



Universidad Católica de Santa María

**Facultad de Ciencias e Ingenierías Biológicas y Químicas
Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica y Agrícola**

**Biofortificación de tres dosis de hierro y zinc en tres variedades de quinua
(*Chenopodium quinoa Will.*) Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli, en el
Fundo la Banda Huasacache-Arequipa.**

Tesis presentada por:

Ccorahua Lozano, Clever Ronald

ORCID: 0009-0007-0467-3930

para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y Agrícola

Asesor:

Dr. Zegarra Flores, Jorge Arturo

ORCID: 0000-0002-5430-4283

Arequipa – Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA AGRONOMICA Y AGRICOLA
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 02 de Febrero del 2026

Dictamen: 013790-C-EPIAyA-2026

Visto el borrador del expediente 013790, presentado por:

2021185331 - CCORAHUA LOZANO CLEVER RONALD

Titulado:

**BIOFORTIFICACIÓN DE TRES DOSIS DE HIERRO Y ZINC EN TRES VARIEDADES DE QUINUA
(CHENOPODIUM QUINOA WILL.) ALTIPLANO, KANCOLLA Y BLANCA DE JULI, EN EL FUNDO LA
BANDA HUASACACHE-AREQUIPA.**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO AGRONOMO Y AGRÍCOLA

**29568810 - COLOMA DONGO FROY ENGELBERT
DICTAMINADOR**



**29500662 - DIAZ VENTO INGRIND MIRNA
DICTAMINADOR**



**41785189 - RAMIREZ CHOQUEHUANCA SHIRLEY GABRIELA
DICTAMINADOR**



Biofortificación de tres dosis de hierro y zinc en tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Will.) Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli, en el Fundo la Banda Huasacache-Arequipa.

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	2%
	Trabajo del estudiante	
2	repositorio.lamolina.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
3	docplayer.es	1%
	Fuente de Internet	
4	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	
5	1library.co	1%
	Fuente de Internet	
6	revistas.usfq.edu.ec	1%
	Fuente de Internet	
7	www.researchgate.net	1%
	Fuente de Internet	

DEDICATORIA

Dedicado a toda mi familia, en especial a mis padres Eulogio Ccorahua Pillaca y Justina, Lozano Cabrera, a mis hermanos Jhon, Yuver, Yesenia, Jhosep, Gisela, a Ruth Maribel y su familia, quienes nunca me dejaron y me apoyaron incondicionalmente, fueron mi soporte en toda mi vida personal y formación académica, así como en este trabajo de investigación me han dado el soporte emocional.



AGRADECIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos a mi familia por siempre apoyarme con sus buenos deseos que siempre quisieron lo mejor para mí.

Agradecer también a mis docentes quienes fueron los mejores que me ha tocado y que siempre estuvieron presentes en mi formación académica, fueron muy importantes en mi desarrollo como persona y profesional.

A mi asesor el Ing. Mg. Dr. Jorge Zegarra Arturo, Zegarra Flores, docente digno de reconocer por su gran desenvolvimiento al enseñar, a la vez un gran amigo quien depositó su confianza en mi persona para poder realizar el presente trabajo de investigación.

A los miembros del jurado, los ingenieros Froy Engelbert, Coloma Dongo, Ingrid Mirna, Díaz Vento, Shirley Gabriela, Ramirez Choquehuanca, grandes docentes quienes dedicaron su tiempo para poder revisar el presente trabajo de investigación y haber dado la orientación necesaria para el presente trabajo presentado.

A Dios por su bendición de día a día y darme la oportunidad de seguir adelante con buenos logros en la vida y por cuidar de mi familia, docentes, amistades y amigos a lo largo de mi vida personal, académica y profesional.

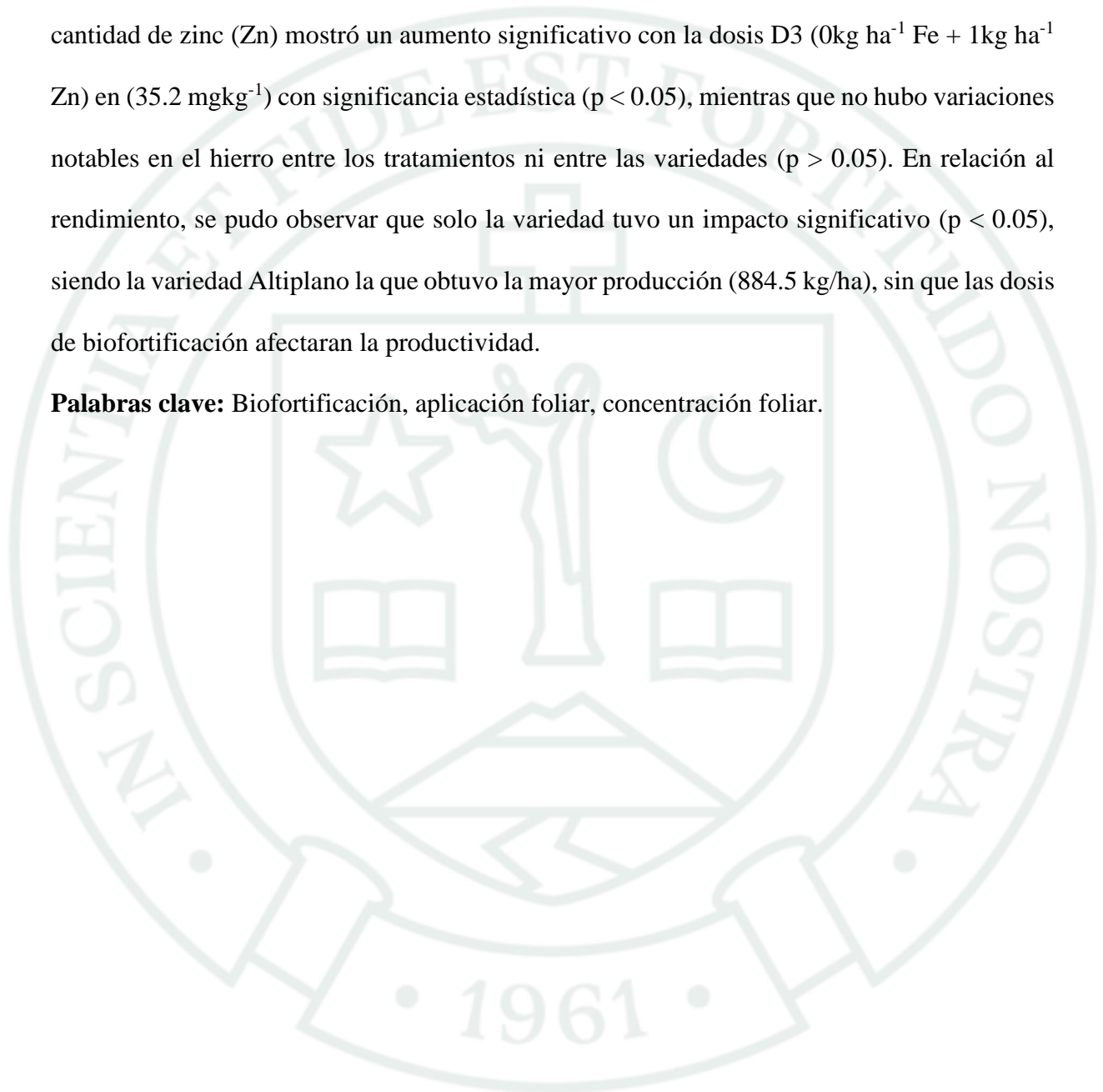
A mis buenos amigos Yovana, Fany, Indy, Elma, Ángeles, Janeth, Zenobio, Percy, Josué, Sandra, Jonathan, quienes estuvieron conmigo brindándome su tiempo dándome la mano en este trabajo de investigación.

RESUMEN

La deficiencia de micronutrientes, especialmente hierro y zinc, que causa anemia y afecta principalmente a niños menores de cinco años y mujeres en edad reproductiva, sigue siendo un grave problema de salud pública a nivel mundial, en Perú, la anemia continúa siendo un grave desafío en la salud pública, sobre todo en la infancia. De acuerdo con la Encuesta Nacional de Demografía y Salud (ENDES 2024), el 43.7% de los lactantes y niños de hasta 3 años padece de anemia. En Arequipa, uno de cada tres niños se ve afectado por esta condición; aunque las cifras son más bajas que el promedio nacional del 40%, la prevalencia en Arequipa, que oscila entre el 30% y el 35%, es todavía alarmante. La investigación realizada tuvo como objetivo biofortificar los niveles de hierro (Fe) y zinc (Zn) en tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*), Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli, las cuales fueron cultivadas en el fundo La Banda Huasacache de la UCSM, ubicado en la región de Arequipa. La hipótesis sugería que incrementar la biofortificación elevaría la concentración nutricional de hierro y zinc en los granos sin afectar la producción del cultivo. Para ello se estableció un experimento en Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo de parcela divididas, donde se aplicaron cuatro tratamientos con diferentes niveles de hierro (Fe) y zinc (Zn) (D1= 0 kg ha⁻¹ Fe +0 kg ha⁻¹ Zn, D2= 1 kg ha⁻¹ Fe +0 kg ha⁻¹ Zn, D3= 0kg ha⁻¹ Fe + 1 kg ha⁻¹ Zn, D4= 1 kg ha⁻¹ Fe + 1 kg ha⁻¹ Zn), a través de la aplicación foliar durante la fase de reproductiva. Para determinar la concentración de hierro (Fe) y zinc (Zn) a nivel foliar y en grano, se realizaron análisis químicos en hojas y granos utilizando espectrometría de absorción atómica. Los resultados indicaron que las dosis D2 (1 kg ha⁻¹ Fe +0 kg ha⁻¹ Zn) y D4 (1 kg ha⁻¹ Fe + 1kg ha⁻¹ Zn) aumentaron notablemente la concentración de hierro en las hojas (D2 = 314.7 mgkg⁻¹, D4 = 315.6 mgkg⁻¹) con significancia estadística ($p < 0.05$), mientras que, para el zinc (Zn), las dosis D3 (0kg ha⁻¹ Fe + 1 kg ha⁻¹ Zn) y D4 (1 kg ha⁻¹ Fe + 1 kg ha⁻¹ Zn), también lograron incrementos importantes en las hojas (D3 = 422.2 mgkg⁻¹, D4 = 225.3 mgkg⁻¹) con significancia estadística

($p < 0.05$). En cuanto a la variedad la Kancolla resultó ser la que presentó los mayores niveles de hierro (Fe) en las hojas en el segundo muestreo (274.5 mgkg^{-1}) con significancia estadística ($p < 0.05$), los niveles altos de concentración de zinc (Zn) en el segundo muestreo se presentaron en la variedad de Blanca de Juli (217 mgkg^{-1}). En cuanto a los granos, solo la cantidad de zinc (Zn) mostró un aumento significativo con la dosis D3 ($0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Fe} + 1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Zn}$) en (35.2 mgkg^{-1}) con significancia estadística ($p < 0.05$), mientras que no hubo variaciones notables en el hierro entre los tratamientos ni entre las variedades ($p > 0.05$). En relación al rendimiento, se pudo observar que solo la variedad tuvo un impacto significativo ($p < 0.05$), siendo la variedad Altiplano la que obtuvo la mayor producción (884.5 kg/ha), sin que las dosis de biofortificación afectaran la productividad.

Palabras clave: Biofortificación, aplicación foliar, concentración foliar.

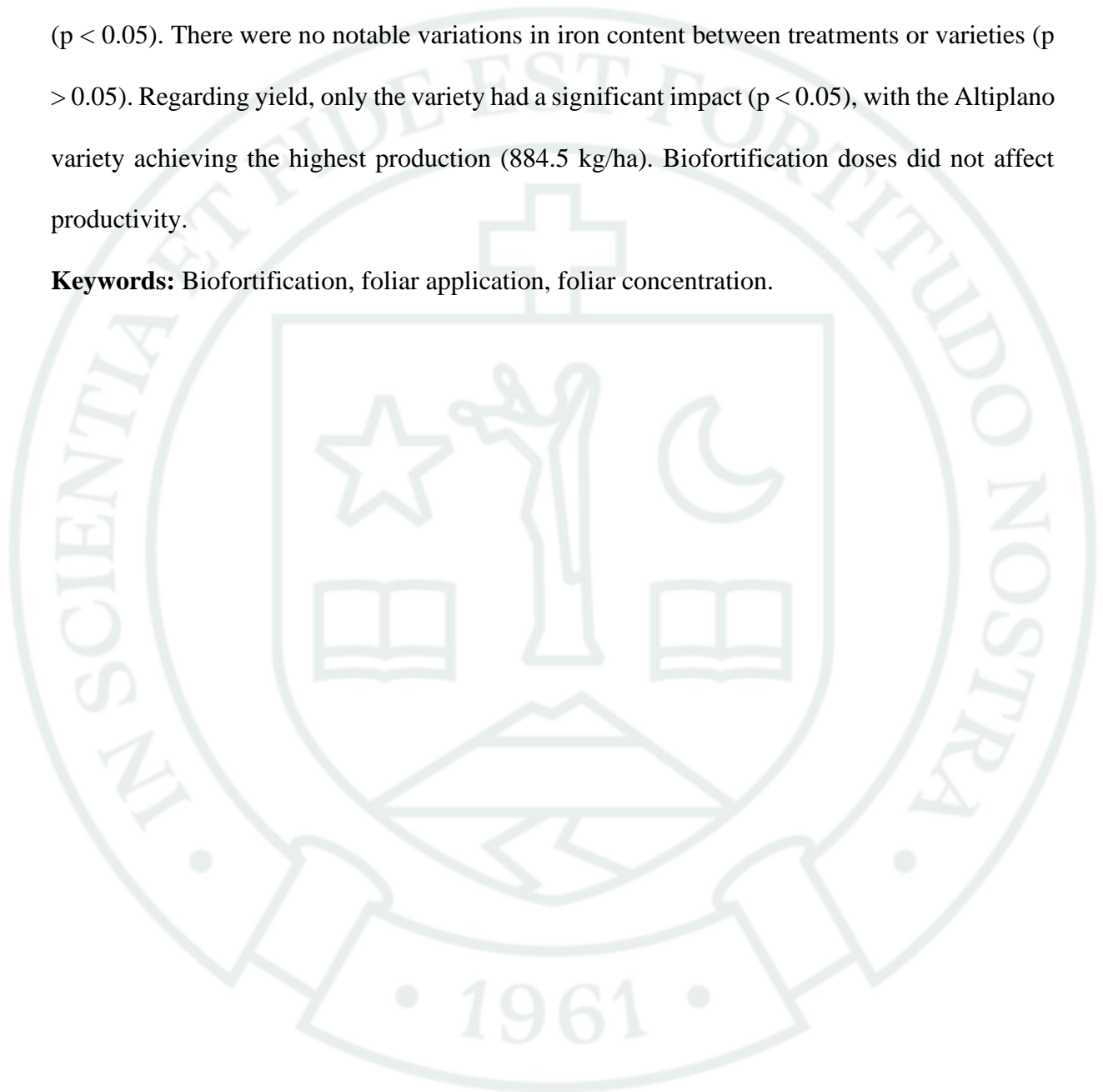


ABSTRACT

Micronutrient deficiencies, especially iron and zinc, which cause anemia and primarily affect children under five and women of reproductive age, remain a serious public health problem worldwide. In Peru, anemia continues to be a significant public health challenge, particularly among children. According to the National Demographic and Health Survey (ENDES 2024), 43.7% of infants and children up to three years old suffer from anemia. In Arequipa, one in three children is affected by this condition; although the figures are lower than the national average of 40%, the prevalence in Arequipa, which ranges between 30% and 35%, is still alarming. The research aimed to biofortify the iron (Fe) and zinc (Zn) levels in three quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) varieties: Altiplano, Kancolla, and Blanca de Juli. These varieties were cultivated at the La Banda Huasacache farm of the UCSM (Universidad Católica de Santa María), located in the Arequipa region. The hypothesis suggested that increasing biofortification would raise the nutritional concentration of iron and zinc in the grains without affecting crop yield. To this end, a Randomized Complete Block Design (RCBD) experiment with a split-plot arrangement was established, where four treatments with different levels of iron (Fe) and zinc (Zn) were applied (D1 = 0 kg ha⁻¹ Fe + 0 kg ha⁻¹ Zn, D2 = 1 kg ha⁻¹ Fe + 0 kg ha⁻¹ Zn, D3 = 0 kg ha⁻¹ Fe + 1 kg ha⁻¹ Zn, D4 = 1 kg ha⁻¹ Fe + 1 kg ha⁻¹ Zn) through foliar application during the reproductive phase. To determine the concentration of iron (Fe) and zinc (Zn) at the foliar and grain levels, chemical analyses of leaves and grains were performed using atomic absorption spectrometry. The results indicated that doses D2 (1 kg ha⁻¹ Fe + 0 kg ha⁻¹ Zn) and D4 (1 kg ha⁻¹ Fe + 1 kg ha⁻¹ Zn) significantly increased the concentration of iron in the leaves (D2 = 314.7 mgkg⁻¹, D4 = 315.6 mgkg⁻¹) with statistical significance ($p < 0.05$), while for zinc (Zn), doses D3 (0 kg ha⁻¹ Fe + 1 kg ha⁻¹ Zn) and D4 (1 kg ha⁻¹ Fe + 1 kg ha⁻¹ Zn) also achieved significant increases in the leaves (D3 = 422.2 mgkg⁻¹, D4 = 225.3 mgkg⁻¹) with statistical significance ($p < 0.05$). Regarding the variety, Kancolla showed the highest levels of

iron (Fe) in the leaves during the second sampling (274.5 mg kg^{-1}), with statistical significance ($p < 0.05$). The highest levels of zinc (Zn) in the second sampling were found in the Blanca de Juli variety (217 mg kg^{-1}). As for the grains, only the amount of zinc (Zn) showed a significant increase with dose D3 ($0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Fe} + 1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Zn}$) (35.2 mg kg^{-1}), with statistical significance ($p < 0.05$). There were no notable variations in iron content between treatments or varieties ($p > 0.05$). Regarding yield, only the variety had a significant impact ($p < 0.05$), with the Altiplano variety achieving the highest production (884.5 kg/ha). Biofortification doses did not affect productivity.

Keywords: Biofortification, foliar application, foliar concentration.



ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Enunciado del problema.....	1
1.2. Descripción del problema	1
1.3. Justificación del trabajo	3
1.3.1. Aspecto general.....	3
1.4. Aspecto tecnológico.....	3
1.4.1. Aspecto social	4
1.4.2. Aspecto económico.....	4
1.4.3. Importancia	4
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. Objetivo general.....	5
1.5.2. Objetivos específicos	5
1.6. Hipótesis.....	5
CAPÍTULO II.....	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Análisis bibliográfico.....	6
2.1.1. Biofortificación.....	6
2.1.2. Biofortificación agronómica.....	7

2.1.3.	Técnicas de biofortificación agronómica.....	8
2.1.4.	Biofortificación genética mediante mejoramiento genético convencional	12
2.1.5.	Biofortificación mediante métodos transgénicos.....	12
2.1.6.	Biofortificación en la salud humana	13
2.1.7.	Avances de la biofortificación con microelementos en la actualidad	14
2.1.8.	Importancia de los microelementos en el ser humano	16
2.1.9.	Importancia del Hierro (Fe) en el ser humano	17
2.1.10.	Importancia del Zinc (Zn) en el ser humano.....	18
2.1.11.	El zinc y su papel en la salud reproductiva y la fertilidad femeninas.....	19
2.1.12.	Zinc y fertilidad masculina	20
2.1.13.	Importancia fisiológica del Hierro (Fe) en la planta.....	20
2.1.14.	Importancia fisiológica del Zinc (Zn) en la planta.	22
2.1.15.	Movilidad del Hierro (Fe) y Zinc (Zn)	23
2.1.16.	Cultivo de Quinoa.....	24
2.1.17.	Clasificación Taxonómica de la Quinoa (Chenopodium quinoa Will.).....	25
2.1.18.	Descripción botánica y agronómica.....	25
2.1.19.	Morfología Vegetativa de la Quinoa	26
2.1.20.	Variedad Altiplano.....	29
2.1.21.	Variedad Kancolla.	32
2.1.22.	Variedad Blanca de Juli	34
2.1.23.	Principales enfermedades	37

2.1.24. Principales plagas	37
2.2. Antecedentes de investigación	37
2.2.1. Revisión de tesis universitarias	37
CAPÍTULO III.....	45
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
3.1. Materiales.....	45
3.1.1. Localización del trabajo.....	45
3.1.2. Materiales biológicos.....	47
3.1.3. Materiales de laboratorio	47
3.1.4. Materiales de campo	48
3.1.5. Materiales de escritorio.....	48
3.1.6. Equipos	48
3.1.7. Maquinaria.....	48
3.2. Métodos.....	49
3.2.1. Cuantificar la concentración de hierro y zinc	49
3.2.2. Muestreo	49
3.2.3. Métodos de evaluación	52
3.2.4. Variables de respuesta	63
3.2.5. Variables dependientes	63
CAPÍTULO IV.....	65
4. RESULTADOS	65
4.1. Análisis químico.	65
4.1.1. Nivel de concentración de Hierro en hojas.....	65
4.1.2. Nivel de concentración de zinc en hojas.....	70
4.1.3. Nivel de concentración de hierro en grano	76

4.1.4.	Nivel de concentración de zinc (Zn) en grano	82
4.1.5.	Rendimiento total de la quinua bajo las condiciones locales y manejo.....	87
CAPÍTULO V		93
5.	DISCUSIÓN	93
5.1.	Determinación de la concentración de hierro (Fe) y zinc (Zn) a nivel foliar después de dos aplicaciones en tres variedades.	93
5.2.	Determinar la concentración de hierro (Fe) y zinc (Zn) en el grano de la quinua en tres variedades.	94
5.3.	Evaluar el rendimiento de las tres variedades de quinua con la aplicación de hierro (Fe) y zinc (Zn).	95
5.4.	Sobre el efecto de la biofortificación con tres dosis de hierro y zinc en el contenido nutricional y rendimiento agronómico de tres variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa Will.</i>): Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli, cultivadas en el Fundo La Banda Huasacache, Arequipa.	97
CAPÍTULO VI.....		99
6.	CONCLUSIONES	99
CAPÍTULO VII		102
7.	RECOMENDACIONES.....	102
REFERENCIAS.....		103

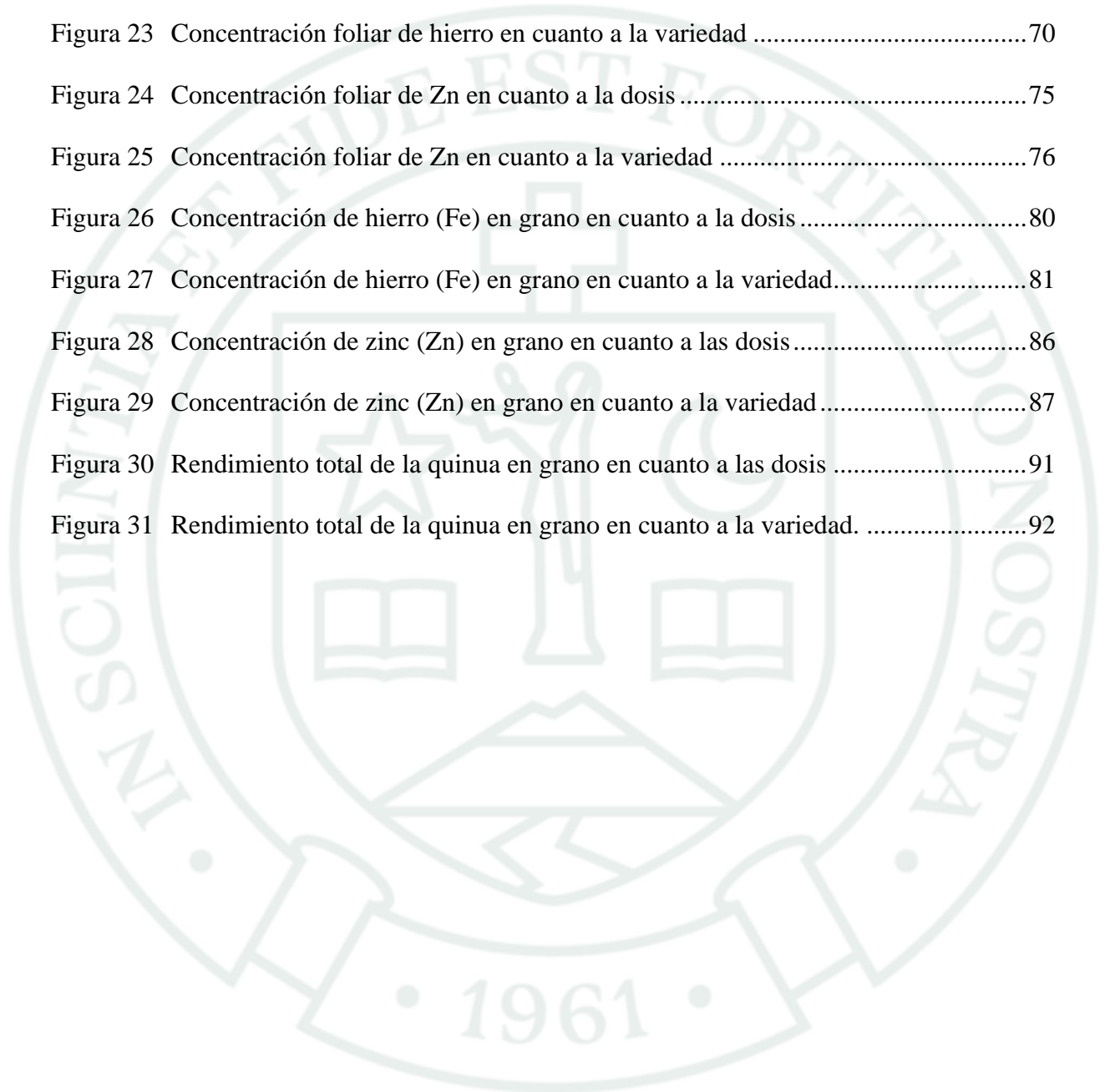
ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Patrón para la extracción de hojas en cada variedad, cada bloque y cada dosis.	58
Tabla 2	Patrón para la toma de muestra del grano de la quinua.	60
Tabla 3	Cronograma de evaluaciones biométricas en la planta de quinua	62
Tabla 4	Análisis de varianza para ver el nivel de concentración foliar de hierro (Fe)	65
Tabla 5	Análisis de varianza para ver el nivel de concentración foliar de zinc (Zn).....	71
Tabla 6	Análisis de varianza para ver el nivel de concentración de hierro (Fe) en grano	77
Tabla 7	Análisis de varianza para ver el nivel de concentración de zinc (Zn) en grano	83
Tabla 8	Análisis de varianza para ver el rendimiento de la quinua en grano	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Fundo la Banda Huasacache UCSM.....	46
Figura 2	Campo experimental de la biofortificación en las 3 variedades de quinua.....	47
Figura 3	Croquis experimental del Diseño de Bloques al Azar (DBA) con arreglo de parcelas divididas.....	50
Figura 4	Croquis de tratamiento experimental.....	51
Figura 5	Medición de altura de planta.....	53
Figura 6	Conteo de hojas de la planta de quinua.....	54
Figura 7	Vernier para realizar la medición del diámetro del tallo.....	54
Figura 8	Evaluación del contenido de clorofila.....	55
Figura 9	Pesado del tallo de la planta.....	56
Figura 10	Pesado de la panoja.....	56
Figura 11	Pesado de la raíz.....	56
Figura 12	Deshidratación de la planta de quinua en el invernadero.....	57
Figura 13	Pesado del tallo deshidratado (24-25/01/2025).....	57
Figura 14	Pesado de la panoja deshidratada (24-25/01/2025).....	57
Figura 15	Pesado de la raíz deshidratada (24-25/01/2025).....	58
Figura 16	Extracción de hojas de cada variedad, dosis y bloque para su envío a laboratorio.....	59
Figura 17	Preparación y rotulado de muestras por variedad, bloque y dosis.....	59
Figura 18	Envío de las hojas extraídas hacia el laboratorio (11/08/2024 – (07/11/2024).....	60
Figura 19	Venteado del grano de la quinua por cada variedad y cada dosis (sin combinar).....	61

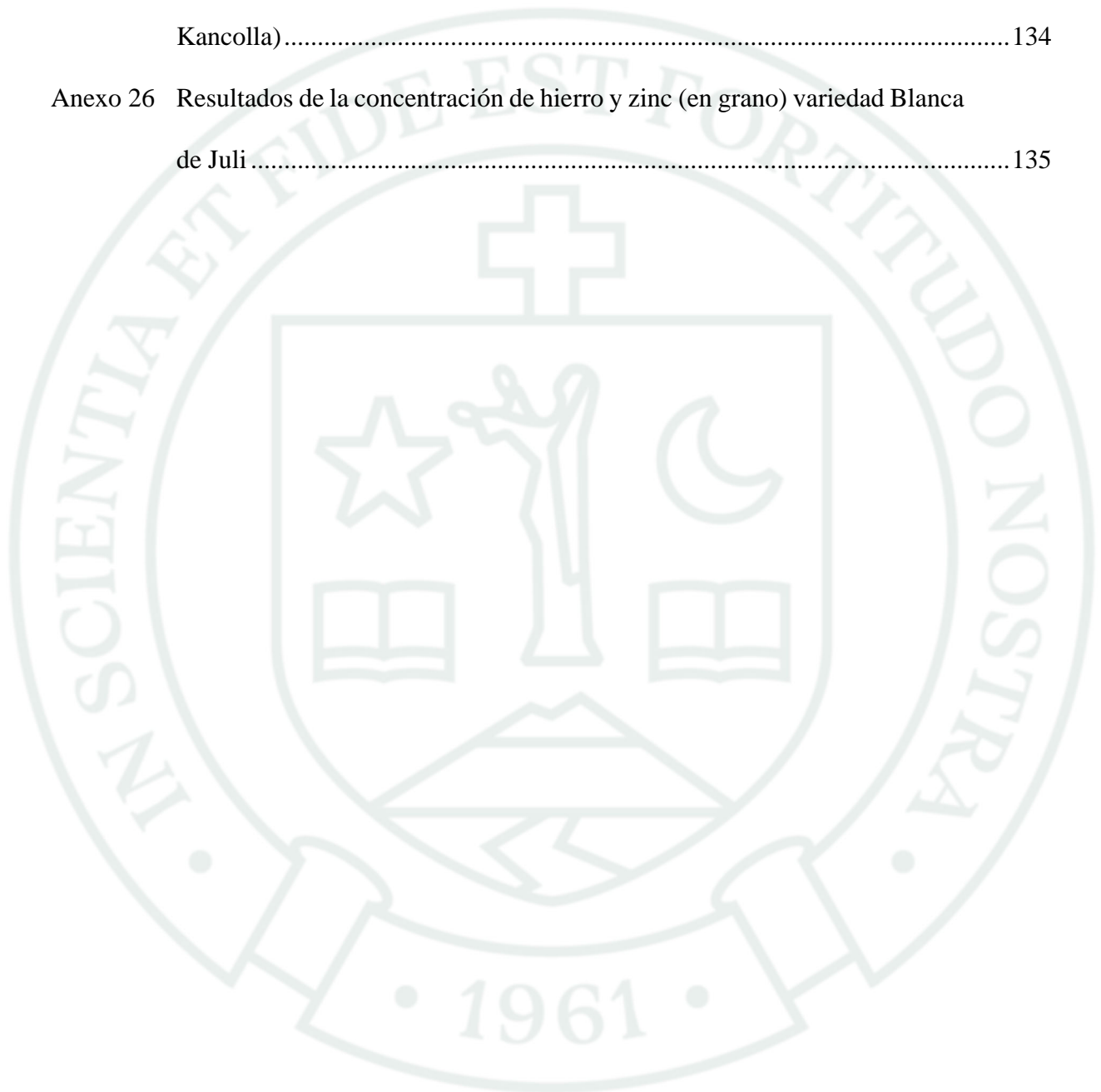
Figura 20	Pesado del grano de la quinua (100 gr) para la toma de muestra, cada una con su código de variedad, dosis y bloque.....	61
Figura 21	Envío de las muestras de grano hacia el laboratorio (11/02/2025).....	62
Figura 22	Concentración foliar de hierro Fe en cuanto a las dosis	69
Figura 23	Concentración foliar de hierro en cuanto a la variedad	70
Figura 24	Concentración foliar de Zn en cuanto a la dosis	75
Figura 25	Concentración foliar de Zn en cuanto a la variedad	76
Figura 26	Concentración de hierro (Fe) en grano en cuanto a la dosis	80
Figura 27	Concentración de hierro (Fe) en grano en cuanto a la variedad.....	81
Figura 28	Concentración de zinc (Zn) en grano en cuanto a las dosis.....	86
Figura 29	Concentración de zinc (Zn) en grano en cuanto a la variedad.....	87
Figura 30	Rendimiento total de la quinua en grano en cuanto a las dosis	91
Figura 31	Rendimiento total de la quinua en grano en cuanto a la variedad.	92



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Croquis del Fundo “LA BANDA HUASACACHE”	117
Anexo 2	Dosis de Hierro (Fe) y Zinc (Zn)	118
Anexo 3	Aplicación vía foliar de sulfato de hierro y zinc	118
Anexo 4	Etapa de desarrollo de la inflorescencia o panoja	119
Anexo 5	Evaluación del estado vegetativo de la planta de quinua.....	119
Anexo 6	Evaluación del contenido de clorofila.....	120
Anexo 7	Evaluación de la altura de la planta	120
Anexo 8	Evaluación del diámetro del tallo.....	121
Anexo 9	Recojo de folíolos para su análisis en laboratorio.....	121
Anexo 10	Envío de muestras (folíolos) al laboratorio.....	122
Anexo 11	Resultados del primer análisis foliar de la variedad Altiplano	123
Anexo 12	Resultados del primer análisis foliar de la variedad Blanca de Juli.....	124
Anexo 13	Resultados del primer análisis foliar de la variedad Kancolla	125
Anexo 14	Resultados del segundo análisis foliar de la variedad Altiplano.....	126
Anexo 15	Resultados del segundo análisis foliar de la variedad Blanca de Juli	127
Anexo 16	Resultados del segundo análisis foliar de la variedad Kancolla	128
Anexo 17	Corte de la quinua	129
Anexo 18	Secado de la quinua en el invernadero.....	129
Anexo 19	Venteador del grano de la quinua.....	130
Anexo 20	Pesado del grano de la quinua.....	130
Anexo 21	Bolseado del grano de la quinua (cada bloque y su dosis).....	131
Anexo 22	Empaquetado de las muestras del grano de quinua para su envío a laboratorio	131

Anexo 23	Envío de las muestras a laboratorio	132
Anexo 24	Resultados de la concentración de hierro y zinc en grano (variedad Altiplano)	133
Anexo 25	Resultados de la concentración de hierro y zinc en grano (variedad Kancolla).....	134
Anexo 26	Resultados de la concentración de hierro y zinc (en grano) variedad Blanca de Juli	135



CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Enunciado del problema

Los niños menores de cinco años y las mujeres en periodo reproductivo frecuentemente padecen falta de micronutrientes. El grano de la quinua contiene prácticamente todos los minerales en cantidades más altas que otros granos, teniendo un contenido de hierro (Fe) de 13,2 mg por cada 100 gramos en estado seco y un nivel de zinc (Zn) de 4,5 mg por cada 100 gramos en seco (Ramos et al., 2016).

