.
 - ✓ A cada fiola se incorporaron 5 mL de solución buffer de acetato 0,2 M y 1 mL de solución de fenantrolina al 0.1 %, luego se completó el volumen con agua destilada y se mezcló hasta homogenizar.
 - ✓ Finalmente, se realizaron las mediciones en el espectrofotómetro a 510 nm y con los valores obtenidos, se construyó la curva de calibración.
 - ✓ Para la preparación del blanco. Se siguió el mismo procedimiento utilizado para la curva de calibración, con la diferencia de que no se le agregó la solución standard.
- **Procedimiento para la determinación de hierro en la muestra**
 - ✓ Se tomó 0,1 g de ceniza y se transfirió a un vaso, añadiendo posteriormente 5 mL de [HCl] concentrado, se agitó y homogenizó, se enrasó a 15 mL y se procedió a filtrar en un matraz.
 - ✓ Una vez obtenido el residuo, se tomó 1 mL del filtrado y se trasvasó a un tubo de ensayo, se agregó 0,5 mL de clorhidrato de hidroxilamina al 10 %, se mezcló y dejó reposar durante 5 minutos.
 - ✓ A continuación, se añadió 0,5 mL de solución buffer de acetato 0,2 M y 0,5 mL de solución de fenantrolina al 0,1%, complementando posteriormente el volumen con agua destilada hasta alcanzar los 10 mL.
 - ✓ Por último, la solución se homogenizó y se efectuó la lectura en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 510 nm, utilizando un blanco para ajustar a cero.
 - ✓ Para determinar las concentraciones, se usaron las absorbancias obtenidas de la lectura de las muestras en la ecuación de la recta de calibración.

3.5.3. Determinación de fósforo

Para la cuantificación de fósforo, se empleó el método espectrofotométrico UV/Vis de fósforo total con Cloruro estañoso.

Construcción de la curva de calibración

- ✓ Se preparó la muestra patrón a 50 mg/L de concentración en un frasco ámbar.
- ✓ A partir de la solución patrón preparada anteriormente, se preparó 100 mL de 10 mg/L en balón volumétrico.
- ✓ Con la solución patrón de 10 mg/L se preparó 100 mL de las siguientes concentraciones: 0,01; 0,05; 0,1; 0,3; 0,5; 1,0; 1,5 mg del ion fosfato en los

respectivos balones volumétricos 100 mL por triplicado; luego de esto se aforó con agua destilada.

- ✓ Se agregó la muestra a un balón volumétrico 100 mL y se aforó con agua destilada.
- ✓ Se agregó 4 mL de molibdato de amonio a cada balón, para formar fosfomolibdato de amonio.
- ✓ Pasados los 11 minutos, se llevó al espectrofotómetro a una longitud de onda 510 nm.
- ✓ Se agregó 10 gotas del cloruro estañoso desde el blanco hasta la muestra por intervalos de 2 minutos.
- ✓ Se inició la medición de la absorbancia pasados 10 minutos de haber agregado el cloruro estañoso.
- ✓ Asegurándose de realizar un lavado previo con agua destilada, y se realizaron 3 repeticiones.
- **Procedimiento para la determinación de fósforo**
 - ✓ Se pesó 0,1 g de ceniza de las diferentes accesiones de quinua.
 - ✓ Se añadió 1 mL de [HCl] concentrado a la muestra calcinada, se agitó de manera que quede homogénea. Posteriormente se enrasó con agua destilada a 10 mL, luego se dejó reposar durante 5 minutos.
 - ✓ Seguidamente se llevó a filtrar, se tomó 5 mL del filtrado en un vaso de precipitado y se agregó 0,2 mL de molibdato de amonio de concentración 10 mg/L.
 - ✓ Seguidamente se agregó 3 gotas de cloruro estañoso, se mezcló y se dejó en reposo durante 10 minutos.
 - ✓ Finalmente, la solución fue homogenizada antes de realizar la lectura en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 510 nm, empleando un blanco para calibrar el cero.

3.5.4. Determinación de zinc

Para la determinación de zinc con negro de eriocromo T, se realizó mediante el método volumétrico.

- **Procedimiento para determinación de zinc**
 - ✓ Se pesó 0,05 g de ceniza y en un vaso de precipitado se mezcló con 10 gotas de [HCl] concentrado, y se procedió a agitar.
 - ✓ Seguidamente se aforó con agua destilada al volumen total de 10 mL.

- ✓ De la muestra aforada se tomó 5 mL, se trasvasó y se agregó 2 gotas de buffer de amoníaco y se mezcló.
- ✓ Se agregó 2 gotas de solución de Negro de Eriocromo 1 % como indicador.
- ✓ Se tituló con ayuda de una bureta de 100 mL, añadiendo gota a gota la disolución de EDTA 0,01 M a la muestra analizada y agitando continuamente hasta el cambio de color violeta a azul, utilizando un testigo para comparar el punto final. Este procedimiento fue realizado en tres repeticiones, registrándose los mililitros de EDTA utilizados en cada caso para efectuar los cálculos correspondientes.

3.6. Tipo de investigación

Fue de tipo experimental, pues implica el control y manipulación de variables clave, lo que posibilita observar efectos directos y sencillos. En este diseño, se modifica la variable independiente para analizar cómo se reflejan los cambios en la variable dependiente (Hernández et al., 2014).

Diseño experimental

Se realizaron los análisis de datos utilizando un diseño experimental basado en un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con un arreglo factorial de $A \times B$, específicamente de 4×4 . Los factores en estudio tuvieron dos niveles: el factor A que son las cuatro accesiones de quinua y el factor B que es el tiempo de germinación de 0, 24, 48, 72 horas.

Variables e indicadores

Tabla 2.

Variable independiente e indicadores.

Variable independiente	Indicadores
Accesiones de quinua (A)	A1: Amarilla
	A2: Negra
	A3: Roja
	A4: Blanca
Tiempo de germinación (T)	T1: 0 hrs.
	T2: 24 hrs.
	T3: 48 hrs.
	T4: 72 hrs.

Tabla 3.

Variable dependiente e indicadores.

Variable dependiente	Indicadores
Contenido de minerales	mg/100 g

3.7. Análisis de datos

A partir de los datos recolectados para cada tiempo de germinación y accesión de quinua, se evaluó la normalidad de su distribución y posteriormente, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas entre los promedios de minerales entre las accesiones estudiadas y para confirmar si existe diferencia significativa entre tiempo de germinación y variedad de quinua. De igual manera, se hizo uso de gráficas estadísticas para visualizar mejor el valor promedio de los datos correspondientes a cada tiempo de germinación de la quinua; fue calculado utilizando el software estadístico Minitab (Hernández et al., 2014).

IV. RESULTADOS

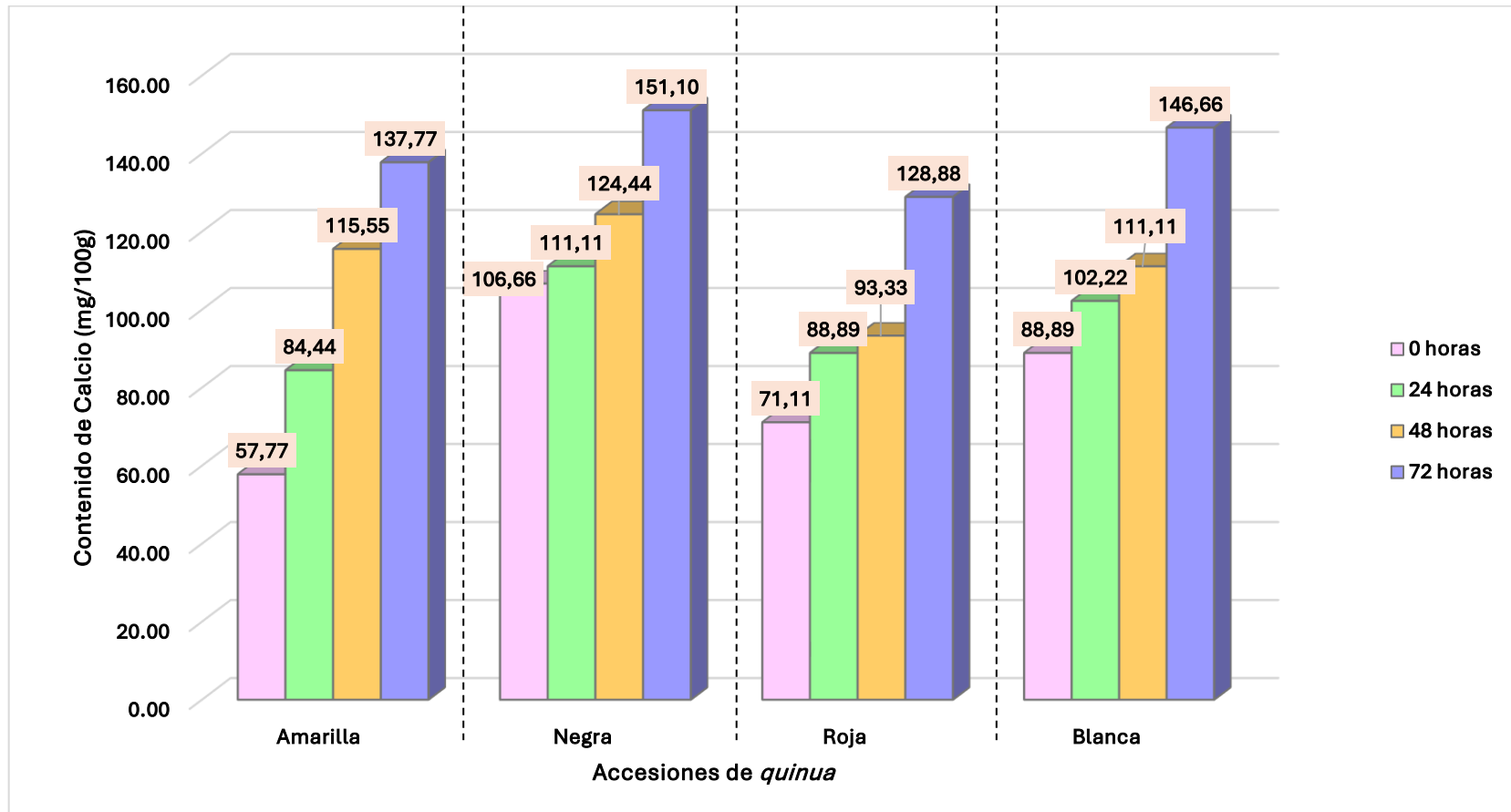


Figura N°1. Concentración promedio de calcio en cuatro accesiones de quinoa bajo diferentes tiempos de germinación.

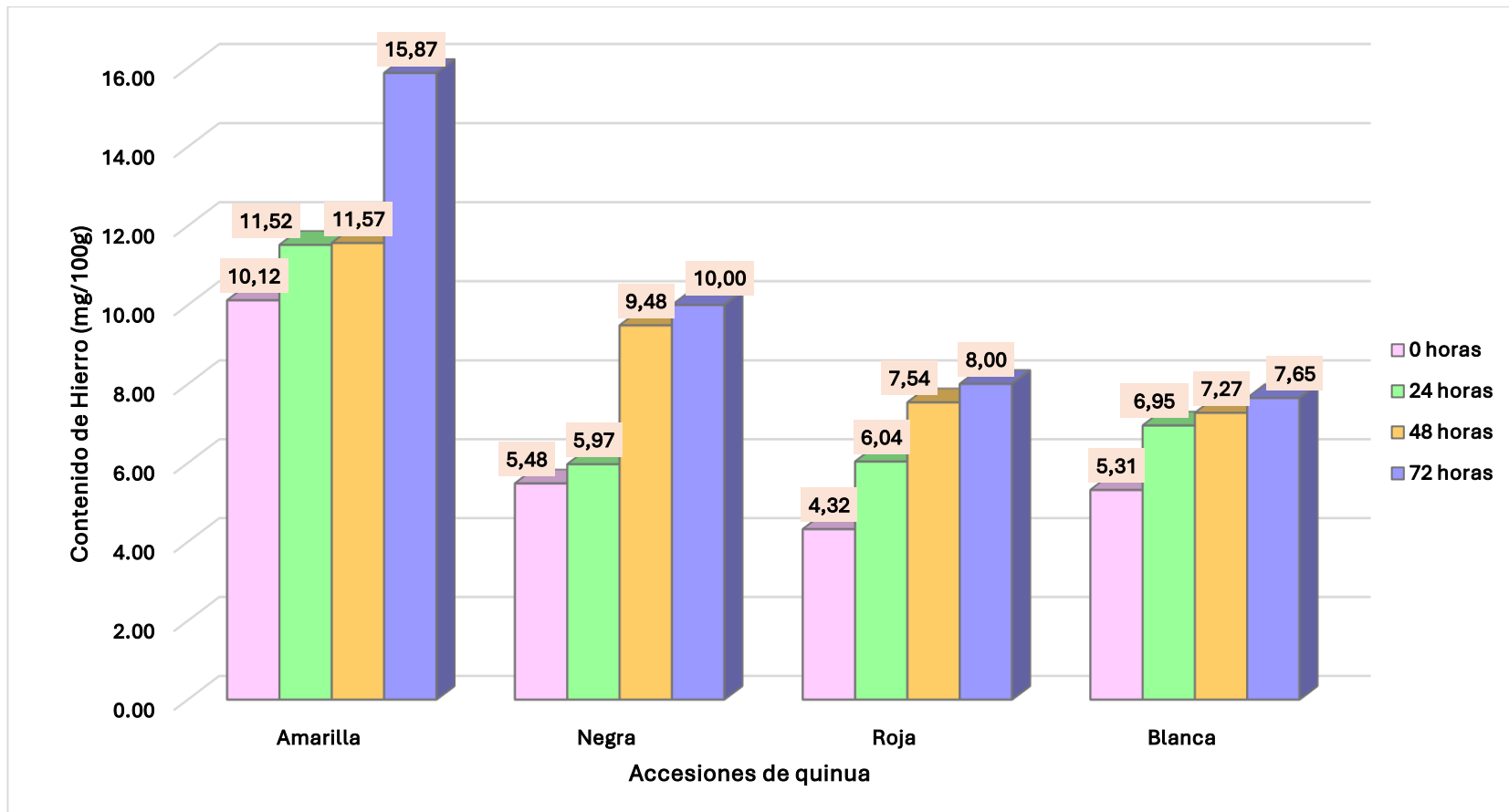


Figura N°2. Concentración promedio de hierro en cuatro accesiones de quinua bajo diferentes tiempos de germinación.