La biofortificación, que implica aumentar el contenido de micronutrientes en cultivos fundamentales, es una estrategia alimentaria destinada a enfrentar estas carencias. Es justa, sostenible y más asequible en comparación con otras estrategias nutricionales (Bachewe et al., 2023).

1.2. Descripción del problema

La anemia sigue siendo uno de los grandes retos en salud pública en todo el mundo, afectando a más de 2000 millones de individuos. Específicamente, su incidencia alcanza al 40% de los infantes de 6 a 59 meses, al 37% de las mujeres embarazadas y al 30% de las mujeres en edad fértil (Bustamante et al., 2025).

En la actualidad, el 40 % de las mujeres embarazadas y el 42 % de los niños menores de 5 años sufren anemia, y el 17 % de la población mundial está expuesta al peligro de no consumir la cantidad adecuada de zinc. Asegurar que esta población en expansión cuente con suficientes alimentos, así como con hierro y zinc es de vital importancia (Nations et al., 2021). La deficiencia de hierro es una de las principales causas de problemas de salud en el mundo, afectando especialmente a niños, mujeres premenopáusicas (antes de la menopausia) y personas en países de ingresos bajos y medios. La anemia es una consecuencia de esta

deficiencia, que puede causar problemas clínicos incluso sin anemia. La falta de hierro se produce cuando las reservas son bajas o la inflamación provoca retención de hierro en el plasma (parte líquida de la sangre) (Pasricha et al., 2021). La deficiencia de zinc (Zn) es un problema de salud que afecta a alrededor de dos mil millones de personas en el mundo. Esto se debe al consumo de alimentos como cereales y verduras que tienen bajo contenido de Zn. Identificar clínicamente esta deficiencia es complicado, ya que los síntomas solo aparecen cuando afecta órganos vitales como el sistema gastrointestinal, nervioso, inmunitario y esquelético. Los niveles bajos de Zn pueden causar problemas fisiológicos, como la muerte celular, daño a órganos, daños en el ADN y estrés oxidativo, lo que a su vez provoca inflamación crónica y enfermedades como problemas del corazón, cáncer y trastornos neurológicos (Hussain et al., 2022).

La carencia de hierro y zinc ha sido un problema de salud en niños menores de 5 años, ya que la anemia y el crecimiento deficiente muestran una elevada incidencia en las naciones de América Latina y el Caribe. Giuseppe y su equipo realizaron un estudio sobre la falta de hierro y zinc en la niñez en Bolivia. En este país, el 82% de los niños entre 6 y 23 meses padece anemia. El retraso en el crecimiento es una problemática común en naciones en vías de desarrollo, afectando al 32% de los menores en Bolivia, cifra que es la más alta en Sudamérica, y se observan estadísticas similares en Ecuador (Romero Sacoto et al., 2020). El hierro es un mineral vital para el crecimiento del bebé. Durante los primeros meses de vida, las demandas de este mineral son altas, ya que es crucial para la generación de glóbulos rojos, el funcionamiento de las células musculares, la copia del ADN, así como para el desarrollo del cerebro y otras actividades del cuerpo (Cerami, 2017).

En Perú, a pesar de los diversos intentos desde 2017 y nuevas iniciativas legales como la obligación de enriquecer el arroz con hierro (Proyecto de Ley 7940/2023-CR), la tasa de anemia continúa siendo alta, lo que indica que las medidas en vigencia podrían no estar

manejando de manera efectiva la complejidad de la situación. En el año 2024, la Organización Mundial de la Salud revisó los umbrales de hemoglobina para identificar la anemia, lo que ha transformado la situación a nivel mundial. En Perú, esta alteración disminuye la tasa de anemia en pequeños de 6 a 35 meses al 35,3%, y por ello ya no se ve como un asunto serio de salud pública (Bustamante et al., 2025)

1.3. Justificación del trabajo

1.3.1. Aspecto general

Es valioso realizar esta presente investigación, ya que según literaturas consultadas no se ha encontrado estudios sobre la biofortificación con Hierro (Fe) y Zinc (Zn) en el cultivo de la Quinua en tres variedades (Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli). Por tal razón es importante llevar a cabo la presente investigación para llegar a un resultado y generar mayor conocimiento en estas tres variedades de la Quinua. Según la información del INEI, el 36,2% de las niñas y niños de 6 a 35 meses de edad recibieron suplemento de hierro incrementándose en 6,5 puntos porcentuales respecto al año 2020 y en 1,7 puntos porcentuales en comparación con el año 2019.(Instituto Nacional de Estadística e Informática, s. f.), por ello es importante biofortificar la concentración de hierro y zinc en el cultivo de la Quinua para poder combatir con el DCI (Desnutrición Crónica Infantil) y la anemia ya que este pseudocereal se consume todos los días en el desayuno.

1.4. Aspecto tecnológico

Este enfoque de la biofortificación como un aspecto tecnológico implica la aplicación directa de estos dos micronutrientes como hierro y zinc al suelo o mediante foliares en las plantas. Esta biofortificación se utiliza en las prácticas agronómicas para optimizar la absorción de estos micronutrientes por las raíces y de esa manera la acumulación en la parte consumible de la Quinua.

1.4.1. Aspecto social

El uso de estos cultivos biofortificados en la dieta humana es un gran avance para poder agregar la concentración de Hierro (Fe) y Zinc (Zn), micronutrientes que hacen falta en muchas personas en las zonas rurales y a causa de ello existen índices de DCI (Desnutrición Crónica Infantil) y la anemia, al mejorar el acceso a estos alimentos biofortificados se contribuye a reducir problemas como la malnutrición entre las poblaciones vulnerables.

1.4.2. Aspecto económico

La Quinoa biofortificada permitirá la competitividad del producto siendo seleccionado en la industria gracias a su concentración agregada de Hierro (Fe) y Zinc (Zn). Al ofrecer un producto diferenciado y con mayor valor nutricional, muchos de los agricultores pueden acceder a diferentes canales de comercialización y reducir la dependencia de un solo cultivo o mercado.

1.4.3. Importancia

Una de las principales importancias de esta investigación es el potencial alimenticio que se va a obtener en el grano de la quinoa, porque al ser fortificada con hierro y zinc se convierte en un alimento clave para mejorar los niveles de hemoglobina y por ende la salud general de las personas.

En la actualidad la Quinoa es un alimento nutritivo, rico en proteínas, fibra y minerales. La fibra total está en aproximadamente 5 g por cada 100 g de peso seco, mientras que la fibra soluble es de 2,49 g por cada 100 g de peso seco (Ramírez García et al., 2018). La cantidad de proteína presente en la quinoa oscila entre 8 y 22 g por cada 100 g de peso seco (García-Mazcorro et al., 2016). Al añadir hierro y zinc se maximiza su potencial como superalimento contribuyendo a una dieta más equilibrada. Esto es especialmente relevante en regiones donde las dietas son deficientes en estos nutrientes esenciales. Este proceso de biofortificación no solo

mejora el valor nutricional del grano, sino que también tiene implicaciones significativas para la salud pública y la seguridad alimentaria.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general.

Evaluar el efecto de la biofortificación con tres dosis de hierro y zinc en el contenido nutricional y rendimiento agronómico de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Will.*): Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli, cultivadas en el Fundo La Banda Huasacache, Arequipa.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de Fe y Zn a nivel foliar después de dos aplicaciones en tres variedades.
- Determinar la concentración de Fe y Zn en el grano de quinua en tres variedades.
- Evaluar el rendimiento de las tres variedades de quinua con la aplicación de Fe y Zn.

1.6. Hipótesis

Considerando que la biofortificación agronómica es una estrategia integral para aumentar el valor nutricional de los cultivos y que, en la actualidad, tiene un avance significativo a nivel nacional e internacional en la mejora de la calidad nutricional de micronutrientes en diversos cultivos, se espera que la biofortificación con hierro (Fe) y zinc (Zn) aumente la concentración de estos micronutrientes en el grano de quinua.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Análisis bibliográfico

2.1.1. Biofortificación

El concepto de biofortificar, conocido como "biofortificación multinutriente", busca desarrollar cultivos que contengan varios tipos de vitaminas y minerales. Al abordar diferentes deficiencias nutricionales al mismo tiempo, este enfoque ofrece una solución más completa para la malnutrición. Al combinar nutrientes, se mejora su disponibilidad y beneficios para la salud. Además, los cultivos biofortificados pueden promover una mayor variedad en la alimentación, ya que permiten que las personas obtengan más nutrientes de los alimentos básicos (Avnee et al., 2023).

La biofortificación es una estrategia que representa un enfoque a largo plazo para ofrecer un mayor suministro de hierro y zinc a quienes lo requieren con mayor urgencia. Los programas de mejora de cultivos del CGIAR junto con los Sistemas Nacionales de Investigación Agrícola han realizado progresos significativos en la creación de variedades que contienen altos niveles de estos nutrientes esenciales, lanzando con éxito nuevas variedades biofortificadas al mercado. Las investigaciones recientes han resultado en un considerable aumento en nuestra comprensión de cómo se regula la homeostasis de hierro y zinc, lo que ha facilitado la identificación de genes potenciales para la selección guiada por marcadores. Se ha intensificado la colaboración internacional entre el sector agrícola y el sanitario, desarrollando y aplicando diversas estrategias para la implementación y el trabajo conjunto a lo largo del tiempo. Cada vez hay más evidencia respaldando la efectividad de los cultivos biofortificados con hierro y zinc, y los resultados son optimistas. La biofortificación sigue creciendo y se necesita más esfuerzo para lograr la meta de reducir la desnutrición oculta provocada por la

falta de hierro y zinc en la población mundial, así como para asegurar la disponibilidad de alimentos (Stangoulis & Knez, 2022).

2.1.2. Biofortificación agronómica

La biofortificación agronómica implica el uso intencionado de fertilizantes inorgánicos para elevar el nivel de concentración de un mineral específico en las partes comestibles de las plantas, con el objetivo de mejorar su consumo en la dieta (Adu et al., 2018). La biofortificación agronómica de los cultivos de alimentos es una técnica eficaz y relevante para mejorar la nutrición humana en el mundo en desarrollo. Además, es el método más rápido y accesible para incrementar el contenido de minerales y ciertas moléculas en los cultivos de alimentos (Lázaro, 2023).

Una alimentación adecuada y segura es importante para evitar la desnutrición y tratar diferentes enfermedades, garantizando así el bienestar humano. Para enfrentar esta problemática, la biofortificación, que consiste en aumentar el valor nutricional de los cultivos, puede ser una solución al problema del hambre oculta. La nanotecnología, a través de la aplicación de nanopartículas de nutrientes esenciales como zinc, cobre, hierro y selenio, así como fertilizantes nanoestructurados en el suelo, puede mejorar la calidad alimentaria mediante la biofortificación y ofrecer una solución efectiva y sostenible para remediar las deficiencias nutricionales (Ul din et al., 2023)

Se denomina como biofortificación al proceso mediante el cual se aplica un determinado micro nutriente para elevar su concentración dentro de una especie vegetal, el método más utilizado para este proceso es la aplicación foliar sin embargo existe otros métodos utilizados para este procedimiento, de los cuales se tiene las aplicaciones mediante fertilización edáfica (suelo), aplicaciones en drench (aplicación cerca al tallo) y mediante soluciones nutritivas en hidroponía) (Garcés, 2022). La biofortificación agronómica es un método probado que ha evidenciado su capacidad para enriquecer numerosos cultivos con diferentes nutrientes;

no obstante, se ha notado que la efectividad en la utilización y absorción de nutrientes cambia según las diversas condiciones agrícolas, como la clase de suelo, las prácticas de cultivo y el tipo de fertilizante utilizado. La agricultura de biofortificación podría ser un recurso importante para alcanzar la seguridad alimentaria, y su importancia ha crecido recientemente por cuestiones asociadas al cambio climático y crisis de salud global, como la pandemia de COVID-19 (Bhardwaj et al., 2022).

La biofortificación agronómica de los cultivos se lleva a cabo utilizando fertilizantes que contienen micronutrientes, lo que constituye una estrategia ágil y efectiva para elevar la calidad nutricional de las cosechas. Ingerir estos cultivos favorece la salud alimentaria (Cakmak y Kutman, 2017). Comúnmente, la mejora agronómica se fundamenta en técnicas de aplicación de fertilizantes, en la disolución de minerales y en su traslado desde el origen hasta las partes comestibles de la planta (Cakmak & Kutman, 2018).

2.1.3. Técnicas de biofortificación agronómica

Existen diversos métodos agronómicos para la biofortificación, cuya efectividad ha sido investigada globalmente. Los métodos más destacados abarcan la aplicación al suelo, la aplicación foliar y la preparación de semillas para facilitar la absorción de nutrientes. También es posible utilizar aplicaciones foliares a través de rociados con fertilizantes diluidos, el acondicionamiento de nutrientes, biofertilizantes y nanofertilizantes. La biofortificación a través de métodos agronómicos ha mostrado ser la estrategia más efectiva para potenciar la calidad del grano de trigo. La introducción de Zn y Fe a través de diferentes técnicas agronómicas, como la aplicación al suelo, foliar o la preparación de semillas, eleva el nivel de Zn en los granos y en varios componentes de la semilla, el endospermo y el embrión. Esto, a su vez, optimiza la biodisponibilidad del Zn al disminuir adicionalmente la acumulación de fitato (sal o éster del ácido fítico, un compuesto que se encuentra de forma natural en las plantas, especialmente en semillas, cereales, legumbres y frutos secos) (Pal et al., 2025).

2.1.3.1. Aplicación al suelo

Los microelementos aplicados al suelo a través de fertilizantes contribuyen a restaurar sus niveles, promoviendo así el desarrollo de plantas y cultivos. Este es el método más habitual para aumentar la presencia de micronutrientes en los granos. No obstante, la efectividad de la fertilización del suelo se ve influenciada por las propiedades físicas y químicas del mismo, así como por las técnicas, tiempos y cantidades de aplicación. La cantidad a utilizar depende del tipo de cultivo y de la concentración del producto fertilizante. En suelos difíciles, como los que son calcáreos y alcalinos, generalmente se requieren dosis más elevadas. Sin tener en cuenta el tipo de suelo, en India se sugiere la aplicación uniforme de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en un rango de 5-25 kg ha^{-1} para atender la carencia de Zn. Como opción, si no se dispone de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, se pueden añadir alrededor de 5 kg ha^{-1} de Zn al suelo una vez al año o cada dos años. En comparación con la aplicación a voleo, la distribución de fertilizantes con micronutrientes en bandas disminuye la dosis a un tercio (Sarwar et al., 2017). La aplicación de micronutrientes en el suelo contribuye a restaurar los elementos necesarios en el terreno donde se desarrolla una planta. Esta práctica es de uso habitual. Se sugiere aumentar la dosis de micronutrientes para aquellas cosechas que son vulnerables a la falta de estos (Martens & Westermann, 1991). La incorporación de micronutrientes en la tierra es una técnica de fertilización que resulta menos efectiva y eleva el gasto de producción (Savithri et al., 1998). La aplicación de zinc en el suelo puede mejorar la producción agrícola, aunque es menos eficaz para aumentar el nivel de zinc en los granos y su utilización como fertilizante es poco eficiente (Chattha et al., 2017). Para tratar la deficiencia de micronutrientes, la incorporación de molibdeno al suelo, junto con la aplicación foliar de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,5 %) y $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,5 %), mejoró notablemente la producción de caupí, la cantidad de nódulos por planta, la longitud de las raíces, así como la absorción y la concentración de nutrientes. Se indica que la combinación de la aplicación al

suelo y la foliar resulta más efectiva para incrementar la producción de grano que utilizar cada método por separado (Dhaliwal, Sharma, Shukla, Kaur, et al., 2022).

2.1.3.2. Aplicación foliar

La aplicación foliar es una mejor opción que la aplicación al suelo, porque la cantidad de micronutrientes que se pierde es muy baja y estos son asimilados directamente por el tejido vegetal (Johnson et al., 2005). En comparación con la aplicación al suelo, la aplicación por aspersión utiliza menos fertilizante. Puesto que numerosos fertilizantes se disuelven en agua, pueden aplicarse directamente a las partes superiores de la planta. Los nutrientes obtenidos a través de la fertilización foliar pueden ser absorbidos por las hojas de diferentes formas, ya sea por las estomas o atravesando la cutícula, y luego se dirigen a las células de la planta para su metabolismo. Una vez que los nutrientes logran atravesar la cutícula, ingresan a las células foliares y se distribuyen a otras zonas gracias a los plasmodesmos (Pal et al., 2025). Las fases más adecuadas para el desarrollo de la planta que permiten el uso de minerales en la biofortificación a través de la aplicación sobre las hojas van desde la fase previa a la floración hasta el periodo en que el grano está en estado lechoso. Esta situación se debe a que los micronutrientes pueden ser fácilmente movilizados gracias a la existencia de fotosintatos en los órganos reproductores que actúan como reservas (Melash et al., 2016). Asimismo, la efectividad de las aplicaciones foliares está influenciada por elementos externos como el momento del día, el calor, la humedad y la intensidad del viento. La absorción de los nutrientes se incrementa en ambientes cálidos y húmedos, en tanto que un nivel bajo de humedad relativa junto con altas temperaturas causa que el agua de las soluciones aplicadas se evapore, concentrando los minerales en la superficie y reduciendo su capacidad de absorción (Alshaal & El-Ramady, 2017). La aplicación de zinc mediante aplicación foliar es efectiva ya que puede atravesar con facilidad la pared celular y el floema, llegando a los tejidos tanto vegetativos como a los granos en formación (Cakmak & Kutman, 2018). La técnica de aplicación foliar es

la más utilizada para aumentar los micronutrientes en cultivos, pues es fácil de implementar, utiliza fertilizantes de manera más eficiente, necesita menos infraestructura y no exige conocimientos especializados que podrían ser necesarios para métodos como el tratamiento de semillas y el cultivo hidropónico (Bhardwaj et al., 2022).

2.1.3.3. Preparación de semillas

La práctica de tratamiento de semillas (sumergir semillas en una solución nutritiva) antes de plantarlas se ha empleado principalmente para potenciar la germinación, fomentar el crecimiento de las raíces, asegurar el crecimiento de las plántulas y aumentar la producción (Araújo & Balestrazzi, 2016). La técnica de sumergir las semillas en una mezcla de nutrientes antes de plantar se llama preparación de semillas (Farooq et al., 2019). Todos los métodos de preparación de semillas, incluso el tratamiento hidropónico, promueven el proceso de germinación (Choukri et al., 2022). Esta metodología ayuda en la biofortificación porque la inmersión de las semillas ocasiona que se reduzcan algunos nutrientes, como el ácido fítico. Por ejemplo, al sumergir las semillas en soluciones de sulfato y óxido de zinc en altas concentraciones, se redujo la cantidad de ácido fítico (ácido orgánico que contiene fósforo y se encuentra principalmente en los vegetales), lo que sugiere una mejor disponibilidad del zinc biofortificado en los microvegetales de guisantes y girasoles (Poudel et al., 2023). La efectividad del tratamiento de semillas está influenciada en gran medida por varios elementos, tales como el genotipo, el tipo de cultivo, el tiempo de tratamiento con nutrientes, el potencial osmótico de la mezcla utilizada y las condiciones del entorno (Farooq et al., 2019). Además, los métodos de acondicionamiento de nutrientes son poco familiares para los agricultores, debido a que requieren conocimientos técnicos sobre la metodología. El acondicionamiento puede disminuir la duración de la vida de las semillas, lo que significa que necesitan un almacenamiento adecuado o deben ser utilizadas o sembradas de inmediato (Bhardwaj et al., 2022).

2.1.4. Biofortificación genética mediante mejoramiento genético convencional

La técnica de biofortificación a través de genética se centra en desarrollar nuevas especies de cultivos que tienen modificaciones genéticas, lo que les permite almacenar micronutrientes en cantidades más altas que las variedades habituales. Las metas de la biofortificación genética incluyen reducir los componentes antinutrientes y mejorar la concentración de micronutrientes en las partes comestibles de los cereales, como el endospermo, así como facilitar la asimilación y movilización de micronutrientes hacia los brotes mediante métodos de ingeniería genética (Pal et al., 2025). El mejoramiento genético convencional ha sido muy utilizado y ha ganado relevancia en los últimos diez años. Recientemente, se ha establecido como un método accesible, económico y aceptado ampliamente (en contraste con los productos modificados genéticamente) para aumentar los micronutrientes (Van Der Straeten et al., 2020). Las técnicas clásicas de mejora genética abarcan la selección, en la cual se escogen plantas con cualidades deseadas para desarrollar nuevas variedades que tengan un mayor valor nutricional. Este enfoque puede ser un proceso prolongado y precisar de numerosas generaciones para obtener plantas con las propiedades anheladas. Asimismo, depende de la presencia de diversidad genética en la especie cultivada (Hina et al., 2023).

2.1.5. Biofortificación mediante métodos transgénicos

Los métodos transgénicos, en contraste, consisten en transferir genes particulares de un ser vivo a otro para crear cultivos con un valor nutricional superior. Esto se puede alcanzar a través de diferentes procedimientos, como la manipulación genética y la edición del ADN. Las técnicas transgénicas son más eficaces y exactas que las convencionales, y posibilitan añadir cualidades que no están presentes en la especie de planta cultivada (Hina et al., 2023). Esta táctica proporciona una reserva genética sin límites para la transferencia y manifestación de genes positivos de cualquier otra planta, sin importar su posición evolutiva o clasificación.

Cuando la capacidad natural de un cultivo para absorber un nutriente no es suficiente, el método transgénico surge como la opción más efectiva para mejorar su contenido (Pérez-Massot et al., 2013). La creación de un cultivo modificado genéticamente demanda mucho tiempo, dedicación y recursos financieros en la etapa de investigación y desarrollo. No obstante, si se logra, puede resultar en beneficios económicos y ser sostenible en el futuro. Asimismo, la metodología de modificación genética no tiene limitaciones taxonómicas, y también se pueden emplear genes artificialmente creados. Incrementar la cantidad de micronutrientes asegura que haya menos carencia de estos nutrientes entre quienes los consumen, particularmente entre poblaciones de escasos recursos en naciones en vías de desarrollo que no pueden permitirse comprar suplementos vitamínicos. El maíz que tiene un elevado nivel de lisina, la soja que presenta un alto contenido de grasas insaturadas, la yuca que es rica en provitamina A y hierro, así como el arroz dorado que aporta provitamina A, son casos destacados de cultivos modificados genéticamente. (Hirschi, 2009). El secreto para el avance de los cultivos modificados genéticamente está en reconocer las funciones de los genes y aplicar estos genes para alterar el metabolismo de las plantas. Es posible incorporar vías metabólicas de distintos organismos, en su mayoría bacterias, en los cultivos para investigar nuevas formas de ingeniería metabólica (Newell-McGloughlin, 2008).

2.1.6. Biofortificación en la salud humana

La biofortificación es un método que eleva el contenido de nutrientes como vitaminas y minerales en plantas a través de la modificación genética, técnicas de ingeniería genética o métodos de cultivo. Los cultivos fundamentales enriquecidos, que se consumen de forma habitual, producen mejoras medibles en la salud y la nutrición de las personas (Bouis & Saltzman, 2017). En los últimos 15 años, la biofortificación, el proceso de incorporar nutrientes a los cultivos alimentarios, ha obtenido un amplio reconocimiento como un medio rentable, complementario y viable para proporcionar micronutrientes a poblaciones con acceso limitado

a dietas variadas, suplementos o alimentos fortificados comercialmente (Andersson et al., 2017).

La biofortificación es una de las múltiples intervenciones requeridas para solucionar el complicado problema de la desnutrición de micronutrientes. Los métodos van desde las estrategias fundamentadas en la alimentación (tales como la diversificación de la dieta, la educación en nutrición y la biofortificación) hasta la puesta en marcha de programas de enriquecimiento alimentario y suplementación de nutrientes vitales como la vitamina A, el yodo, el zinc y el hierro (bnfb – hechos sobre la biofortificación, s. f.). Los cultivos biofortificados son una buena opción para ayudar a las personas en áreas rurales con acceso limitado a dietas diversas. Los niveles de micronutrientes en estos cultivos se fijan para atender las necesidades nutricionales de mujeres y niños, basándose en sus hábitos alimenticios. La biofortificación permite que los agricultores combinen nutrientes esenciales con otras características que ellos y los consumidores prefieren. Una vez que se satisfacen las necesidades alimentarias de las familias, los excedentes de estos cultivos se venden en mercados rurales y urbanos (Bouis & Saltzman, 2017).

2.1.7. Avances de la biofortificación con microelementos en la actualidad

La técnica más habitual para la biofortificación agronómica de cultivos implica la aplicación de abonos químicos. Se ha evidenciado que la utilización de fertilizantes con micronutrientes incrementa la cantidad de estos elementos en varios sistemas agrícolas (Garg et al., 2018). La mejora agronómica a través de la biofortificación con varios micronutrientes se puede llevar a cabo empleando formulaciones comerciales habituales como $ZnSO_4$, $FeSO_4$, $CuSO_4$ y $MnSO_4$. La utilización conjunta de Zn y Fe eleva los niveles de Zn, Fe, fibra cruda y proteínas en el grano, mientras que el uso de fertilizante de Fe por sí solo aumenta el contenido de Fe en el grano (Niyigaba et al., 2019).

La biofortificación está ganando relevancia en la mejora de la disponibilidad de micronutrientes, en particular hierro (Fe), zinc (Zn), magnesio (Mg) y selenio (Se), en los cultivos alimentarios más cultivados. El empleo de varios microorganismos que favorecen el desarrollo de las plantas se está estableciendo como una alternativa efectiva para reemplazar fertilizantes, pesticidas y aditivos artificiales («Microbe-mediated biofortification for micronutrients», 2020).

En los últimos años, se han registrado avances significativos en el campo de la biofortificación con hierro, los investigadores han identificado genes clave que controlan la absorción de hierro en las plantas y han desarrollado técnicas de mejoramiento genético para introducir estos genes en variedades de cultivos de alto rendimiento. Un ejemplo notable es el desarrollo de arroz fortificado con hierro, conocido como Golden Rice. Esta variedad de arroz, enriquecida con betacaroteno y hierro, ha demostrado ser eficaz para reducir la anemia en poblaciones deficientes en estos micronutrientes (Tech, 2024). Hasta este momento, se han desarrollado varias cosechas biofortificadas alrededor del planeta, abarcando granos, legumbres, plantas oleaginosas, pastos, entre otros. A lo largo de esta etapa, el nutriente que se busca se incorpora de forma externa ya sea antes o durante el desarrollo de las plantas. La aplicación en la tierra garantiza que haya una cantidad adecuada de nutrientes para que las raíces los puedan absorber, mientras que la aplicación sobre las hojas incrementa la concentración de nutrientes en el follaje para su traslado a diferentes secciones de la planta (Dhaliwal, Sharma, Shukla, Verma, et al., 2022). La investigación en biofortificación ha avanzado, pero hay áreas que necesitan más atención para alcanzar su objetivo principal. Se necesita una estrategia integral de las 4R (fuente correcta, cantidad correcta en el momento correcto y lugar correcto) para aplicar hierro y zinc en diferentes cultivos, lo que ayudará a mejorar la concentración de estos minerales en el grano. Es importante investigar cómo mejorar la movilidad de los minerales en los suelos y su absorción por las plantas y el ser humano. La

viabilidad de la biofortificación a largo plazo depende de estudiar cómo interactúan los cultivos con sistemas agroecológicos y mejorar las técnicas de producción. La cooperación internacional es crucial para abordar el hambre, como se ve en proyectos como Harvest Plus, que unen a diferentes actores para promover la biofortificación. Se deben establecer alianzas para asegurar que esta iniciativa beneficie y permita compartir conocimientos (Pal et al., 2025).

2.1.8. Importancia de los microelementos en el ser humano

La desnutrición de micronutrientes constituye un relevante asunto de salud pública a escala global, especialmente en grupos vulnerables como los niños, personas mayores, mujeres en gestación y madres lactantes. Los micronutrientes son vitaminas y minerales indispensables para el cuerpo, en cantidades reducidas, con el objetivo de mantener un funcionamiento, crecimiento y desarrollo adecuados. Frecuentemente, las mujeres de naciones en desarrollo ingieren niveles insuficientes de micronutrientes, resultado de un consumo insuficiente de proteínas, frutas, vegetales y alimentos enriquecidos en la alimentación diaria. Las carencias de micronutrientes se intensifican durante la gestación, provocando una serie de problemas como anemia, presión arterial alta, problemas durante el parto y, finalmente, hasta la muerte (Ciudad Reynaud, 2014). El zinc (Zn) y el hierro (Fe) son minerales esenciales para el bienestar humano. Puesto que el organismo humano no tiene la capacidad de generar Zn ni Fe, es fundamental adquirirlos a través de la dieta para sostener niveles apropiados de estos minerales. Ambos micronutrientes facilitan la actividad de numerosas enzimas (Pal et al., 2025).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) percibe la anemia como un asunto de salud pública global, que impacta en su mayoría a los niños y a las mujeres en gestación. Se estima que, globalmente, el 42% de los niños menores de 5 años y el 40% de las mujeres embarazadas padecen de anémicos. Como resultado de esta problemática, Perú ha llevado a cabo diversos programas de nutrición desde décadas previas. Sin embargo, a pesar de estos intentos del Estado, el problema no se redujo de manera significativa. En este contexto, y

conforme a los datos de la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar 2022, la prevalencia de la anemia en niños y niñas de 6 a 59 meses impactó al 33,6% de estos a escala nacional, lo que lleva a considerar a esta como un problema de salud pública de moderado nivel, de acuerdo con la clasificación de la OMS. Además, este problema impacta a todas las clases socioeconómicas y regiones del país, sin embargo, la situación se vuelve más severa en escenarios de pobreza, ya sea debido a la limitada capacidad de compra para adquirir alimentos, la inadecuada calidad de la vivienda, el acceso restringido a los servicios esenciales, la falta de información suficiente de las familias acerca de la relevancia de una dieta saludable, entre otros elementos (INEI, 2023).

2.1.9. Importancia del Hierro (Fe) en el ser humano

El hierro (Fe) se considera un elemento vital para los seres humanos, ya que juega un papel en diversas funciones del cuerpo, tales como el transporte de oxígeno, la defensa inmune, la división y especialización celular y el metabolismo energético. La regulación del hierro en el organismo se realiza principalmente a través de la absorción en el intestino, ya que los humanos no poseen mecanismos efectivos para excretarlo. Por lo tanto, una buena absorción intestinal de hierro es crucial para disminuir el riesgo de desarrollar anemia por deficiencia de hierro. En los alimentos, el hierro (Fe) se presenta en dos formas: hemo y no hemo. La cantidad promedio de hierro que se consume diariamente a través de la alimentación varía entre 10 y 15 mg en las personas, dado que solamente se asimilan de 1 a 2 mg en el tracto intestinal (Piskin et al., 2022).