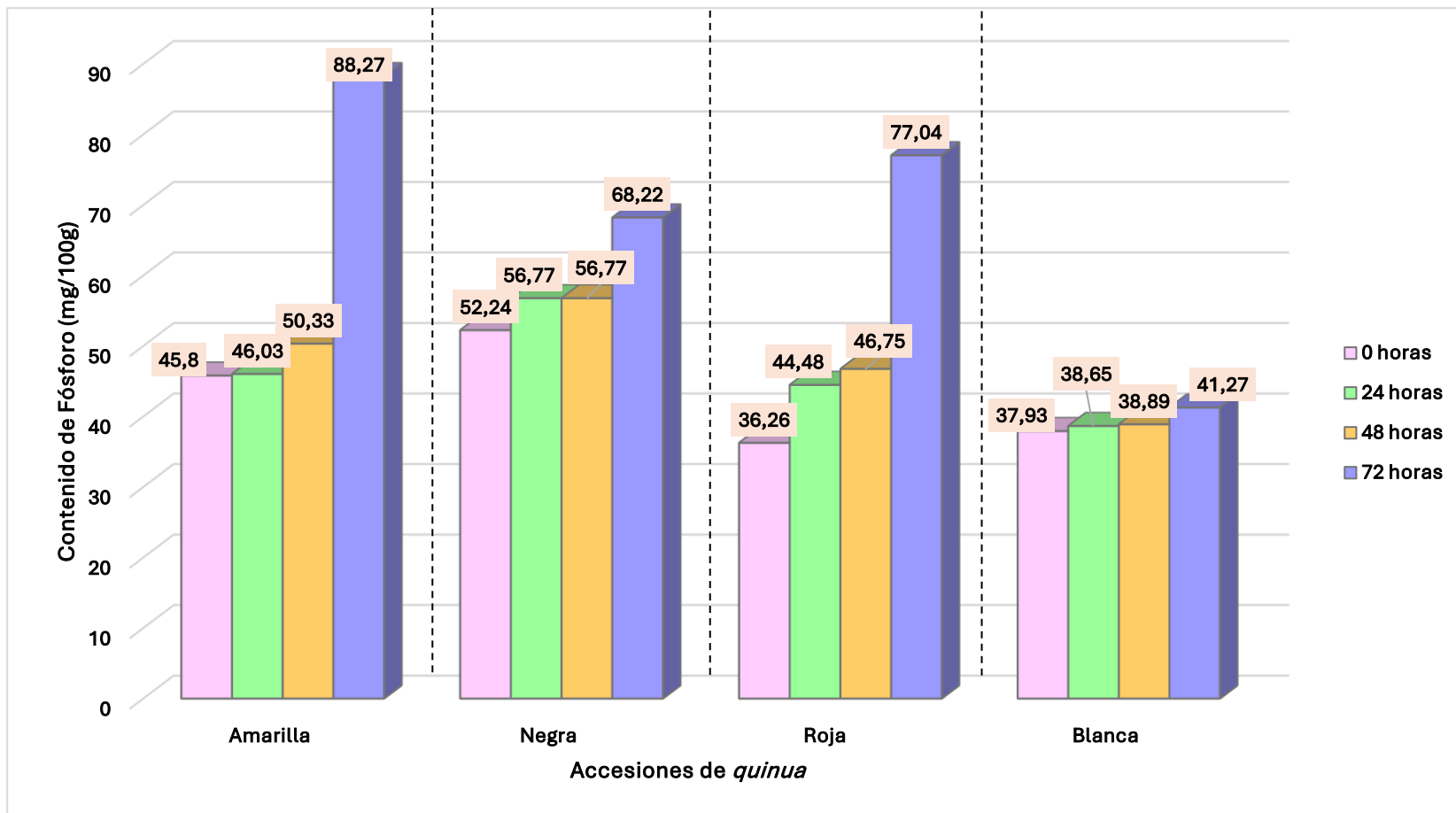


Figura N°3. Concentración promedio de fósforo en cuatro accesiones de quinua bajo diferentes tiempos de germinación.

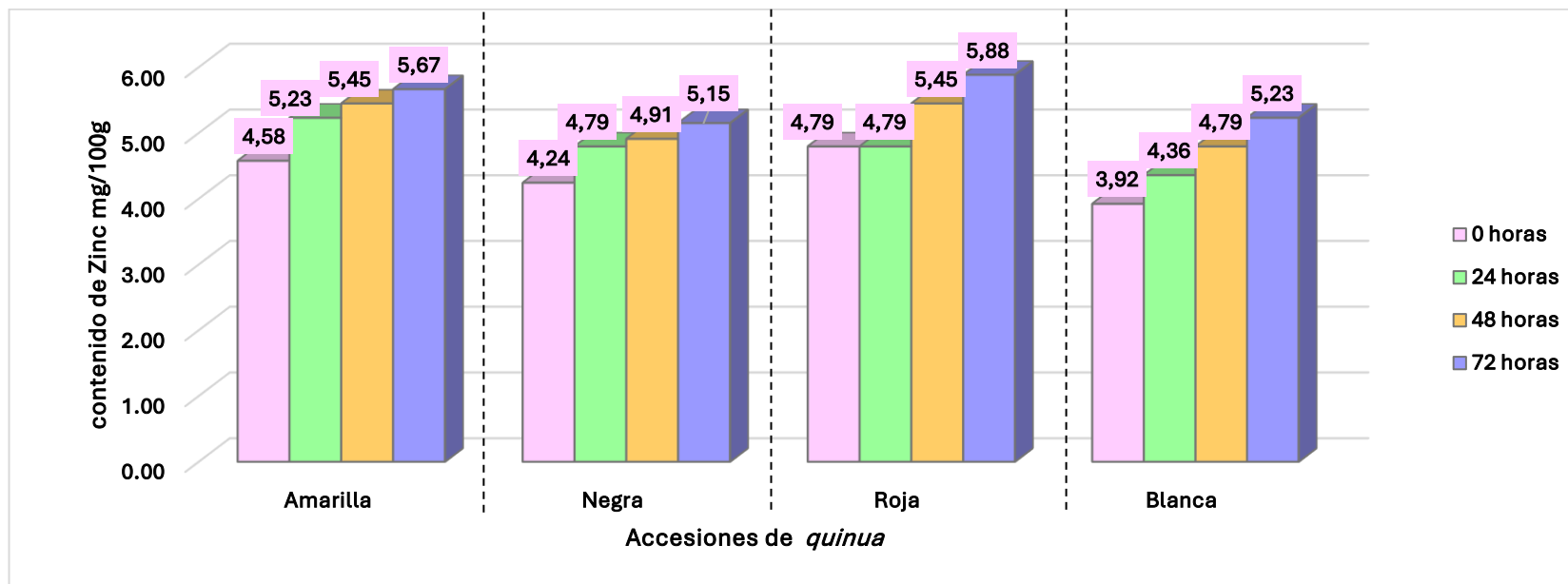


Figura N°4. Concentración promedio de zinc en cuatro accesiones de quinua bajo diferentes tiempos de germinación.

V. DISCUSIÓN

La Figura 1, muestra la concentración promedio de calcio en las cuatro accesiones de quinua a lo largo de los diferentes tiempos de germinación. En el estado no germinado, las accesiones amarilla, negra, roja y blanca mostraron contenidos promedio de 57,77; 106,66; 71,11 y 88,89 mg de calcio/100 g, respectivamente. Los valores obtenidos para las accesiones amarilla y negra son consistentes con los reportados por Palombini et al., (2013), quienes encontraron 57,0 mg/100 g y 108,41 mg/100 g de calcio en semillas crudas de quinua. La variación observada en las accesiones roja y blanca, cuyos valores difieren respecto al contenido de calcio, puede atribuirse al tipo de accesión utilizado, lo cual se ve respaldado estadísticamente por los resultados del análisis de varianza ($p < 0,05$) y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. Estos análisis confirman que el contenido de calcio está significativamente influenciado por la accesión.

De manera similar, en la Figura 1 se observa el contenido promedio de calcio en las cuatro accesiones de quinua luego de 24 horas de germinación. En esta etapa, las accesiones amarilla, negra, roja y blanca presentaron concentraciones promedio de 84,44; 111,11; 88,89 y 102,22 mg de calcio/100 g. Estos valores son comparables a los reportados por Repo et al., (2003), que reportaron una concentración de 86,9 mg/100 g en semillas no germinadas de quinua, luego de las 24 horas de germinación, obtuvieron una concentración promedio de 105,6 mg de calcio/100 g. Es importante señalar que este incremento en la concentración de calcio no solo se relaciona con el tiempo de germinación, sino también con la accesión utilizada, lo cual se verifica estadísticamente mediante el análisis de varianza y la prueba de Tukey.

La Figura 1 se representa la concentración de calcio en las cuatro accesiones de quinua en función del tiempo de germinación (0, 24, 48 y 72 horas). La accesión amarilla mostró un incremento progresivo en la concentración de calcio, registrando 57,77; 84,44; 115,55 y 137,77 mg/100 g. De manera similar, la accesión negra presentó valores de 106,66; 111,11; 124,44 y 151,10 mg/100 g. En el caso de la accesión roja, se observaron concentraciones de 71,11; 88,89; 93,33 y 128,88 mg/100 g, mientras que la accesión blanca alcanzó 88,89; 102,22; 111,11 y 146,66 mg/100 g en los mismos tiempos de evaluación.

Los resultados obtenidos para las accesiones amarilla y roja se asemejan con lo reportado por Miranda et al., (2018), quienes evidenciaron un aumento en el contenido promedio de calcio en semillas de quinua de 90,1 mg/100 g a 130,2 mg/100 g después de 72 horas de germinación. Este comportamiento confirma que la germinación favorece la movilización y disponibilidad del calcio en las semillas. De acuerdo con los datos presentados, se confirma que el contenido de calcio aumenta de manera progresiva en todas las accesiones desde las 24 hasta las 72 horas de germinación. Este comportamiento fue respaldado estadísticamente mediante el análisis de varianza ($p < 0,05$) y la prueba de comparaciones de Tukey, los cuales demostraron diferencias significativas asociadas al tiempo de germinación.

En base a los datos mostrados en la Figura 2, se resalta el valor promedio de hierro en las cuatro accesiones de quinua en los distintos tiempos de germinación. Luego de 48 horas de germinación, las accesiones amarilla, negra, roja y blanca alcanzaron un contenido promedio de hierro de 11,57; 9,48; 7,54 y 7,27 mg/100 g, respectivamente. Estos valores reflejan un aumento significativo en la concentración de este micronutriente, particularmente en la accesión amarilla.

Cabe resaltar que las concentraciones de hierro observadas en las accesiones roja y blanca son comparables a las reportadas por Huaraca et al., (2021), quienes evaluaron el efecto de la germinación sobre el contenido mineral y proteico en germinados de quinua. En su estudio, tras 6 horas de hidratación y 48 horas de germinación, obtuvieron contenidos de 5,67 mg/100 g para la variedad Negra Ccollana, 5,54 mg/100 g para la Blanca Junín y 6,16 mg de hierro/100 g para la Roja Pasankalla. No obstante, según los resultados del análisis de varianza ($p < 0,05$) y la prueba múltiple de Tukey, se muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa en el contenido de hierro entre las diferentes

accesiones de quinua evaluadas. Esta variabilidad genética podría explicar por qué la accesión amarilla presentó un contenido de hierro superior al reportado por otros investigadores, como Huaraca et al., (2021), quienes trabajaron con distintas variedades.

La Figura 2 también presenta la concentración promedio de hierro en semillas no germinadas de las cuatro accesiones de quinua evaluadas. Los valores obtenidos fueron de 10,12 mg/100 g para la accesión amarilla, 5,48 mg/100 g para la negra, 4,32 mg/100 g para la roja y 5,31 mg/100 g para la blanca. El contenido promedio de hierro en las accesiones negra, roja y blanca guarda similitud con lo reportado por Campos et al., (2022), quienes informaron un valor promedio de 4,57 mg de hierro/100 g en semillas no germinadas de quinua. Por otro lado, la concentración registrada en la accesión amarilla se encuentra en concordancia con los valores informados por Palombini et al., (2013) y Juancurová et al., (2009), quienes reportaron contenidos promedio de 10,28 y 13,20 mg/100 g, correspondiente.

Estos resultados, tanto de estudios previos como del presente trabajo, indican que las semillas no germinadas de quinua, en general, presentan un contenido moderadamente bajo de hierro, aunque con variaciones significativas entre accesiones. Esto refuerza la idea de que la variabilidad genética influye notablemente en la composición mineral del grano y que, sin la intervención de procesos como la germinación, los niveles de hierro pueden no ser suficientes para cubrir los requerimientos nutricionales diarios.