El hierro (Fe) tiene múltiples roles vitales en el cuerpo humano. Es muy importante para el bienestar de los pulmones y apoya el adecuado desempeño del aparato respiratorio. Participa en la circulación del oxígeno desde los pulmones hacia las células del cuerpo a través de la hemoglobina en los eritrocitos, promueve el traslado de electrones dentro de las células y es un elemento esencial de varios sistemas enzimáticos que se encuentran en diferentes tipos

de tejidos. Al ser una parte fundamental de la hemoglobina, que es la proteína encargada de transportar oxígeno en los glóbulos rojos, el hierro facilita la unión y liberación del oxígeno (Pal et al., 2025).

El hierro (Fe) es un componente crucial dado que desempeña un papel crucial en varios procesos fisiológicas de todos los seres vivos. En los seres humanos, la carencia de este nutriente puede causar anemia, una enfermedad que impacta a millones de individuos. La biofortificación agronómica de hortalizas es un método para aumentar la concentración de hierro en los alimentos y, consecuentemente, la ingesta de micronutrientes por parte de la población (LÁZARO, 2023). La cantidad global de hierro (Fe) en los alimentos no garantiza que sea fácilmente absorbido, ya que la captación de Fe en los seres humanos depende de varios factores, siendo la forma del Fe el más relevante. Se ha observado que los porcentajes de absorción de Fe son del 25-30% al consumir vísceras, del 7-9% en el caso de las hortalizas de hoja verde, del 4% para los granos y del 2% para las legumbres secas (Piskin et al., 2022).

2.1.10. Importancia del Zinc (Zn) en el ser humano

Una ingesta adecuada de zinc es esencial para un embarazo saludable y también influye en el crecimiento, el sistema inmunológico y el desarrollo neurológico y conductual del niño, en comunidades donde hay peligro de falta de zinc, la provisión preventiva de este mineral disminuye la ocurrencia partos prematuros, baja la enfermedad por diarreas en niños y por infecciones severas de las vías respiratorias, disminuye la muerte en general y promueve el aumento en altura y peso en bebés y niños pequeños (Brown et al., 2009).

El zinc es un nutriente que los seres humanos requieren para preservar su salud. El zinc se encuentra en todas las células del organismo. Asiste al sistema inmunológico en la batalla contra bacterias y virus que lo perjudican. El organismo también emplea el zinc en la generación de ADN (el componente genético de las células) y proteínas. Durante la gestación, la infancia, la niñez y la adolescencia, el organismo requiere de zinc para su crecimiento y

desarrollo adecuado. El zinc también promueve la cura de las heridas y es esencial para el correcto funcionamiento del sentido del gusto (Salud, 2022). Superar la deficiencia de zinc es esencial para niños y mujeres en países en desarrollo. Aunque hay varias alternativas, la biofortificación de cultivos se presenta como la opción más viable. La variedad de alimentos no es asequible para las personas de bajos recursos que enfrentan malnutrición, y la continuidad de la suplementación y la fortificación está sujeta a la disponibilidad de financiamiento y subvenciones permanentes (Maqbool & Beshir, 2019).

El zinc juega un papel crucial en el desarrollo y manejo de varias condiciones de salud, tales como la hepatitis, las dolencias cardíacas, la neumonía y la obesidad (Hara et al., 2023). En el ámbito de las infecciones por virus, se ha evidenciado que el zinc posee un posible beneficio terapéutico como un complemento rentable en el manejo de la hepatitis C. Hay indicios que indican que el zinc podría dificultar la replicación del virus y fortalecer la respuesta inmunitaria. Recientemente, el zinc ha captado atención por su posible función de protección contra el SARS-CoV-2, el agente responsable de la COVID-19. Varios estudios apuntan a que el zinc puede incrementar la defensa antiviral y mitigar la intensidad de la enfermedad (Sethuram et al., 2022).

2.1.11. El zinc y su papel en la salud reproductiva y la fertilidad femeninas.

El zinc cumple una función crucial en el control del ciclo menstrual al impulsar la producción de hormonas reproductivas esenciales como el estrógeno y la progesterona. Interviene en procesos vitales que dirigen la formación de células germinales, la capacidad de procrear y el embarazo. Además, el zinc es indispensable para la creación de ADN y para la replicación celular, factores necesarios para el desarrollo de ovocitos de buena calidad. La mala calidad de los óvulos puede reducir las posibilidades de embarazo y aumentar la probabilidad de un aborto espontáneo, por lo que tener una ingesta adecuada de zinc es fundamental para mejorar los resultados en el embarazo (Garner et al., 2021).

2.1.12. Zinc y fertilidad masculina

El zinc es fundamental para la salud reproductiva en hombres. Este mineral juega un papel clave en la producción, maduración y calidad de los espermatozoides durante el proceso de espermatogénesis. También, el zinc es esencial para mantener niveles saludables de testosterona, los cuales son necesarios para el desarrollo espermático y la función sexual. Además, proporciona una defensa antioxidante a los espermatozoides, protegiéndolos del estrés oxidativo que puede perjudicar el ADN y afectar la calidad del semen. Al minimizar el daño oxidativo, el zinc contribuye a mantener la viabilidad de los espermatozoides y mejora las posibilidades de una fecundación exitosa (Fallah et al., 2018). La cantidad de Zn es significativa en el semen y desempeña diversas funciones en el funcionamiento de los espermatozoides. Se ha propuesto que el Zn funciona como un relevante elemento antiinflamatorio y colabora en el proceso de metabolismo oxidativo de los espermatozoides. El Zn tiene varias funciones claves en la fisiología de los espermatozoides, abarcando los efectos sobre la flexibilidad de los lípidos y la estabilización de la membrana de las células espermáticas (Chia et al., 2000).

2.1.13. Importancia fisiológica del Hierro (Fe) en la planta

El hierro es un microelemento crucial para el crecimiento de las plantas. Su función es crucial ya que participa en la producción de clorofila y participa en otros procesos metabólicos y enzimáticos sin los cuales las plantas no pueden completar su ciclo de vida. La deficiencia de hierro se manifiesta en forma de clorosis férrica, pero ésta no se produce por su ausencia en el suelo sino a causa de su baja disponibilidad como hierro asimilable por la planta. El principal papel del hierro en las plantas es la producción de clorofila. Al faltar hierro, las hojas más jóvenes adquieren un tono amarillento debido a la incapacidad de la planta para generar clorofila. Cuando la falta de hierro es más grave, la disminución de la coloración puede impactar a las hojas más desarrolladas. Con el paso del tiempo, también pueden surgir necrosis,

deseccación y disminución de las mismas, lo que finalmente impacta en la producción (Seipasa, 2021). El hierro constituye un micronutriente crucial para casi todos los seres vivos debido a su función fundamental en procesos metabólicos como la creación de ADN, la respiración celular y la fotosíntesis. Asimismo, activa diversas rutas metabólicas y forma parte del grupo prostético de muchas enzimas. La principal razón de la clorosis férrica es el desequilibrio entre la solubilidad del hierro en el suelo y la necesidad de la planta. A pesar de ser común en la mayoría de los suelos bien oxigenados, su actividad biológica es limitada, ya que principalmente se convierte en compuestos férricos que son muy insolubles a un pH neutro (Rout & Sahoo, 2015). La falta de un adecuado aporte de hierro causa un desarrollo lento, clorosis en las áreas entre venas y una disminución en la capacidad. Mantener niveles adecuados de hierro en los cultivos es esencial para combatir la anemia generada por la carencia de este mineral, que es uno de los problemas nutricionales más prevalentes globalmente. No obstante, un exceso de hierro puede resultar dañino para las células. Por ende, es necesario que las plantas enfrenten la a menudo limitada disponibilidad de hierro en el suelo mediante métodos que favorezcan su movimiento y limiten su absorción en condiciones de sobreabundancia (Schmidt et al., 2020). El hierro (Fe) está presente en la rizosfera del suelo en la forma de Fe^{3+} . A pesar de que el Fe es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre, su acceso para las raíces de las plantas es limitado. Las raíces pueden absorberlo a través de dos métodos. La primera, que se encuentra en plantas no gramíneas como Arabidopsis y el tomate, es la estrategia reductora, la cual reduce el pH del suelo y mejora la disponibilidad de Fe^{3+} al permitir el desplazamiento de protones desde la célula radicular hacia la rizosfera (Wairich et al., 2024). No obstante, la capacidad de absorción de hierro se ve afectada por el pH del terreno, la cantidad de humedad, los nitratos y múltiples interacciones de microorganismos. Similar al zinc, la cantidad de hierro accesible también se reduce con el aumento del pH, puesto que se oxida al estado férrico (Fe^{3+}), lo que complica su asimilación

debido a su firme asociación con aniones, fósforo, metales covalentes y partículas del sustrato (Merry et al., 2022).

2.1.14. Importancia fisiológica del Zinc (Zn) en la planta.

El Zn es un elemento con escasa movilidad en la planta, pero cumple con múltiples funciones esenciales. La formación y operación de numerosas enzimas se basan en la existencia de Zn en la planta. Alrededor de 2,800 proteínas requieren del Zn para poder ser sintetizadas y funcionar. Es necesario para la producción de carbohidratos durante el proceso de fotosíntesis y para la conversión de azúcares en almidón. Durante los procesos de maduración y producción de semillas, el Zn promueve la formación y fertilidad del polen, razón por la cual la carencia de Zinc repercute más en el desempeño del grano que en el crecimiento vegetal. Además, contribuye al mantenimiento e integridad de las membranas celulares y brinda a las plantas tolerancia frente a patógenos, en particular los provenientes del suelo. Hoy en día, el Zn podría ser el micronutriente más insuficiente a nivel global. Además, es conocido que su carencia puede disminuir las cosechas en un 20% sin presentar síntomas (hambre oculta) (Intagri, 2022). La falta de agua impacta el crecimiento y evolución de las plantas al modificar sus procesos fisiológicos y bioquímicos, llevando a una disminución en la producción agrícola. El zinc (Zn) es un micronutriente clave que juega un papel crucial en la capacidad de las plantas para manejar el estrés por falta de agua al controlar varios mecanismos fisiológicos y moleculares. En condiciones de estrés hídrico, la adición de Zn favorece la germinación de semillas, mejora las relaciones hídricas en la planta, la estabilidad de las membranas celulares, la acumulación de osmolitos, la actividad estomática, la eficiencia del uso del agua y la fotosíntesis, resultando en un rendimiento mucho mayor en las plantas. Además, el Zn se relaciona con las hormonas vegetales, potencia la producción de proteínas asociadas al estrés y activa las enzimas antioxidantes para mitigar los efectos de la sequía (Umair Hassan et al., 2020). Las raíces de las plantas captan Zn en su forma de ion divalente (Zn^{2+}), aunque en ciertos casos también lo

obtienen mediante complejos formados con ligandos orgánicos que contienen Zn. Además, las plantas emplean dos métodos distintos para tomar Zn en su estado divalente, dependiendo de los ligandos que secretan sus raíces. La primera técnica consiste en la liberación de agentes reductores como los ácidos orgánicos (AO) y los iones H^+ , que incrementan la solubilidad de los complejos de Zn (como fosfatos e hidróxidos de Zn), lo que permite la disponibilidad de iones Zn^{2+} para ser absorbidos por las células epidérmicas de las raíces. La segunda técnica se basa en la liberación de fitosideróforos (compuestos de menor masa molecular) que crean complejos estables con Zn, facilitando así su entrada en las células epidérmicas de la raíz. Sin embargo, este método se limita a las raíces de cultivos de cereales (Gupta et al., 2016).

2.1.15. Movilidad del Hierro (Fe) y Zinc (Zn)

Los elementos como el boro, calcio, hierro, azufre y cobre son elementos inmóviles; una vez que se incorporan al tejido vegetal, no vuelven al floema ni pueden trasladarse a las áreas más tempranas de la planta.

Los elementos cloro, magnesio, nitrógeno, fósforo, potasio, sodio, zinc y molibdeno se consideran elementos móviles. Pueden trasladarse a tejidos más jóvenes, incluso después de haber sido incorporados al tejido vegetal anterior. Después de que el suelo se agota de uno de estos elementos, la planta sacrifica las hojas maduras. Dichos elementos móviles se recuperan y trasladan a las regiones de cultivo (Condori, 2023). El hierro presenta una capacidad de movimiento relativamente limitada en los tejidos de las plantas, lo que podría restringir su reubicación. El hierro se transporta mayormente a través del xilema y del floema, utilizando formas reducidas como Fe^{2+} para su incorporación y traslado. Asimismo, hay distintos mecanismos de transporte en las raíces para el hierro, los cuales difieren en su afinidad y regulan su absorción y paso hacia el tallo y las hojas. Las plantas también activan reacciones fisiológicas y bioquímicas para optimizar la incorporación y movilización del hierro en situaciones de escasez (Morrissey & Guerinot, 2009). El zinc, a pesar de ser un micronutriente

esencial para la fotosíntesis, el manejo de carbohidratos y la creación de proteínas, presenta una movilidad reducida dentro de la planta. El Zn desempeña roles fundamentales en la composición y operación de diversas enzimas y proteínas, siendo crucial para la regulación hormonal y procesos metabólicos importantes. Su limitada movilidad significa que la carencia impacta principalmente en tejidos en crecimiento y órganos jóvenes, afectando notablemente la producción de polen y el rendimiento de las semillas. Este elemento se mueve desde la raíz hacia el resto de la planta a través del xilema y necesita mecanismos de unión a quelantes para facilitar su desplazamiento efectivo en el sistema de transpiración (Sinclair & Krämer, 2012).

2.1.16. Cultivo de Quinua

La historia de la quinua cuenta con escasas pruebas arqueológicas, lingüísticas y etnográficas, ya que no se conocen muchos rituales religiosos relacionados con la utilización del grano. Las pruebas arqueológicas del norte de Chile indican que la quinua se empleó 3000 años antes de Cristo, mientras que descubrimientos en la región de Ayacucho sugerirían que la domesticación de la quinua tuvo lugar hace 5000 años antes de Cristo. También se han encontrado descubrimientos arqueológicos de quinua en sepulturas de Tarapacá, Calama, Arica y diversas zonas del Perú, que incluyen semillas e inflorescencias. Se hallan numerosas semillas en sepulturas indígenas de los Tiltil y Quillagua (Historia de la quinua, s. f.).

La región andina alberga uno de los ocho principales núcleos de domesticación de plantas cultivadas a nivel global, originando uno de los sistemas de agricultura más sustentables y con más variedad genética a nivel global. La quinua, una especie vegetal de los Andes, presenta la distribución más amplia de formas, variedad de genotipos y progenitores silvestres, en los alrededores del lago Titicaca en Perú y Bolivia, ubicándose la mayor variedad entre Potosí - Bolivia y Sicuani (Cusco) - Perú. La quinua tiene escasas pruebas arqueológicas, lingüísticas, etnográficas e históricas. No obstante, hay pruebas evidentes de la distribución de los parientes silvestres, botánicas y citogenéticas, lo que posiblemente evidencia que su

domesticación llevó un largo periodo, hasta obtener la planta domesticada y cultivada a partir de la silvestre, un proceso que probablemente comenzó como una planta utilizada principalmente por sus hojas en la nutrición y posteriormente por las semillas. En la actualidad, se emplean localmente especies y parientes silvestres como el jataco o la llipcha (verdura de hojas) en numerosas comunidades de la región andina. Más adelante, la especie se adaptó a diversas condiciones agroclimáticas, edáficas y culturales, lo que resultó en que la planta exhiba una adaptabilidad extensa desde el nivel del mar hasta los 4000 metros de altitud y variados usos en las distintas comunidades étnicas según sus requerimientos alimentarios (Angel Mujica, 2022).

2.1.17. Clasificación Taxonómica de la Quinoa (*Chenopodium quinoa* Will.)

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Caryophyllales

Familia: Amaranthaceae

Género: *Chenopodium*

Especie: *C. quinoa*

Esta clasificación es según el sistema APG4 (Angiosperm Phylogeny Group IV-2016) (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: Biodiversidad de la Quinoa | Plataforma de información de la quinoa | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, s. f.)

2.1.18. Descripción botánica y agronómica

La quinoa es una planta herbácea anual, dicotiledónea con una extensa distribución geográfica, con rasgos distintivos en su forma, coloración y comportamiento en diversas áreas

agroecológicas donde se cultiva. Posee una gran diversidad y flexibilidad para ajustarse a diversas condiciones ambientales y se cultiva desde el nivel del mar hasta 4 000 msnm; es altamente resistente a factores climáticos desfavorables como sequía, heladas, salinidad del suelo, entre otros que inciden en el cultivo. Su ciclo vegetativo fluctúa entre 90 y 240 días, se desarrolla con precipitaciones que oscilan entre 200 y 280 mm al año, y se ajusta a terrenos ácidos con un pH de 4,5, hasta alcalinos con un pH de 9,0. Además, florece en terrenos arenosos hasta arcillosos. La coloración de la planta también varía dependiendo de los genotipos y fases fenológicas, oscilando entre el verde y el rojo, incluyendo el púrpura oscuro, amarillo, anaranjado granate y otros tonos que se puedan distinguir (INIA, 2013).

2.1.19. Morfología Vegetativa de la Quinua

2.1.19.1. Raíz.

La raíz de quinua es de tipo pivotante, se compone de una raíz central de la que surgen una amplia variedad de raíces laterales altamente ramificadas. La anchura de las raíces varía, oscilando entre 0.8 y 1.5 m. El genotipo, el tipo de suelo, la nutrición y la humedad son factores que determinan su desarrollo y crecimiento (Luz Gómez Pando, 2016).

2.1.19.2. Tallo

El tallo, cuando se une al cuello de la raíz, es de forma cilíndrica y, conforme se aleja del suelo, se torna anguloso en las áreas de formación de hojas y ramas. La corteza es sólida y compacta, compuesta por tejidos robustos y lignificados. Cuando los tallos son jóvenes, la médula es suave, cuando maduran, se torna esponjosa y seca, y durante la cosecha se desprende, dejando el tallo vacío o hueco. En el periodo de floración, el tallo puede presentar un color básico como verde, verde-amarillo, naranja, rosado, rojo o púrpura. En ciertas variedades se pueden observar estrías de tonalidades variadas como el verde, amarillo, rosado y púrpura, mientras que en otras se pueden observar axilas de tonalidades rosadas, rojas y púrpuras. Las mezclas derivadas del color fundamental del tallo, el color de las estrías y el color de las axilas

pueden utilizarse para distinguir variedades. En general, al llegar la madurez, el color del tallo adopta un tono crema o rosado con distintas intensidades (Luz Gómez Pando, 2016).

2.1.19.3. Hoja

Las hojas se componen de dos componentes distintos: el peciolo y la lámina. El peciolo de las hojas, que es largo y acanalado, varía en longitud dependiendo de su procedencia; los peciolos que surgen directamente del tallo son más largos y los que surgen en las ramas son más cortos. El peciolo puede tener un tono verde, rosado, rojo o púrpura. La superficie de la hoja posee tres venas fundamentales que provienen del peciolo. Las láminas presentan mayor tamaño en el follaje y menor tamaño en la floración. En la misma planta, las láminas son polimórficas. El follaje o las láminas de la planta pueden ser triangulares o romboidales, mientras que las de la inflorescencia pueden ser triangulares o lanceoladas. Las hojas pueden presentar márgenes completos, dentados o abiertos.

La cantidad de dientes es fluctuante, puede oscilar entre 3 y 20. Generalmente, las hojas y los segmentos tiernos de la planta están revestidos con una pubescencia vesicular, que puede ser blanca, rosada o púrpura (Luz Gómez Pando, 2016).

2.1.19.4. Inflorescencia.

Es una panoja con una longitud que varía entre 15 y 70 cm. Usualmente se localiza en el ápice de la planta y en las puntas de las ramas. Posee un eje central, dos ejes secundarios y un tercer eje. Tomando en cuenta la forma y ubicación de los glomérulos (conjuntos florísticos), se categorizan en amarantiformes, glomerulatas e intermedias (Luz Gómez Pando, 2016).

2.1.19.5. Flores.

Las flores se agrupan en glomérulos y son pediceladas o sésiles. La ubicación del glomérulo en la inflorescencia y la ubicación de las flores dentro de este, establecen el tamaño y la cantidad de los granos o frutos. Es una especie ginomonoica ya que en la misma planta

exhibe dos tipos de flores: hermafroditas y pistiladas. Las flores hermafroditas se ubican en el ápice del glomérulo, y su diámetro varía entre 3 y 5 mm; poseen cinco tépalos, cinco anteras y un ovario súpero con dos o tres ramificaciones estigmáticas (Luz Gómez Pando, 2016).

2.1.19.6. Fruto

Es un aquenio de forma lenticular, elipsoidal, cónico o esferoidal, cubierto por el perigonio sepaloide o las envolturas florales que envuelven el fruto y se desprenden fácilmente a la madurez; no obstante, en ciertas situaciones puede seguir adherido al grano incluso tras la trilla, complicando la recolección y el manejo posterior industrial de los productos de grano. La semilla y el pericarpio forman el fruto. El pericarpio se adhiere a la capa de las semillas y su grado de adhesión varía, posee alveolos en su superficie y la saponina que proporciona el gusto amargo al grano. El fruto puede medir entre 1.5 y 3 mm de diámetro (Luz Gómez Pando, 2016).

2.1.19.7. Semilla

Presenta tres componentes claramente definidas: epispermo, embrión y perisperma. El epispermo es la capa que envuelve la semilla y se encuentra unida al pericarpio. El embrión, compuesto por dos cotiledones y la radícula, representa cerca del 30% del volumen total de la semilla y rodea al perispermo como un anillo, con una curvatura de 320 grados aproximadamente. El color de los granos se determina por la capa que se observa. Si las especies conservan el perigonio sepaloide (tépalos en las flores), los tonos serán verdes, rojos y púrpura. Se pueden distinguir colores como blanco, crema, amarillo, naranja, rojo, rosado, púrpura, marrón, gris y negro si se observa el pericarpio. En cambio, si el pericarpio se libera durante la expulsión de la saponina, la capa que se percibe es la cubierta de la semilla o epispermo, y puede ser de color blanco, crema, rojo, marrón, gris o negro. La fuerza del color puede reducirse o desaparecer durante el proceso de secado de los granos en su fase de

maduración en terreno, y la luz del entorno donde se almacena el grano, o puede ser removida en el agua durante el proceso de lavado de la quinua (Luz Gómez Pando, 2016)

2.1.20. Variedad Altiplano

La quinua “INIA 431 – ALTIPLANO” es el resultado del mejoramiento genético realizado por el Programa Nacional de Innovación Agraria en Cultivos Andinos del INIA, orientado a la obtención de variedades precoces, resistentes a sequía y tolerante a mildiu (principal enfermedad que afecta a este cultivo). El grano de la quinua “INIA 431 – ALTIPLANO” tiene bajo contenido de saponina (0,03%) lo que le da un sabor dulce, alto porcentaje de proteína (16,19%) y presenta muy buena aptitud para su procesamiento en harina (INIA, 2013).

Datos generales

Nombre de la variedad:

INIA 431 - Altiplano

Lugar y año de liberación

Región Puno, 2013

Obtentor y mantenedor:

Instituto Nacional de Innovación (INIA).

Método de mejoramiento:

Cruza recíproca de la variedad Illpa INIA x Salcedo INIA.

Adaptación:

Zona agroecológica circunlacustre y suni del altiplano puneño entre los 3800 y 3950 msnm, con clima semi seco frio, precipitación pluvial de 400 a 560 mm, con temperaturas de 6° a 17°C, en suelos de textura franco y franco arenoso con pH de 5,5 a 7,8. Actualmente se cultiva en costa.

Principales usos:

- Consumo tradicional: Sopas, ensaladas (hojas), guisos, postres y bebidas.
- Agroindustria: Perlada, laminada, molienda, fideos (INIA, 2013).

Descripción general morfológica:

Tipo de Crecimiento	: Herbáceo
Hábito de crecimiento	: Simple
Ciclo Vegetativo	: 150 días (para el altiplano)
Ciclo Vegetativo	: 120 días (para la costa)
Altura de planta	: 1,50 m
Rendimiento promedio de grano	: 3,00 t/ha (INIA, 2013)

Características del tallo:

Forma del tallo principal	: Sin ángulos
Diámetro del tallo	: 2,10 a 2,50 cm
Presencia de axilas pigmentadas	: Ausentes
Presencia de estrías	: Presentes
Color de las estrías	: Verde claro
Color del tallo principal	: Verde
Presencia de ramificación	: Ausente (INIA, 2013)

Características de la hoja:

Borde de las hojas inferiores	: Dentado
Dientes de las hojas	: 12 a 30 dientes
Longitud máxima del peciolo	: 5,00 a 6,50 cm
Longitud máxima de las hojas	: 9,00 a 12,00 cm
Anchura máxima de las hojas	: 8,40 a 10,20 cm
Color de las hojas	: Verde (INIA, 2013)

Características de la panoja

Color de la panoja en la floración	: Verde
Intensidad del color de la panoja en la floración	: Tenue
Color de la panoja en la madurez fisiológica	: Blanca
Intensidad del color de la panoja en la madurez fisiológica	: Tenue
Forma de la panoja	: Amarantiforme
Longitud de panoja	: 33,80 cm
Densidad de la panoja	: Intermedia
Diámetro de panoja	: 8,60 cm
Longitud de los glomérulos	: 7,70 cm
Número de panojas por planta	: 1 (INIA, 2013)

Características del grano

Aspecto del grano	: Opaco
Color de perigonio	: Verde
Color del pericarpio	: Crema
Color de la episperma	: Blanco
Color del perisperma	: Blanco
Forma del borde del grano	: Afilado
Forma del grano	: Cilíndrico
Uniformidad del color del grano	: Bastante uniforme
Latencia de la semilla	: Presente
Diámetro del grano	: 2,20 mm
Rendimiento de semillas por planta	: 30,50 g
Peso de 1 000 granos (g)	: 3,30 g (INIA, 2013)

2.1.21. Variedad Kancolla.

Datos generales:

Nombre de la variedad:

Kankolla

Lugar y año de liberación:

Región Puno, 1975

Obtentor y mantenedor:

F. Flores, 1975

Método de mejoramiento:

Selección masal (método de mejoramiento genético de plantas que consiste en elegir y conservar las semillas de los individuos más destacados de una población), a partir de material genético colectado en 1960, del distrito de Cabanillas, provincia de Lampa, región Puno.

Adaptación:

Zona agroecológica circunlacustre (áreas de agricultura andina situadas alrededor del lago Titicaca) y suni del altiplano entre los 3800 y 3900 msnm, con clima frío seco, precipitación pluvial de 450 a 600 mm, con temperaturas de 4° a 15°C, en suelos de textura franco y franco arenoso con pH de 5,5 a 8,0.

Principales usos:

Consumo tradicional : Sopas, ensaladas (hojas), guisos, postres y bebidas.

Agroindustria : Perlada, laminada, molienda, fideos, saponina (INIA, 2013).

Descripción general morfológica

Tipo de Crecimiento : Herbáceo

Hábito de crecimiento : Simple

Ciclo Vegetativo : 170 días (tardío)

Altura de planta : 1,01 a 1,10 m
Rendimiento promedio de grano : 1,50 a 2,00 t/ha (INIA, 2013)

Características del tallo

Forma del tallo principal : Sin ángulos
Diámetro del tallo : 1,10 a 1,20 cm
Presencia de axilas pigmentadas : Presentes
Presencia de estrías : Presentes
Color de las estrías : Púrpura
Color del tallo principal : Verde
Presencia de ramificación : Ausente (INIA, 2013)

Características de la hoja:

Borde de las hojas inferiores : Dentado
Dientes de las hojas : 12 a 25 dientes
Longitud máxima del peciolo : 3,00 a 3,50 cm
Longitud máxima de las hojas : 6,60 a 6,70 cm
Anchura máxima de las hojas : 2,50 a 5,70 cm
Color de las hojas : Verde (INIA, 2013)

Características de la panoja

Color de la panoja en la floración : Rojo
Intensidad del color de la panoja en la floración : Claro
Color de la panoja en la cosecha : Rojo
Intensidad del color de la panoja en la cosecha : Claro
Forma de la panoja : Glomerulada
Longitud de panoja : 30,20 cm
Densidad de la panoja : Intermedia

Diámetro de panoja	: 6,20 a 7,80 cm
Longitud de los glomérulos	: 4,80 a 5,00 cm
Número de panojas por planta	: 1 (INIA, 2013)

Características del grano

Aspecto del grano	: Opaco
Color del perigonio	: Rojo claro
Color del pericarpio	: Crema
Color del episperma	: Blanco
Color del perisperma	: Blanco
Forma del borde del grano	: Afilado
Forma del grano	: Cilíndrico
Uniformidad del color del grano	: Bastante uniforme
Latencia de la semilla	: Ausente
Diámetro del grano	: 1,80 mm
Rendimiento de semillas por planta	: 31,00 a 35,40 g
Peso de 1 000 granos (g)	: 2,70 g

2.1.22. Variedad Blanca de Juli

Datos generales:

Nombre de la variedad:

Blanca de Juli.

Lugar y año de liberación:

Región Puno, 1974

Obtentor y mantenedor:

Distrito de Juli, Provincia de Chucuito, Región Puno.

Método de mejoramiento:

Selección masal (método de mejoramiento genético de plantas que consiste en elegir y conservar las semillas de los individuos más destacados de una población), a partir de material genético colectado en 1969, alrededor del lago Titicaca, del distrito de Juli, Provincia de Chucuito, Región Puno.

Adaptación:

Zona agroecológica circunlacustre (áreas de agricultura andina situadas alrededor del lago Titicaca) y suni del altiplano entre los 3800 y 3900 msnm, con clima frío seco, precipitación pluvial de 450 a 600 mm, con temperaturas de 4° a 15°C, en suelos de textura franco, franco arenoso con pH de 5,5 a 8,0.

Principales usos:

Consumo tradicional : Sopas, ensaladas (hojas), guisos, postres y bebidas.

Agroindustria : Perlada, laminado, molienda, fideos, saponina (INIA, 2013)

Descripción general morfológica

Tipo de Crecimiento : Herbáceo

Hábito de crecimiento : Simple

Ciclo Vegetativo : 160 días (Semi precoz)

Altura de planta : 1,20 m

Rendimiento promedio de grano : 1,50 a 2,00 t/ha (INIA, 2013)

Características del tallo

Forma del tallo principal : Sin ángulos

Diámetro del tallo : 1,30 a 1,40 cm

Presencia de axilas pigmentadas : Presentes

Presencia de estrías : Presentes

Color de las estrías : Verde claro

Color del tallo	: Verde
Presencia de ramificación	: Ausente (INIA, 2013)

Características de la hoja

Borde de las hojas inferiores	: Dentado
Dientes de las hojas	: 12 a 25 dientes
Longitud máxima del peciolo	: 3,60 a 4,80 cm
Longitud máxima de las hojas	: 7,80 a 8,80 cm
Anchura máxima de las hojas	: 6,00 a 7,40 cm
Color de las hojas	: Verde (INIA, 2013)

Características de la panoja

Color de la panoja en la floración	: Verde
Intensidad del color de la panoja en la floración	: Tenue
Color de la panoja en la madurez fisiológica	: Blanca
Intensidad del color de la panoja en la madurez fisiológica	: Tenue (carece de intensidad o brillo)
Forma de la panoja	: Glomerulada
Longitud de panoja	: 30,00 a 35,00 cm
Densidad de la panoja	: Intermedia
Diámetro de panoja	: 7,00 a 8,00 cm
Longitud de los glomérulos	: 3,50 a 4,80 cm
Número de panojas por planta	: 1 (INIA, 2013)

Características del grano

Aspecto del grano	: Opaco (que carece de brillo y luminosidad)
Color del perigonio	: Verde
Color del pericarpio	: Blanco opaco

Color del episperma	: Blanco
Color del perisperma	: Blanco
Forma del borde del grano	: Afilado
Forma del grano	: Cilíndrico
Uniformidad del color del grano	: Bastante uniforme
Latencia de la semilla	: Ausente
Diámetro del grano	: 1,60 mm
Rendimiento de semillas por planta	: 34,93 g
Peso de 1 000 granos (g)	: 2,22 g (INIA, 2013)

2.1.23. Principales enfermedades

- ✓ Mildiu (*Peronospora farinosa*)
- ✓ Mancha foliar (*Ascochyta hyalospora*)
- ✓ Alternariosis (*Alternaria solani*)
- ✓ Podredumbre marrón del tallo (*Phoma exigua* var. *foveata*)
- ✓ Sclerotinia (*Sclerotinia* sp.)
- ✓ Chupadera (*Rhizoctonia* sp. y *Fusarium* sp.)

2.1.24. Principales plagas

- ✓ Polilla de la quinua (*Eurysacca melanocampta* Meyrick)
- ✓ Chinche de la quinua (*Liorhyssus hyalinus*)

2.2. Antecedentes de investigación

2.2.1. Revisión de tesis universitarias

En la investigación titulada “Maíces con alto contenido de antocianina, biofortificados con zinc, provitamina A y de alta calidad de proteína en Perú” se menciona que la biofortificación de cultivos surgió como una iniciativa para ayudar a solucionar este problema mediante la producción de plantas con mayor contenido de zinc (Zn), hierro

(Fe) y provitamina A (ProA) en el grano utilizando métodos de mejoramiento convencional (no transgénicos). Los resultados obtenidos en el Perú nos muestran que existen híbridos de maíz biofortificado, con alto contenido de Zn y ProA, y con muy buen potencial de rendimiento. Para el caso del maíz morado, con alto contenido de antocianinas, un fitoquímico que tiene efectos beneficiosos para la salud de las personas, se está estudiando la adaptación de las variedades en todo el país tanto para el rendimiento del grano como para el contenido de antocianinas. Resultados preliminares indican que hay claras diferencias entre variedades para rendimiento y contenido de antocianina en la coronta, brácteas y grano. La producción de maíz morado se ha cuadruplicado en los últimos 20 años por un mayor consumo interno y por el incremento en las exportaciones. Sin embargo, su contribución al Producto Bruto Interno (PBI) es muy baja: menor al 1 %; lo que es un reto y una oportunidad para desarrollar y transferir tecnología que incremente la producción y vincule al productor de maíz morado con el consumidor. En el caso de maíz de alta calidad de proteína (QPM), se ha liberado en el Perú un híbrido simple (QPM) de color amarillo intenso, con alto potencial de rendimiento y amplia adaptación (Narro León et al., 2024).

En la investigación titulada “Rendimiento, contenido mineral y actividad antioxidante de frijol caupí biofortificado con combinaciones de sulfatos de hierro y zinc”, se realizó un estudio con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) en combinación con sulfato de zinc ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) sobre el rendimiento, contenido mineral y actividad antioxidante de frijol caupí (*Vigna unguiculata*) biofortificado. La hipótesis fue que al menos una combinación de estos compuestos mejora el rendimiento y la calidad nutricional del frijol. El diseño experimental fue completamente al azar en arreglo factorial con tres repeticiones. El primer factor fue dosis de aplicación de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Fe1-Fe4: 0, 25, 50, 100 $\mu\text{M L}^{-1}$).

1), y el segundo factor fue la dosis de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Zn^{1-4} : 0, 25, 50, 100 $\mu\text{M L}^{-1}$). Dieciséis tratamientos resultaron, correspondientes a la combinación de niveles de los factores. La aplicación de los tratamientos aumentó el rendimiento ($p \leq 0.05$) de 15.6 a 51.0%; también el contenido de Fe de 21.1 a 36.8%, el contenido de Zn de 1.1 a 12.7%. El contenido fenólico total de 1.8 a 30.5% y la actividad antioxidante de 1.5 a 35.2%. El estudio mostró que la biofortificación con sulfato ferroso en combinación con sulfato de zinc puede ser una alternativa para incrementar el rendimiento, contenido mineral y actividad antioxidante en el grano de frijol caupí (Molina et al., 2021).

En la presente investigación titulada “Rendimiento, calidad organoléptica y valor nutricional de treinta clones biofortificados y cuatro variedades comerciales de papa en el distrito de Chugay – La Libertad”. Se evaluó el rendimiento, la calidad sensorial y el valor nutricional de 30 clones biofortificados y 4 cultivares comerciales de papa en 2018-2019. durante la campaña agrícola en la región La Liberta de Chugue. Se estableció una parcela experimental con 34 tratamientos en el pequeño caserío La Soledad utilizando un diseño de bloques completos al azar (RBCD) con 3 repeticiones. Variables como uniformidad y vigor de la planta, número de tallos, altura de la planta, longitud de estolones, apariencia y uniformidad de los tubérculos, tamaño de los tubérculos, número y peso de tubérculos comerciales por parcela, tubérculos comerciales t/rendimiento de tubérculos ajustado. Para evaluar la calidad sensorial, un panel de agricultores y un panel capacitado en laboratorio sometieron a vapor tubérculos recién cosechados de cada tratamiento y analizaron su apariencia, sabor y textura. Para determinar el valor nutricional, se recolectaron muestras de tubérculos de cada tratamiento en el Laboratorio de Calidad del Centro Internacional de la Papa y se analizaron su contenido de hierro, zinc y vitamina C. Los resultados del análisis estadístico mostraron que hubo una diferencia estadísticamente significativa en el

rendimiento total de tubérculos (t/ha-1) entre los clones biológicamente enriquecidos y los cultivares control. El análisis de la calidad sensorial también reveló diferencias estadísticamente significativas en apariencia, sabor y textura. En términos de valor nutricional, los seis clones biofortificados mostraron diferencias muy significativas en el contenido de hierro en comparación con los cuatro cultivares de control (Villanueva Ambrocio, 2024).

Revisión de artículos de investigación Internacional

En la investigación titulada “Iron Nutrition Improves Productivity, Profitability, and Biofortification of Bread Wheat under Conventional and Conservation Tillage Systems” se realizó un trabajo de investigación donde fue llevado a cabo utilizando un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con parcelas divididas, donde se cultivó trigo utilizando técnicas de labranza convencional (LC) y siembra directa (SD), y se aplicó hierro mediante varios métodos (sin aplicación de Fe, tratamiento de semillas (solución de Fe al 0,3%), recubrimiento de semillas (250 mg kg⁻¹ de semilla), aplicación basal (12 kg ha⁻¹) y pulverización foliar (solución de Fe al 0,5%)). La adición de hierro mejoró de forma significativa tanto el rendimiento como las características asociadas, además del nivel de grasas y proteínas en el grano. A lo largo de dos años, el aumento del rendimiento de grano utilizando diversas técnicas de aplicación de hierro sucedió en el siguiente orden: tratamiento de semillas > aplicación basal > aplicación foliar > recubrimiento de semillas, con aumentos del 33%, 28%, 25% y 21%, respectivamente, en comparación con el grupo control. La cantidad de hierro en el grano fue un 65% y un 58% mayor con la aplicación foliar de hierro en relación al control durante las temporadas agrícolas 2017-2018 y 2018-2019. La relación entre los métodos de labranza y la nutrición con hierro mostró una mejora en el peso de mil granos y en el rendimiento de grano, siendo el tratamiento de semillas con hierro en el

sistema de siembra directa el que resultó en el mayor peso de mil granos y rendimiento. La aplicación de hierro usando cualesquiera de los métodos fue rentables, destacándose la aplicación foliar como la que ofreció la mejor relación costo-beneficio. Entre los métodos de labranza, la siembra directa (ZT) brindó las ganancias netas más altas. La siembra directa mostró un aumento significativo en el carbono de la biomasa microbiana del suelo, el nitrógeno de la biomasa microbiana del suelo y el carbono orgánico del suelo en un 9,25%, un 2,5% y un 14%, respectivamente, en comparación con la labranza convencional. En resumen, el uso de hierro en el tratamiento de semillas en ambos métodos de labranza incrementó el rendimiento y resultó ser la opción más rentable, mientras que la aplicación foliar elevó la concentración de hierro en el grano en ambos sistemas (Zulfiqar et al., 2020).

El artículo de investigación titulada “La biofortificación foliar con hierro mejora la calidad nutracéutica y la capacidad antioxidante en lechuga” en su investigación indica que el hierro (Fe), es un oligoelemento indispensable para la salud humana y su deficiencia afecta a 1200 millones de personas en el mundo. La biofortificación agronómica puede mitigar esta deficiencia ya que su aplicación en los cultivos mejora la biosíntesis de compuestos bioactivos y propicia su bioacumulación. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de Fe (FeSO_4) sobre el rendimiento, biosíntesis de compuestos bioactivos y acumulación en lechuga. Para ello cinco tratamientos fueron aplicados vía foliar: 0, 10, 20, 30 y 35 $\mu\text{M L}^{-1}$. En la cosecha, se cuantificó la calidad nutracéutica y la acumulación de Fe en hojas, así como la productividad de la planta de lechuga. La biofortificación con Fe modificó positivamente la biosíntesis de compuestos fitoquímicos y su concentración en hojas de lechuga, sin afectar el rendimiento. La aspersion foliar de Fe es una alternativa para

incrementar la biosíntesis de compuestos fitoquímicos e incrementar la concentración de este elemento en lechuga (Preciado-Rangel et al., 2022).

En la investigación titulada “Agronomic biofortification of chickpea with zinc and iron through application of zinc and urea” se llevó a cabo la investigación durante los años 2015-16 y 2016-17 donde se analizó cómo afecta la incorporación de Zn en el suelo y en las hojas, así como el uso de urea en las hojas, a la concentración de Zn y Fe en los granos de garbanzo. La adición de $ZnSO_4$ en el suelo, en una dosis de 25 kg ha^{-1} , junto con la aplicación foliar de $ZnSO_4$ al 0,5 % durante las fases de floración y llenado de vainas, resultó en los niveles más altos de Zn ($45,06$ y $44,69\text{ mg Zn kg}^{-1}$ de grano en los dos años de estudio) y Fe ($59,74$ y $62,88\text{ mg Fe kg}^{-1}$ de grano). El uso de urea al 2% durante la floración y el llenado de vainas también generó el contenido más elevado de Zn (41.12 y $40.26\text{ mg Zn kg}^{-1}$ grano) y Fe (58.95 y $61.95\text{ mg Fe kg}^{-1}$ grano) en los granos. Los tratamientos aplicados provocaron un incremento notable en el rendimiento de los granos y el contenido proteico en comparación con el tratamiento de control. En lugar de solo aplicar Zn, la combinación de Zn y urea permitió mejorar las concentraciones de Zn y Fe en los granos. Tanto el zinc como la urea pueden ser utilizados para aumentar el contenido de Zn y Fe en los garbanzos, contribuyendo así a combatir la desnutrición en la creciente población mundial (Pal et al., 2019).

En la investigación titulada "Evaluación de la biofortificación con Fe aplicado a maíz dulce (*Zea mays* var. ADV9139)". Se realizó una investigación con el objetivo de evaluar la Biofortificación con Fe en maíz dulce *Zea mays* var. ADV9139, para establecer la fuente y dosis más adecuada. La germinación se realizó en bandejas aclimatadas en una cámara de pre germinación acorde a las condiciones del invernadero, una vez que las plantas alcanzaron una altura de 15cm fueron trasplantadas en campo. La biofortificación foliar se realizó en la etapa vegetativa V7, mediante la

aplicación de dos fuentes: Quelato EDDHA y sulfato de hierro con una dosis baja (10 mg Fe) y alta (40 mg Fe), obteniendo 4 tratamientos con un T0 (Testigo). Los resultados mostraron que el T2 (40 mg de Fe x L⁻¹) de EDDHA fue el mejor tratamiento, obteniendo diferencias significativas ($p < 0,0001$) respecto al T0 (Testigo), para las variables agronómicas: altura de planta, clorofila no destructiva, longitud de raíz y variables fisiológicas: clorofila a, clorofila b, clorofila total, contenido de hierro biodisponible, peso fresco, peso seco, materia seca de la planta y raíz, demostrando el efecto de la biofortificación con hierro (Fe) en maíz dulce como una estrategia beneficiosa ya que permite la absorción directa de los micronutrientes además de elevar el valor nutricional del cultivo al aumentar la concentración de hierro (Fe) (Landázuri Abarca, 2023).

En la investigación titulada “Zinc and Iron Agronomic Biofortification of Brassicaceae Microgreens” se evaluó el potencial de biofortificación de microvegetales de Brassicaceae a través del enriquecimiento de Zn y Fe. Se evaluó el efecto de las soluciones nutritivas suplementadas con sulfato de zinc (Exp-1; 0, 5, 10, 20 mg L⁻¹) y sulfato de hierro (Exp-2; 0, 10, 20, 40 mg L⁻¹) sobre el crecimiento, el rendimiento y la concentración mineral de microvegetales de rúcula, repollo morado y mostaza roja. La acumulación de Zn y Fe en las tres especies aumentó de acuerdo con un modelo cuadrático. Sin embargo, se observaron interacciones significativas entre el nivel de Zn o Fe y las especies examinadas, lo que sugiere que la respuesta al enriquecimiento de Zn y Fe fue específica del genotipo. La aplicación de Zn a 5 y 10 mg L⁻¹ resultó en un aumento en la concentración de Zn en comparación con el control sin tratamiento que osciló entre el 75% y el 281%, mientras que las soluciones enriquecidas con Fe a 10 y 20 mg L⁻¹ aumentaron la concentración de Fe en los brotes desde el 64% en la rúcula hasta el 278% en la col lombarda. En conclusión, las especies de Brassicaceae

probadas cultivadas en sistemas sin suelo son buenos objetivos para producir microvegetales biofortificados con Zn y Fe de alta calidad a través de la simple manipulación de la composición de la solución nutritiva (Di Gioia et al., 2019).

En la investigación titulada “Zinc biofortification of maize (*Zea mays* L.): Status and challenges”, se llevó a cabo un análisis en el campo para investigar cómo el sulfato de zinc (ZnSO_4) y el sulfato de hierro (FeSO_4) influyen en la producción y calidad del maíz. El uso por separado y en conjunto de ZnSO_4 y FeSO_4 , ya sea aplicado al suelo o a las hojas, no solo incrementó el suministro del maíz, sino que también mejoró la calidad del grano. La adición de ZnSO_4 al suelo a una dosis de 10 kg ha^{-1} resultó en la mayor altura de las plantas y el peso de las mazorcas. La combinación de ZnSO_4 (10 kg ha^{-1}) con FeSO_4 (12 kg ha^{-1}) aplicada al suelo generó un mayor número de granos por mazorca, un peso de 1000 granos superior y aumentó tanto el rendimiento biológico como el de grano. La aplicación foliar de ZnSO_4 al 0,1% y FeSO_4 al 0,3% logró los niveles más altos de clorofila. El tratamiento foliar de 0,1% de ZnSO_4 y 0,3% de FeSO_4 elevó las concentraciones de zinc y hierro en los granos, respectivamente. La utilización conjunta de 10 kg ha^{-1} de ZnSO_4 y 12 kg ha^{-1} de FeSO_4 en el suelo optimiza los atributos de producción, mientras que la pulverización con 0,1% de ZnSO_4 y 0,3% de FeSO_4 mejora las características de calidad. En conclusión, la técnica de pulverización foliar resulta más efectiva en cuanto a la provisión de nutrientes necesarios para un crecimiento y desarrollo adecuados del cultivo, así como para alcanzar una mejor calidad del grano (Maqbool & Beshir, 2019).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Localización del trabajo

3.1.1.1. Espacial

El presente trabajo de investigación se realizó en el Fundo “La Banda” Huasacache, el cual contempla parte del campo experimental de la Universidad Católica de Santa María, ubicado en el distrito de Hunter, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa.

Ubicación Política:

- Departamento : Arequipa.
- Provincia : Arequipa.
- Distrito : Hunter.
- Lugar : Parcela experimental.

Ubicación Geográfica:

- Latitud Sur: 16°27'28.24" S.
- Longitud Oeste: 71°33'58.59" O
- Altitud: 2204 m.s.n.m.
- Zona: 19 K.
- Coordenada Este: 225982.36 m E.
- Coordenada Norte: 8178654.91 m S.

Campo Experimental Fundo “La Banda” Huasacache.

Ubicación hidrológica:

El río Socabaya es el principal recurso hídrico de los distritos de Socabaya y Jacobo Hunter, un río que fluye por el Fundo La Banda Huasacache de la UCSM en el distrito de Hunter (Arequipa), se localiza en una zona hidrológica que pertenece a la cuenca Quilca-Chili

(también conocida como Quilca-Vitor-Chili), en la vertiente del Pacífico. Sus coordenadas son aproximadamente 16°27'27" S de latitud y 71°33'59" W de longitud, a una altitud de 2209 metros sobre el nivel del mar.

Ubicación de zonas de vida según Holdridge:

El departamento de Arequipa incluye 24 de las 84 zonas de vida de Holdridge que se encuentran en Perú, donde destacan los climas secos premontanos (en el valle del Chili), secos montanos y húmedos subalpinos en elevaciones más altas, afectados por su ubicación en la ladera andina del Pacífico (Delgado & Silva, s. f.).

Figura 1

Fundo la Banda Huasacache UCSM



Nota. Campo experimental de la UCSM Fundo la banda Huasacache. Tomada de (Google Earth, 2024).

Figura 2

Campo experimental de la biofortificación en las 3 variedades de quinua



Nota. Campo experimental de la UCSM Fundo la banda Huasache donde se realizó la biofortificación con hierro y zinc en el cultivo de la quinua. Tomada de (Google Earth, 2024).

3.1.1.2. Temporal

El proyecto se desarrolló entre los meses de Julio a diciembre durante el año 2024.

3.1.2. *Materiales biológicos*

Semillas de quinua adquiridas del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).

3.1.3. *Materiales químicos inorgánicos*

- Sulfato de hierro (Fe)
- Sulfato de zinc (Zn)

3.1.4. *Materiales de laboratorio*

- Vernier
- Clorofilómetro
- Microscopio
- Estereoscopio

- Balanza electrónica

3.1.5. Materiales de campo

- Pico.
- Pala.
- Lampa.
- Flexómetro

3.1.6. Materiales de escritorio

- Cuaderno de campo.
- Lapiceros.
- Tablero de madera.
- Lápiz.
- Fichas de identificación de los tratamientos.
- Impresora.

3.1.7. Equipos

- Cámara fotográfica.
- Celular
- Gps
- Mochila fumigadora (Equipo agrícola)

3.1.8. Maquinaria

- Maquinaria agrícola

3.2. Métodos

3.2.1. Cuantificar la concentración de hierro y zinc

Para cuantificar la concentración de hierro y zinc en laboratorio, se utilizó principalmente técnicas de espectrometría de absorción atómica por llama (FAAS) y métodos colorimétricos.

Cuantificación de Hierro y Zinc

Espectrometría de Absorción Atómica por llama (FAAS):

- **Preparación de la Muestra:** Las muestras, como suero o sangre, se diluyó adecuadamente con (1/5 con ácido clorhídrico al 0.1 mol/L) para evitar interferencias y mejorar la precisión.
- **Procedimiento:** La muestra se aspiró a una llama donde los átomos de zinc absorbieron luz emitida por una lámpara de cátodo hueco. La cantidad de luz absorbida se correlaciona con la concentración de hierro y zinc en la muestra.
- **Calibración:** Se utilizó una curva de calibración con estándares conocidos para determinar la concentración en las muestras analizadas. Esta técnica se tomó por su rapidez y bajo riesgo de contaminación.

3.2.2. Muestreo

Método experimental es el Diseño de Bloques completos al Azar (DBCA) con arreglo de parcelas divididas.

✓ Modelo matemático

El modelo estadístico para este diseño es:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + A_j + (B \times A)_{ij} + S_k + (A \times S)_{jk} + \epsilon_{ijk}$$

donde:

- Y_{ijk} es la observación en el bloque i , parcela principal j , y subparcela k .
- μ es la media general.

- B_i es el efecto del bloque i (aleatorio).
- A_j es el efecto del tratamiento aplicado a la parcela principal (factor principal).
- $B \times A)_{ij}$ es la interacción bloque \times tratamiento parcela principal.
- S_k es el efecto del tratamiento aplicado a la subparcela (factor secundario).
- $(A \times S)_{jk}$ es la interacción factor parcela principal \times subparcela.
- ϵ_{ijk} es el error aleatorio asociado a la subparcela, asumiendo independencia y distribución normal (U3 - Tarea02 - Manual - Parcela Dividida y Subdividida / PDF / Análisis de variación / Agricultura, s. f.).

✓ **Croquis experimental**

Figura 3 Croquis experimental del Diseño de Bloques completos al Azar (DBCA) con arreglo de parcelas divididas.

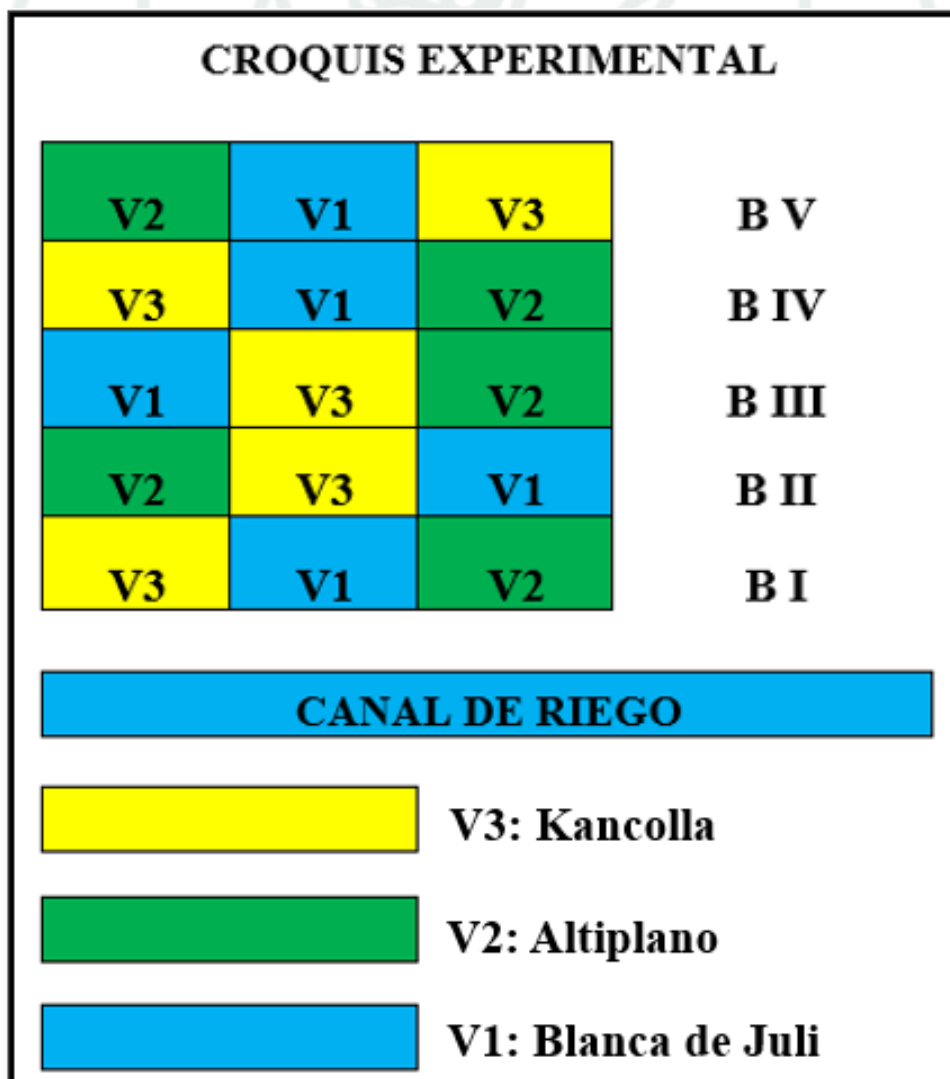
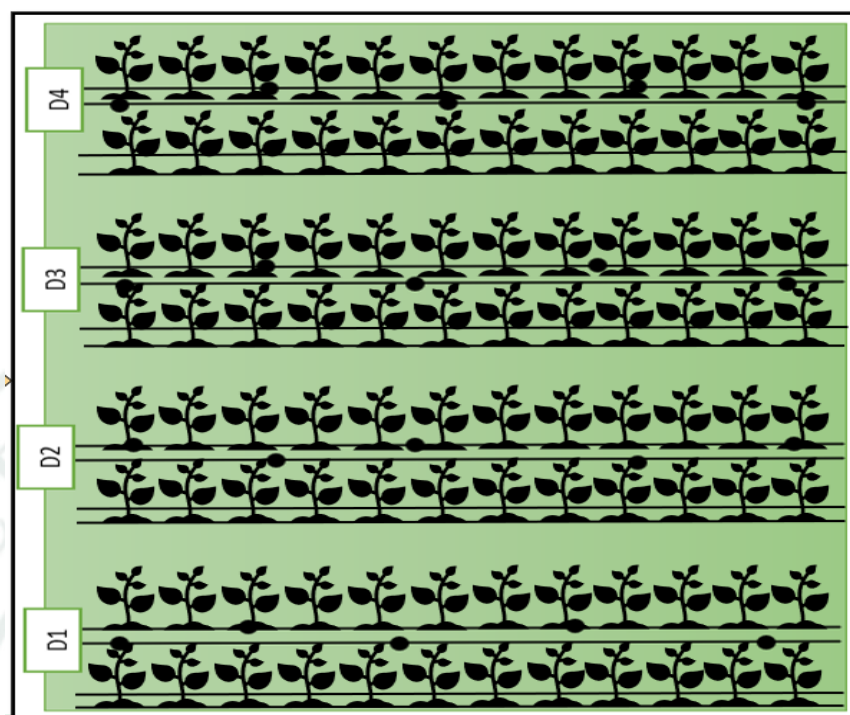


Figura 4 Croquis de tratamiento experimental



 Plantas de quinua

3.2.2.1. Universo:

El universo de esta investigación “Biofortificación de tres dosis de Hierro (Fe) y Zinc (Zn) en tres variedades de Quinua (*Chenopodium quinoa* Will.) Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli, engloba a lo siguiente:

Contexto Agronómico (Cultivo de Quinua): Se determinó la concentración de Hierro (Fe) y Zinc (Zn) tanto en hoja y grano y el rendimiento en las tres variedades de Quinua (*Chenopodium quinoa* Will.) Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli, para ello se tomó 5 plantas para su evaluación por cada 10 m² (figura 4).

3.2.2.2. Tamaño de muestra:

Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo de parcelas divididas (Figura 3).

- ✓ Factor principal (parcelas principales): 3 variedades (Altiplano, Kancolla, Blanca de Juli)

- ✓ Factor secundario (subparcelas): 4 dosis (D1-D4)
- ✓ Bloques: 5 (controlan variabilidad espacial en el Fundo La Banda)
- ✓ Total, unidades: 3 var \times 4 dosis \times 5 bloques = 60 subparcelas

3.2.2.3. Procedimiento de muestreo

MUESTREO (dentro de cada subparcela de 10 m² y parcela de 40 m²):

- ✓ Hojas: 5 plantas al azar \times 5 hojas apicales = 25 hojas/ dosis = 1 muestra \times 4 dosis \times 5 bloques \times 3 variedades = 60 muestras (Tabla 1)
- ✓ Grano: 100 g/dosis (1 muestra) \times 4 dosis \times 5 bloques \times 3 variedades = 60 muestras (6 kg) 2kg de Altiplano, 2 kg de Blanca de Juli y 2 kg de Kancolla (Tabla 2)
- ✓ Rendimiento: Promedio de variedad/1000*(10000) /40 m²
- ✓ Biométricas: 5 plantas centrales/subparcela (D1-D4)

Formación de unidades experimentales de estudio

Se contó con 15 parcelas divididas, distribuidas en 5 bloques, en cada bloque 3 variedades y en cada variedad 4 dosis de diferentes formulaciones, a continuación, se detalla.

- D1= 0 kg ha⁻¹ Fe + 0 kg ha⁻¹ Zn
- D2= 1 kg ha⁻¹ Fe + 0 kg ha⁻¹ Zn
- D3= 0kg ha⁻¹ Fe + 1kg ha⁻¹ Zn
- D4= 1 kg ha⁻¹ Fe + 1kg ha⁻¹ Zn

3.2.3. Métodos de evaluación

3.2.3.1. Metodología de la experimentación

Variables a Medir:

Las variables que se midieron para evaluar la efectividad del tratamiento, son:

- **Altura de planta.**

La medida fue en centímetros desde la base del tallo hasta la punta más alta de la planta, para ello se usó un flexómetro, se realizó cuatro evaluaciones (cada 15 días) después de la primera aplicación de hierro y zinc vía foliar (inicio de la fase reproductiva y en desarrollo de la panícula), las cuales fueron, la primera evaluación (27/09/2024), segunda evaluación (13/10/2024), tercera evaluación (28/10/2024), cuarta evaluación (15/11/2024).

Figura 5 *Medición de altura de planta*



- **Nº de hojas.**

Se realizó el conteo total de las hojas plenamente desarrolladas por la planta, al igual que la altura de planta se realizó cuatro evaluaciones (cada 15 días) después de la primera aplicación de hierro y zinc vía foliar (inicio de la fase reproductiva y en desarrollo de la panícula), las cuales fueron en las siguientes fechas, la primera evaluación (27/09/2024), segunda evaluación (13/10/2024), tercera evaluación (28/10/2024), cuarta evaluación (15/11/2024).

Figura 6 *Conteo de hojas de la planta de quinua*



- **Diámetro de tallo.**

Se midió con la ayuda del vernier el diámetro del tallo (cerca del cuello de la planta), evaluando la resistencia y robustez estructural, este variable también se realizó cuatro evaluaciones (cada 15 días) después de la primera aplicación de hierro y zinc vía foliar (inicio de la fase reproductiva y en desarrollo de la panícula), las cuales fueron en las siguientes fechas, la primera evaluación (27/09/2024), segunda evaluación (13/10/2024), tercera evaluación (28/10/2024), cuarta evaluación (15/11/2024).

Figura 7 *Vernier para realizar la medición del diámetro del tallo*



- **Contenido de clorofila.**

La evaluación se realizó con el clorofilómetro portátil (SPAD), el cual nos permitió ver el estado nutricional de la planta (deficiencia de nitrógeno y estrés), asimismo este variable se realizó cuatro evaluaciones (cada 15 días) después de la primera aplicación de hierro y zinc vía foliar (inicio de la fase reproductiva y en desarrollo de la panícula), las cuales fueron en las siguientes fechas, la primera evaluación (27/09/2024), segunda evaluación (13/10/2024), tercera evaluación (28/10/2024), cuarta evaluación (15/11/2024).

Figura 8 Evaluación del contenido de clorofila



- **Cantidad de materia fresca.**

Este variable se realizó el peso de la planta recién cosechada, considerando todo el volumen de la planta (raíz, tallo, hojas, panoja), para ello se extrajo cinco plantas de cada dosis y cada repetición (4 dosis y 5 repeticiones), en total 100 plantas por cada variedad. Esta evaluación se realizó solo una vez el 17/12/2024.

Figura 9 *Pesado del tallo de la planta*



Figura 10 *Pesado de la panoja*



Figura 11 *Pesado de la raíz*



- **Cantidad de materia seca.**

Este variable se realizó de la planta deshidratada después de 34 días las cuales permanecieron en el invernadero de la UCMS, dicha evaluación se realizó el 24 y 25 de enero del 2024.

Figura 12 *Deshidratación de la planta de quinua en el invernadero*



Figura 13 *Pesado del tallo deshidratado (24-25/01/2025)*



Figura 14 *Pesado de la panoja deshidratada (24-25/01/2025)*



Figura 15 Pesado de la raíz deshidratada (24-25/01/2025)



- **Concentración de Hierro (Fe) y zinc (Zn) en hojas.**

Para esta variable se realizó dos análisis foliares para ver la cantidad de hierro (Fe) acumulado en hojas, para el primer análisis foliar se realizó 30 días después de la primera biofortificación con hierro y zinc (11 de octubre), el segundo análisis foliar se realizó después de 22 días de la segunda biofortificación con hierro (Fe) y zinc (Zn) (07 de noviembre). Para ambos análisis se extrajo 5 hojas apicales de las plantas muestreadas al azar por cada uno de los tratamientos (5 plantas en cada dosis, 4 dosis en cada variedad y 5 repeticiones o bloques como se muestra en la tabla N.º 1.

Tabla 1 Patrón para la extracción de hojas en cada variedad, cada bloque y cada dosis.

Variedad	Bloque	Dosis							
		D1		D2		D3		D4	
		Cp	Ch	Cp	Ch	Cp	Ch	Cp	Ch
Kancolla Altiplano B. Juli	I	5	25	5	25	5	25	5	25
	II	5	25	5	25	5	25	5	25
	III	5	25	5	25	5	25	5	25
	IV	5	25	5	25	5	25	5	25
	V	5	25	5	25	5	25	5	25
Total	5 bloq.	25 p	125 h	25 p	125 h	25 p	125 h	25 p	125 h

Cp: Cantidad de plantas

Ch: Cantidad de hojas

Nota. La tabla 1 muestra el patrón de cómo se recolecto las hojas de la planta para su envío al laboratorio de las 3 variedades de quinua (Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli).

Una vez extraído las muestras se enviaron al Laboratorio de Química Agrícola “VALLE GRANDE”. Para determinar la concentración de hierro (Fe) y zinc (Zn) se usó el método y técnica de “Espectrometría de Absorción Atómica por Llama” (FAAS).