En la Figura 3 se presenta el contenido promedio de fósforo en las semillas no germinadas de las cuatro accesiones de quinua evaluadas. Los valores obtenidos fueron de 45,80 mg/100 g para la accesión amarilla, 52,24 mg/100 g para la negra, 36,26 mg/100 g para la roja y 37,93 mg/100 g para la blanca. El contenido de fósforo en la accesión amarilla coincide con lo reportado por Palombini et al., (2013), quienes obtuvieron una concentración de 45,86 mg/100 g en semillas crudas de quinua. En cambio, el contenido promedio de fósforo de la accesión blanca y roja son similares a los registrados por Jancurova et al., (2009), quienes reportaron un promedio de 38,70 mg/100 g en semillas crudas de quinua. Cabe destacar que la accesión negra presentó un contenido de fósforo superior a lo reportado en los estudios mencionados por los investigadores, lo cual podría atribuirse a las características genéticas propias de esta accesión. Esta diferencia se encuentra respaldada por el análisis de varianza y la prueba de Tukey, entre

las accesiones evaluadas, confirmando que el tipo de accesión influye directamente en la concentración de fósforo en las semillas de quinua. En conjunto, estos resultados indican que, si bien existe variabilidad en los niveles de fósforo según la accesión, las semillas no germinadas de quinua presentan en general un contenido relativamente bajo de este mineral. Esta situación refuerza la importancia de procesos como la germinación, que pueden contribuir a mejorar la disponibilidad y concentración de nutrientes esenciales.

Los resultados presentados en la Figura 3 evidencian un aumento significativo en la concentración de fósforo en las semillas de quinua tras 72 horas de germinación en todas las accesiones evaluadas. Según el análisis de varianza ($p < 0,05$) y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, se determinó que el tiempo de germinación tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de fósforo en las semillas.

Las concentraciones iniciales de fósforo en semillas no germinadas fueron de 45,80 mg/100 g para la accesión amarilla, 52,24 mg/100 g para la negra, 36,26 mg/100 g para la roja y 37,93 mg/100 g para la blanca. Tras 72 horas de germinación, se observaron incrementos notables: 88,27 mg/100 g en la amarilla, 68,22 mg/100 g en la negra, 77,04 mg/100 g en la roja y 41,27 mg/100 g en la blanca.

Estos resultados difieren considerablemente de lo reportado por Lamothe et al., (2015), quienes observaron un incremento moderado en el contenido de fósforo, pasando de 35,4 mg/100 g a 43,8 mg/100 g tras 72 horas de germinación, de manera similar, Repo et al., (2003) reportaron el mismo patrón de incremento limitado. En comparación, los datos obtenidos en la presente investigación muestran un aumento más pronunciado, lo que sugiere que existen factores adicionales que influyen en la acumulación de fósforo durante la germinación.

Entre estos factores se pueden considerar la variedad o accesión utilizada, las condiciones específicas del proceso de germinación (temperatura, humedad y duración), el estado de almacenamiento de las semillas, el tipo de suelo, así como los métodos de secado empleados. Estas variables pueden modificar significativamente la disponibilidad y movilización de minerales en las semillas durante el proceso germinativo, lo que explicaría las discrepancias con estudios previos.

En la Figura 4 se muestran los resultados del contenido de zinc en las cuatro accesiones de quinua a lo largo de los diferentes tiempos de germinación. En las semillas no germinadas, las concentraciones promedio de zinc fueron de 4,58 mg/100 g para la accesión amarilla, 4,24 mg/100 g para la negra, 4,79 mg/100 g para la roja y 3,92 mg/100 g para la blanca. Estos valores guardan relación con los reportados por Campos et al., (2022) y Jancurova (2009), quienes encontraron concentraciones de zinc en semillas crudas de quinua de 3,10 y 4,4 mg/100 g, respectivamente. Sin embargo, no se relacionan de los hallazgos de Lamothe et al., (2015), quienes reportaron niveles más bajos de zinc, entre 2,5 y 3,5 mg/100 g. En este estudio, los valores observados se sitúan en un rango superior, entre 3,92 y 4,79 mg/100 g, lo cual puede deberse a factores como la variedad de quinua utilizada, el estado de madurez de las semillas o las condiciones agroecológicas de cultivo. En ese sentido, Álvarez et al., (2010) señalaron que el contenido de zinc en las semillas de quinua puede incrementarse hasta en un 25 % durante la maduración, lo que podría explicar parcialmente la diferencia entre estudios. Asimismo, los resultados obtenidos en esta investigación son semejantes a los de Olivera (2014), quien, utilizando la técnica de fluorescencia de rayos X, encontró que los niveles de zinc en diferentes muestras de quinua oscilaban entre 1,12 y 6,1 mg/100 g. Según estos resultados podemos afirmar estadísticamente que las accesiones de quinua y el tiempo de germinación con las que se trabaja influyen de manera diferente en el contenido de este mineral, respaldado por el análisis de varianza ANOVA y Tukey.

En particular, se observó un aumento en la concentración de este mineral en todas las accesiones tras 48 horas de germinación, siendo la accesión roja la que presentó el mayor incremento, con un aumento del 24,1 % en comparación con su estado inicial. Este resultado coincide con lo reportado por Tang et al., (2016), quienes observaron un incremento del 25 % en la concentración de zinc luego de 48 horas de germinación. Este aumento puede estar asociado a procesos bioquímicos activados durante la germinación, como la movilización de reservas minerales y la acción de enzimas como la fitasa, que hidrolizan los fitatos, liberando minerales como el zinc, hierro, calcio y fósforo (Raboy, 2003). Estos mecanismos mejoran la biodisponibilidad de los nutrientes, lo cual refuerza el valor nutricional de la quinua germinada como un alimento funcional y potencialmente útil.

VI. CONCLUSIONES

1. En las semillas no germinadas los niveles máximos fueron en; calcio en la accesión Negra con 106,66 mg/100 g; hierro en la accesión Amarilla con 10,12 mg/100 g; fósforo en la accesión Negra con 52,24 mg/100 g y zinc en la accesión Roja con 4,79 mg/100 g respectivamente.
2. En el proceso de germinación, se evidenció un aumento progresivo en el contenido de los minerales calcio, hierro, fósforo y zinc. A las 72 horas se registraron los mayores incrementos de calcio en la accesión Negra con 151,10 mg/100 g; hierro en la accesión Amarilla con 15,87 mg/100 g; fósforo en la accesión Amarilla con 88,27 mg/100 g y zinc en la Roja con 5,88 mg/100g respectivamente.
3. Al comparar las accesiones durante la germinación, a las 24 y 48 horas la accesión Amarilla presentó los mayores niveles de hierro y zinc, mientras que la accesión Negra destacó en calcio y fósforo. A las 72 horas, los valores mas altos de hierro y fósforo se mantuvieron en la accesión Amarilla, el calcio en la accesión Negra y el zinc en la accesión Roja.

VII. RECOMENDACIONES

1. Considerar el efecto del tiempo de remojo, temperatura y almacenamiento en cuanto al contenido mineral de las semillas de quinua.
2. Utilizar más variedades de quinua para poder tener una información completa y precisa.
3. En cuanto a la determinación mineral por volumetría utilizar buretas calibradas y tener cuidado en cuanto a la lectura del volumen gastado.
4. Utilizar equipo de bioseguridad adecuado para evitar cualquier tipo de daño físico por la manipulación de reactivos peligrosos como el ácido clorhídrico.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, I. H., Flores, A. B., & Villacorta, M. W. B. (2020). Valoración de las cualidades nutricionales de germinados de cinco variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo condiciones atemperadas en el Centro Experimental Cota. *Apthapi*, 6(1),1744–1756.
<https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/44>
- ALADI & FAO (2014). *Tendencias y Perspectivas del comercio Internacional de la Quinoa*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Álvarez-Jubete, L., Ameal, A., & Fernández-López, J. (2010). Effect of germination and cooking on the nutritional quality of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Science*, 75(2), S144-S149.
- Arrieta Miranda, A. (2021). *Importancia de los germinados para el consumo humano* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Agraria La Molina.
<https://repositorio.udes.edu.co/entities/publication/7a237582f0a9-4f0d-bff5-1895399aff1f/full>
- ASALE. (2024, 8 de julio). Ceniza. *Diccionario de americanismos*.
- Bowman, B.A., & Russel, R.M. (2004). Conocimientos actuales sobre nutrición: Octava edición. *Revista Española de Salud Pública*, 78(1), 117–117.
<https://doi.org/10.1590/s1135-57272004000100012>
- Blasco, T. B., Ureta, C. A.-O., Mamani, A. M. J., & Jáuregui, C. M. (2002). Evaluación de la composición nutricional de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) procedente de los departamentos de Junín, Puno, Apurímac, Cusco y Áncash. *Horizonte Médico (Lima)*, 2(1/2).
<https://www.horizontemedico.usmp.edu.pe/index.php/horizontemed/article/view/2006>
- Bravo, M., Reyna R., J., Gómez Sánchez, I., & Huapaya H., M. (2013). Estudio químico y nutricional de granos andinos germinados de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y kiwicha (*Amarantus caudatus*). *Revista Peruana de Química E Ingeniería Química*,16(1),54–60.
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/6558>

- Calvo, M. S., Uribarri J. (2013). Contributions to total phosphorus intake: all sources considered. *Seminars in dialysis*, 26(1), 54-61.
<https://doi.org/10.1111/sdi.12042>
- Campos-Rodríguez, J., Acosta-Coral, K., & Paucar-Menacho, L. M. (2022). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Nutritional composition and bioactive compounds of grain and leaf, and impact of heat treatment and germination. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 209–220.
<http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>
- Comino Montilla, I. M., Moreno Amador, M. d. L., Real, A., Rodríguez Herrera, A., Barro, F., & Sousa Martín, C. (2013). The gluten-free diet: Testing alternative cereals tolerated by celiac patients. *Nutrients*, 5(10), 4250-4268.
<https://doi.org/10.3390/nu5104250>
- Criollo, I., Orellana, G., & Sarmiento, K. (2010). *Evaluación de la ingesta de calcio en mujeres de 19 a 30 años que acuden a los hospitales “Vicente Corral” y “José Carrasco”*. Cuenca 2009 [Tesis de grado]. Universidad de Cuenca.
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3861/1/TECN16.pdf>
- Cronquist, A. (1988). Botánica Básica. Ed. Cecsca, México. CUTLER, D.F. Applied plant anatomy. Longmans. Londres y New York.
- Cruz Valderrama, M. A. (2017). *Aplicaciones de la semilla germinada de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en la mejora nutricional de los preparados alimentarios* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Trujillo.
<https://1library.co/document/8ydw4pjg-aplicaciones-semilla-germinada-quinua-chenopodium-nutricional-preparados-alimentarios.html>
- Darwish, A. M., Al-Jumayi, H. A., & Elhendy, H. A. (2020). Effect of germination on the nutritional profile of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds and its anti-anemic potential in Sprague-Dawley male albino rats. *Cereal Chemistry*, 98(2), 315-327.
<https://doi.org/10.1002/cche.10366>
- De La Cruz, J. (2023). La quinua en el Perú: Pseudocereal andino, alimento de generaciones presentes y futuras. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 11(1), 1-3.

<https://doi.org/10.36610/j.jsab.2023.110100001>

Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 00-00.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S02585936201000100100011&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Fabio, A. D., & Parraga, G. (2017). Origin, production and utilization of pseudocereals. In A. Capraro & P. Villaverde (Eds.), *Pseudocereals* (pp. 1-27). John Wiley & Sons, Ltd.

<https://doi.org/10.1002/9781118938256.ch1>

FAO/WHO. (2000). *Necesidades de energía y de proteínas: Informe de una consulta mixta de expertos FAO/OMS/UNU*. Organización Mundial de la Salud. Serie de informes Técnicos N° 724. Ginebra: OMS

<https://www.fao.org/3/am401s/am401s03.pdf>

FAO/WHO. (2004). *Vitamin and mineral requirements in human nutrition: Report of a joint expert consultation*. World Health Organization.

<https://www.fao.org/3/y2809e/y2809e.pdf>

Fuentes Soriano, Pablo. (2017). *Determinación de fósforo en nueces y establecimiento de la fracción asimilable* [Tesis de pregrado]. Universidad de Cádiz.

https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/20105/TFG_Fuentes_Pablo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

García, A. (2019). *Química ambiental* Colin Baird. 2da edición, editorial reverté.

https://www.academia.edu/40989190/Qu%C3%ADmica_ambiental_Colin_Baird

Henríquez, P., Rica, R. M. de R. F. (Costa, & Agricultura (IICA), I. I. de C. para la. (2002). *Glosario de términos útiles para el manejo de los recursos fitogenéticos*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

<https://repositorio.iica.int/handle/11324/9096>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill España.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>

Hinostroza Córdova, M. B. (2020). *Efecto de la germinación de quinua y kiwicha en el contenido de fenólicos totales, betalainas, vitamina C y actividad antioxidante* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional del Centro del Perú.

<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7023>

Huaraca Aparco, R., Kari Ferro, A., Tapia Tadeo, F., & Álvarez Arias, C. (2021). Contenido mineral y proteína en germinados de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista Alfa*, 5(15), 516–522.

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i15.134>

Huamanchumo, W. (2020). *Pseudocereales andinos: Valor nutritivo y aplicaciones para alimentos libres de gluten* [Tesis de Máster Universitario]. Universidad Politécnica de Valencia.

<https://riunet.upv.es/handle/10251/151184>

Juancurova, A. B., Mamani, E. V., & Mamani, F. (2009). Estudio del mineral hierro en *Chenopodium quinoa* Willd. *Revista de Alimentos*, 10(2), 100-120.

Knochel, J. P. (2006). Phosphorus. In M. E. Shils, M. Shike, A. C. Ross, B. Caballero, & R. J. Cousins (Eds.), *Modern nutrition in health and disease* (10th ed., pp. 211-222). Lippincott Williams & Wilkins.