Figura 16 *Extracción de hojas de cada variedad, dosis y bloque para su envío a laboratorio*



Figura 17 *Preparación y rotulado de muestras por variedad, bloque y dosis*



Figura 18 Envío de las hojas extraídas hacia el laboratorio (11/08/2024 – (07/11/2024)



- **Concentración de Hierro (Fe) y zinc (Zn) en grano.**

Por otro lado, para esta variable se realizó un análisis en grano para ver el nivel de concentración hierro (Fe) y zinc (Zn) acumulado en el grano de la quinua, para lo cual se tomó 100 gr de grano de cada dosis como se muestra en la tabla N° 2 (esto se realiza para cada variedad).

Tabla 2 Patrón para la toma de muestra del grano de la quinua.

Variedad	Bloque	Dosis			
		D1 gr/dosis	D2 gr/dosis	D3 gr/dosis	D4 gr/dosis
Kancolla Altiplano B. Juli	I	100	100	100	100
	II	100	100	100	100
	III	100	100	100	100
	IV	100	100	100	100
	V	100	100	100	100
Total	5 bloq.	500	500	500	500

Nota. La tabla 2 muestra el patrón de cómo se tomó la cantidad del grano de la quinua por cada variedad, cada dosis y cada bloque.

Una vez tomado las muestras se enviaron al Laboratorio de Química Agrícola “VALLE GRANDE”. Para determinar la concentración de hierro (Fe) y zinc (Zn) en grano, para ello se usó el método y técnica de “Espectrometría de Absorción Atómica por Llama” (FAAS).

Figura 19 *Venteadado del grano de la quinua por cada variedad y cada dosis (sin combinar)*



Figura 20 *Pesado del grano de la quinua (100 gr) para la toma de muestra, cada una con su código de variedad, dosis y bloque.*



Figura 21 Envío de las muestras de grano hacia el laboratorio (11/02/2025)



Frecuencia de Medición:

Se estableció un cronograma para las mediciones, en donde se realizó en un aproximado de cada 15 días tal cual se detalla en la siguiente tabla N° 3:

Tabla 3 Cronograma de evaluaciones biométricas en la planta de quinua

Variabes	1ra evaluación	2da evaluación	3ra evaluación	4ta evaluación
Altura de planta				
Diámetro de tallo				
Numero de hojas	27/09/2024	13/10/2024	28/10/2024	15/11/2024
Cont. de clorofila				

Nota. La tabla N° 3 muestra las fechas de las evaluaciones biométricas realizadas en la planta de la quinua por cada variedad, cada dosis y cada bloque .

3.2.3.2. Recopilación de la información

3.2.3.2.1. *En el campo*

- Altura de planta.
- Diámetro de tallo.
- N° de hojas.
- Contenido de clorofila.

3.2.3.2.2. *En el laboratorio*

- Materia seca.
- Materia fresca.
- Contenido de Hierro (Fe).
- Contenido de zinc (Zn).

3.2.4. *Variables de respuesta*

3.2.4.1. Variables independientes

- **Dosis de biofortificación con hierro (Fe) y zinc (Zn).**
 - ✓ D1= 0 kg ha⁻¹ Fe + 0 kg ha⁻¹ Zn
 - ✓ D2= 1 kg ha⁻¹ Fe + 0 kg ha⁻¹ Zn
 - ✓ D3= 0 kg ha⁻¹ Fe + 1 kg ha⁻¹ Zn
 - ✓ D4= 1 kg ha⁻¹ Fe + 1 kg ha⁻¹ Zn

3.2.5. *Variables dependientes*

- **Nivel de concentración de nutrientes**
 - ✓ Concentración de hierro (Fe) en el grano de quinua.
 - ✓ Concentración de zinc (Zn) en el grano de quinua.
 - ✓ Concentraciones de hierro y zinc entre las 3 variedades.

- **Observación de parámetros biométricos**

- ✓ Altura de planta (cm)
- ✓ Diámetro de tallo (cm)
- ✓ Numero de hojas (unidades)
- ✓ Contenido de clorofila



CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Análisis químico.

4.1.1. Nivel de concentración de Hierro en hojas.

4.1.1.1. Primer y segundo análisis foliar

En base a los datos recopilados en la tabla N° 4 se procedió a realizar el análisis de varianza con los datos de los resultados del primer y segundo análisis foliar en cuanto al nivel de concentración de hierro (Fe) en donde:

Se realizaron dos muestreos de concentración foliar de hierro (Fe) (mg/kg) para las tres variedades de quinua (Altiplano, Kancolla, y Blanca de Juli) con diferentes dosis (D1, D2, D3, D4), la variedad Kancolla presenta la mayor cantidad de hierro (Fe) en las hojas con la D2 en las pruebas, seguida por Blanca de Juli y Altiplano, en cuanto a las dosis (D2 y D4) mostraron mayores cantidades de hierro (Fe), con diferencias que fueron estadísticamente significativas según el análisis ANOVA. La variedad indicó un efecto que fue estadísticamente relevante en el segundo análisis ($p < 0.05$). No se observó una interacción significativa entre la variedad y las dosis.

Tabla 4

Análisis de varianza para ver el nivel de concentración foliar de hierro (Fe)

Factor	Concentración Foliar de Fe (mg.kg-1)	
	1 ^{er} Muestreo	2 ^{do} Muestreo
Variedad		
ALTIPLANO	120.7 a	208.5 b
KANCOLLA	127.0 a	274.5 a
BLANCA DE JULI	134.6 a	245.1 ab
Dosis		
D1	119.6 b	171.0 b
D2	134.9 a	314.7 a
D3	118.2 b	169.5 b
D4	137.1 a	315.6 a
Variedad x Dosis		
ALTIPLANO * D1	118.2 cde	144.2 d
ALTIPLANO * D2	123.9 abcde	262.1 abc
ALTIPLANO * D3	116.3 de	157.2 d
ALTIPLANO * D4	124.4 abcde	270.6 ab
KANCOLLA * D1	120.1 cde	208.8 bcd
KANCOLLA * D2	136.2 abcd	356.0 a

KANCOLLA * D3	110.0 e	181.1 bcd
KANCOLLA * D4	141.9 abc	352.0 a
BLANCA DE JULI * D1	120.6 bcde	159.9 d
BLANCA DE JULI * D2	144.6 ab	326.0 a
BLANCA DE JULI * D3	128.3 abcde	170.2 cd
BLANCA DE JULI * D4	145.1 a	324.4 a
F.V.	1^{er} Muestreo	2^{do} Muestreo
Bloques	0.613	0.288
Variedad	0.063	0.025 *
Dosis	0.000 *	0.000 *
V x D	0.145	0.605
CV Parcela (%)	12.30%	24.70%
CV Subparcela (%)	8.70%	18.60%
Normalidad (Shapiro-Wilk)	0.0151	0.1297
Homogeneidad (Bartlett)	0.0765	0.0148

* : Significancia estadística del 5%

Nota. La tabla 4 muestra el primer y el segundo análisis del nivel de concentración de Hierro (Fe) en las hojas de las 3 variedades de quinua (Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli).

- **Variedad.**

En el primer muestreo se puede apreciar la concentración de hierro (Fe) en: Altiplano 120.7 mgkg⁻¹; Kancolla 127.0 mgkg⁻¹; Blanca de Juli 134.6 mgkg⁻¹, las cuales con la misma letra (a) por lo que no existen diferencias significativas entre variedades. Para el segundo muestreo como se aprecia las medias fueron: Altiplano 208.5 mgkg⁻¹ con la letra (“b”); Kancolla 274.5 mgkg⁻¹ con la letra (“a”) y la Blanca de Juli 245.1 mgkg⁻¹ con las letras (“ab”), estos resultados indican diferencias significativas, siendo las más resaltante la Kancolla (Tabla N° 4).

- **Dosis.**

En cuanto al primer muestreo se tiene los resultados de: D1 119.6 mgkg⁻¹ con la letra (“b”), D2 134.9 mgkg⁻¹ con la letra (“a”), D3 118.2 mgkg⁻¹ con la letra (“b”), D4 137.1 mgkg⁻¹ con la letra (“a”), en donde las letras (“a” en la D2 y D4) indican que son superiores y significativamente diferentes de la D1 y D3 en la concentración de hierro (Fe). Para el segundo muestreo se puede apreciar los siguientes valores: D1 171.0 mgkg⁻¹ con la letra (“b”), D2 314.7 mgkg⁻¹ con la letra (“a”), D3 169.5 mgkg⁻¹ con la letra (“b”), D4 315.6 mgkg⁻¹ con la letra (“a”), siendo las letras (“a” en la D2 y D4) indican muestras de concentración significativamente mayor en la concentración de hierro (Fe) Tabla N° 4.

- **Variedad por dosis**

En el primer muestreo se puede apreciar que no hubo significancia según las letras asignadas. En cuanto al segundo muestreo se tiene los valores de: Kancolla D2 (356.0 mgkg⁻¹) con la letra (“a”), Kancolla D4 (352.0 mgkg⁻¹) con la letra (“a”), Blanca de Juli D2 (326.0 mgkg⁻¹) con la letra (“a”), Blanca de Juli D4 (324.4 mgkg⁻¹) con la letra (“a”), fueron los tratamientos con más alto contenido de hierro (Fe) en el segundo muestreo, mostrando diferencia significativa relativa a otros tratamientos según las letras asignadas (Tabla N° 4).

- **Significancia estadística**

Para ello se considera significativa si $P < 0.05$ (al nivel de confianza del 95%) (Andrade, 2019). Entonces se puede apreciar que los valores P Value según el análisis ANOVA de concentración foliar de hierro se muestran de la siguiente manera: En cuanto a los bloques en el primer muestreo ($P > 0.05$), segundo muestreo ($P > 0.05$) el cual indica no significativa. En cuanto a la variedad se tiene en el primer muestreo ($P > 0.05$) no significativo, en el segundo muestreo ($P < 0.05$) el cual indica sí significativo. Para la dosis se tiene en el primer muestreo ($P > 0.05$), en el segundo muestreo ($P > 0.05$), las cuales indican altamente significativas en ambos muestreos. En caso para la variedad por dosis se tiene los valores, primer muestreo ($P > 0.05$), en el segundo muestreo ($P > 0.05$), las cuales indican que no hay significancia estadística en ambos muestreos. Por tanto, solo la dosis muestra significancia estadística en ambos muestreos y la variedad, pero solo en el segundo muestreo, bloques e interacción no presentan diferencias significativas en ambos muestreos.

- **Coefficiente de variación.**

Los coeficientes de variación (CV parcela y subparcela) fueron bajos (12.3% y 8.7%) en el primer muestreo; en el segundo muestreo (24.7% y 18.6%), indicando precisión experimental, que los resultados y las diferencias encontradas entre tratamientos son confiables. Un CV

menor a 10% se considera excelente, menor a 20% es bueno en estudios agrícolas; valores mayores pueden indicar problemas de manejo o error experimental alto (Ruiz-Ramírez, 2010).

- **Prueba de Normalidad (Shapiro-wilk)**

Si el valor es mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula e indica que los datos provienen de una distribución normal (PhD, s. f.) . En esta prueba de normalidad tenemos el valor 0.1297, el cual es el p-value de la Shapiro-Wilk, donde es mayor que 0.05 y este nos indica que los datos en el segundo muestreo cumplen el supuesto de la normalidad.

- **Prueba de homogeneidad (Bartlett)**

Si este valor es mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de varianzas (homogeneidad) (*Prueba de homogeneidad de Bartlett*, s. f.). En esta prueba se tiene el resultado de $0.0148 < 0.05$, lo que indica es que existe evidencia de que las varianzas no son homogéneas entre los tratamientos (hay heterogeneidad de varianzas).

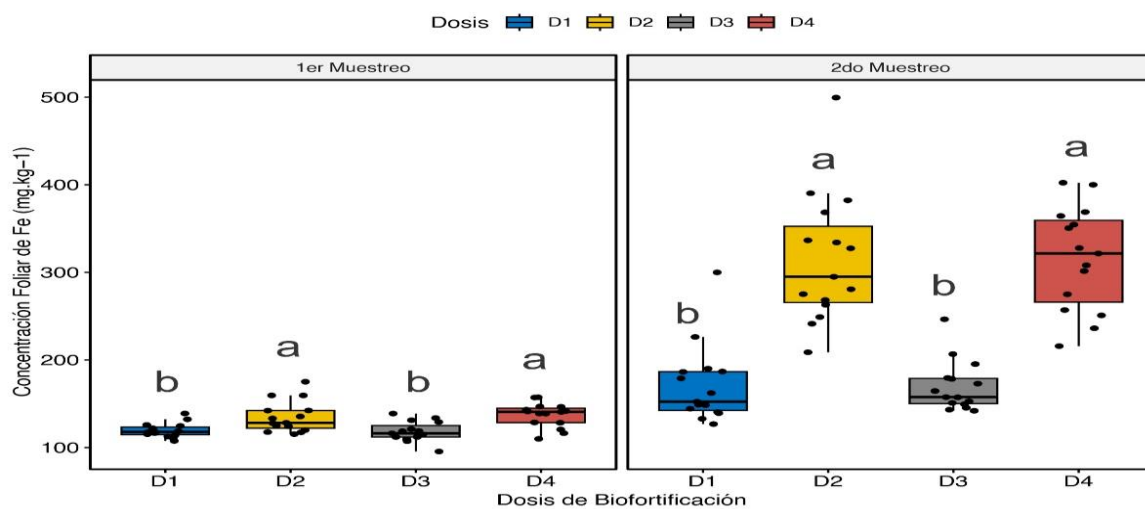
En general se evidenció un efecto significativo de las dosis sobre la concentración de hierro (Fe) en las plantas. En ambos muestreos las dosis presentaron diferencias altamente significativas ($p < 0.05$), la variedad solo mostró significancia en el segundo muestreo, mientras que los bloques y la interacción de la variedad por dosis no fueron significativos ($p > 0.05$). En cuanto a los coeficientes de variación fueron moderados y la prueba de normalidad fue aceptable en el segundo muestreo ($p > 0.05$).

En la figura N° 22 se observa la concentración foliar de hierro (Fe), donde en el primer análisis las concentraciones de hierro (Fe) son similares y relativamente bajas para todas las dosis (alrededor de 100-150 mgkg^{-1}). En la segunda muestra se observa un aumento significativo en la concentración foliar de Fe con las dosis D2 y D4 (ambas letras "a"). En cuanto a la D1 y D3 tienen concentraciones más bajas y similares (letra "b"), indicando que estas dosis no aumentaron tanto el hierro foliar como las D2 y D4. El rango de concentración para D2 y D4 supera los 300 mgkg^{-1} en algunos casos, mientras que D1 y D3 se mantienen por debajo de 200

mgkg⁻¹. Entonces se puede apreciar que las dosis D2 y D4 generaron mayor incremento de hierro foliar en el segundo muestreo por efecto acumulativo de la biofortificación, a diferencia de las D1 y D3 que presentan concentraciones menores y no muestran incremento significativo entre muestreos y, por tanto, las letras (“a” vs “b”) indican resultados de pruebas post hoc (como Tukey) con nivel de significancia $p < 0.05$.

Figura 22

Concentración foliar de hierro Fe en cuanto a las dosis

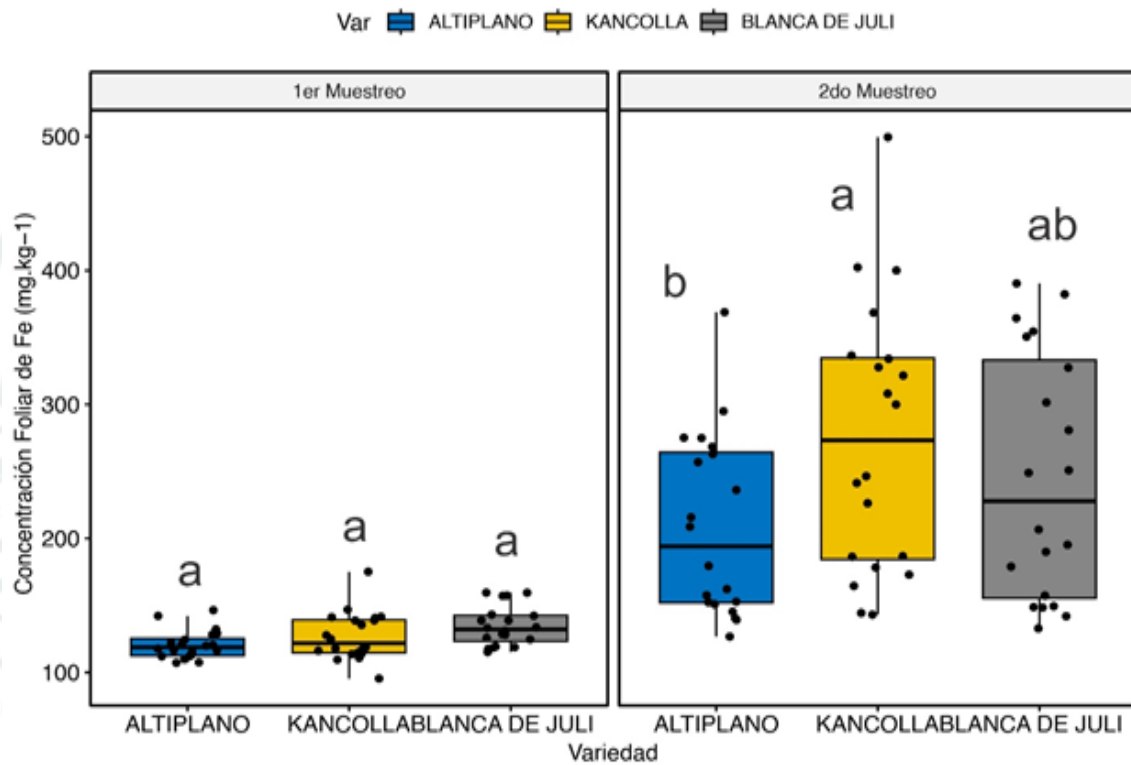


Nota. La figura muestra los efectos del nivel de concentración de hierro (Fe) tanto como del primer y segundo análisis foliar realizado en diferentes dosis de biofortificación (D1, D2, D3, D4).

En la figura N° 23 se observa la concentración foliar de hierro (Fe en mgkg⁻¹), en tres variedades de quinua de quinua (Altiplano, Kancolla y Blanca De Juli), las cuales fueron evaluadas en 2 análisis (primer análisis panel izquierda y segundo análisis panel derecha). En el primer análisis las tres variedades indican valores similares de concentración foliar de Fe (alrededor de 100-150 mgkg⁻¹) y todas las cajas están etiquetadas con la letra “a” el cual indica que no hay diferencias estadísticas significativas entre las variedades y en general se puede apreciar que la concentración de Fe es baja y homogénea para el primer análisis. En cuanto al segundo análisis se pueden observar diferencias notables, en caso de la Kancolla presenta la

mayor concentración foliar de hierro (Fe) (mediana más alta a 300 mgkg⁻¹), el Altiplano tiene la menor concentración (mediana alrededor de 200 mgkg⁻¹), a diferencia que la Blanca de Juli se encuentra en un punto intermedio (alrededor de 250 mgkg⁻¹). En general las diferencias estadísticas aparecen solo en el segundo análisis.

Figura 23 Concentración foliar de hierro en cuanto a la variedad



Nota. La figura muestra los efectos del nivel de concentración de hierro (Fe) tanto como del primer y segundo análisis foliar realizado en las tres variedades de quinua.

4.1.2. Nivel de concentración de zinc en hojas

4.1.2.1. Primer y segundo análisis foliar

En base a los datos recopilados en la tabla N° 5 se procedió a realizar el análisis de varianza con los datos de los resultados del primer y segundo análisis foliar en cuanto al nivel de concentración de zinc (Zn).

Tabla 5 Análisis de varianza para ver el nivel de concentración foliar de zinc (Zn)

Factor	Concentración Foliar de Zn (mg.kg-1)	
	1 ^{er} Muestreo	2 ^{do} Muestreo
Variedad		
ALTIPLANO	40.6 A	148.9 a
KANCOLLA	42.3 A	195.1 a
BLANCA DE JULI	55.9 A	217.8 a
Dosis		
D1	31.2 c	52.7 c
D2	32.6 c	48.7 c
D3	70.9 a	422.2 a
D4	50.4 b	225.3 b
Variedad x Dosis		
ALTIPLANO * D1	29.9 b	37.3 d
ALTIPLANO * D2	32.6 b	42.3 d
ALTIPLANO * D3	55.8 b	375.7 ab
ALTIPLANO * D4	44.2 b	140.2 cd
KANCOLLA * D1	31.7 b	44.3 d
KANCOLLA * D2	31.3 b	56.9 d
KANCOLLA * D3	57.9 b	441.9 ab
KANCOLLA * D4	48.2 b	237.1 bcd
BLANCA DE JULI * D1	31.9 b	76.4 d
BLANCA DE JULI * D2	33.8 b	46.9 d
BLANCA DE JULI * D3	98.9 a	449.1 a
BLANCA DE JULI * D4	58.9 b	298.7 abc
F.V.	1^{er} Muestreo	2^{do} Muestreo
Bloques	0.441	0.247
Variedad	0.066	0.234
Dosis	0.000 *	0.000 *
V x D	0.093	0.670
CV Parcela (%)	40.90%	63.40%
CV Subparcela (%)	38.20%	50.20%
Normalidad (Shapiro-Wilk)	0.0000	0.0164
Homogeneidad (Bartlett)	0.0000	0.0000
* : Significancia estadística del 5%		

Nota. La tabla muestra el primer y el segundo análisis del nivel de concentración de zinc en las hojas de las 3 variedades de quinua (Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli).

Se realizaron dos análisis foliares para ver el nivel de concentración de zinc para las tres variedades de quinua (Altiplano, Kancolla, y Blanca de Juli) bajo diferentes dosis de biofortificación donde:

- **Variedad**

En el primer muestreo, la concentración foliar de zinc (Zn) fue: Altiplano 40.6 mgkg⁻¹, Kancolla 42.3 mgkg⁻¹ y Blanca de Juli 55.9 mgkg⁻¹, todas con la letra (“a”), lo que indica que no existen diferencias significativas entre variedades. En cuanto al segundo muestreo, las medias fueron: Altiplano 148.9 mgkg⁻¹ (“a”), Kancolla 195.1 mgkg⁻¹ (“a”) y Blanca de Juli

217.8 mgkg⁻¹ (“a”), evidenciando de igual manera que no existen diferencias significativas entre las variedades evaluadas (Tabla N° 5).

- **Dosis**

En el primer muestreo: D1 31.2 mgkg⁻¹ (“c”), D2 32. mgkg⁻¹ (“c”), D3 70.9 mgkg⁻¹ (“a”), D4 50.4 mgkg⁻¹ (“b”). La dosis D3 (“a”) muestra significativamente mayor concentración de Zn respecto a D1 y D2 (“c”), y D4 (“b”) es intermedia, pero también significativamente mayor que D1 y D2. En cuanto al segundo muestreo se tiene: D1 52.7 mgkg⁻¹ (“c”), D2 48.7 mgkg⁻¹ (“c”), D3 422.2 mgkg⁻¹ (“a”), D4 225.3 mgkg⁻¹ (“b”). Por tanto, la D3 es significativamente superior en concentración de Zn, seguida por D4 (“b”), ambos superiores a D1 y D2 (“c”) en contenido foliar de zinc (Tabla N° 5).

- **Variedad por dosis**

En el primer muestreo, según las letras asignadas se evidencia que no hubo significancia en la interacción variedad por dosis (todas con la letra “b”). En el segundo muestreo, los valores más altos fueron: Blanca de Juli D3 (449.1 mgkg⁻¹ “a”), Kancolla D3 (441.9 mgkg⁻¹ “ab”), Altiplano D3 (375.7 mgkg⁻¹ “ab”), Kancolla D4 (237.1 mgkg⁻¹ “bcd”), Blanca de Juli D4 (298.7 mgkg⁻¹ “abc”); estos tratamientos presentaron los mayores valores de Zn, pero solo algunas combinaciones fueron estadísticamente distintas según las letras asignadas (Tabla N° 5).

- **Significancia estadística**

Para ello se considera significativa si $P < 0.05$ (al nivel de confianza del 95%) (Andrade, 2019). Los valores P Value según el análisis ANOVA de concentración foliar de Zinc (Zn) se muestran de la siguiente manera: En cuanto a los bloques el primer muestreo es de ($P > 0.05$), segundo muestreo ($P > 0.05$), las cuales indican que ambos no son significativos. En cuanto a la variedad se tiene en el primer muestreo ($P > 0.05$), para el segundo muestreo ($P > 0.05$), de igual manera ambos no significativos. Para la dosis se tiene en el primer muestreo ($P < 0.05$), segundo muestreo ($P < 0.05$), las cuales indican altamente significativas en ambos muestreos. En caso

para la variedad por dosis se tiene los valores, primer muestreo ($P > 0.05$), en el segundo muestreo ($P > 0.05$), estas indican que no hay significancia estadística en ambos muestreos. Por tanto, solo la dosis evidencia significancia estadística en ambos muestreos, los demás factores no presentan diferencias significativas.

- **Coefficiente de variación.**

El coeficiente de variación fue de 40.9% (parcela) y 38.2% (subparcela) en el primer muestreo; 63.4% (parcela) y 50.2% (subparcela) en el segundo muestreo. Estos valores son altos y superan el umbral recomendado en estudios agrícolas (menor a 20%), por lo que la variabilidad experimental fue alta y se recomienda mejorar los procedimientos o el manejo experimental. Pero, la diferencia significativa en las dosis indica un efecto fuerte que supera la alta variabilidad. Un CV menor a 10% se considera excelente, menor a 20% es bueno en estudios agrícolas; valores mayores pueden indicar problemas de manejo o error experimental alto (Ruiz-Ramírez, 2010).

- **Prueba de Normalidad (Shapiro-wilk)**

Si el valor es mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula e indica que los datos provienen de una distribución normal (PhD, s. f.) . Para las concentraciones medias de zinc (Zn) en variedad por dosis, tanto en el primer como en el segundo muestreo, los valores de p (p-value) superan el umbral de significancia ($P > 0.05$), y ello indica que no se rechaza la hipótesis nula de normalidad y que los datos pueden considerarse normalmente distribuidos en ambos muestreos y en los diferentes grupos evaluados.

- **Prueba de homogeneidad (Bartlett)**

Si este valor es mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de varianzas (homogeneidad) (*Prueba de homogeneidad de Bartlett*, s. f.). El resultado de la prueba Bartlett para comparar la varianza entre los grupos de dosis en ambos muestreos da resultado un valor

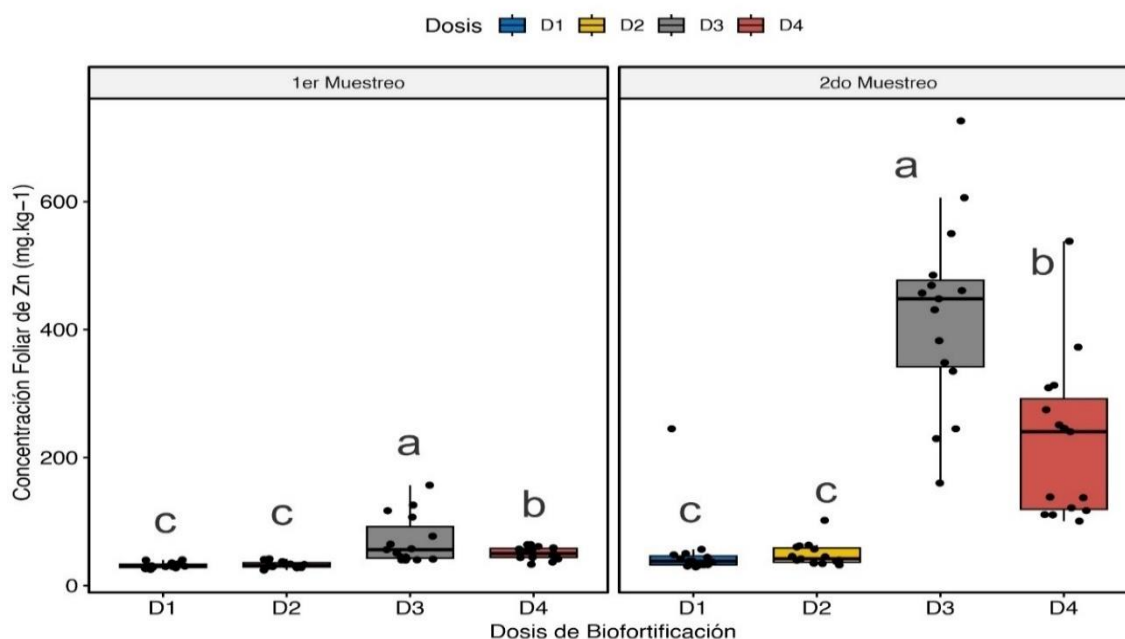
p de 0.00, el cual es menor que 0.05. Esto indica que hay evidencia estadística para rechazar la homogeneidad de varianzas, las varianzas entre los grupos de dosis no son iguales.

Por lo tanto, este análisis estadístico en cuanto a la concentración foliar de zinc (Zn) muestra que solo el factor dosis fue altamente significativo en ambos muestreos ($p < 0.05$), mientras que la variedad, la interacción por dosis y los bloques no presentaron significancia estadística ($p > 0.05$). Entonces se evidencia un efecto significativo únicamente de las dosis, confirmando que las diferentes dosis si generaron respuestas distintas en la concentración de zinc (Zn) en las hojas.

En la figura N° 24 se muestra la concentración foliar de zinc (Zn) en mgkg bajo diferentes dosis de biofortificación (D1, D2, D3, D4) en 2 muestreos distintos. En ambos muestreos las dosis más altas de biofortificación (especialmente la D3 y en menor medida la D4) incrementaron significativamente la concentración foliar de zinc en comparación con las dosis más bajas (D1, D2) no dieron aumentos relevantes. En el primer análisis la D3 mostró el mayor nivel de zinc, seguido por la D4, mientras que la D1 y D2 presentan concentraciones bajas. En el segundo análisis tanto como la D3 y la D4 mostraron un aumento considerable en la cantidad de zinc en las hojas, siendo la D3 el que logró los niveles más altos, y la D4 obtuvo resultados intermedios, mientras que la D1 y D2 continuaron con los niveles más bajos. Entonces se aprecia que el patrón se mantiene (dosis más altas generan incrementos mayores), lo que indica que la cantidad de biofortificación es el elemento determinante para aumentar los niveles de concentración de zinc en las hojas.

Figura 24

Concentración foliar de Zn en cuanto a la dosis

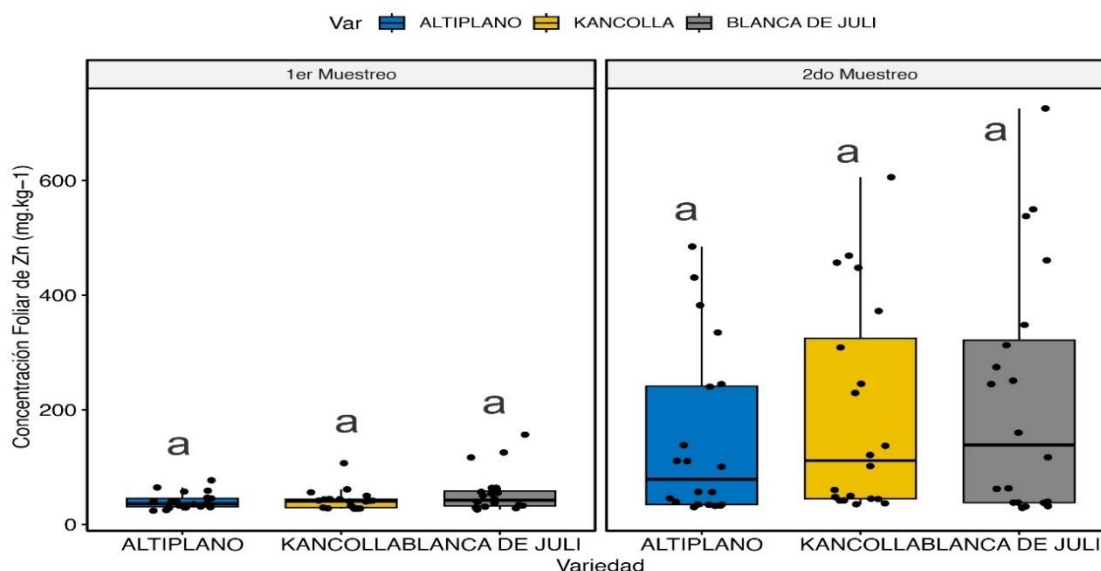


Nota. La figura muestra los efectos del nivel de concentración de zinc (Zn) tanto como del primer y segundo análisis foliar realizada en diferentes dosis de biofortificación (D1, D2, D3, D4).

En la figura N° 25 se observa la concentración foliar de zinc (Zn en mgkg⁻¹), en tres variedades de quinua de quinua (Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli), las cuales fueron evaluadas en 2 análisis (primer análisis panel izquierda y segundo análisis panel derecha). En el primer análisis las tres variedades presentan niveles similares y bajas concentraciones de zinc foliar (alrededor de 50-100 mgkg⁻¹) y todas las cajas tienen la misma letra “a” el cual indica que no hubo diferencias significativas entre las variedades. En cuanto al segundo análisis se pueden observar que las concentraciones de Zn aumentaron claramente en las tres variedades foliar (alrededor de 100-400 mgkg⁻¹), sin embargo, todas mantienen la misma letra “a” indicando que no existen diferencias entre variedades. En ambos muestreos no hubo diferencias significativas entre variedades, el contenido foliar de zinc (Zn) aumento en el segundo análisis, en general las tres

variedades mostraron una capacidad similar de acumulación de zinc (Zn) en las hojas.

Figura 25 Concentración foliar de Zn en cuanto a la variedad



Nota. La figura muestra los efectos del nivel de concentración de zinc (Zn) tanto como del primer y segundo análisis foliar realizado en las tres variedades de quinua.

4.1.3. Nivel de concentración de hierro en grano

En base a los datos obtenidos en la tabla N° 6 se procedió a realizar el análisis de varianza con los datos obtenidos del análisis en grano en cuanto al nivel de concentración de hierro en donde: Se realizó un muestreo final de concentración de hierro (Fe) (mg/kg) en grano de la quinua para las tres variedades de quinua (Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli) con diferentes dosis (D1, D2, D3, D4). En cuanto a la variedad y concentración de hierro (Fe) la tabla N° 6 muestra el análisis de concentración de hierro (Fe) donde las concentraciones promedio de hierro (Fe) en mg/kg para cada variedad fueron (Altiplano con 47.6 mg/kg, Kancolla con 58.0 mg/kg, Blanca de Juli con 49.7 mg/kg), con estos resultados podemos apreciar que la variedad Kancolla presenta la concentración más alta de hierro en grano. Por otro lado, en cuanto a la dosis y concentración de hierro (Fe), las dosis aplicadas (D1, D2, D3, D4) dieron concentraciones promedio de Fe en grano muy semejantes (D1: 51.6 mg kg⁻¹, D2: 51.9 kg⁻¹, D3: 53.1 kg⁻¹, D4:

50.5 kg⁻¹). Para determinar si hay diferencias estadísticamente significativas se realizó un ANOVA, donde nos indica que para el factor “variedad” es de 0.130098 (no significativo, $P > 0.05$), para el factor “dosis” es 0.814037 (no significativo, $P > 0.05$), para la interacción “variedad/dosis” es 0.701216 (no significativo, $P > 0.05$), esto significa que estadísticamente no hay diferencias significativas en la concentración de hierro entre variedades, dosis o su interacción al nivel de significancia del 5%.

Tabla 6

Análisis de varianza para ver el nivel de concentración de hierro (Fe) en grano

Factor	Concentración de Fe en Grano (mg.kg-1)
Variedad	
ALTIPLANO	47.6 a
KANCOLLA	58.0 a
BLANCA DE JULI	49.7 a
Dosis	
D1	51.6 a
D2	51.9 a
D3	53.1 a
D4	50.5 a
Variedad x Dosis	
ALTIPLANO * D1	47.6 a
ALTIPLANO * D2	50.1 a
ALTIPLANO * D3	45.6 a
ALTIPLANO * D4	47.0 a
KANCOLLA * D1	58.0 a
KANCOLLA * D2	58.1 a
KANCOLLA * D3	58.5 a
KANCOLLA * D4	57.5 a
BLANCA DE JULI * D1	49.1 a
BLANCA DE JULI * D2	47.7 a
BLANCA DE JULI * D3	55.1 a
BLANCA DE JULI * D4	47.0 a
F.V.	Concentración de Fe en Grano (mg.kg-1)
Bloques	0.001 *
Variedad	0.130
Dosis	0.814
V x D	0.701
CV Parcela (%)	29.20%
CV Subparcela (%)	14.20%
Normalidad (Shapiro-Wilk)	0.3308
Homogeneidad (Bartlett)	0.0774

* : Significancia estadística del 5%

Nota. La tabla muestra el análisis del nivel de concentración de hierro en grano de las 3 variedades de quinua (Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli).

- **Variedad.**

En las tres diferentes variedades analizadas, la concentración de hierro (Fe) en el grano fue: Altiplano 47.6 mg/kg⁻¹, Kancolla 58.0 mg/kg⁻¹ y Blanca de Juli 49.7 mg/kg⁻¹, las cuales todas con la letra (a), lo que indica que no existen diferencias significativas entre variedades en cuanto a la concentración de Fe. (Tabla N° 6).

- **Dosis.**

Con respecto a las dosis aplicadas, las concentraciones de hierro (Fe) fueron: D1 51.6 mg/kg⁻¹, D2 51.9 mg/kg⁻¹, D3 53.1 mg/kg⁻¹ y D4 50.5 mg/kg⁻¹, las cuales están con la misma letra (a) para todas, indicando que no hay diferencias significativas entre las dosis en la concentración de hierro en grano. (Tabla N° 6).

- **Variedad por dosis**

En cuanto a las combinaciones de variedad y dosis como se muestra en la tabla tampoco mostraron diferencias significativas, ya que todas las interacciones, como Altiplano D1 (47.6 mg/kg⁻¹), Kancolla D3 (58.5 mg/kg⁻¹) y Blanca de Juli D3 (55.1 mg/kg⁻¹), las cuales todas comparten la letra (a). (Tabla N° 6).

- **Significancia estadística**

Para ello se considera significativa si $P < 0.05$ (al nivel de confianza del 95%) (Andrade, 2019). Los valores de P para el análisis ANOVA indican que: los bloques con valor significativo ($P < 0.05$), reflejando posible influencia del manejo o localización experimental; en cuanto a la variedad se tiene ($P > 0.05$), dosis ($P > 0.05$), e interacción variedad por dosis ($P > 0.05$), las cuales estos 3 factores no mostraron significancia estadística por estar encima del $P < 0.05$ (al nivel de confianza del 95%), indicando que estas variables no impactan significativamente la concentración de hierro en el grano.

- **Coefficiente de variación.**

Un CV menor a 10% se considera excelente, menor a 20% es bueno en estudios agrícolas; valores mayores pueden indicar problemas de manejo o error experimental alto (Ruiz-Ramírez, 2010). En cuanto al coeficiente de variación (CV) en parcela fue 29.20%. Este resultado es elevado y refleja mucha dispersión, por lo que la precisión experimental es baja a ese nivel y los resultados deben tomarse con bastante cuidado. Sin embargo, el CV en subparcela fue de 14.20%. Este valor está dentro del rango considerado bueno para agricultura, indicando variabilidad moderada y aceptable. Por tanto, solo el nivel de subparcela brinda precisión aceptable y que el CV de parcela revela alta variabilidad y menor confiabilidad en los resultados.

- **Prueba de Normalidad (Shapiro-wilk)**

Si el valor es mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula e indica que los datos provienen de una distribución normal (PhD, s. f.) . En esta prueba de normalidad se tiene el valor p de 0.3308 (> 0.05), este resultado nos indica que los datos siguen una distribución normal, cumpliendo con el supuesto de normalidad para análisis estadístico paramétricos (media y la desviación estándar).

- **Prueba de homogeneidad (Bartlett)**

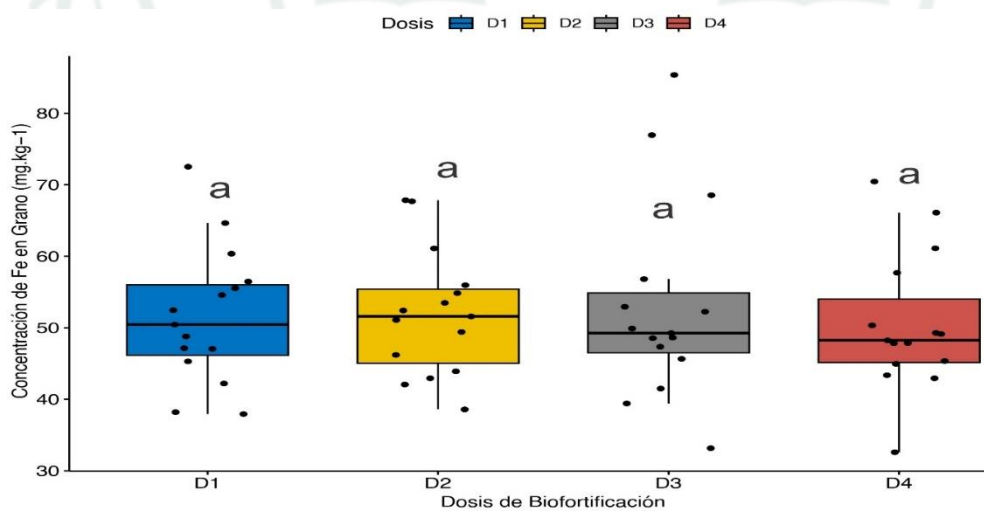
Si este valor es mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de varianzas (homogeneidad) (*Prueba de homogeneidad de Bartlett*, s. f.). En esta prueba se tiene el resultado de 0.0774 (< 0.05), lo que indica que las varianzas son homogéneas entre los tratamientos, permitiendo validez la aplicación del ANOVA.

En general este resultado detalla que la concentración de hierro (Fe) en el grano de la quinua no presenta diferencias significativas entre variedades, dosis, tampoco en su interacción de variedad por dosis. En cuanto a los bloques fue significativo, mientras que la precisión

experimental fue alta y se cumplieron los supuestos estadísticos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

La figura N° 26 muestra la concentración de hierro (Fe) en el grano en función de las cuatro dosis diferentes de biofortificación (D1, D2, D3, D4), en donde cada caja muestra la distribución de la concentración de hierro (Fe en mg/kg^{-1}) para cada una de las dosis con los puntos negros indicando los valores individuales de cada muestra, la línea interna de cada caja representa la mediana. En cuanto a la comparación entre dosis las medianas de las cuatro dosis (D1, D2, D3, D4), son similares y no hay una diferencia visible marcada entre ellas. Como se puede apreciar en la figura N° 33 todas las cajas tienen la misma letra “a” sobre ellas el cual nos indica que no existen diferencias estadísticamente significativas en la concentración de hierro (Fe) según el análisis estadístico aplicado. En general ninguna dosis sobresale sobre las demás en cuanto a la incrementación de hierro en grano. A pesar de la variabilidad individual, el patrón estadístico evidencia que cambiar la dosis de biofortificación dentro de este rango no produce un efecto significativo en la concentración de hierro (Fe).

Figura 26 Concentración de hierro (Fe) en grano en cuanto a la dosis

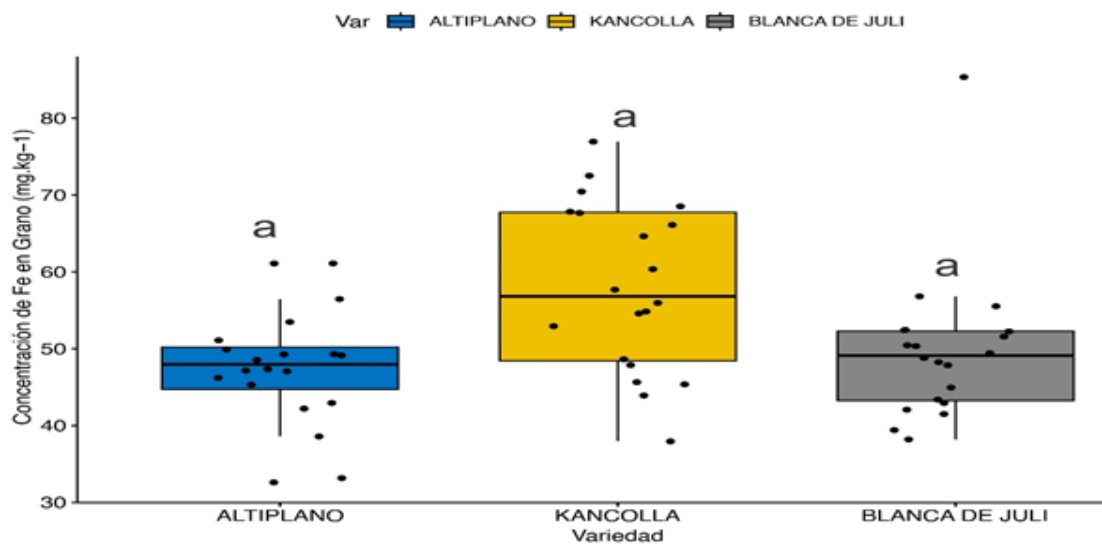


Nota. La figura muestra los efectos del nivel de concentración de hierro (Fe) en grano en cuanto a las dosis (D1, D2, D3, D4).

La figura N° 27 muestra la concentración de hierro (Fe) en grano para las tres variedades de quinua (Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli), en donde cada caja representa la distribución de la concentración de Fe (mgkg^{-1}) en las muestras individuales para cada variedad y los puntos negros muestran los valores individuales de cada muestra. En cuanto a la variedad KANCOLLA se aprecia que tiene una concentración de hierro (Fe) en grano medianamente notable más alta y una mayor dispersión entre las muestras, aunque estadísticamente no es diferente de las otras dos variedades porque todas tienen la letra “a” sobre la caja el cual indica que no hay diferencias significativas entre ellas según el análisis estadístico, como se puede apreciar el Altiplano y Blanca de Juli presentan medianas similares con concentraciones de hierro más bajas y menor dispersión de los datos a comparación de la Kancolla.

En lo general se puede apreciar que no se detectan diferencias significativas entre las variedades a pesar de la mayor concentración de hierro (Fe) observada en la Kancolla, la mayoría de los valores individuales están agrupadas cerca de la mediana.

Figura 27 Concentración de hierro (Fe) en grano en cuanto a la variedad



Nota. La figura muestra los efectos del nivel de concentración de hierro (Fe) en grano en las tres variedades de quinua.

4.1.4. Nivel de concentración de zinc (Zn) en grano

Según a los datos obtenidos en la tabla N° 7 se procedió a realizar el análisis de varianza con los datos obtenidos del análisis en grano en cuanto al nivel de concentración de zinc (Zn) según la variedad, dosis de biofortificación y su interacción en donde:

Se realizó un muestreo final de concentración de zinc (mg/kg) en grano de la quinua para las tres variedades de quinua (Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli), con diferentes dosis (D1, D2, D3, D4). El análisis estadístico revela que la dosis de biofortificación influye significativamente en la concentración de zinc (Zn) en el grano, mientras que la variedad no presenta diferencias significativas. Para el efecto de variedad el valor de significancia (p) es de 0.60, lo que indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las variedades evaluadas (Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli). Para el efecto de dosis la tabla muestra el valor de significancia (p) el cual es 0.043, lo que indica que sí muestra una diferencia significativa entre las dosis aplicadas. En cuanto a la interacción de variedad/dosis el valor de significancia (p) es de 0.787 el cual indica que la combinación de variedad y dosis no genera cambios significativos en la concentración de zinc en el grano de la quinua. Las tres variedades evaluadas no difieren en concentración de zinc porque tienen un P de 0.60 el cual es superior al umbral de significancia (0.05), a diferencia de la dosis D3 que logra incrementar significativamente la concentración de zinc (Zn) en grano con un valor de P de 0.043, el cual es menor a 0.05. En general el único factor que afecta significativamente la concentración de zinc en grano es la dosis de biofortificación (P= 0.043), mientras que la variedad y la interacción no aportan diferencias significativas (P=0.60 y P=0.0787).

Tabla 7

Análisis de varianza para ver el nivel de concentración de zinc (Zn) en grano

Factor	Concentración de Zn en Grano (mg.kg-1)	
Variedad		
ALTIPLANO	33.5	a
KANCOLLA	33.8	a
BLANCA DE JULI	31.3	a
Dosis		
D1	31.6	b
D2	32.5	ab
D3	35.2	a
D4	32.2	ab
Variedad x Dosis		
ALTIPLANO * D1	31.5	a
ALTIPLANO * D2	33.3	a
ALTIPLANO * D3	36.7	a
ALTIPLANO * D4	32.5	a
KANCOLLA * D1	33.7	a
KANCOLLA * D2	33.3	a
KANCOLLA * D3	34.4	a
KANCOLLA * D4	34.0	a
BLANCA DE JULI * D1	29.5	a
BLANCA DE JULI * D2	30.8	a
BLANCA DE JULI * D3	34.7	a
BLANCA DE JULI * D4	30.2	a
F.V.		
	Concentración de Zn en Grano (mg.kg-1)	
Bloques	0.000	*
Variedad	0.602	
Dosis	0.044	*
V x D	0.787	
CV Parcela (%)	25.50%	
CV Subparcela (%)	11.10%	
Normalidad (Shapiro-Wilk)	0.8174	
Homogeneidad (Bartlett)	0.3777	
* : Significancia estadística del 5%		

Nota. La tabla N° 6 muestra el análisis del nivel de concentración de zinc (Zn) en grano de las 3 variedades de quinua (Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli).

- **Variedad.**

En cuanto a la variedad la concentración de zinc (Zn) en grano se observa que: Altiplano tiene (33.5 mgkg^{-1}), Kancolla (33.8 mgkg^{-1}) y Blanca de Juli (31.3 mgkg^{-1}), en donde las tres variedades presentan la misma letra (a), por lo que indica que no existen diferencias significativas entre variedades para el contenido de zinc (Zn) en grano. (Tabla N° 7).

- **Dosis.**

Las dosis presentaron los siguientes resultados: D1 (31.57 mgkg⁻¹, con la letra “b”), D2 (32.46 mgkg⁻¹, “ab”), D3 (35.25 mgkg⁻¹, “a”), y D4 (32.23 mgkg⁻¹, “ab”). Por tanto, la dosis D3 fue significativamente mayor en concentración de zinc con la letra (“a”), claramente diferenciándose de la D1 (“b”); D2 y D4 en donde presentan valores intermedios (“ab”). (Tabla N° 7).

- **Variedad por dosis**

En cuanto a este factor indica que todas las combinaciones de variedad por dosis muestran la letra (a), por lo que indica que no existen diferencias significativas entre las interacciones variedad por dosis para la concentración de zinc (Zn) en grano. (Tabla N° 7).

- **Significancia estadística**

Para lo cual se considera significativa si $P < 0.05$ (al nivel de confianza del 95%) (Andrade, 2019). Según la tabla N° 7 se puede apreciar que los valores P Value según el análisis ANOVA de concentración foliar de zinc (Zn) se muestran de la siguiente manera: los bloques con valor significativo ($P < 0.05$), reflejando altamente significativo; en cuanto a la variedad se tiene ($P > 0.05$), el cual indica no significativo, en caso de la dosis el valor (P value) es ($P < 0.05$), el cual indica significativo al 95%, el valor (P value) para la interacción variedad por dosis es de ($P > 0.05$), el cual indica no significativo. Por tanto, solo la dosis y el bloque fueron significativos en el experimento, mientras que la variedad y la interacción de variedad por dosis no presentaron diferencias significativas en la concentración de zinc (Zn) en el grano de la quinua.

- **Coefficiente de variación.**

En cuanto al coeficiente de variación (CV) en parcela fue 25.5%. Este valor se considera alto para experimentos agrícolas, indicando una alta dispersión de los datos a nivel de parcelas. Sin embargo, el CV en subparcela fue de 11.1%. Este valor está dentro del rango considerado

“bueno” (10-20%) para agricultura, lo que indica que los datos a nivel de subparcela muestran variabilidad aceptable y mayor precisión para la interpretación de resultados estadísticos. Un CV menor a 10% se considera excelente, menor a 20% es bueno en estudios agrícolas; valores mayores pueden indicar problemas de manejo o error experimental alto (Ruiz-Ramírez, 2010).

- **Prueba de Normalidad (Shapiro-wilk)**

Si el valor es mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula e indica que los datos provienen de una distribución normal (PhD, s. f.) . En esta prueba de normalidad tenemos Valor $p = 0.8174$ (>0.05), lo que indica que los datos cumplen con el supuesto de normalidad; se pueden utilizar pruebas paramétricas.

- **Prueba de homogeneidad (Bartlett)**

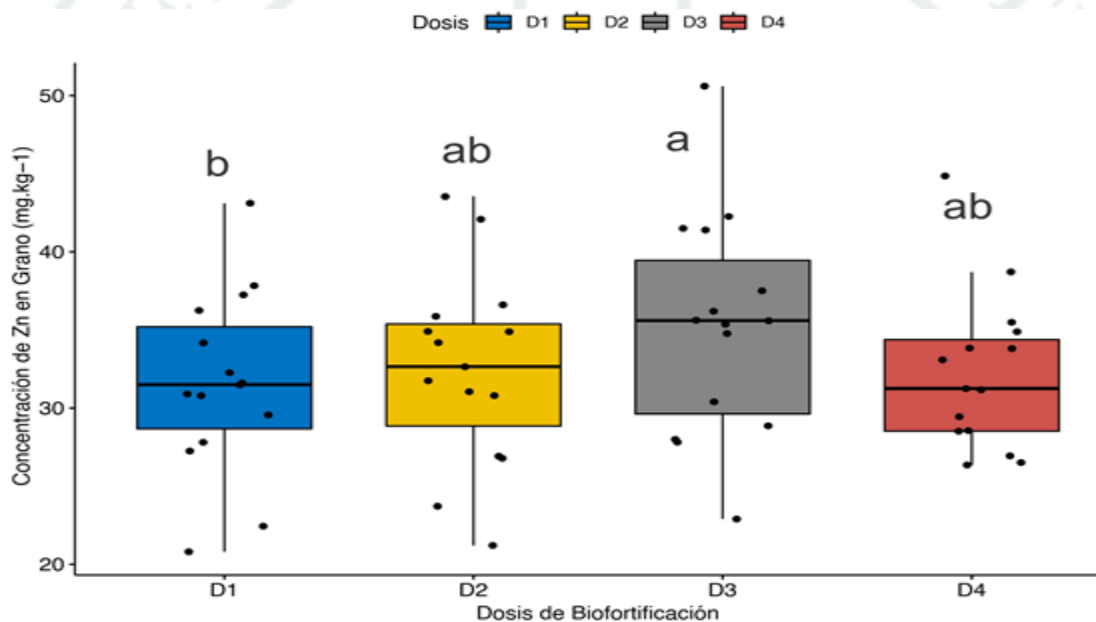
Si este valor es mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de varianzas (homogeneidad) (*Prueba de homogeneidad de Bartlett*, s. f.). En esta prueba se tiene valor $p = 0.3777$ ($p > 0.05$), lo que indica homogeneidad de varianzas entre tratamientos y que también se cumple con el supuesto de ANOVA.

Por lo tanto, se puede apreciar que solo la dosis mostró diferencias significativas para la concentración de zinc (Zn) en el grano de la quinua ($p < 0.05$), por otro lado, las variedades y la interacción variedad por dosis no fueron significativas; el experimento fue bastante preciso y los datos cumplen con la prueba de normalidad y homogeneidad ($p > 0.05$).

La figura N° 28 muestra la concentración de zinc (Zn) en el grano en función de las cuatro dosis diferentes de biofortificación (D1, D2, D3, D4), expresada en mgkg^{-1} , cada caja representa la distribución de la concentración de hierro (Fe en mgkg^{-1}). Las letras sobre cada grupo (a, ab, b) indican diferencias estadísticas entre tratamientos según la prueba realizada, si dos grupos comparten una letra (ab) indica que no difieren estadísticamente entre sí; si tienen letras distintas (a vs b) son significativamente diferentes. Como se muestra en la figura N° 27 la D3 tiene la letra “a” y esto indica que presenta la concentración de zinc (Zn) significativamente

mayor que la D1 que tiene la letra “b”. Ahora en caso de la D2 y D4 tienen la letra “ab” y esto indica que no difieren en el grupo “a” (D3), tampoco en el grupo “b” (D1). En cuanto a la relación de dosis y resultados se puede apreciar que la D3(gris) es la dosis que genera la mayor concentración promedio de zinc en grano, la D1(azul) es la más baja y estadísticamente distinta a la D3, en caso la D2 (amarillo) y D4 (rojo) son intermedias no significativamente distintas de D1 ni de D3. En global la D3 es el más efectivo para incrementar el zinc en grano, pese a que la D2 y la D4 ofrecen resultados intermedios.

Figura 28 Concentración de zinc (Zn) en grano en cuanto a las dosis

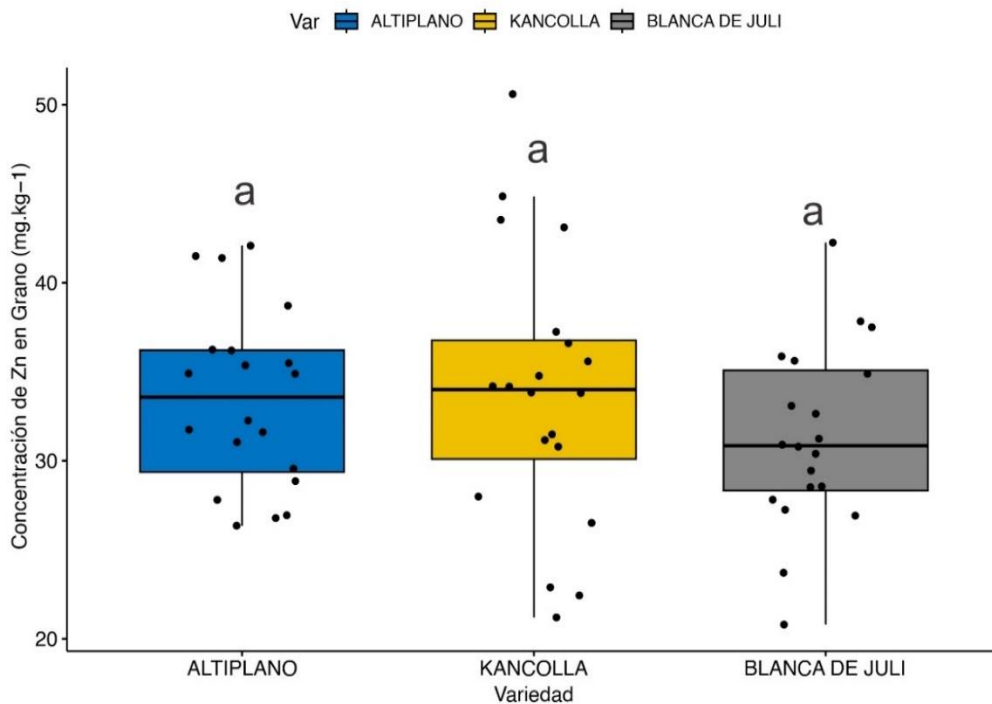


Nota. La figura muestra los efectos del nivel de concentración de hierro (Fe) en grano en cuanto a las dosis (D1, D2, D3, D4).

La figura N° 29 muestra la concentración de zinc (Zn) en el grano según las variedades evaluadas (Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli), en donde cada caja representa el rango de los valores obtenidos para cada variedad y los puntos negros reflejan los valores individuales de cada muestra. Las letras sobre cada grupo (“a”) indican que no existen diferencias estadísticamente significativas en la concentración de zinc entre las variedades, esto indica que, aunque haya leves variaciones en los valores promedio estadísticamente todas presentan la

concentración de zinc en el grano de la quinua. Entonces según la figura N° 29 ninguna de las tres variedades supera significativamente a las otras en cuanto a la concentración de zinc (Zn) en el grano, por lo tanto, las tres variedades obtuvieron la concentración de zinc ya que como se aprecia no existe una ventaja significativa de una sola variedad sobre las otras.

Figura 29 Concentración de zinc (Zn) en grano en cuanto a la variedad



Nota. La figura muestra los efectos del nivel de concentración de zinc (Fe) en grano en las tres variedades de quinua.

4.1.5. Rendimiento total de la quinua bajo las condiciones locales y manejo

Según a los datos obtenidos en la tabla N° 8 se procedió a realizar el análisis de varianza con los datos obtenidos del análisis en grano en cuanto al rendimiento total de la quinua según la variedad, dosis de biofortificación y su interacción.

Tabla 8

Análisis de varianza para ver el rendimiento de la quinua en grano

Factor	Rendimiento de Quinua en Grano (kg.ha-1)
Variedad	
ALTIPLANO	884.5 a
KANCOLLA	272.1 c
BLANCA DE JULI	574.0 b
Dosis	
D1	595.5 a
D2	551.2 a
D3	577.7 a
D4	583.2 a
Variedad x Dosis	
ALTIPLANO * D1	1014.9 a
ALTIPLANO * D2	866.2 ab
ALTIPLANO * D3	870.6 ab
ALTIPLANO * D4	786.5 ab
KANCOLLA * D1	204.9 d
KANCOLLA * D2	255.1 d
KANCOLLA * D3	341.2 cd
KANCOLLA * D4	287.4 d
BLANCA DE JULI * D1	566.7 bcd
BLANCA DE JULI * D2	532.4 bcd
BLANCA DE JULI * D3	521.2 bcd
BLANCA DE JULI * D4	675.8 abc
F.V.	
Bloques	0.089 *
Variedad	0.001 *
Dosis	0.913
V x D	0.261
CV Parcela (%)	52.10%
CV Subparcela (%)	30.10%
Normalidad (Shapiro-Wilk)	0.2549
Homogeneidad (Bartlett)	0.0823

* : Significancia estadística del 5%

Nota. La tabla muestra el rendimiento total de la quinua en grano según la dosis y la variedad.

- **Variedad.**

En cuanto a la variedad, el rendimiento total de la quinua en grano mostró diferencias significativas: Altiplano fue la de mayor rendimiento con un promedio de 884.5 kg/ha (letra “a”), seguida por Blanca de Juli con 573.99 kg/ha (letra “b”) y finalmente Kancolla con 272.13 kg/ha (letra “c”). Las letras diferentes confirman la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las variedades analizadas (Tabla N° 8).

- **Dosis.**

Respecto a las dosis aplicadas, no se observaron diferencias significativas en el rendimiento; los tratamientos D1 (595.47 kgha), D2 (551.18 kgha), D3 (577.65 kgha) y D4 (583.18 kgha) comparten la letra “a”, indicando que la variación de dosis no afectó de manera significativa el rendimiento de quinua en grano (Tabla N° 8).

- **Variedad por dosis**

En la interacción variedad por dosis, se observaron diferencias: la combinación ALTIPLANO con D1 alcanzó el mayor rendimiento con 1014.85 kgha (letra “a”), superando al resto. Otras combinaciones con letras “ab”, “bcd”, “cd” muestran diferencias significativas entre algunos tratamientos específicos. Las combinaciones que incluyen KANCOLLA presentaron los valores más bajos (letra “d”) (Tabla N° 8).

- **Significancia estadística**

Para lo cual se considera significativa si $P < 0.05$ (al nivel de confianza del 95%) (Andrade, 2019). Según la tabla N° 8 en el análisis de varianza (ANOVA), los valores p fueron: bloques ($P > 0.05$), no significativo, variedad ($P < 0.05$) significativo, dosis ($P > 0.05$) no significativo, e interacción variedad por dosis ($P > 0.05$) no significativo. Por tanto, solo la variedad tuvo efecto significativo sobre el rendimiento, mientras que dosis e interacción no mostraron significancia estadística.

- **Coefficiente de variación.**

Un CV menor a 10% se considera excelente, menor a 20% es bueno en estudios agrícolas; valores mayores pueden indicar problemas de manejo o error experimental alto (Ruiz-Ramírez, 2010). El coeficiente de variación (CV) de la parcela fue 52.1%, un valor alto que indica dispersión considerable y baja precisión experimental, posiblemente por variabilidad en las parcelas; mientras que el CV de la subparcela fue 30.1%, también alto pero menor que el de la

parcela, reflejando variabilidad interna considerable. Valores mayores a 20% son indicativos de problemas de control experimental en estudios agrícolas.

- **Prueba de Normalidad (Shapiro-wilk)**

Si el valor es mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula e indica que los datos provienen de una distribución normal (PhD, s. f.). El valor $p = 0.2549 (> 0.05)$ indica que no se rechaza la hipótesis de normalidad, por lo que los datos cumplen el supuesto de distribución normal permitiendo análisis paramétricos.

- **Prueba de homogeneidad (Bartlett)**

Si este valor es mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de varianzas (homogeneidad) (*Prueba de homogeneidad de Bartlett*, s. f.). En esta prueba se tiene el valor $p = 0.0823 (> 0.05)$ indica que no se rechaza la hipótesis de homogeneidad de varianzas, lo que cumple con el supuesto necesario para la validez del ANOVA clásico.