Lamothe, L. M., Chavan, U. D., & Amarowicz, R. (2015). Germination of quinoa seeds: Effects on nutrient content and bioavailability. *Journal of Food Science*, 80(5), S1448-S1456.

Leguía, S. (2018). *Compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y contenido proteico de tres variedades de quinua germinada (Chenopodium quinoa Willd.)* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional José María Arguedas.

<http://repositorio.unajma.edu.pe/handle/20.500.14168/419>.

Luftman, M. (2018). *Introduction to UV/VIS spectrophotometry: Using spectrophotometer to determine concentration*. Proanalytics. Retrieved from

<https://pro-analytics.net/using-spectrophotometer-to-determine-concentration/>,

Luque Vilca, O. M., Parillo Gutierrez, I., Yucra Mamani, Y. E., Mamani Adco, Y., & Baylor Hidalgo, L. R. (2019). Influencia del proceso de germinación en el contenido de proteínas y aminoácidos de la quinua (*Chenopodium quinoa*

- Willd.) Variedad Pasankalla Roja. *Ñawparisum - Revista de Investigación Científica*, 2(1), 25-30.
<https://unaj.edu.pe/revista/index.php/vpin/article/view/46>
- Matilla, A. (2008). Desarrollo y germinación de las semillas. En J. Azcón-Bieto & M. Talón (Eds.), *Fundamentos de fisiología vegetal* (2a ed., pp. 537-558). McGraw-Hill Interamericana.
<https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2016/08/matilla-2008.pdf>
- Martínez de Victoria, E. (2016). El calcio, esencial para la salud. *Nutrición Hospitalaria*, 33, 26-31.
<https://doi.org/10.20960/nh.341>
- Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Uribe, E., García, M. E., & Hurtado, A. (2018). Effect of germination on the nutritional and bioactive compounds of quinoa. *Journal of Food Science and Technology*, 55(4), 1226-1235.
- Morales, C., & Moreno, A. (2019). *Cuantificación de hierro en músculo de Cavia porcellus (cuy) de las razas Andina, Perú e Inti* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Trujillo.
<http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/15777/Morales%20Chavez%20Christian%20Alejandro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nascimento, A. C., Mota, C., Coelho, I., Gueifão, S., Santos, M., Matos, A. S., Giménez, A., Lobo, M., Samman, N., & Castanheira, I. (2014). Characterisation of nutrient profile of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), amaranth (*Amaranthus caudatus*), and purple corn (*Zea mays* L.) consumed in the North of Argentina: Proximates, minerals and trace elements. *Food Chemistry*, 148, 420–426.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.155>
- Olivera, A. B., & Nieto, C. D. (2014). Caracterización de minerales en granos de quinua. *Revista de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 10(2), 100-120.
<https://repositorio.ipen.gob.pe/backend/api/core/bitstreams/fb0caf59-8df1-4636-adb9-f874f015e123/content>
- Paucar Menacho, L., Martínez-Villaluenga, C., Dueñas, M., Frías, J., & Peñas, E. (2017). Response surface optimisation of germination conditions to

improve the accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity in quinoa. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(2), 516-524.

<https://doi.org/10.1111/ijfs.13623>

Palombini, S. V., Claus, T., Maruyama, S. A., Gohara, A. K., Souza, A. H. P., et al. (2013). Evaluation of nutritional compounds in new amaranth and quinoa cultivars. *Food Science and Technology*, 33(2), 339-344.

https://www.researchgate.net/publication/262712954_Evaluation_of_nutritional_compounds_in_new_amaranth_and_quinoa_cultivars

Peirano, P., Algarín, C., Garrido, M., Pizarro, F., Roncagliolo, M., & Lozoff, B. (2001). Interaction of iron deficiency anemia and neurofunctions in cognitive development. *Nestle Nutrition Workshop Series. Clinical & Performance Programme*, 5, 19–39.

<https://doi.org/10.1159/000061843>

Peñas, E., Uberti, F., Lorenzo, C., Ballabio, C., Brandolini, A., & Restani, P. (2014). Biochemical and immunochemical evidences supporting the inclusion of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a gluten-free ingredient. *Plant Foods for Human Nutrition*, 69, 297-303.

<https://doi.org/10.1007/s11130-014-0449-2>

Quintero, G. A. (2002). *Desarrollo de un alimento funcional a partir de hierro hémico y evaluación de su biodisponibilidad, para la prevención y corrección de la deficiencia de hierro* [Tesis doctoral]. Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Veterinaria, España.

Raboy, V. (2003). myo-Inositol-1,2,3,4,5,6-hexakisphosphate phosphohydrolase (phytase) enzimas. In B. Caballero, L. Trugo, & P. Finglas (Eds.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (2nd ed., pp. 4663-4668). Academic Press.

Repo-Carrasco, R., Espinoza, C., & Jacobsen, S. E. (2003). Chemical and nutritional characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 53(2), 157-164.

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172021000100015

Srujana, M., Bethapudi, A., Maheswari, K. U., Devi, K. B., & Suneetha, J. W. (2020). Effect of Germination on Vitamin C Content and Amylolytic Activity of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, 21(1), 1-13.

<https://doi.org/10.9734/irjpac/2019/v20i430143>

Tang, Y., Tsao, R., Deng, Z., & Sang, Y. (2016). Germination of quinoa seeds: Effects on nutrient content and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 197, 126-133.

<https://www.redalyc.org/journal/3030/303049607011/html/>

Tostado Madrid, T., Benítez Ruiz, I., Pinzón Navarro, A., Bautista Silva, M., & Ramírez Mayans, J. A. (2015). Actualidades de las características del hierro y su uso en pediatría. *Acta pediátrica de México*, 36(3), 189-200.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S018623912015000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Clínica Universidad de Navarra. (n.d.). *Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)*. Retrieved March 26, 2025, from the Clínica Universidad de Navarra Diccionario médico.

<https://www.cun.es/diccionario.medico/terminos/acidoetilendiaminotetraacetico-edta>

Valencia García, F. E., Román Morales, M. O., & Cardona Sánchez, D. P. (2011). El calcio en el desarrollo de alimentos funcionales. *Revista Lasallista de Investigación*, 8(1), 104-116.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69522600012>

ANEXOS

Anexo 1.

Concentración de calcio en cuatro accesiones de quinua después de 0, 24, 48 y 72 horas de germinación.

Accesión	Tiempo de germinación	R1	R2	R3	Media	Desviación estándar
Amarilla	0 horas	53,33	66,664	53,33	57,77	7,698
Negra	0 horas	93,33	106,662	119,996	106,66	7,698
Roja	0 horas	66,66	66,664	79,996	71,11	13,333
Blanca	0 horas	93,33	93,33	79,996	88,89	7,698
Amarilla	24 horas	119,99	119,996	106,662	84,44	7,698
Negra	24 horas	119,99	106,662	106,662	111,11	7,698
Roja	24 horas	93,33	79,996	93,33	88,89	7,697
Blanca	24 horas	106,662	93,33	106,662	102,22	7,697
Amarilla	48 horas	79,996	93,33	79,996	115,55	7,698
Negra	48 horas	119,996	119,996	133,328	124,44	13,333
Roja	48 horas	106,662	93,33	79,996	93,33	15,394
Blanca	48 horas	106,662	106,662	119,996	111,11	6,286
Amarilla	72 horas	146,66	146,66	119,996	137,77	15,394
Negra	72 horas	159,994	146,66	146,66	151,10	7,697
Roja	72 horas	146,66	119,996	119,996	128,88	7,698
Blanca	72 horas	146,66	146,66	146,66	146,66	7,698

Anexo 2.

Concentración de hierro en cuatro accesiones de quinua después de 0, 24, 48 y 72 horas de germinación.

Accesión	Tiempo de germinación	R1	R2	R3	Media	Desviación estándar
Amarilla	0 horas	10,284	9,950	10,122	10,12	0,136
Negra	0 horas	5,425	5,536	5,480	5,48	0,045
Roja	0 horas	4,373	4,262	4,329	4,32	0,045
Blanca	0 horas	5,259	5,370	5,314	5,31	0,045
Amarilla	24 horas	11,569	11,459	11,531	11,52	0,046
Negra	24 horas	5,868	6,089	5,945	5,97	0,092
Roja	24 horas	6,089	5,978	6,039	6,04	0,045
Blanca	24 horas	7,030	6,864	6,953	6,95	0,068
Amarilla	48 horas	11,569	11,531	11,601	11,57	0,029
Negra	48 horas	9,577	9,411	9,466	9,48	0,069
Roja	48 horas	7,584	7,473	7,551	7,54	0,046
Blanca	48 horas	7,196	7,252	7,362	7,27	0,069
Amarilla	72 horas	16,109	15,610	15,887	15,87	0,204
Negra	72 horas	10,075	9,931	9,992	10,00	0,059
Roja	72 horas	7,838	7,866	8,309	8,00	0,216
Blanca	72 horas	7,584	7,694	7,667	7,65	0,047

Anexo 3.

Concentración de fósforo en cuatro accesiones de quinua después de 0, 24, 48 y 72 horas de germinación.

Accesión	Tiempo de germinación	R1	R2	R3	Media	Desviación estándar
Amarilla	0 horas	46,512	45,796	45,081	45,80	0,584
Negra	0 horas	52,952	52,237	51,521	52,24	0,584
Roja	0 horas	37,925	35,778	35,063	36,26	1,216
Blanca	0 horas	37,932	38,648	37,216	37,93	0,584
Amarilla	24 horas	47,228	45,796	45,081	46,03	0,892
Negra	24 horas	57,961	56,530	55,814	56,77	0,892
Roja	24 horas	46,512	44,365	43,650	44,84	1,216
Blanca	24 horas	39,363	37,932	38,648	38,65	0,584
Amarilla	48 horas	50,805	50,090	50,090	50,33	0,337
Negra	48 horas	57,246	57,246	55,814	56,77	0,675
Roja	48 horas	49,374	45,796	45,081	46,75	1,878
Blanca	48 horas	39,363	38,648	38,648	38,89	0,337
Amarilla	72 horas	85,168	90,178	89,462	88,27	2,212
Negra	72 horas	64,401	71,557	68,695	68,22	2,941
Roja	72 horas	80,144	77,997	72,988	77,04	2,998
Blanca	72 horas	42,226	40,795	40,795	41,27	0,675

Anexo 4.

Concentración de zinc en cuatro accesiones de quinua después de 0, 24, 48 y 72 horas de germinación.

Accesión	Tiempo de germinación	R1	R2	R3	Media	Desviación estándar
Amarilla	0 horas	5,230	4,576	3,922	4,58	0,534
Negra	0 horas	3,923	4,230	4,576	4,24	0,267
Roja	0 horas	5,230	4,576	4,576	4,79	0,308
Blanca	0 horas	3,923	3,269	4,576	3,92	0,534
Amarilla	24 horas	4,577	5,884	5,230	5,23	0,534
Negra	24 horas	4,577	4,922	5,230	4,91	0,267
Roja	24 horas	3,923	4,576	5,884	4,79	0,815
Blanca	24 horas	3,923	4,576	4,576	4,36	0,308
Amarilla	48 horas	4,577	5,230	6,538	5,45	0,815
Negra	48 horas	4,577	5,230	4,576	4,79	0,308
Roja	48 horas	5,230	5,884	5,230	5,45	0,308
Blanca	48 horas	4,577	5,230	4,576	4,79	0,308
Amarilla	72 horas	6,538	5,884	4,576	5,67	0,815
Negra	72 horas	5,230	5,287	4,922	5,15	0,160
Roja	72 horas	5,884	6,538	5,230	5,88	0,534
Blanca	72 horas	5,230	4,576	5,884	5,23	0,534

Anexo 5.

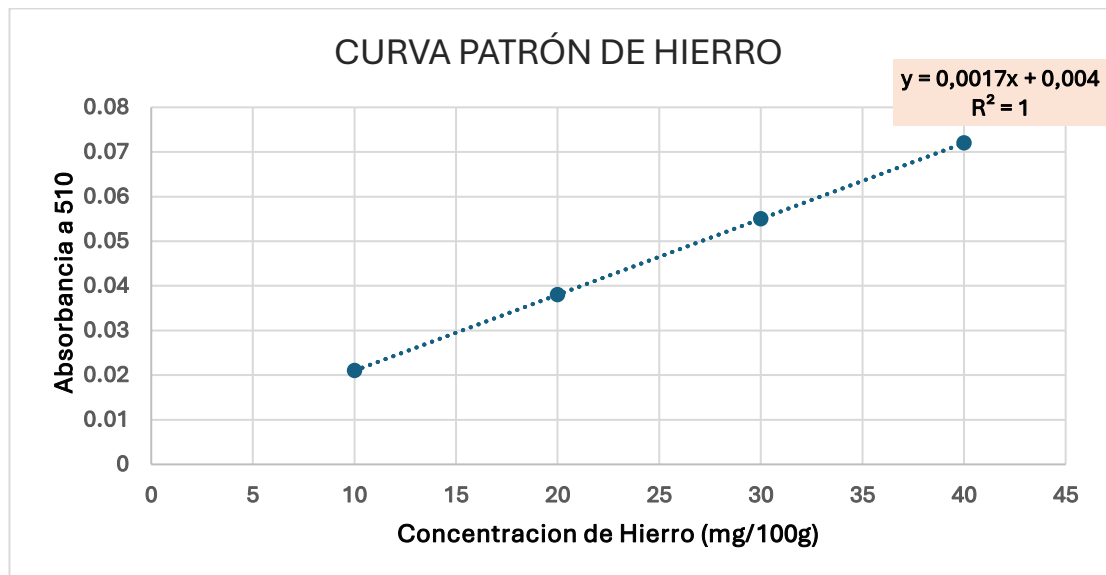
Tabla 2. Viabilidad de las 100 semillas de cuatro accesiones de quinua, después de 24 horas de germinación.