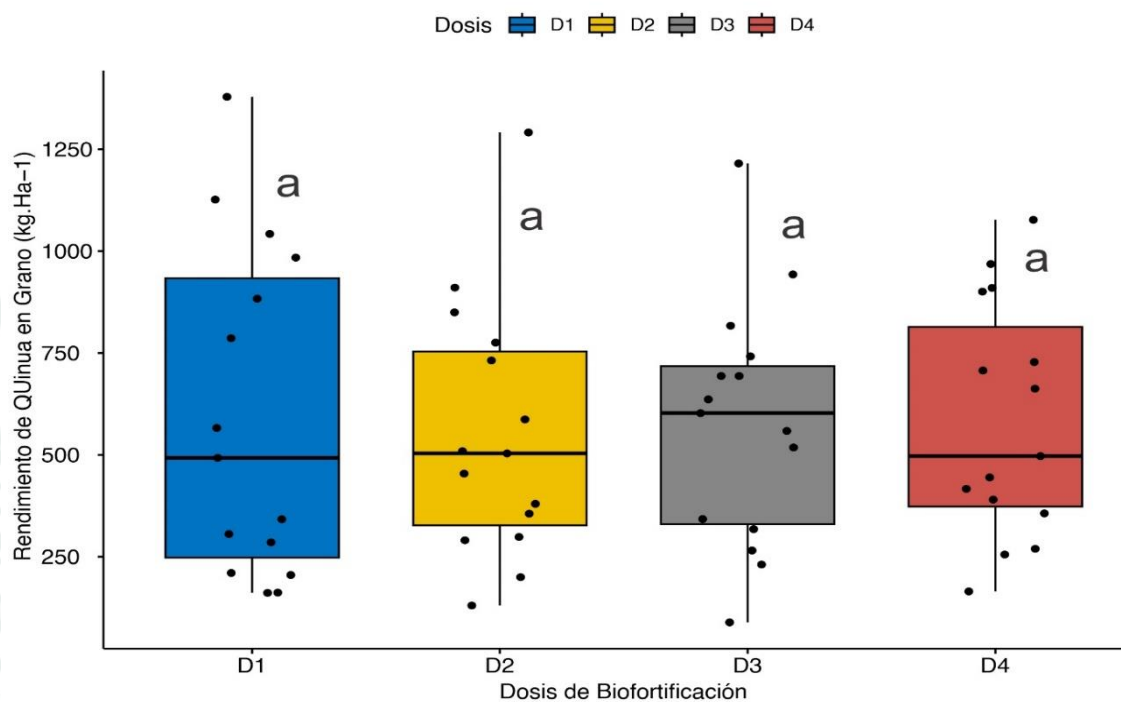
En conclusión, el rendimiento global de la quinua mostró diferencias importantes únicamente de acuerdo a la variedad. Las cantidades aplicadas y la relación entre variedad y dosis no mostraron efectos relevantes. A pesar de esto, la considerable variabilidad en los coeficientes de variación sugiere que es necesario mejorar la consistencia experimental. Sin embargo, se cumplen los requisitos estadísticos de normalidad y homogeneidad requeridos para respaldar los resultados.

La figura N° 30 muestra el rendimiento de la quinua en grano (kg/ha) para cada dosis de biofortificación (D1, D2, D3, D4), en donde cada caja representa la distribución y la variabilidad de los rendimientos por tratamiento, por otro lado, los puntos negros corresponden a los datos individuales. Todas las dosis muestran la misma letra “a”, lo que indica que no hay diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento promedio entre los tratamientos D1 (595.5 kgha), D2 (551.2 kgha), D3 (577.7 kgha) y D4 (583.2 kgha), según la prueba de

comparación múltiple utilizada (usualmente Tukey o LSD) para un nivel de confianza del 95% ($p > 0.05$). Esto significa que las dosis no generaron cambios significativos en el rendimiento.

Figura 30

Rendimiento total de la quinua en grano en cuanto a las dosis



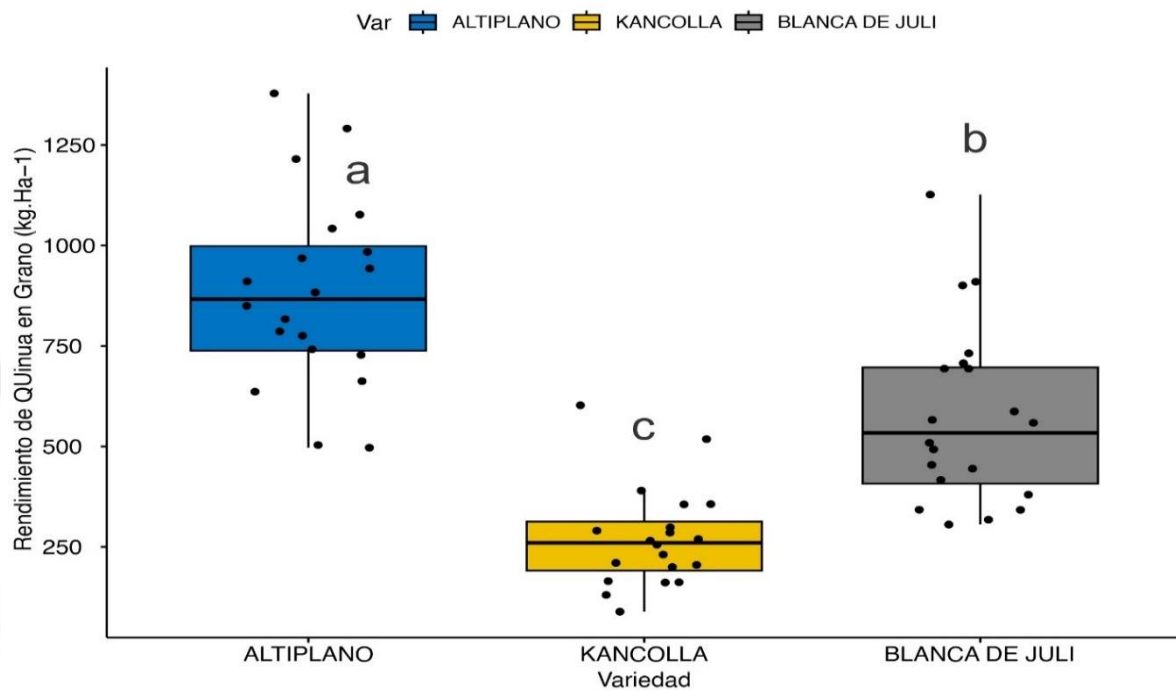
Nota. La tabla muestra el rendimiento de la quinua en grano en cuanto a las dosis (D1, D2, D3, D4).

La figura N° 31 muestra el rendimiento de la quinua en grano (kg/ha) según la variedad Altiplano (azul), Kancolla (amarillo) y Blanca de Juli (gris). Cada caja representa la variabilidad del rendimiento para cada variedad y los puntos negros corresponden a los valores individuales medidos. Se observa la asignación de letras diferentes sobre cada caja: "a" para ALTIPLANO, "b" para BLANCA DE JULI y "c" para KANCOLLA. Esto indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre todas las variedades, ya que se usa la codificación de letras para distinguir grupos estadísticamente distintos (usualmente aplicando pruebas post hoc como Tukey o LSD al 95% de confianza, $p < 0.05$). En términos numéricos

reportados previamente, el rendimiento promedio fue para ALTIPLANO de 884.5 kg/ha, para BLANCA DE JULI 573.99 kg/ha y para KANCOLLA 272.13 kg/ha.

Figura 31

Rendimiento total de la quinua en grano en cuanto a la variedad.



Nota. La tabla muestra el rendimiento total de la quinua en grano en cuanto a la variedad (Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli).

CAPÍTULO V

5. DISCUSIÓN

5.1. Determinación de la concentración de hierro (Fe) y zinc (Zn) a nivel foliar después de dos aplicaciones en tres variedades.

Hao et al. (2021) demostraron que la aplicación foliar de hierro y zinc en trigo aumenta la concentración de micronutrientes en las hojas, mostrando incrementos significativos a dosis de 0.5, 1 y 1.5 kg ha⁻¹. Donde se reporta los siguientes resultados, con 0.5 kg ha⁻¹ = 90 mg kg⁻¹, con 1 kg ha⁻¹ = 120 mg kg⁻¹, y con 1.5 kg ha⁻¹ superiores a 150 mg kg⁻¹ en hojas. Además, se constató que el hierro tuvo mayor acumulación en las hojas debido a su baja movilidad dentro de la planta. Este aporte confirma que con la biofortificación con hierro (Fe) aumenta la concentración de hierro en las hojas. En esta investigación, el análisis mostró que las dosis D2 y D4 generaron un incremento significativo ($p < 0.05$) en la concentración foliar de hierro, con valores superiores a 300 mg kg⁻¹ (D2 = 314.7 mg kg⁻¹ y D4 = 315.6 mg kg⁻¹), mientras que D1 (171.0 mg kg⁻¹) y D3 (185.4 mg kg⁻¹) presentaron concentraciones menores y estadísticamente diferentes. En cuanto al efecto de la variedad, Kancolla alcanzó la mayor concentración foliar de Fe (274.5 mg kg⁻¹) en el segundo muestreo, seguida de Blanca de Juli y Altiplano, diferencias que fueron significativas solo en el segundo muestreo ($p < 0.05$). Para el zinc (Zn), la dosis tuvo un efecto altamente significativo ($p < 0.05$) en ambos muestreos, especialmente D3 y D4, que incrementaron notablemente la concentración foliar, alcanzando valores de hasta 422.2 mg kg⁻¹ en comparación con D1 (52.7 mg kg⁻¹). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre variedades para Zn foliar ($p > 0.05$), y no existió interacción dosis \times variedad, indicando que la respuesta depende principalmente de la dosis aplicada.

Por otro lado, Ram et al. (2024) en un estudio sobre la biofortificación agronómica en arroz (*Oryza sativa* L.) indicaron que la pulverización de zinc y hierro en cantidades de 0.5 a 2 kg ha⁻¹ eleva notablemente la cantidad de micronutrientes en las hojas, evidenciándose

incrementos continuos con las dosis administradas. Estos hallazgos son consistentes con la investigación actual, donde la concentración de ambos micronutrientes en las hojas también se incrementó.

Asimismo, Lázaro (2023) destaca la importancia de la biofortificación de cultivos para mejorar la nutrición humana y vegetal, señalando que el hierro (Fe) es esencial para la síntesis de clorofila y el zinc (Zn) para la activación enzimática. En su estudio con lechuga hidropónica, reportó concentraciones foliares de hierro (Fe) entre 150-350 mg kg⁻¹ y zinc (Zn) entre 100-400 mg kg⁻¹, incrementándose con la dosis aplicada. Estos aportes corroboran los resultados del presente trabajo, donde Kancolla alcanzó 356.0 mg kg⁻¹ Fe con la D2 y 352.0 mg kg⁻¹ con la D4 a nivel foliar y Blanca de Juli superó los 449.1 mg kg⁻¹ Zn foliar con la dosis D3, mostrando diferencias significativas ($p < 0.05$) y confirmando la efectividad de la biofortificación foliar con Fe y Zn.

5.2. Determinar la concentración de hierro (Fe) y zinc (Zn) en el grano de la quinua en tres variedades.

Hui et al. (2025) en un análisis exhaustivo sobre la biofortificación agronómica de cereales como el trigo, arroz y maíz, reportan que la aplicación de zinc en forma foliar en cantidades que oscilan entre 0.5 y 1.5 kg ha⁻¹ mejora notablemente el contenido de zinc en los granos. Durante su investigación, identificaron aumentos continuos, alcanzando alrededor de 30 mg por kg⁻¹ con dosis menores, 40 mg por kg⁻¹ con dosis intermedias y cifras superiores a 45 mg por kg⁻¹ con dosis elevadas. No obstante, el contenido de hierro no mostró un aumento significativo en los granos, debido a su baja capacidad de movilidad en la planta. En la presente investigación, se observó que las dosis de biofortificación no generaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en la concentración de hierro (Fe) en grano, con valores promedio de 51.6 a 53.1 mg kg⁻¹, lo que indica una limitada traslocación del hierro (Fe) desde las hojas hacia el grano. En cambio, el zinc (Zn) en grano sí mostró efecto significativo de las dosis (p

< 0.05), siendo la D3 (aplicación de Zn) la que presentó la mayor concentración (35.25 mg kg^{-1}), superando al control ($D1 = 31.57 \text{ mg kg}^{-1}$), con un incremento del 11.7 %. Las variedades no mostraron diferencias estadísticas para zinc (Zn), aunque Kancolla y Altiplano tendieron a mayores valores ($33\text{-}34 \text{ mg kg}^{-1}$). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Hui et al. (2025) en su análisis exhaustivo sobre la biofortificación agronómica de cereales como el trigo, arroz y maíz.

De igual manera, Velu et al. (2022) en un estudio sobre la biofortificación agronómica en trigo enriquecido señalaron que la aplicación foliar de zinc en cantidades cercanas a 1 kg ha^{-1} aumentó de manera significativa la concentración de Zn en el grano, mientras que el hierro mostró una escasa movilidad hacia las partes reproductivas. Los investigadores mencionan que el zinc se desplaza de manera efectiva a través del floema, lo que facilita su acumulación en el grano. Estos hallazgos están en línea con los resultados obtenidos en esta investigación.

Por último, Pal et al. (2019) encontraron que la combinación de ZnSO_4 al 0.5 % con urea en garbanzo incrementó el contenido de zinc (Zn) y hierro (Fe) en los granos hasta en un 33 %, evidenciando que la vía foliar puede ser efectiva, pero dependiente de la especie, forma química y etapa fenológica. En conjunto, los resultados de esta investigación indican que la biofortificación foliar con zinc (Zn) D3 ($0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Fe} + 1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Zn}$), logró incrementar en (35.2 mg/kg^{-1}), significativamente el contenido de zinc (Zn) en el grano de quinua ($p < 0.05$) sin afectar el rendimiento, mientras que el hierro (Fe) no mostró diferencias relevantes ($p > 0.05$), confirmando que la movilidad del hierro (Fe) hacia el grano es más limitada que la del zinc (Zn).

5.3. Evaluar el rendimiento de las tres variedades de quinua con la aplicación de hierro (Fe) y zinc (Zn).

García-Latorre et al. (2024) en una investigación sobre la mejora nutricional de la lechuga (*Lactuca sativa* L.), se reveló que la aplicación de hierro y zinc en hojas, en cantidades

de 0.5 a 2 kg ha⁻¹, elevó los niveles minerales sin alterar de manera considerable la producción del cultivo. Los investigadores mencionaron que, a pesar del incremento en los niveles de Zn y Fe, no se observaron variaciones estadísticamente significativas en la producción entre los diferentes tratamientos. En la presente investigación, los resultados del análisis estadístico mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre variedades, pero no entre dosis ($p > 0.05$) ni en la interacción variedad \times dosis ($p > 0.05$). La variedad Altiplano obtuvo el mayor rendimiento promedio (884.5 kg ha⁻¹), seguido por Blanca de Juli (574 kg ha⁻¹) y Kancolla (272.1 kg ha⁻¹). Esto indica que el rendimiento depende principalmente del genotipo y no de las dosis de biofortificación foliar aplicadas. Resultados similares fueron reportados por Chattha et al. (2017), quienes observaron que el incremento de rendimiento asociado a la aplicación de micronutrientes ocurre solo bajo condiciones de deficiencia o limitación edáfica. Por su parte, Dhaliwal et al. (2022) sostienen que la combinación de aplicación al suelo y foliar puede incrementar significativamente el rendimiento y el contenido de micronutrientes, recomendando integrar ambas vías para una mayor eficiencia agronómica. Por otro lado, Ram et al. (2024) en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) indica que la aplicación de zinc y hierro a través de las hojas eleva los niveles de micronutrientes, pero no se observan cambios significativos en el rendimiento, ya que los micronutrientes son necesarios en mínimas proporciones y su papel principal está vinculado más a la calidad nutricional que a la producción. Por tanto, los resultados del presente estudio confirman que la biofortificación foliar con Fe y Zn no afectó negativamente el rendimiento de la quinua ($p > 0.05$), manteniendo valores productivos estables y diferenciándose significativamente solo por variedad. Esto respalda la viabilidad de la biofortificación foliar como una estrategia eficiente para mejorar la calidad nutricional sin disminuir el rendimiento agrícola.

5.4. Sobre el efecto de la biofortificación con tres dosis de hierro y zinc en el contenido nutricional y rendimiento agronómico de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Will.*): Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli, cultivadas en el Fundo La Banda Huasacache, Arequipa.

Ram et al. (2024) en su investigación sobre la biofortificación agronómica en el arroz (*Oryza sativa L.*), se observó que aplicar hierro y zinc de manera foliar en cantidades de entre 0.5 y 2 kg ha⁻¹ aumentó de forma notable la cantidad de micronutrientes en las hojas y los granos, mientras que no se encontraron variaciones estadísticas en el rendimiento entre los diferentes tratamientos. Los investigadores señalan que la biofortificación con estos micronutrientes eleva la calidad nutricional sin alterar de manera significativa la producción del cultivo. En la presente investigación, la aplicación foliar de Fe y Zn produjo efectos positivos y estadísticamente significativos ($p < 0.05$) en la concentración foliar de ambos micronutrientes, con incrementos notables en las dosis D2 y D4 para hierro (Fe) y D3 y D4 para zinc (Zn).

En particular, las dosis D2 y D4 elevaron la concentración foliar de hierro por encima de 300 mg kg⁻¹ (D2 = 314.7 mg kg⁻¹; D4 = 315.6 mg kg⁻¹), mientras que el control D1 registró 171 mg kg⁻¹, representando un aumento del 84 % respecto al testigo. En cuanto al zinc, la dosis D3 alcanzó una concentración foliar de 422.2 mg kg⁻¹, significativamente superior ($p < 0.05$) a las demás dosis. La variedad Kancolla mostró el mayor contenido foliar de hierro (Fe) en (274.5 mg kg⁻¹) en el segundo muestreo, confirmando su mayor eficiencia de absorción y acumulación, aunque no se encontraron interacciones significativas en dosis \times variedad. Sin embargo, en la concentración de hierro (Fe) y zinc (Zn) en el grano, la respuesta fue diferenciada: mientras que el zinc (Zn) sí presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre dosis, con D3 = 35.25 mg kg⁻¹ frente a D1 = 31.57 mg kg⁻¹ (incremento del 11.7 %), el hierro (Fe) en grano no mostró variaciones significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos. Esto se debe

a la limitada movilidad del hierro (Fe) dentro de la planta y su baja traslocación hacia los órganos de reserva, suceso ampliamente documentado por Cakmak & Kutman (2018), quienes sostienen que el zinc (Zn) es más eficiente en el transporte hacia el grano a diferencia del hierro (Fe).

En cuanto al rendimiento del cultivo, no se evidenciaron diferencias significativas entre dosis ($p > 0.05$), pero sí entre variedades ($p < 0.05$) La variedad Altiplano obtuvo el rendimiento más alto (884.5 kg ha^{-1}), seguida por Blanca de Juli (574 kg ha^{-1}) y Kancolla (272.1 kg ha^{-1}), con diferencias entre la de mayor y menor productividad. Estos resultados concuerdan con Maqbool & Beshir (2019), quienes mencionan que la respuesta del rendimiento frente a la aplicación de micronutrientes depende principalmente de las características genéticas del cultivo y de las condiciones edáficas, más que del tipo de fertilizante foliar aplicado.

Del mismo modo, Dhaliwal et al. (2022) señalan que la combinación de aplicaciones foliares y al suelo puede optimizar la absorción y distribución de micronutrientes, favoreciendo tanto el rendimiento como la calidad nutricional. En este sentido, los resultados obtenidos confirman que la biofortificación foliar con hierro (Fe) y zinc (Zn) fue efectiva para mejorar la concentración foliar y el contenido de zinc (Zn) en grano, sin afectar el rendimiento. Por último, estos hallazgos respaldan lo expuesto por Preciado-Rangel et al. (2022) y Di Gioia et al. (2019), quienes demostraron que las aplicaciones foliares de micronutrientes en cultivos hortícolas aumentan la concentración mineral en los tejidos vegetales, con efectos significativos en zinc (Zn) y menores en hierro (Fe), pero sin comprometer la productividad del cultivo.

En conclusión, la biofortificación foliar aplicada en las tres variedades de quinua logró incrementar significativamente la concentración de Fe y Zn en hojas, mejorar el contenido de zinc (Zn) en grano ($p < 0.05$) y mantener el rendimiento estable, consolidándose como una estrategia viable para mejorar el valor nutricional del cultivo sin pérdidas agronómicas.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES

Bajo los resultados obtenidos en este trabajo de investigación se puede concluir con lo siguiente.

1. Sobre la biofortificación de tres dosis de hierro y zinc en tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa will.*) Altiplano, Kancolla y Blanca de Juli, en el fundo La Banda Huasacache-Arequipa.

La biofortificación foliar con hierro (Fe) y zinc (Zn) en las variedades de quinua Kancolla, Blanca de Juli y Altiplano evidenció efectos positivos en la concentración foliar de ambos micronutrientes y una respuesta significativa en el contenido de zinc del grano ($p < 0.05$), sin afectar negativamente el rendimiento. Las dosis D2 y D4 para hierro (Fe) y D3 para zinc (Zn) generaron los valores más altos en concentración foliar, alcanzando 314.7–315.6 mg kg⁻¹ de Fe y 422.2 mg kg⁻¹ de Zn, con incrementos de hasta 84 % sobre el control (D1). A nivel de grano, solo el zinc (Zn) mostró incremento significativo (11.7 % con la D3), mientras que el hierro (Fe) no presentó diferencias estadísticas ($p > 0.05$). El rendimiento fue determinado principalmente por la variedad ($p < 0.05$), siendo Altiplano la más productiva (884.5 kg ha⁻¹). Por tanto, se demuestra que la biofortificación foliar es una práctica agronómicamente viable y nutricionalmente efectiva para enriquecer el valor mineral de la quinua, en especial en zinc (Zn), sin complicar su productividad.

2. Sobre la concentración de Fe y Zn a nivel foliar después de dos aplicaciones en tres variedades.

Se concluye que la aplicación foliar con hierro y zinc modificó significativamente ($p < 0.05$) la concentración de estos elementos en el tejido foliar de quinua. Las dosis D2 (314.7 mg kg⁻¹) y D4 (315.6 mg kg⁻¹) incrementaron la concentración de Fe en un 84 % respecto al testigo (171 mg kg⁻¹), confirmando la alta eficiencia de la absorción foliar. La variedad Kancolla

alcanzó el mayor nivel de Fe foliar (274.5 mg kg^{-1}) en el segundo muestreo, mostrando diferencias significativas frente a las demás variedades. Para Zn, las dosis D3 (422.2 mg kg^{-1}) y D4 (410.5 mg kg^{-1}) fueron significativamente superiores ($p < 0.05$), mientras que no se evidenciaron diferencias varietales ni interacción dosis \times variedad. Estos resultados concuerdan con Ram et al. (2024) y Hao et al. (2021), los que afirman que la biofortificación agrícola con hierro y zinc a través de pulverización foliar aumenta notablemente los niveles de estos micronutrientes en las hojas, gracias a su rápida absorción y acumulación en los tejidos vegetales. De igual manera, se observaron variaciones entre las distintas variedades, lo que indica que la efectividad de la biofortificación está ligada al genotipo. Por tanto, la biofortificación foliar demostró ser altamente efectiva para mejorar el estatus nutricional foliar de la quinua, independientemente de la variedad.

3. Sobre la concentración de Fe y Zn en el grano de quinua en tres variedades.

Se concluye que el análisis de hierro (Fe) y zinc (Zn) en el grano reveló una respuesta diferenciada entre los dos micronutrientes. El hierro (Fe) no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos, con valores medios de $51.6 - 53.1 \text{ mg kg}^{-1}$, lo que confirma su baja movilidad y limitada traslocación hacia el grano. Por el contrario, el zinc (Zn) sí mostró efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$), destacando la dosis D3 (35.25 mg kg^{-1}) con un incremento del 11.7 % respecto al control ($D1 = 31.57 \text{ mg kg}^{-1}$). Estos resultados son consistentes con Velu et al. (2022) y Cakmak y Kutman (2018), quienes indican que el zinc (Zn) presenta mayor eficiencia de traslocación hacia los órganos de reserva, y con Cakmak & Kutman (2018), quienes explican que el hierro (Fe) suele acumularse en hojas y tallos más que en el grano. En consecuencia, la biofortificación foliar incrementó el contenido de zinc (Zn) en grano sin alterar el hierro (Fe), consolidando el zinc (Zn) como el elemento más sensible y eficiente ante este tipo de manejo.

4. Sobre el rendimiento de las tres variedades de quinua con la aplicación de hierro (Fe) y zinc (Zn).

El rendimiento del cultivo no fue influenciado significativamente por las dosis de biofortificación ($p > 0.05$), pero sí por la variedad ($p < 0.05$). La variedad Altiplano registró el mayor rendimiento (884.5 kg ha^{-1}), seguida de Blanca de Juli (574 kg ha^{-1}) y Kancolla (272.1 kg ha^{-1}), con diferencias entre la más y la menos productiva, estos cálculos se realizaron en cuanto al promedio de las dosis para no dejar de lado las diferentes respuestas de las dosis aplicadas, en cuanto al rendimiento general la variedad Kancolla obtuvo ($1088.5 \text{ kg ha}^{-1}$), Altiplano (3538 kg ha^{-1}) y Blanca de Juli ($2295.95 \text{ kg ha}^{-1}$). Estos resultados coinciden con lo reportado del INIA en cuanto a su rendimiento de estas 3 variedades, Kancolla (1.5 a 2 t/ha), Altiplano (3 t/ha) y Blanca de Juli (1.5 a 2 t/ha). Por otro lado, estos resultados concuerdan con Chattha et al. (2017) y Maqbool & Beshir (2019), quienes afirman que el rendimiento depende principalmente del genotipo y de las condiciones edáficas más que de las aplicaciones foliares de micronutrientes. Asimismo, Dhaliwal et al. (2022) destacan que la combinación de aplicaciones foliares y edáficas puede potenciar la productividad, recomendando evaluar esta estrategia en futuros ensayos. Por otro lado, García-Latorre et al. (2024) y Ram et al. (2024) indican que la biofortificación agrícola con micronutrientes aumenta la cantidad de minerales sin afectar de manera notable la producción, dado que estos nutrientes son necesarios en reducidas proporciones y su función principal está vinculada con la calidad nutricional del cultivo.

Por tanto, la biofortificación foliar con hierro (Fe) y zinc (Zn) no afectó el rendimiento de la quinua, lo que valida su uso como herramienta segura y complementaria dentro del manejo agronómico del cultivo.

CAPÍTULO VII

7. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar con ensayos para ajustar las dosis óptimas de hierro y zinc, especialmente para zinc, dado que la dosis D3 mostró un incremento significativo en la concentración de zinc en el grano. Esto permitirá maximizar la eficiencia de la biofortificación y potenciar su impacto nutricional sin afectar el rendimiento del cultivo.
2. Visto que la variedad Altiplano presentó mejor rendimiento, es recomendable promover su uso en sistemas de cultivo donde se busque combinar una producción estable con potencial mejora nutricional. La selección de la variedad adecuada es importante para lograr un equilibrio entre calidad nutricional y productividad agrícola.
3. La biofortificación agronómica de quinua con hierro y zinc debe integrarse en programas regionales y nacionales de seguridad alimentaria para combatir la anemia y deficiencias minerales en comunidades andinas. Esta estrategia es accesible, económica y compatible con prácticas agrícolas existentes, con el beneficio adicional de no comprometer la producción.

REFERENCIAS

1. Adu, M. O., Asare, P. A., Yawson, D. O., Nyarko, M. A., & Osei-Agyeman, K. (2018). Agronomic biofortification of selected underutilised solanaceae vegetables for improved dietary intake of potassium (K) in Ghana. *Heliyon*, 4(8), e00750. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00750>
2. Aguilar, R. (diciembre de 2020). *Inductores de defensa en el control del mildiu (Peronospora variabilis Gaum.) en el cultivo de quinua: Detección, epidemiología, síntomas, características y control*. Inductores de defensa en el control del mildiu (Peronospora variabilis Gaum.) en el cultivo de quinua: Detección, epidemiología, síntomas, características y control: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172020000400555
3. Alshaal, T., & El-Ramady, H. (2017). Foliar Application: From Plant Nutrition to Biofortification. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 1(2017), 71-83. <https://doi.org/10.21608/jenvbs.2017.1089.1006>
4. Andersson, M. S., Saltzman, A., Virk, P. S., & Pfeiffer, W. H. (2017). Progress update: Crop development of biofortified staple food crops under HarvestPlus. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 17(2), 11905-11935. <https://doi.org/10.18697/ajfand.78.HarvestPlus05>
5. Andrade, C. (2019). The P Value and Statistical Significance: Misunderstandings, Explanations, Challenges, and Alternatives. *Indian Journal of Psychological Medicine*, 41(3), 210-215. https://doi.org/10.4103/IJPSYM.IJPSYM_193_19
6. ANGEL MUJICA, J. I.-P. (15 de SETIEMBRE de 2022). *CAPITULO I. ORIGEN Y DESCRIPCION DE LA QUINUA*. CAPITULO I. ORIGEN Y DESCRIPCION DE LA QUINUA: <https://ciq.org.bo/wp-content/uploads/2022/09/16-LIBRO-Quinua-ancestral-cultivo-de-los-andes-r-miranda.pdf>
7. Araújo, S., & Balestrazzi, A. (2016). *New Challenges in Seed Biology: Basic and Translational Research Driving Seed Technology*. BoD – Books on Demand.