Accesiones	N° semillas germinadas	N° semillas no germinadas	Viabilidad
Amarilla	85	15	85 %
Negra	91	9	91 %
Roja	80	20	80 %
Blanca	89	11	89 %

Anexo 6. Curva de calibración para hierro.

Concentración de hierro	absorbancia	XY	X2	Absorbancia corregida de hierro
10	0,017	0,17	100	0,021
20	0,044	0,88	400	0,038
30	0,05	1,5	900	0,055
40	0,07	2,8	1600	0,072
100	0,181	5,35	10000	

Nota: datos para la elaboración de la curva corregida del contenido de hierro.

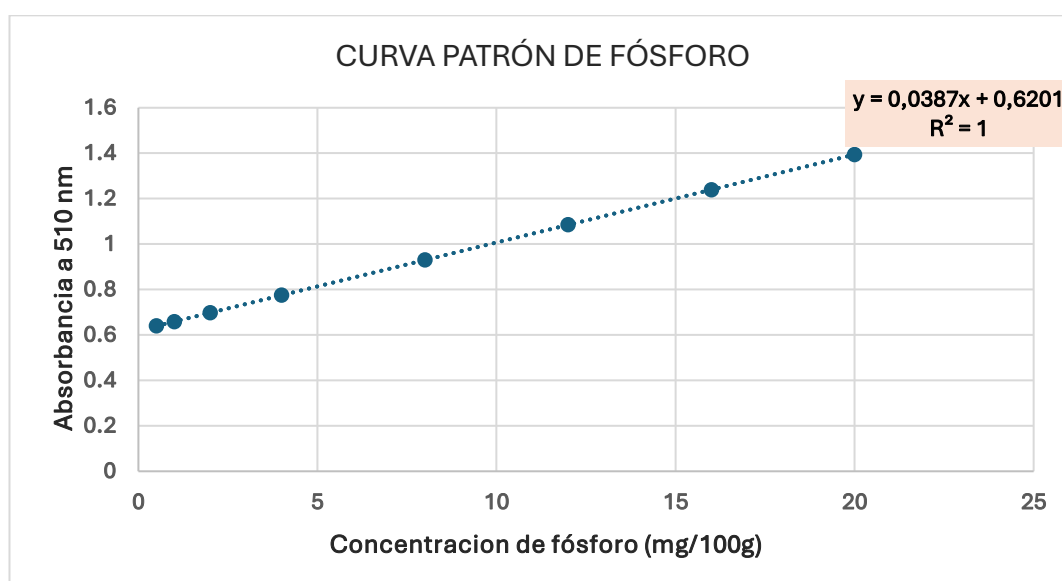


En esta curva de calibración corregida se resalta la ecuación lineal que será utilizada para el cálculo del contenido de hierro en las diferentes muestras; también se evidencia el coeficiente de determinación ($R^2 = 1$), por lo que indica un ajuste perfecto. Por tanto, el procedimiento experimental y el modelo aplicado son fiables para la determinación de hierro en diferentes tipos de muestra.

Anexo 7. Curva de calibración para fósforo.

Concentración de fósforo	Absorbancia	XY	X2	Concentración corregida de fósforo
0.5	0,514	0,257	0,25	0,6394
1	0,634	0,634	1	0,6588
2	0,75	1,5	4	0,6975
4	0,874	3,496	16	0,7748
8	0,944	7,552	64	0,9296
12	1,114	13,368	144	1,0844
16	1,234	19,744	256	1,2392
20	1,354	27,08	400	1,3939
63.5	7,418	73,631	885,25	

nota: datos para la elaboración de la curva corregida del contenido de fósforo.



En esta curva de calibración corregida se resalta la ecuación lineal que será utilizada para el cálculo del contenido de fósforo en las diferentes muestras; también se evidencia el coeficiente de determinación ($R^2 = 1$), por lo que indica un ajuste perfecto, por tanto, el procedimiento experimental y el modelo aplicado son fiables para la determinación de fósforo en diferentes tipos de muestra.

Anexo 8. Prueba de Normalidad y Homogeneidad de varianza con respecto al contenido de calcio.

a) Prueba de homogeneidad de varianza σ^2 (Levene-test)

Donde:

- Hipótesis nula (H0) = Las varianzas son iguales
- Hipótesis alterna (H1) = Las varianzas son diferentes

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)

	DF	F-value	Pr(>F)
Group	15	0,15	1,000
	32		

Interpretación: Se acepta la hipótesis nula donde manifiesta que las varianzas de los diferentes tratamientos son iguales

b) Prueba de Normalidad (Kolmogorov- smirnov) con nivel de confianza de 0,05

Donde:

- Hipótesis nula (H0) = Los residuales de cada factor tiene una distribución normal.
- Hipótesis alterna (H1) = Los residuales de cada factor no tienen una distribución normal

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

Data: RESIDUALES

p-value = 0,05

Nota: Para la prueba de Normalidad se utilizó el test de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) debido a que los datos obtenidos son mayores a 50, (n=60).

Interpretación: Ya que el valor de $P=0,05$, entonces se acepta la hipótesis nula, concluyendo de esta manera que los residuales de calcio siguen una distribución normal.

Anexo 9. Análisis de varianza de dos factores con interacción con respecto al contenido de calcio.

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Accesión	Fijo	4	Amarilla; Blanca; Negra; Roja
Tiempo de germinación	Fijo	4	0 horas; 24 horas; 48 horas; 72 horas

Análisis de Varianza

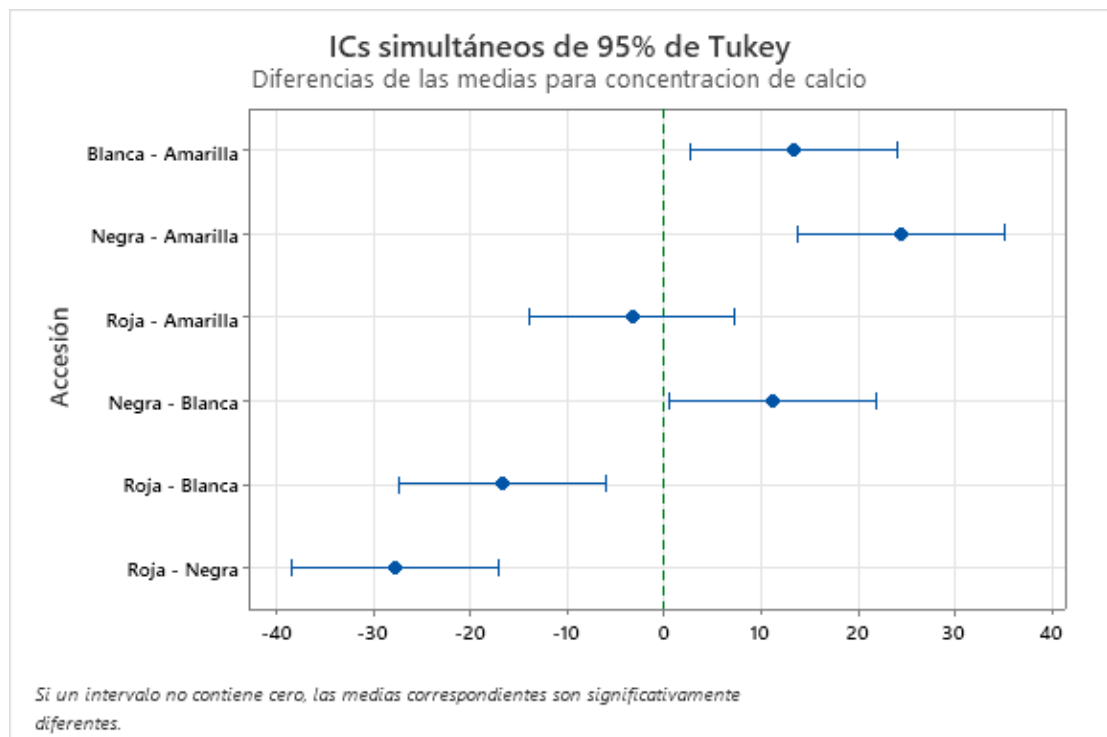
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Accesión	3	5877	1959,13	21,16	0,000
Tiempo de germinación	3	23476	7825,28	84,52	0,000
Accesión*Tiempo de germinación	9	1959	217,69	2,35	0,036
Error	32	2963	92,59		
Total	47	34275			

La variedad y el tiempo de germinación influyen de manera significativa en la concentración de calcio, ya que el valor de $P < 0,05$ esto demuestra que hay una relación entre la variedad y el tiempo de germinación que influyen en la concentración de calcio.

Anexo 10. Comparación múltiple de Tukey del contenido de calcio en función a las accesiones de quinua.

Accesión	N	Media	Agrupación
Negra	12	123,329	A
Blanca	12	112,218	B
Amarilla	12	98,885	C
Roja	12	95,552	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

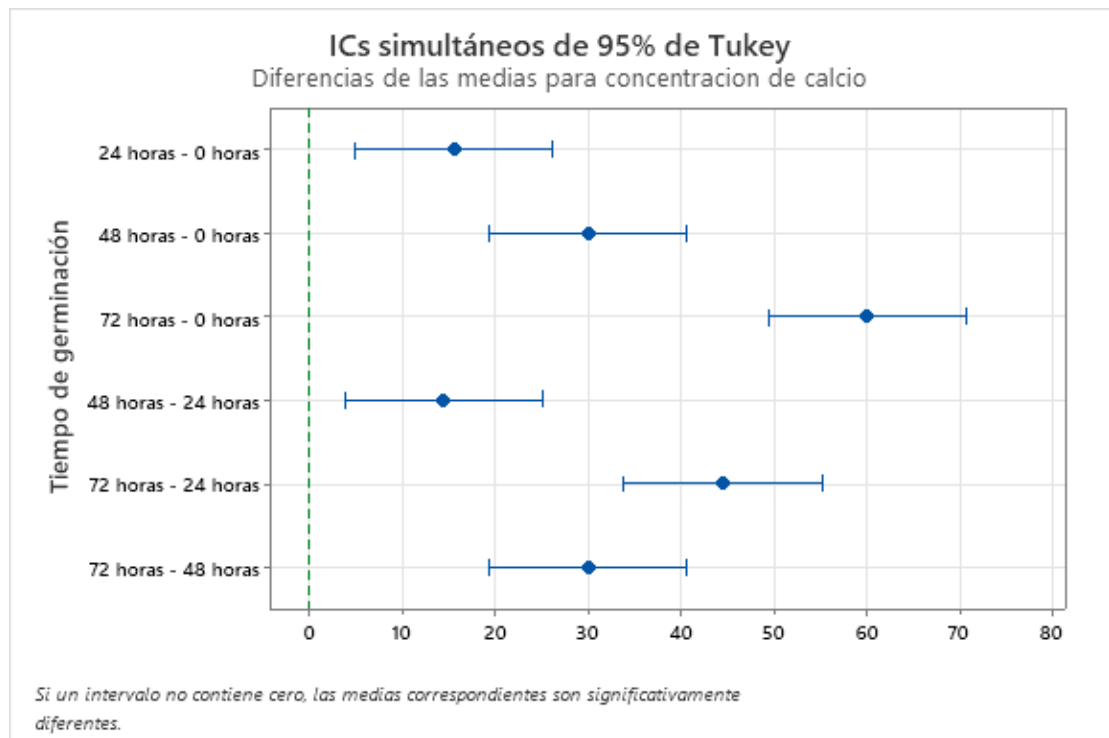


Según la prueba múltiple de Tukey las accesiones amarilla y roja tienen el mismo contenido de calcio y la accesión negra es la que tiene mayor contenido promedio de calcio.

Anexo 11. Comparaciones múltiples de Tukey del contenido de calcio en función al tiempo de germinación.

Tiempo de germinación	N	Media	Agrupación
72 horas	12	141,105	A
48 horas	12	111,107	B
24 horas	12	96,663	C
0 horas	12	81,108	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



Según la prueba múltiple de Tukey el contenido promedio de calcio incrementa desde las 24 horas hasta las 72 horas de germinación.

Anexo 12. Comparación múltiple de Tukey del contenido de calcio con respecto a la interacción entre la accesión y tiempo de germinación.

Accesión*Tiempo de germinación	N	Media	Agrupación
Negra 72 horas	3	151,105	A
Blanca 72 horas	3	146,660	A
Amarilla 72 horas	3	137,772	A B
Roja 72 horas	3	128,884	A B C
Negra 48 horas	3	124,440	A B C
Amarilla 48 horas	3	115,551	B C D
Blanca 48 horas	3	111,107	B C D E
Negra 24 horas	3	111,107	B C D E
Negra 0 horas	3	106,663	C D E
Blanca 24 horas	3	102,218	C D E
Roja 48 horas	3	93,329	D E F
Blanca 0 horas	3	88,885	D E F
Roja 24 horas	3	88,885	D E F
Amarilla 24 horas	3	84,441	E F G
Roja 0 horas	3	71,108	F G
Amarilla 0 horas	3	57,775	G

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

- Según la prueba múltiple de Tukey con interacción, las accesiones negra, blanca y amarilla tienen el mismo contenido promedio de calcio a las 72 horas de germinación; la accesión amarilla y roja tiene el mismo contenido de calcio y la accesión negra es la que tiene mayor contenido promedio de calcio.
- La accesión negra a las 0 y 24 horas de germinación y la accesión blanca después de las 48 horas de germinación tienen el mismo contenido promedio de calcio.

Anexo 13. Prueba de Normalidad y Homogeneidad de varianza con respecto al contenido de hierro.

c) Prueba de homogeneidad de varianza σ^2 (Levene-test)

Donde:

- Hipótesis nula (H0) = Las varianzas son iguales
- Hipótesis alterna (H1) = Las varianzas son diferentes

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)

	DF	F-value	Pr(>F)
Group	15	0,78	0,687
	32		

Interpretación: Se acepta la hipótesis nula donde manifiesta que las varianzas de los diferentes tratamientos son iguales

d) Prueba de Normalidad (Kolmogorov- smirnov) con nivel de confianza de 0,05

Donde:

- Hipótesis nula (H0) = Los residuales de cada factor tiene una distribución normal.
- Hipótesis alterna (H1) = Los residuales de cada factor no tienen una distribución normal

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

Data: RESIDUALES

p-value = 0,05

Nota: Para la prueba de Normalidad se utilizó el test de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) debido a que los datos obtenidos son mayores a 50, (n=60).

Interpretación: Ya que el valor de $P=0,05$, entonces se acepta la hipótesis nula, concluyendo de esta manera que los residuales de hierro siguen una distribución normal.

Anexo 14. Análisis de varianza de dos factores con interacción con respecto al contenido de hierro.

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Variedad	Fijo	4	Amarilla; Blanca; Negra; Roja
Tiempo de germinación	Fijo	4	0 horas; 24 horas; 48 horas; 72 horas

Análisis de Varianza

Anova Table (Type II tests)

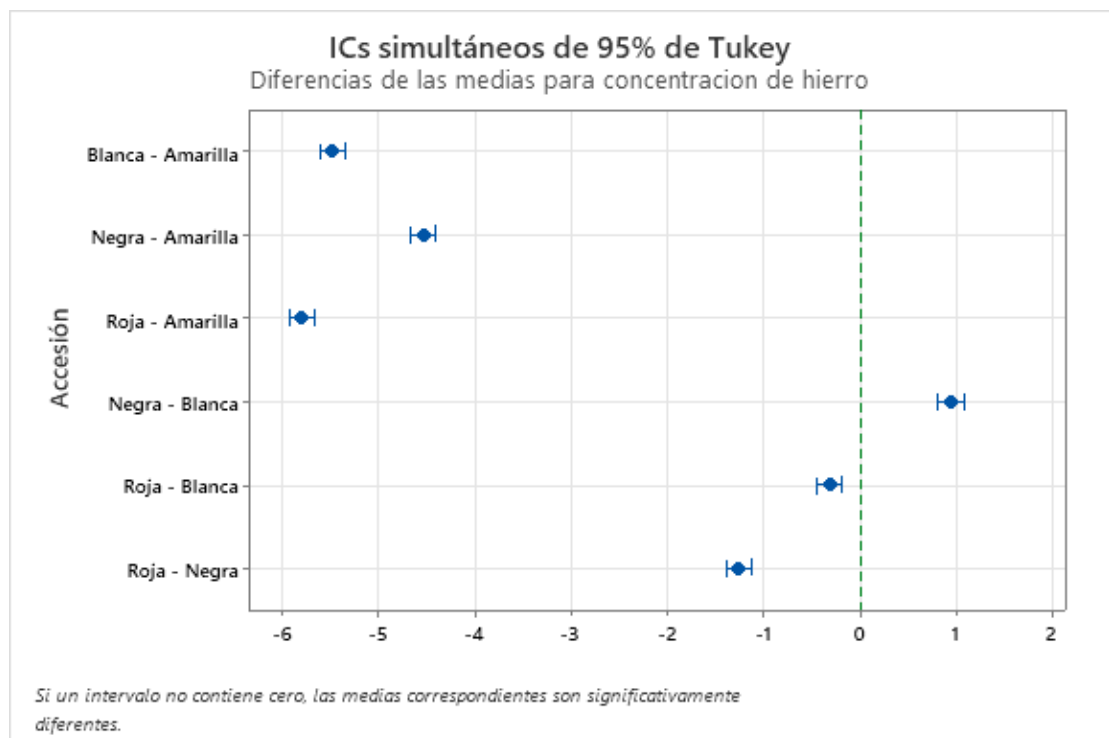
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Accesión	3	259,994	86,6648	6242,08	0,000
Tiempo de germinación	3	110,375	36,7916	2649,94	0,000
Accesión*Tiempo de germinación	9	29,117	3,2352	233,02	0,000
Error	32	0,444	0,0139		
Total	47	399,930			

Nota. La variedad y el tiempo de germinación influyen de manera significativa en la concentración de hierro, ya que el valor de $P < 0,05$. Esto demuestra que hay una relación entre la variedad y el tiempo de germinación que influyen en la concentración de hierro.

Anexo 15. Comparación múltiple de Tukey del contenido de hierro en función a las accesiones de quinua.

Accesión	N	Media	Agrupación
Amarilla	12	12,2685	A
Negra	12	7,7328	B
Blanca	12	6,7954	C
Roja	12	6,4743	D

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

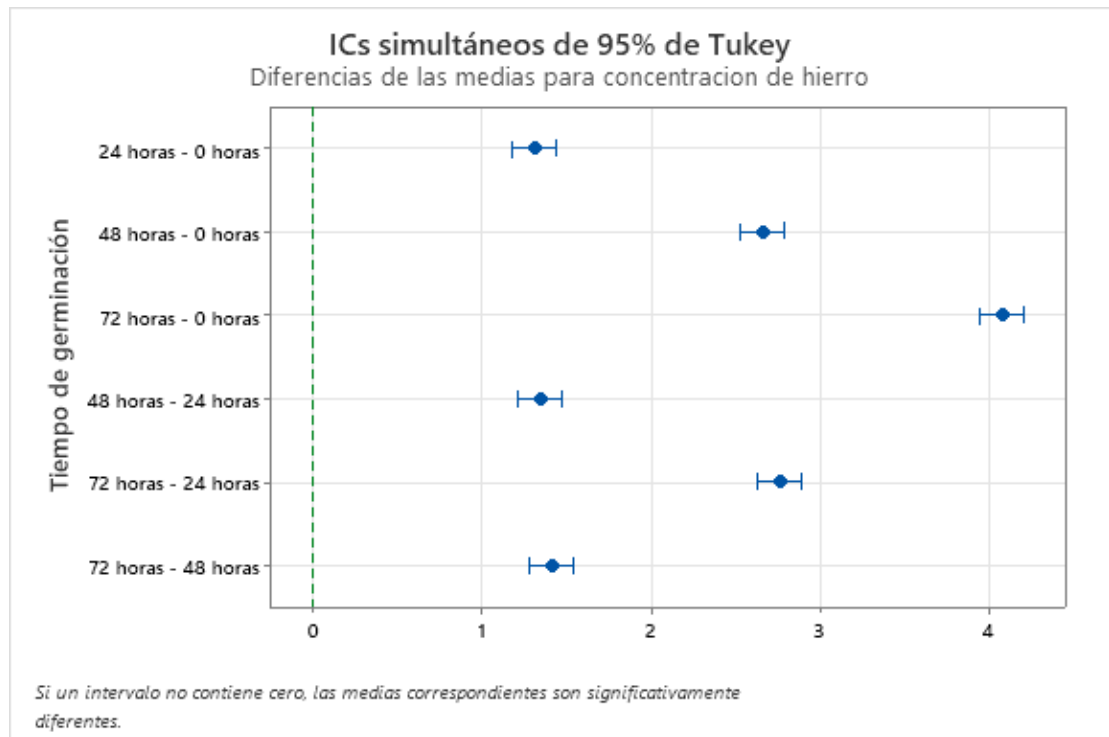


Según la prueba múltiple de Tukey, las accesiones amarilla, negra, roja y blanca presentan diferencias significativas con respecto a la concentración de hierro.

Anexo 16. Comparaciones múltiples de Tukey del contenido de hierro en función al tiempo de germinación.

Tiempo de germinación	N	Media	Agrupación
72 horas	12	10,380	A
48 horas	12	8,964	B
24 horas	12	7,617	C
0 horas	12	6,308	D

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



Según la prueba múltiple de Tukey las 0, 24, 48 y 72 horas presentan diferencias significativas con respecto al tiempo de germinación en el contenido de hierro.

Anexo 17. Comparación múltiple de Tukey del contenido de hierro con respecto a la interacción entre la accesión y tiempo de germinación.

Accesión*Tiempo de germinación	N	Media	Agrupación
Amarilla 72 horas	3	15,8687	A
Amarilla 48 horas	3	11,5669	B
Amarilla 24 horas	3	11,5197	B
Amarilla 0 horas	3	10,1186	C
Negra 72 horas	3	9,9991	C
Negra 48 horas	3	9,4843	D
Roja 72 horas	3	8,0045	E
Blanca 72 horas	3	7,6484	E F
Roja 48 horas	3	7,5358	F G
Blanca 48 horas	3	7,2701	G H
Blanca 24 horas	3	6,9490	H
Roja 24 horas	3	6,0357	I
Negra 24 horas	3	5,9674	I
Negra 0 horas	3	5,4802	J
Blanca 0 horas	3	5,3142	J
Roja 0 horas	3	4,3215	K

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Interpretación: La accesión amarilla a las 0 horas y negra a las 72 horas contiene la misma concentración de hierro y la accesión roja y blanca a las 72 horas del mismo modo tienen la misma concentración. La accesión roja y blanca a las 48 horas de germinación tiene la misma concentración de hierro.

Anexo 18. Prueba de Normalidad y Homogeneidad de varianza con respecto al contenido de fósforo.

Prueba de homogeneidad de varianza σ^2 (Levene-test) con nivel de significancia de 0,05.

Donde:

- Hipótesis nula (H0) = Las varianzas son iguales
- Hipótesis alterna (H1) = Las varianzas son diferentes

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,356
Levene	0,91	0,565

Interpretación: Se acepta la hipótesis nula donde manifiesta que las varianzas de los diferentes tratamientos son iguales

Prueba de Normalidad (Kolmogorov- smirlov) con nivel de confianza de 0,05

Donde:

- Hipótesis nula (H0) = Los residuales de cada factor tiene una distribución normal.
- Hipótesis alterna (H1) = Los residuales de cada factor no tienen una distribución normal

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

Data: RESIDUALES

p-value = 0,150

Nota: Para la prueba de Normalidad se utilizó el test de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) debido a que los datos obtenidos son mayores a 50, (n=60).

Interpretación: ya que el valor de P > 0,05, entonces se acepta la hipótesis nula concluyendo de esta manera que los residuales de fósforo siguen una distribución normal.

Anexo 19. Análisis de varianza de dos factores con interacción con respecto al contenido de fósforo.

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Accesión	Fijo	4	Amarilla; Blanca; Negra; Roja
tiempo de germinación	Fijo	4	0 horas; 24 horas; 48 horas; 72 horas

Análisis de Varianza

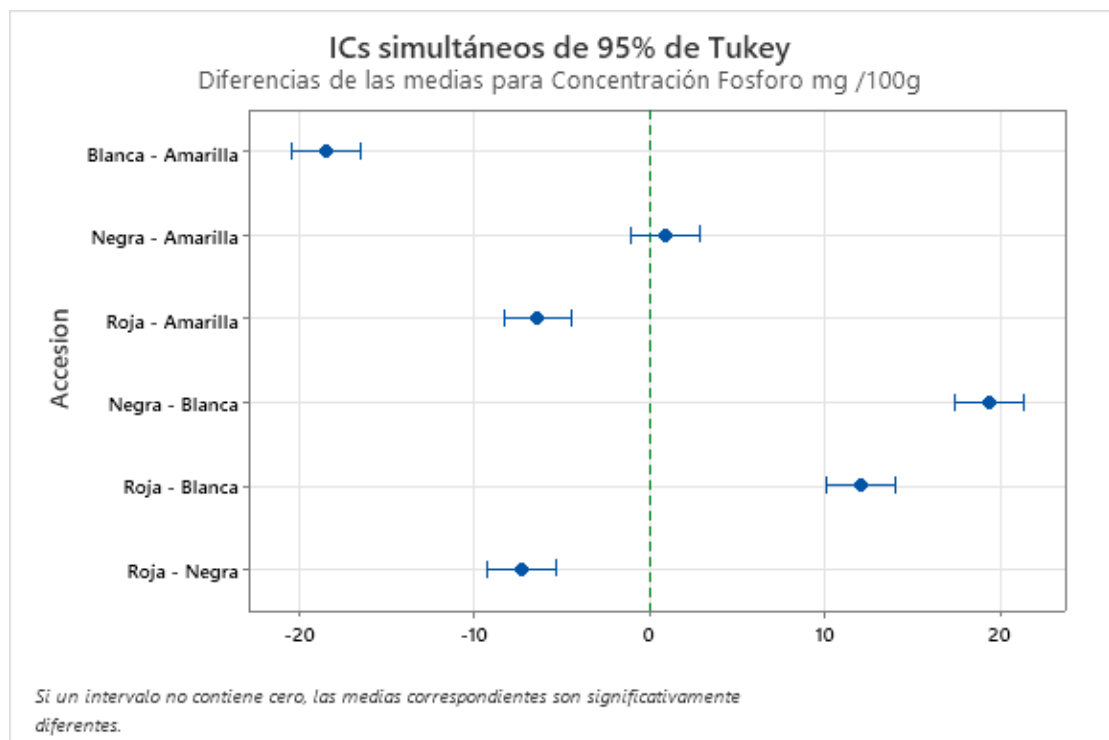
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Accesión	3	2855,4	951,81	306,60	0,000
Tiempo Germinación	3	4828,5	1609,51	518,45	0,000
Accesión*Tiempo Germinación	9	2263,3	251,47	81,00	0,000
Error	32	99,3	3,10		
Total	47	10046,6			

Según el análisis de varianza, la relación de la accesión de quinua y el tiempo de germinación influye en el contenido de fósforo; sin embargo, el tiempo de germinación y la accesión de manera independiente afectan de manera significativa el contenido de fósforo.

Anexo 20. Comparación múltiple de Tukey del contenido de fósforo con respecto a la accesión.

Accesión	N	Media	Agrupación
Negra	12	58,497	A
Amarilla	12	57,607	A
Roja	12	51,223	B
Blanca	12	39,184	C

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



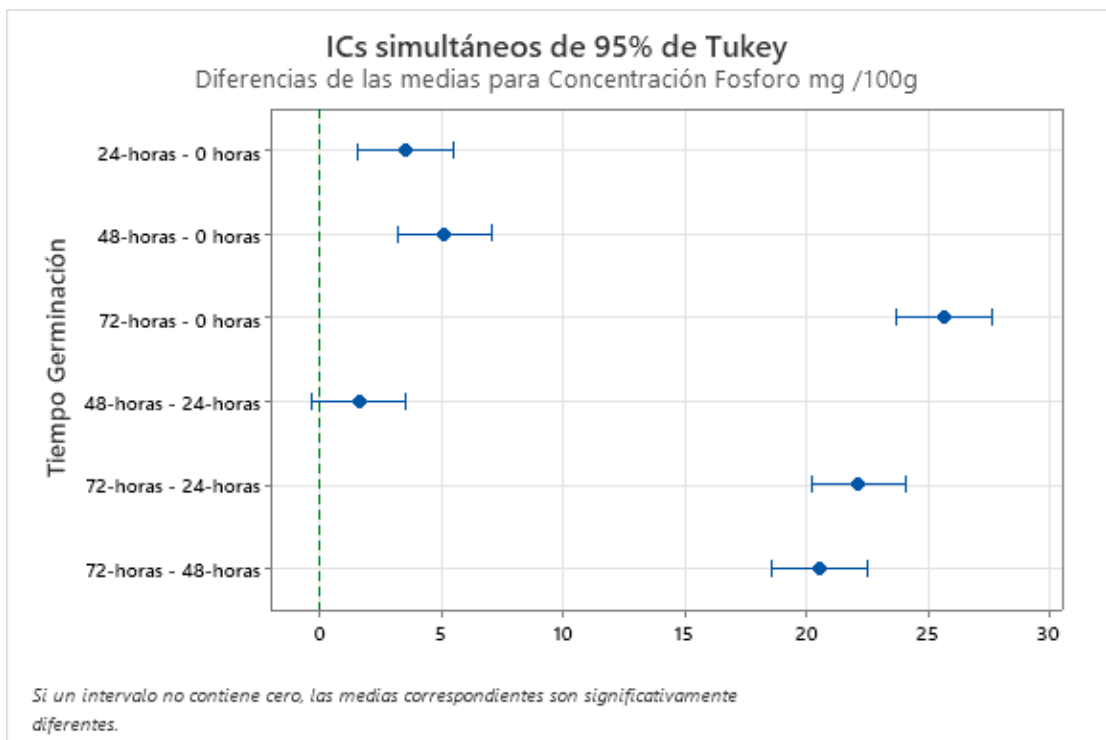
Según la prueba múltiple de Tukey las accesiones negra y amarilla de quinua tienen el mismo contenido promedio de fósforo.

Anexo 21. Comparación múltiple de Tukey del contenido de fósforo con respecto al interacción tiempo de germinación.

Tiempo

Germinación	N	Media	Agrupación
72-horas	12	68,700	A
48-horas	12	48,183	B
24-horas	12	46,573	B
0 horas	12	43,055	C

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



Según la prueba múltiple de Tukey las semillas germinadas de quinua después de las 24 y 48 horas de germinación tienen el mismo contenido promedio de fósforo.

Anexo 22. Comparación múltiple de Tukey del contenido de fósforo con respecto a la interacción de la accesión y tiempo de germinación.

Accesión*Tiempo

Germinación	N	Media	Agrupación
Amarilla 72-horas	3	88,2693	A
Roja 72-horas	3	77,0430	B
Negra 72-horas	3	68,2176	C
Negra 24-horas	3	56,7685	D
Negra 48-horas	3	56,7685	D
Negra 0 horas	3	52,2366	D E
Amarilla 48-horas	3	50,3284	E F
Roja 48-horas	3	46,7506	F G
Amarilla 24-horas	3	46,0350	F G H
Amarilla 0 horas	3	45,7965	F G H
Roja 24-horas	3	44,8424	G H
Blanca 72-horas	3	41,2719	H I
Blanca 48-horas	3	38,8862	I
Blanca 24-horas	3	38,6477	I
Blanca 0 horas	3	37,9320	I
Roja 0 horas	3	36,2555	I

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Según la prueba múltiple de Tukey con interacción, la accesión amarilla después de las 72 horas de germinación tiene el mayor contenido promedio de fósforo con 8,77 mg/100 g.

Anexo 23. Prueba de Normalidad y Homogeneidad de varianza con respecto al contenido de zinc.

Prueba de homogeneidad de varianza σ^2 (Levene-test) con nivel de significancia de 0,05.

Donde:

- Hipótesis nula (H0) = Las varianzas son iguales
- Hipótesis alterna (H1) = Las varianzas son diferentes

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,797
Levene	0,55	0,887

Interpretación: Se acepta la hipótesis nula donde manifiesta que las varianzas de los diferentes tratamientos son iguales

Prueba de Normalidad (Kolmogorov- smirlov) con nivel de confianza de 0,05

Donde:

- Hipótesis nula (H0) = Los residuales de cada factor tiene una distribución normal.
- Hipótesis alterna (H1) = Los residuales de cada factor no tienen una distribución normal

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

Data: RESIDUALES

p-value = 0,089

Nota: Para la prueba de Normalidad se utilizó el test de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) debido a que los datos obtenidos son mayores a 50, (n=60).

Interpretación: ya que el valor de P > 0,05, entonces se acepta la hipótesis nula concluyendo de esta manera que los residuales de zinc siguen una distribución normal.

Anexo 24. Análisis de varianza de dos factores con interacción con respecto al contenido de zinc.

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Accesión	Fijo	4	Amarilla; Blanca; Negra; Roja
tiempo de germinación	Fijo	4	0 horas; 24 horas; 48 horas; 72 horas

Análisis de Varianza

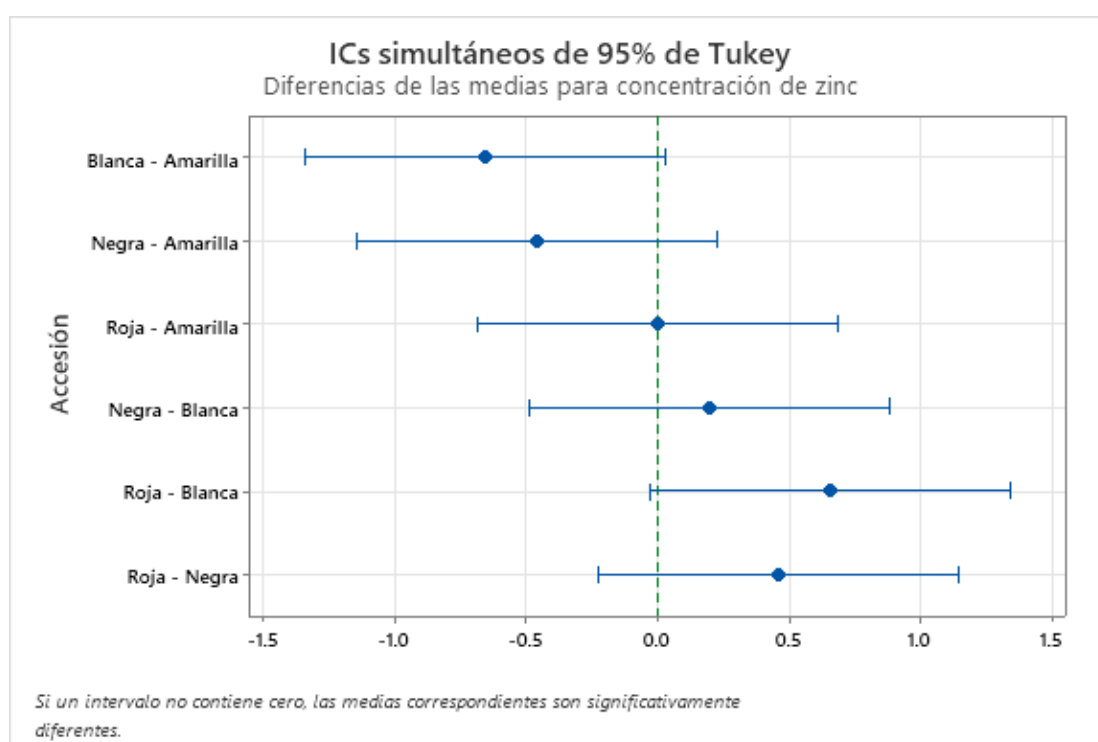
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Accesión	3	3,933	1,311	3,44	0,028
Tiempo de germinación	3	7,780	2,593	6,81	0,001
Accesión*tiempo de germinación	9	0,947	0,105	0,28	0,977
Error	32	12,188	0,380		
Total	47	24,849			

Según el análisis de varianza, la relación de las accesiones de quinua y el tiempo de germinación no influye en el contenido de zinc; sin embargo, el tiempo de germinación y la accesión de manera independiente influyen de manera significativa en el contenido de zinc.

Anexo 25. Comparación múltiple de Tukey del contenido de zinc en función a las accesiones de quinua.

Accesión	N	Media	Agrupación
Amarilla	12	5,230	A
Roja	12	5,230	A
Negra	12	4,773	A
Blanca	12	4,576	A

Notas: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

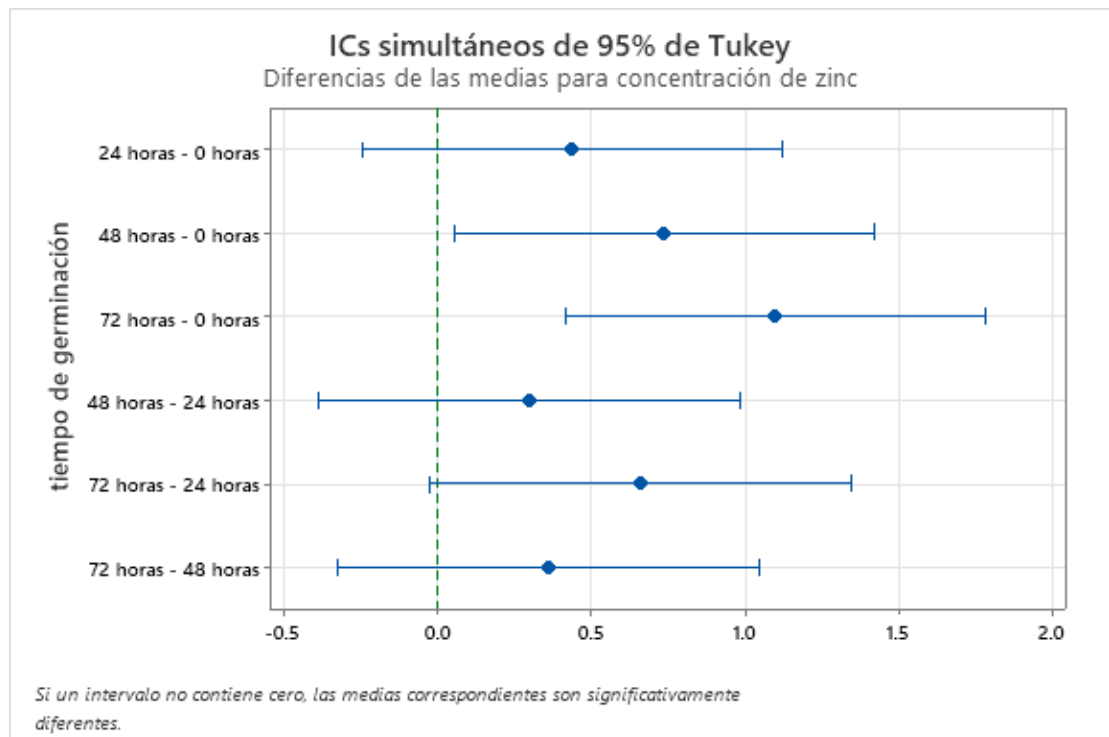


Según la prueba múltiple de Tukey las cuatro accesiones de quinua tienen el mismo contenido promedio de zinc.

Anexo 26. Comparación múltiple de Tukey del contenido de zinc con respecto a la interacción entre la accesión y tiempo de germinación.

Tiempo de germinación	N	Media	Agrupación	
72 horas	12	5,481	A	
48 horas	12	5,121	A	
24 horas	12	4,823	A	B
0 horas	12	4,384	B	

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



- Según la prueba múltiple de Tukey después de las 24, 48 y 72 horas de germinación, de la quinua tiene el mismo contenido promedio de zinc.
- Después de las 0 y 24 horas de germinación encontramos el mismo contenido de zinc.

Anexo 27. Protocolo de germinado para la obtención de harina de cuatro accesiones de quinua.



Limpeza de impurezas de las semillas de las cuatro accesiones de quinua.



Desinfección con hipoclorito, lavado y desaponificación.



Germinado de las accesiones en los diferentes tiempos.



Se llevó a la estufa a 40°C por 24 horas.



Se llevó a la mufla por 2 horas a 550 °C.



Se calcinó la harina en la cocina eléctrica.



Se trituroó con un mortero hasta hacer harina, se pesó y se colocó en los crisoles.



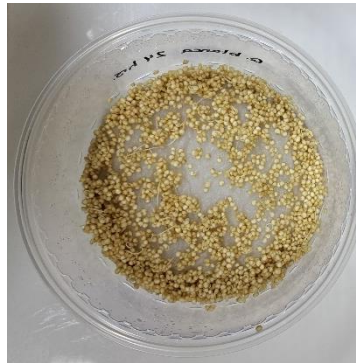
Se pesó el crisol conteniendo la ceniza.



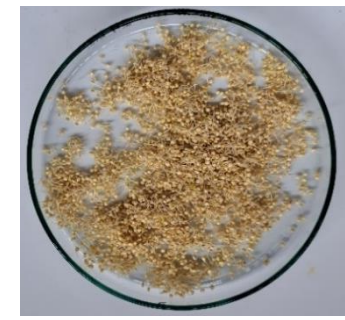
Y se trasladó a frascos color ámbar para su procesamiento.

Anexo 28. Germinados de cuatro accesiones de quinua en diferentes tiempos de germinación.

Quinoa negra 24 h
Quinoa blanca 24h
Quinoa roja 24h
Quinoa amarilla 24h



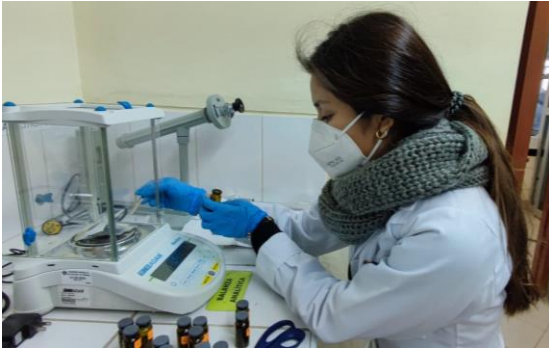
Quinoa negra 48 h
Quinoa blanca 48h
Quinoa roja 48h
Quinoa amarilla 48h



Quinoa negra 72 h
Quinoa blanca 72h
Quinoa amarilla 72h
Quinoa roja 72h



Anexo 29. Procedimiento para determinar el contenido de calcio.



Se pesó 0,1g de ceniza de muestra de harina de quinua.



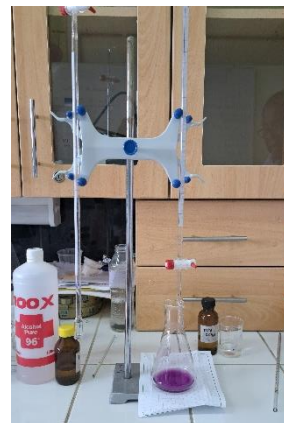
A la muestra se agregó 5 mL de etanol 80 % y se mezcló.



Se procedió a enrasar con agua destilada a 10 mL y se filtró.



Hasta notar el cambio de color de grosella a malva y se anotó el gasto.



Se tituló con EDTA 0,04 N agitando.



Al filtrado se agregó 3 gotas de NaOH 2 N, se agitó para luego agregar 2 gotas de murexida.

Anexo 30. Procedimiento para determinar el contenido de hierro.



Se pesó 0,5 g de ceniza de muestra de harina de quinua.



Se agregó 5 mL de [HCl] concentrado y se agitó.



Se enrasó a 10 mL con agua destilada y se filtró.



Se tomó 1 mL del filtrado y se agregó 0,5 de clorhidrato hidroxilamina, se mezcló y dejó reposar por 5 minutos.



Se añadió 0,5 mL de buffer acetato se mezcló para añadir 0,5 mL de fenantrolina y se aforó a 5 mL.



Se llevó a lectura en el espectrofotómetro y se leyó a 510 nm.

Anexo 31. Procedimiento para determinar el contenido de fósforo.



Se pesó 0,1 g de ceniza de muestra de harina de quinua.



A la muestra se le agregó 1 mL de [HCl] concentrado y se aforó a 10 mL.



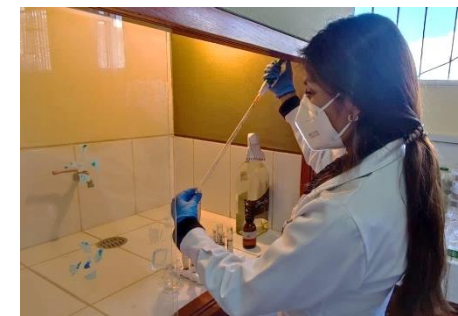
Seguidamente se filtró



Se llevó al espectrofotómetro y se leyó a 510 nm.



Se le agregó 0,2 mL de Molibdato de Amonio, se mezcló y se agregó 3 gotas de Cloruro Estañoso.



Se tomó 5 mL del filtrado y se trasvasó a un tubo de ensayo.

Anexo 32. Procedimiento para determinar el contenido de zinc.



Se pesó 0,05 g de ceniza de muestra de harina de quinua.



Se agregó 10 gotas de [HCl] concentrado y se agitó, se aforó a 10 mL con agua destilada.



Se dejó reposar 5 minutos y se filtró, se tomó 5 mL del filtrado y se agregó 5 gotas de buffer amoniac.



Hasta q vire a un color negruzco azulado, se anotó el gasto.



Se tituló con EDTA 0,01M, agitando constantemente.



Se agregó 2 gotas de Negro de Eriocromo T.

Anexo 33: Constancia de las accesiones de quinua.

CONSTANCIA

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

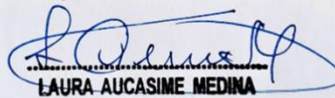
Que, la Bach. en Ciencias Biológicas, Srta. **Mónica, LÁZARO TAYPE** ha solicitado la identificación de una muestra vegetal para trabajo de tesis.

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

DIVISIÓN	:	MAGNOLIOPHYTA
CLASE	:	MAGNOLIOPSIDA
SUB CLASE	:	CARYOPHYLLIDAE
ORDEN	:	CARYOPHYLLALES
FAMILIA	:	CHENOPODIACEAE
GENERO	:	Chenopodium
ESPECIE	:	<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.
N.V.	:	"quinua"
ACCESIONES	:	Blanca, Roja, Negra y Amarilla

Se expide la certificación correspondiente a solicitud de la interesada para los fines que estime conveniente.

Ayacucho, 16 de diciembre del 2023


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

Anexo 34. MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: Contenido de calcio, hierro, fósforo y zinc, en cuatro accesiones de *Chenopodium quinoa* Willdenow en función al tiempo de germinación. Ayacucho 2023.

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>¿Cuál será el contenido de calcio, hierro, fósforo y zinc en cuatro accesiones de <i>Chenopodium quinoa</i> en función al tiempo de germinación?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> •Evaluar el contenido de, calcio, hierro, fósforo y zinc en cuatro accesiones de <i>Chenopodium quinoa</i> en función al tiempo de germinación. <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar el contenido de calcio, hierro, fósforo y zinc en semillas no germinadas de las cuatro accesiones de <i>Chenopodium quinoa</i>. • Comparar el contenido de calcio, hierro, fósforo y zinc en las cuatro accesiones de <i>Chenopodium quinoa</i> en función al tiempo de germinación. • Comparar el contenido de calcio, hierro, fósforo y zinc en las cuatro accesiones de <i>Chenopodium quinoa</i> después de 24, 48 y 72 horas de germinación. 	<p>MARCO CONCEPTUAL</p> <p>Pseudocereales</p> <p>Quinoa</p> <p>Características</p> <p>Germinación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fase de inhibición • Fase de germinación • Fase de crecimiento <p>Germinado</p> <ul style="list-style-type: none"> • Importancia <p>Minerales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calcio • hierro • Fósforo • Zinc • Importancia <p>Incineración</p> <p>Espectrofotometría</p>	<p>El tiempo de germinación influye en el contenido de calcio, hierro, fósforo y zinc en las cuatro accesiones de <i>Chenopodium quinoa</i>.</p>	<p>Variable independiente</p> <ul style="list-style-type: none"> •Accesiones de <i>Chenopodium quinoa</i>. <p>Indicador</p> <p>Accesión 1: “quinua negra”</p> <p>Accesión 2: “quinua blanca”</p> <p>Accesión 3: “quinua amarilla”</p> <p>Accesión 4: “quinua roja”</p> <ul style="list-style-type: none"> •Tiempo de germinación <p>Indicador</p> <p>0 horas</p> <p>24 horas</p> <p>48 horas</p> <p>72 horas</p> <p>variable dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> •Contenido de minerales <p>Indicador</p> <p>Calcio (mg/100g)</p> <p>Hierro (mg/100g)</p> <p>Fósforo (mg / 100g)</p> <p>Zinc (mg /100g)</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>Experimental</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Básico</p> <p>POBLACIÓN: Semillas de (<i>Chenopodium quinoa</i>).</p> <p>MUESTRA: 500 mg de las accesiones blanca, negra, amarilla y blanca de <i>Chenopodium quinoa</i>.</p> <p>METODOLOGÍA</p> <p>-Determinación por espectrofotometría</p> <p>-Determinación por volumetría</p> <p>Experimental: Se aplicará un diseño factorial Ax B</p> <p>Donde:</p> <p>Factor A: Accesiones de <i>Chenopodium quinoa</i>.</p> <p>Nivel: blanca, roja, amarilla y negra.</p> <p>Factor B: Tiempo de germinación Nivel: 0, 24,48 y 72 horas</p>

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS****Bach. MONICA LAZARO TAYPE****RESOLUCIÓN DECANAL N° 183-2025-UNSCH-FCB-D**

En la ciudad de Ayacucho, siendo las tres de la tarde del día viernes trece de junio del año dos mil veinticinco; se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, participando como presidente el Dr. Saturnino Martín Tenorio Bautista, la Dra. Edna León Palomino (miembro – jurado), el Dr. Raúl Antonio Mamani Aycachi (miembro – jurado), el Dr. Gilmar Peña Rojas (miembro – jurado), la Dra. Roberta Brita Anaya González (miembro – asesor), actuando como secretario docente el Mg. Luis Uriel Moscoso García; para presenciar la sustentación de tesis titulada: **Contenido de calcio, hierro, fósforo y zinc, en cuatro accesiones de *Chenopodium quinoa* Willdenow en función al tiempo de germinación. Ayacucho 2023.**, presentado por la **Bach. MONICA LAZARO TAYPE**; el presidente luego de verificar la documentación presentada, indicó al secretario docente dar lectura a la documentación generada que refrenda el presente acto académico, luego de ello dispuso el inicio del acto de sustentación, indicando a la sustentante que dispone de cuarenta y cinco minutos para exponer su trabajo de investigación tal como establece el Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Biología de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Culminada la exposición, el presidente invitó a cada uno de los Miembros del Jurado a participar con sus observaciones, sugerencias y preguntas a la sustentante. Culminada esta etapa, el presidente invitó a la sustentante y al público asistente a abandonar momentáneamente el Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga para que los miembros del jurado evaluador puedan realizar las deliberaciones y calificaciones; cuyos resultados son los que se consignan a continuación:

Miembros del Jurado Evaluador	Exposición	Respuesta/preguntas	Promedio
Dra. Edna León Palomino	16	16	16
Dr. Raúl Antonio Mamani Aycachi	15	15	15
Dr. Gilmar Peña Rojas	14	14	14
PROMEDIO			15

La sustentante alcanzó el promedio de 15 aprobatorio. Acto seguido, el presidente autorizó el ingreso de la sustentante y el público al Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga dando a conocer los resultados e indicando que de este modo se da por finalizado el presente acto académico, siendo las cinco de la tarde; firmando al pie del presente en señal de conformidad.


Dr. Saturnino Martín Tenorio Bautista
Presidente


Dra. Edna León Palomino
Miembro - Jurado


Dr. Raúl Antonio Mamani Aycachi
Miembro – Jurado


Dr. Gilmar Peña Rojas
Miembro – jurado


Dra. Roberta Brita Anaya González
Miembro – asesor


Mg. Luis Uriel Moscoso García
Secretario docente



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

DECANATURA - ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

N° 033-2025-FCB-D

Yo, FIDEL RODOLFO MUJICA LENGUA, Director de la Escuela Profesional de Biología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; autoridad encargada de verificar la tesis titulada: **Contenido de calcio, hierro, fósforo y zinc, en cuatro accesiones de *Chenopodium quinoa* Willdenow en función al tiempo de germinación. Ayacucho 2023.**, por MONICA LAZARO TAYPE; he constatado por medio del uso de la herramienta TURNITIN, procesado CON DEPÓSITO, una similitud de 18%, grado de coincidencia menor a lo que determina la ausencia de plagio definido por el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU.

En consecuencia, la tesis cumple con las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Se acompaña el INFORME FINAL DE TURNITIN correspondiente.

Ayacucho, 16 de julio de 2025.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
Escuela Profesional de Biología
Dr. Fidel R. Mujica Lengua
DIRECTOR

Contenido de calcio, hierro,
fósforo y zinc, en cuatro
accesiones de *Chenopodium*
quinoa Willdenow en función al
tiempo de germinación.
Ayacucho 2023.

por MONICA LAZARO TAYPE

Fecha de entrega: 20-jul-2025 12:41 p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2717768362

Nombre del archivo: LAZARO_TAYPE-MONICA-pregrado-2025_TURNITIN_PDF_d.pdf (572.22K)

Total de palabras: 9008

Total de caracteres: 45858

Contenido de calcio, hierro, fósforo y zinc, en cuatro accesiones de Chenopodium quinoa Willdenow en función al tiempo de germinación. Ayacucho 2023.

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%	12%	1%	15%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	11%
2	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	lpi.oregonstate.edu Fuente de Internet	1%
6	badali.umh.es Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Femenina del Sagrado Corazón Trabajo del estudiante	<1%
8	Submitted to Submitted on 1687993713877 Trabajo del estudiante	<1%
9	Submitted to Atlantic International University Trabajo del estudiante	<1%
10	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	<1%

11

Submitted to unifranz

Trabajo del estudiante

<1%

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía Activo