8. Avnee, Sood, S., Chaudhary, D. R., Jhorar, P., & Rana, R. S. (2023). Biofortification: An approach to eradicate micronutrient deficiency. *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1233070>
9. Bachewe, F., Genye, T., Girma, M., Samuel, A., Warner, J., & van Zyl, C. (2023). Biofortification in Ethiopia: Opportunities and Challenges. *Food and Nutrition Bulletin*, 44(3), 151-161. <https://doi.org/10.1177/03795721231188913>
10. Bhardwaj, A. K., Chejara, S., Malik, K., Kumar, R., Kumar, A., & Yadav, R. K. (2022). Agronomic biofortification of food crops: An emerging opportunity for global food and nutritional security. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1055278>
11. Bouis, H. E., & Saltzman, A. (2017). Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. *Global Food Security*, 12, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.009>
12. *BNFB – Hechos sobre la Biofortificación*. (s. f.). International Potato Center. Recuperado 26 de octubre de 2024, de <https://cipotato.org/es/bnfb/facts/>
13. Brown, K. H., Peerson, J. M., Baker, S. K., & Hess, S. Y. (2009). Preventive Zinc Supplementation among Infants, Preschoolers, and Older Prepubertal Children. *Food and Nutrition Bulletin*, 30(1_suppl1), S12-S40. <https://doi.org/10.1177/15648265090301S103>
14. Bustamante, E., Vásquez-Velásquez, C., Tapia, V., & Gonzales, G. F. (2025). La anemia en el Perú: ¿hay necesidad de suplementación y fortificación universal de alimentos con hierro? *Anales de la Facultad de Medicina*, 86(2), 212-221. <https://doi.org/10.15381/anales.v86i2.30580>

15. Cakmak, I., & Kutman, U. B. (2018). Agronomic biofortification of cereals with zinc: A review. *European Journal of Soil Science*, 69(1), 172-180. <https://doi.org/10.1111/ejss.12437>
16. Cerami, C. (2017). Iron Nutriture of the Fetus, Neonate, Infant, and Child. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 71(Suppl. 3), 8-14. <https://doi.org/10.1159/000481447>
17. Ciudad Reynaud, A. (2014). Requerimiento de micronutrientes y oligoelementos. *Revista Peruana de Ginecología y Obstetricia*, 60(2), 161-170.
18. Condori, A. (29 de AGOSTO de 2023). *FERTILIZACIÓN EDÁFICA CON ZINC Y HIERRO PARA LA BIOFORTIFICACIÓN EN ALFALFA (Medicago sativa L.) EN DOS TIPOS DE SUELOS ÁCIDO Y BÁSICO. FERTILIZACIÓN EDÁFICA CON ZINC Y HIERRO PARA LA BIOFORTIFICACIÓN EN ALFALFA (Medicago sativa L.) EN DOS TIPOS DE SUELOS ÁCIDO Y BÁSICO.:* <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/d3575f41-0348-4c4c-83ba-51675de01d87>
19. Chattha, M. U., Hassan, M. U., Khan, I., Chattha, M. B., Mahmood, A., Chattha, M. U., Nawaz, M., Subhani, M. N., Kharal, M., & Khan, S. (2017). Biofortification of Wheat Cultivars to Combat Zinc Deficiency. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00281>
20. Chia, S.-E., Ong, C.-N., Chua, L.-H., Ho, L.-M., & Tay, S.-K. (2000). Comparison of Zinc Concentrations in Blood and Seminal Plasma and the Various Sperm Parameters Between Fertile and Infertile Men. *Journal of Andrology*, 21(1), 53-57. <https://doi.org/10.1002/j.1939-4640.2000.tb03275.x>
21. Choukri, M., Abouabdillah, A., Bouabid, R., Abd-Elkader, O. H., Pacioglu, O., Boufahja, F., & Bouriou, M. (2022). Zn application through seed priming improves productivity and grain nutritional quality of silage corn. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(12), 103456. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103456>
22. Delgado, Y. O., & Silva, J. L. R. (s. f.). *GOBIERNO REGIONAL DE AREQUIPA GOBERNADORA REGIONAL.*

23. Dhaliwal, S. S., Sharma, V., Shukla, A. K., Kaur, J., Verma, V., Kaur, M., Singh, P., Brestic, M., Gaber, A., & Hossain, A. (2022). Interactive Effects of Molybdenum, Zinc and Iron on the Grain Yield, Quality, and Nodulation of Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in North-Western India. *Molecules*, 27(11), 3622. <https://doi.org/10.3390/molecules27113622>
24. Dhaliwal, S. S., Sharma, V., Shukla, A. K., Verma, V., Kaur, M., Shivay, Y. S., Nisar, S., Gaber, A., Brestic, M., Barek, V., Skalicky, M., Ondrisik, P., & Hossain, A. (2022). Biofortification—A Frontier Novel Approach to Enrich Micronutrients in Field Crops to Encounter the Nutritional Security. *Molecules*, 27(4), 1340. <https://doi.org/10.3390/molecules27041340>
25. Fallah, A., Mohammad-Hasani, A., & Colagar, A. H. (2018). Zinc is an Essential Element for Male Fertility: A Review of Zn Roles in Men's Health, Germination, Sperm Quality, and Fertilization. *Journal of Reproduction & Infertility*, 19(2), 69-81.
26. Farooq, M., Usman, M., Nadeem, F., Rehman, H. ur, Wahid, A., Basra, S. M. A., & Siddique, K. H. M. (2019). Seed priming in field crops: Potential benefits, adoption and challenges. *Crop & Pasture Science*, 70(9), 731-771. <https://doi.org/10.1071/CP18604>
27. Garcés, C. E. (14 de NOVIEMBRE de 2022). "BIOFORTIFICACIÓN DEL CULTIVO DE APIO (*Apium graveolens*) MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE YODO AGRÍCOLA". "BIOFORTIFICACIÓN DEL CULTIVO DE APIO (*Apium graveolens*) MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE YODO AGRÍCOLA": <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/36984/1/Tesis-338%20%20Ingenier%c3%ada%20Agron%c3%b3mica%20-%20Morales%20Garc%c3%a9s%20Christian%20Eliseo.pdf>
28. Garcia-Mazcorro, J. F., Mills, D., & Noratto, G. (2016). Molecular exploration of fecal microbiome in quinoa-supplemented obese mice. *FEMS Microbiology Ecology*, 92(7), fiw089. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw089>

29. Garg, M., Sharma, N., Sharma, S., Kapoor, P., Kumar, A., Chunduri, V., & Arora, P. (2018). Biofortified Crops Generated by Breeding, Agronomy, and Transgenic Approaches Are Improving Lives of Millions of People around the World. *Frontiers in Nutrition*, 5. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00012>
30. Garner, T. B., Hester, J. M., Carothers, A., & Diaz, F. J. (2021). Role of zinc in female reproduction. *Biology of Reproduction*, 104(5), 976-994. <https://doi.org/10.1093/biolre/ioab023>
31. Gupta, N., Ram, H., & Kumar, B. (2016). Mechanism of Zinc absorption in plants: Uptake, transport, translocation and accumulation. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 15(1), 89-109. <https://doi.org/10.1007/s11157-016-9390-1>
32. Hara, T., Yoshigai, E., Ohashi, T., & Fukada, T. (2023). Zinc in Cardiovascular Functions and Diseases: Epidemiology and Molecular Mechanisms for Therapeutic Development. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(8), 7152. <https://doi.org/10.3390/ijms24087152>
33. Hina, A., Abbasi, A., Imtiaz, S., Ul Haq, I., Ul Hassan, A., & Chaudhry, A. (2023). General Aspects of Genetic Improvement (Traditional and Transgenic Methods) Aiming to Food Biofortification. En M. A. Nadeem, F. S. Baloch, S. Fiaz, M. Aasim, E. Habyarimana, O. Sönmez, & N. Zencirci (Eds.), *Legumes Biofortification* (pp. 73-109). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-33957-8_4
34. *Historia de la quinua*. (s. f.). Recuperado 22 de septiembre de 2024, de <https://www.midagri.gob.pe/portal/444-granos-andinos/9380-historia-de-la-quinua>
35. Hirschi, K. D. (2009). Nutrient Biofortification of Food Crops. *Annual Review of Nutrition*, 29(Volume 29, 2009), 401-421. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-080508-141143>

36. Hussain, A., Jiang, W., Wang, X., Shahid, S., Saba, N., Ahmad, M., Dar, A., Masood, S. U., Imran, M., & Mustafa, A. (2022). Mechanistic Impact of Zinc Deficiency in Human Development. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.717064>
37. INEI. (2023). *Metodología del Indicador de Anemia en Niñas y Niños de 6 a 59 Meses*. Metodología del Indicador de Anemia en Niñas y Niños de 6 a 59 Meses: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6088704/5387581-metodologia-del-indicador-de-anemia.pdf>
38. INIA. (2013). *CATÁLOGO DE VARIEDADES COMERCIALES DE QUINUA EN EL PERÚ*. CATÁLOGO DE VARIEDADES COMERCIALES DE QUINUA EN EL PERÚ: https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/76/1/Apaza-Catalogo_de_variedades...quinua.pdf
39. INIA. (OCTUBRE de 2013). *CATÁLOGO DE VARIEDADES COMERCIALES DE QUINUA EN EL PERÚ*. CATÁLOGO DE VARIEDADES COMERCIALES DE QUINUA EN EL PERÚ: https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/76/1/Apaza-Catalogo_de_variedades...quinua.pdf
40. INIA. (SETIEMBRE de 2013). *INIA presenta nueva variedad de quinua con mayor rendimiento para la agroindustria*. INIA presenta nueva variedad de quinua con mayor rendimiento para la agroindustria: <https://www.midagri.gob.pe/portal/notas-de-prensa/notas-de-prensa-2013/9619-inia-presenta-nueva-variedad-de-quinua-con-mayor-rendimiento-para-la-agroindustria>
41. intagri. (13 de MAYO de 2022). *La Importancia del Zinc en las Plantas y su Dinámica en el Suelo*. La Importancia del Zinc en las Plantas y su Dinámica en el Suelo: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-importancia-del-zinc-en-las-plantas-y-su-dinamica-en-el-suelo>
42. Johnson, S. E., Lauren, J. G., Welch, R. M., & Duxbury, J. M. (2005). A COMPARISON OF THE EFFECTS OF MICRONUTRIENT SEED PRIMING AND SOIL FERTILIZATION ON THE MINERAL NUTRITION OF CHICKPEA (*Cicer arietinum*), LENTIL (*Lens culinaris*), RICE (*Oryza sativa*) AND WHEAT (*Triticum*

aestivum) IN NEPAL. *Experimental Agriculture*, 41(4), 427-448.

<https://doi.org/10.1017/S0014479705002851>

43. Julio vilca, G. c. (2013). *MANEJO INTEGRADO EN EL CULTIVO DE QUINUA*. MANEJO INTEGRADO EN EL CULTIVO DE QUINUA: <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/038-d-quinua.pdf>
44. Landázuri Abarca, P. A. (01 de MARZO de 2023). *Evaluación de la biofortificación con Fe aplicado a maíz dulce (Zea mays var. ADV9139)*. Evaluación de la biofortificación con Fe aplicado a maíz dulce (Zea mays var. ADV9139): <https://repositoriobe.espe.edu.ec/server/api/core/bitstreams/032705f0-dea1-4752-9396-3e33a93b9633/content>
45. LÁZARO, R. A. (16 de ENERO de 2023). "*BIOFORTIFICACIÓN DEL CULTIVO HIDROPÓNICO DE LA LECHUGA (Lactuca sativa L.) CON HIERRO*". "BIOFORTIFICACIÓN DEL CULTIVO HIDROPÓNICO DE LA LECHUGA (Lactuca sativa L.) CON HIERRO": <https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c3083725-322b-4ae4-9580-8b13d07f6f96/content>
46. Luz Gómez Pando, E. A. (MARZO de 2016). *Guía de cultivo de la quinua*. Guía de cultivo de la quinua: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/76594aca-c6a8-45e0-97db-39905cd72575/content>
47. Maqbool, M. A., & Beshir, A. (2019). Zinc biofortification of maize (Zea mays L.): Status and challenges. *Plant Breeding*, 138(1), 1-28. <https://doi.org/10.1111/pbr.12658>
48. Martens, D. C., & Westermann, D. T. (1991). Fertilizer Applications for Correcting Micronutrient Deficiencies. En *Micronutrients in Agriculture* (pp. 549-592). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.2136/sssabookser4.2ed.c15>
49. Melash, A. A., Mengistu, D. K., & Aberra, D. A. (2016). Linking Agriculture with Health through Genetic and Agronomic Biofortification. *Agricultural Sciences*, 7(5), 295-307. <https://doi.org/10.4236/as.2016.75029>

50. Merry, R., Dobbels, A. A., Sadok, W., Naeve, S., Stupar, R. M., & Lorenz, A. J. (2022). Iron deficiency in soybean. *Crop Science*, 62(1), 36-52. <https://doi.org/10.1002/csc2.20661>
51. Microbe-mediated biofortification for micronutrients: Present status and future challenges. (2020). En *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering* (pp. 1-17). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820528-0.00002-8>
52. Morrissey, J., & Guerinot, M. L. (2009). Iron uptake and transport in plants: The good, the bad, and the ionome. *Chemical reviews*, 109(10), 4553-4567. <https://doi.org/10.1021/cr900112r>
53. Nations, F. and A. O. of the U., Development, I. F. for A., Fund, U. N. I. C. E., Programme, W. F., & Organization, W. H. (2021). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2021: Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all*. Food & Agriculture Org.
54. Newell-McGloughlin, M. (2008). Nutritionally Improved Agricultural Crops. *Plant Physiology*, 147(3), 939-953. <https://doi.org/10.1104/pp.108.121947>
55. Niyigaba, E., Twizerimana, A., Mugenzi, I., Ngnadong, W. A., Ye, Y. P., Wu, B. M., & Hai, J. B. (2019). Winter Wheat Grain Quality, Zinc and Iron Concentration Affected by a Combined Foliar Spray of Zinc and Iron Fertilizers. *Agronomy*, 9(5), 250. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050250>
56. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: Biodiversidad de la Quinoa | Plataforma de información de la quinoa | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. (s. f.). Recuperado 28 de diciembre de 2025, de <https://www.fao.org/in-action/quinoa-platform/quinoa/biodiversidad-de-la-quinoa/es/>

57. Pal, V., Kaur, S., Sharma, V., Kaur, M., Verma, G., Sheoran, P., Bárek, V., Brestic, M., Parvez Kabir, Md., & Hossain, A. (2025). Agronomic biofortification with micronutrients: An efficient approach to increase nutritional quality in crops and combat hidden hunger. *Journal of Agriculture and Food Research*, 102465. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102465>
58. Pal, V., Singh, G., & Dhaliwal, S. S. (2019). Agronomic biofortification of chickpea with zinc and iron through application of zinc and urea. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(15), 1864-1877. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1648490>
59. Pasricha, S.-R., Tye-Din, J., Muckenthaler, M. U., & Swinkels, D. W. (2021). Iron deficiency. *The Lancet*, 397(10270), 233-248. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32594-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32594-0)
60. Pérez-Massot, E., Banakar, R., Gómez-Galera, S., Zorrilla-López, U., Sanahuja, G., Arjó, G., Miralpeix, B., Vamvaka, E., Farré, G., Rivera, S. M., Dashevskaya, S., Berman, J., Sabalza, M., Yuan, D., Bai, C., Bassie, L., Twyman, R. M., Capell, T., Christou, P., & Zhu, C. (2013). The contribution of transgenic plants to better health through improved nutrition: Opportunities and constraints. *Genes & Nutrition*, 8(1), 29-41. <https://doi.org/10.1007/s12263-012-0315-5>
61. PhD, A. D. (s. f.). 7.2 Prueba de Shapiro-Wilks | Métodos Cuantitativos. Recuperado 27 de octubre de 2025, de <https://bookdown.org/dietrichson/metodos-cuantitativos/test-de-normalidad.html>
62. Piskin, E., Cianciosi, D., Gulec, S., Tomas, M., & Capanoglu, E. (2022). Iron Absorption: Factors, Limitations, and Improvement Methods. *ACS Omega*, 7(24), 20441-20456. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c01833>

63. Poudel, P., Di Gioia, F., Lambert, J. D., & Connolly, E. L. (2023). Zinc biofortification through seed nutri-priming using alternative zinc sources and concentration levels in pea and sunflower microgreens. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1177844>
64. *Prueba de homogeneidad de Bartlett*. (s. f.). Recuperado 27 de octubre de 2025, de https://stattrek-com.translate.goog/anova/homogeneity/bartletts-test?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
65. Ramírez García, G. L., Estefano Quinto, M. F., & Dominguez Brito, L. D. (2018). *Características Funcionales y Nutricionales de la Quinoa y el Amaranto, para mejorar el estado Nutricional de los Preescolares en Ecuador*. <https://agris.fao.org/search/en/providers/125008/records/674897a77625988a371e290f>
66. Ramos, A. P., Guerrero, K. M. L., Romero, J. T., & Filho, J. F. L. (2016). Hydration kinetics of four quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 3(1), 23-33. <https://doi.org/10.23850/24220582.348>
67. Romero Sacoto, L. A., Gonzáles León, F. M., Abad Martínez, N. I., Ramírez Coronel, A. A., Guamán Gañay, M. I., Romero Sacoto, L. A., Gonzáles León, F. M., Abad Martínez, N. I., Ramírez Coronel, A. A., & Guamán Gañay, M. I. (2020). El zinc en el tratamiento de la talla baja. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(2), 341-349.
68. Rout, G. R., & Sahoo, S. (2015). ROLE OF IRON IN PLANT GROWTH AND METABOLISM. *Reviews in Agricultural Science*, 3, 1-24. <https://doi.org/10.7831/ras.3.1>
69. Salud, I. N. (04 de OCTUBRE de 2022). *Fortalecimiento del conocimiento y la comprensión de los suplementos dietéticos*. Fortalecimiento del conocimiento y la comprensión de los suplementos dietéticos: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Zinc-DatosEnEspañol/#:~:text=Ayuda%20al%20sistema%20inmunitario%20a,para%20crecer%20y%20desarrollarse%20bien>.

70. Sarwar, N., Imran, M., Shaheen, M. R., Ishaque, W., Kamran, M. A., Matloob, A., Rehim, A., & Hussain, S. (2017). Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. *Chemosphere*, *171*, 710-721. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.116>
71. Savithri, P., Perumal, R., & Nagarajan, R. (1998). Soil and crop management technologies for enhancing rice production under micronutrient constraints. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *53*(1), 83-92. <https://doi.org/10.1023/A:1009753729599>
72. Schmidt, W., Thomine, S., & Buckhout, T. J. (2020). Editorial: Iron Nutrition and Interactions in Plants. *Frontiers in Plant Science*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01670>
73. seipasa. (18 de FEBRERO de 2021). *El hierro en las plantas: por qué es importante ponerlo a disposición para corregir la clorosis férrica*. El hierro en las plantas: por qué es importante ponerlo a disposición para corregir la clorosis férrica: <https://www.seipasa.com/es/blog/hierro-en-las-plantas-y-correccion-de-la-clorosis-ferrica/#:~:text=El%20hierro%20en%20las%20plantas%20tiene%20como%20funci%C3%B3n%20principal%20la,la%20planta%20de%20producir%20clorofila>.
74. Sethuram, R., Bai, D., & Abu-Soud, H. M. (2022). Potential Role of Zinc in the COVID-19 Disease Process and its Probable Impact on Reproduction. *Reproductive Sciences*, *29*(1), 1-6. <https://doi.org/10.1007/s43032-020-00400-6>
75. Sinclair, S. A., & Krämer, U. (2012). The zinc homeostasis network of land plants. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research*, *1823*(9), 1553-1567. <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2012.05.016>
76. Stangoulis, J. C. R., & Knez, M. (2022). Biofortification of major crop plants with iron and zinc—Achievements and future directions. *Plant and Soil*, *474*(1), 57-76. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05330-7>
77. TECH, t. F. (24 de MAYO de 2024). *Nuevos enfoques en la biofortificación con hierro de cultivos básicos*. Nuevos enfoques en la biofortificación con hierro de cultivos

- básicos: <https://thefoodtech.com/nutricion-y-salud/nuevos-enfoques-en-la-biofortificacion-con-hierro-de-cultivos-basicos/>
78. U3—Tarea02—Manual—Parcela Dividida y Subdividida / PDF / Análisis de variación / Agricultura. (s. f.). Scribd. Recuperado 12 de noviembre de 2025, de <https://es.scribd.com/document/376634940/U3-Tarea02-Manual-Parcela-dividida-y-subdividida-docx>
79. ul din, K., Naeem, M. S., Zulifqar, U., Albadrani, G. M., Waraich, E. A., & Hussain, S. (2023). Nanoparticles Based Biofortification in Food Crops: Overview, Implications, and Prospects. En M. Hasanuzzaman, M. S. Tahir, M. Tanveer, & A. N. Shah (Eds.), *Mineral Biofortification in Crop Plants for Ensuring Food Security* (pp. 173-201). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-99-4090-5_8
80. Umair Hassan, M., Aamer, M., Umer Chattha, M., Haiying, T., Shahzad, B., Barbanti, L., Nawaz, M., Rasheed, A., Afzal, A., Liu, Y., & Guoqin, H. (2020). The Critical Role of Zinc in Plants Facing the Drought Stress. *Agriculture*, *10*(9), 396. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090396>
81. Van Der Straeten, D., Bhullar, N. K., De Steur, H., Gruissem, W., MacKenzie, D., Pfeiffer, W., Qaim, M., Slamet-Loedin, I., Strobbe, S., Tohme, J., Trijatmiko, K. R., Vanderschuren, H., Van Montagu, M., Zhang, C., & Bouis, H. (2020). Multiplying the efficiency and impact of biofortification through metabolic engineering. *Nature Communications*, *11*(1), 5203. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19020-4>
82. Wairich, A., Aung, M. S., Ricachenevsky, F. K., & Masuda, H. (2024). You can't always get as much iron as you want: How rice plants deal with excess of an essential nutrient. *Frontiers in Plant Science*, *15*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1381856>
83. Zulfiqar, U., Maqsood, M., Hussain, S., & Anwar-ul-Haq, M. (2020). Iron Nutrition Improves Productivity, Profitability, and Biofortification of Bread Wheat under

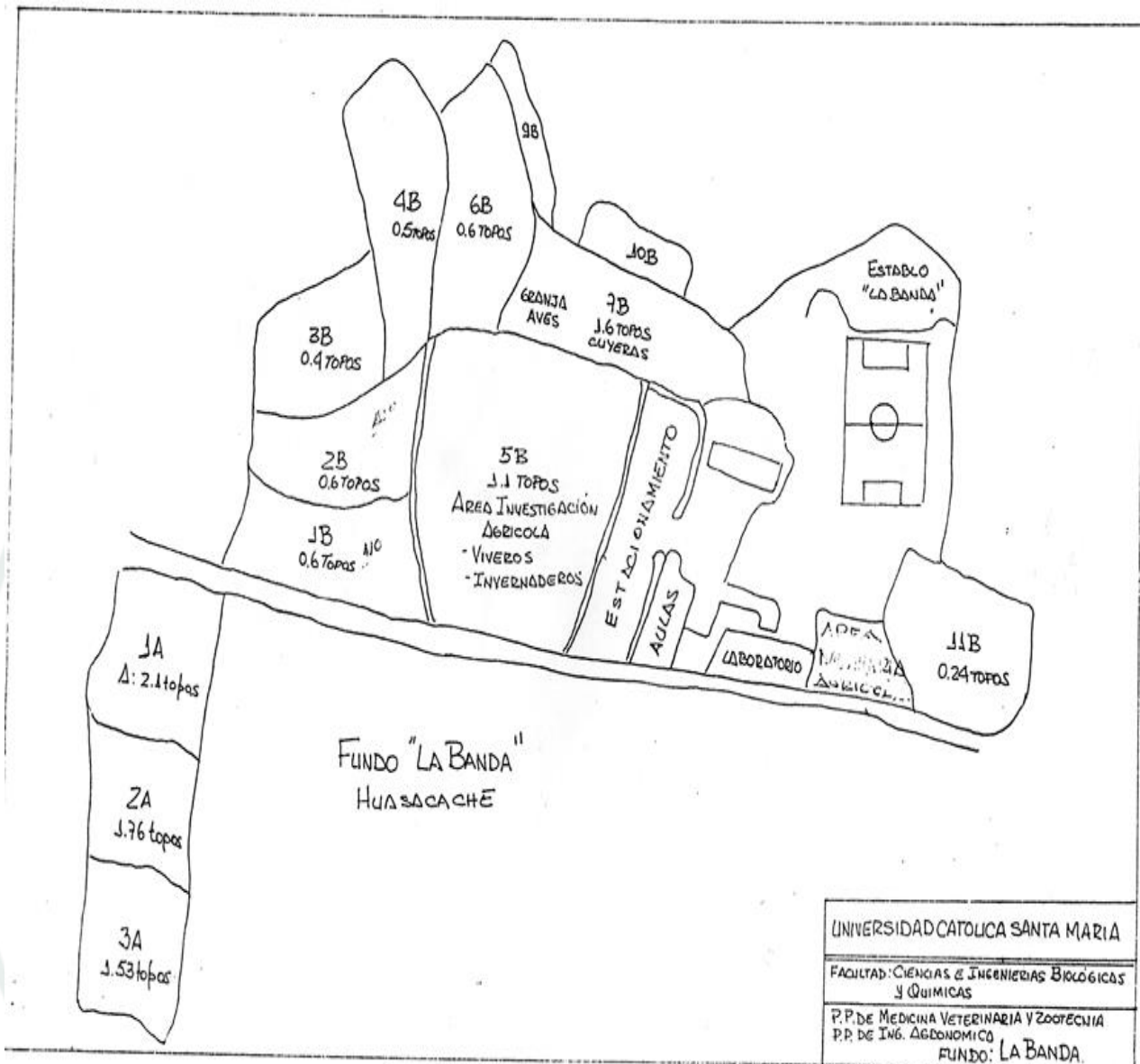
Conventional and Conservation Tillage Systems. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(3), 1298-1310. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00213-1>





ANEXOS

Anexo 1 Croquis del Fundo "LA BANDA HUASACACHE"



Anexo 2 Dosis de Hierro (Fe) y Zinc (Zn)



Anexo 3 Aplicación vía foliar de sulfato de hierro y zinc



Anexo 4 *Etapa de desarrollo de la inflorescencia o panoja*



Anexo 5 *Evaluación del estado vegetativo de la planta de quinua*



Anexo 6 Evaluación del contenido de clorofila



Anexo 7 Evaluación de la altura de la planta



Anexo 8 *Evaluación del diámetro del tallo*



Anexo 9 *Recojo de foliolos para su análisis en laboratorio*



Anexo 10 Envío de muestras (foliolos) al laboratorio



Anexo 11 Resultados del primer análisis foliar de la variedad Altiplano



VALLE GRANDE
Laboratorio de Química Agrícola

50 AÑOS
1965 - 2015

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ANÁLISIS N° : 1038-21F-40F-2024

CONTACTO : JORGE ARTURO ZEGARRA FLORES

LUGAR : AREQUIPA

MATRIZ : HOJAS DE QUINUA

FECHA DE RECEP. : 15/10/2024

INFORME DE ANÁLISIS : ESPECIAL

CÓDIGO LAB.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	Zn	Fe	UNIDAD
1038-21F-2024	ALTIPLANO - BI - D1	28.95	116.55	mg / Kg
1038-22F-2024	ALTIPLANO - BI - D2	31.40	119.95	mg / Kg
1038-23F-2024	ALTIPLANO - BI - D3	39.70	121.10	mg / Kg
1038-24F-2024	ALTIPLANO - BI - D4	36.75	128.35	mg / Kg
1038-25F-2024	ALTIPLANO - BII - D1	30.25	132.30	mg / Kg
1038-26F-2024	ALTIPLANO - BII - D2	40.85	142.20	mg / Kg
1038-27F-2024	ALTIPLANO - BII - D3	57.45	112.10	mg / Kg
1038-28F-2024	ALTIPLANO - BII - D4	46.80	120.65	mg / Kg
1038-29F-2024	ALTIPLANO - BIII - D1	29.60	112.70	mg / Kg
1038-30F-2024	ALTIPLANO - BIII - D2	32.95	124.40	mg / Kg
1038-31F-2024	ALTIPLANO - BIII - D3	77.15	129.15	mg / Kg
1038-32F-2024	ALTIPLANO - BIII - D4	33.15	109.95	mg / Kg
1038-33F-2024	ALTIPLANO - BIV - D1	35.45	107.60	mg / Kg
1038-34F-2024	ALTIPLANO - BIV - D2	33.75	115.35	mg / Kg
1038-35F-2024	ALTIPLANO - BIV - D3	64.65	112.05	mg / Kg
1038-36F-2024	ALTIPLANO - BIV - D4	58.95	146.50	mg / Kg
1038-37F-2024	ALTIPLANO - BV - D1	25.25	122.05	mg / Kg
1038-38F-2024	ALTIPLANO - BV - D2	24.20	117.70	mg / Kg
1038-39F-2024	ALTIPLANO - BV - D3	40.00	107.25	mg / Kg
1038-40F-2024	ALTIPLANO - BV - D4	45.45	116.40	mg / Kg

Los resultados están expresados en muestra seca.

Método y Técnica usada.

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quim. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 12 Resultados del primer análisis foliar de la variedad Blanca de Juli



SOLICITANTE : UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ANÁLISIS N° : 1038-41F-60F-2024

CONTACTO : JORGE ARTURO ZEGARRA FLORES

LUGAR : AREQUIPA

MATRIZ : HOJAS DE QUINUA

FECHA DE RECEP. : 15/10/2024

INFORME DE ANÁLISIS : ESPECIAL

CÓDIGO LAB.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	Zn	Fe	UNIDAD
1038-41F -2024	BLANCA DE JULI - BI - D1	26.30	115.30	mg / Kg
1038-42F -2024	BLANCA DE JULI - BI - D2	37.55	128.25	mg / Kg
1038-43F -2024	BLANCA DE JULI - BI - D3	44.60	131.20	mg / Kg
1038-44F -2024	BLANCA DE JULI - BI - D4	53.95	128.70	mg / Kg
1038-45F -2024	BLANCA DE JULI - BII - D1	39.65	117.65	mg / Kg
1038-46F -2024	BLANCA DE JULI - BII - D2	40.15	133.25	mg / Kg
1038-47F -2024	BLANCA DE JULI - BII - D3	50.55	118.60	mg / Kg
1038-48F -2024	BLANCA DE JULI - BII - D4	55.50	138.85	mg / Kg
1038-49F -2024	BLANCA DE JULI - BIII - D1	31.05	119.40	mg / Kg
1038-50F -2024	BLANCA DE JULI - BIII - D2	32.95	142.35	mg / Kg
1038-51F -2024	BLANCA DE JULI - BIII - D3	117.00	138.80	mg / Kg
1038-52F -2024	BLANCA DE JULI - BIII - D4	63.95	157.40	mg / Kg
1038-53F -2024	BLANCA DE JULI - BIV - D1	33.90	124.75	mg / Kg
1038-54F -2024	BLANCA DE JULI - BIV - D2	29.60	159.55	mg / Kg
1038-55F -2024	BLANCA DE JULI - BIV - D3	125.75	118.90	mg / Kg
1038-56F -2024	BLANCA DE JULI - BIV - D4	56.95	143.20	mg / Kg
1038-57F -2024	BLANCA DE JULI - BV - D1	28.65	125.85	mg / Kg
1038-58F -2024	BLANCA DE JULI - BV - D2	28.50	159.50	mg / Kg
1038-59F -2024	BLANCA DE JULI - BV - D3	156.75	133.75	mg / Kg
1038-60F -2024	BLANCA DE JULI - BV - D4	63.90	157.15	mg / Kg

Los resultados están expresados en muestra seca.

Método y Técnica usada.

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama

NOTA:

1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.

2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 13 Resultados del primer análisis foliar de la variedad Kancolla



SOLICITANTE : UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ANÁLISIS N° : 1038-01F-20F-2024

CONTACTO : JORGE ARTURO ZEGARRA FLORES

LUGAR : AREQUIPA

MATRIZ : HOJAS DE QUINUA

FECHA DE RECEP. : 15/10/2024

INFORME DE ANÁLISIS : ESPECIAL

CÓDIGO LAB.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	Zn	Fe	UNIDAD
1038-01F -2024	KANKOLLA - BI - D1	40.20	138.90	mg / Kg
1038-02F -2024	KANKOLLA - BI - D2	29.60	135.50	mg / Kg
1038-03F -2024	KANKOLLA - BI - D3	40.20	115.00	mg / Kg
1038-04F -2024	KANKOLLA - BI - D4	41.75	141.60	mg / Kg
1038-05F -2024	KANKOLLA - BII - D1	32.50	110.80	mg / Kg
1038-06F -2024	KANKOLLA - BII - D2	27.70	117.45	mg / Kg
1038-07F -2024	KANKOLLA - BII - D3	107.00	113.75	mg / Kg
1038-08F -2024	KANKOLLA - BII - D4	61.30	138.80	mg / Kg
1038-09F -2024	KANKOLLA - BIII - D1	28.25	117.90	mg / Kg
1038-10F -2024	KANKOLLA - BIII - D2	41.85	127.75	mg / Kg
1038-11F -2024	KANKOLLA - BIII - D3	41.30	95.50	mg / Kg
1038-12F -2024	KANKOLLA - BIII - D4	50.15	140.70	mg / Kg
1038-13F -2024	KANKOLLA - BIV - D1	29.75	113.95	mg / Kg
1038-14F -2024	KANKOLLA - BIV - D2	28.00	175.20	mg / Kg
1038-15F -2024	KANKOLLA - BIV - D3	56.10	116.25	mg / Kg
1038-16F -2024	KANKOLLA - BIV - D4	44.15	146.90	mg / Kg
1038-17F -2024	KANKOLLA - BV - D1	27.70	118.75	mg / Kg
1038-18F -2024	KANKOLLA - BV - D2	29.50	125.05	mg / Kg
1038-19F -2024	KANKOLLA - BV - D3	44.65	109.55	mg / Kg
1038-20F -2024	KANKOLLA - BV - D4	43.70	141.25	mg / Kg

Los resultados están expresados en muestra seca.

Método y Técnica usada.

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cafete, Lima - Perú
Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563
Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 14 Resultados del segundo análisis foliar de la variedad Altiplano



SOLICITANTE : UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ANÁLISIS N° : 1112-21F-40F-2024

CONTACTO JORGE ARTURO ZEGARRA FLORES

LUGAR : AREQUIPA

MATRIZ : HOJAS DE QUINUA

FECHA DE RECEP. : 09/11/2024

INFORME DE ANÁLISIS : ESPECIAL

CÓDIGO LAB.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	Zn	Fe	UNIDAD
1112-21F-2024	ALTIPLANO - BI-D1	56.50	162.20	mg / Kg
1112-22F-2024	ALTIPLANO - BI-D2	39.50	208.80	mg / Kg
1112-23F-2024	ALTIPLANO - BI-D3	430.96	179.50	mg / Kg
1112-24F-2024	ALTIPLANO - BI-D4	110.50	275.00	mg / Kg
1112-25F-2024	ALTIPLANO - BII-D1	34.60	139.30	mg / Kg
1112-26F-2024	ALTIPLANO - BII-D2	57.00	263.00	mg / Kg
1112-27F-2024	ALTIPLANO - BII-D3	244.98	152.80	mg / Kg
1112-28F-2024	ALTIPLANO - BII-D4	100.70	236.20	mg / Kg
1112-29F-2024	ALTIPLANO - BIII-D1	32.70	140.50	mg / Kg
1112-30F-2024	ALTIPLANO - BIII-D2	35.00	268.40	mg / Kg
1112-31F-2024	ALTIPLANO - BIII-D3	335.00	145.40	mg / Kg
1112-32F-2024	ALTIPLANO - BIII-D4	240.50	368.90	mg / Kg
1112-33F-2024	ALTIPLANO - BIV-D1	32.40	126.80	mg / Kg
1112-34F-2024	ALTIPLANO - BIV-D2	45.60	275.20	mg / Kg
1112-35F-2024	ALTIPLANO - BIV-D3	382.50	150.90	mg / Kg
1112-36F-2024	ALTIPLANO - BIV-D4	138.30	257.00	mg / Kg
1112-37F-2024	ALTIPLANO - BV-D1	30.40	152.40	mg / Kg
1112-38F-2024	ALTIPLANO - BV-D2	34.40	295.00	mg / Kg
1112-39F-2024	ALTIPLANO - BV-D3	485.00	157.60	mg / Kg
1112-40F-2024	ALTIPLANO - BV-D4	110.90	215.80	mg / Kg

Los resultados estan expresados en muestra seca.

Método y Técnica usada.

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú
Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563
Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 15 Resultados del segundo análisis foliar de la variedad Blanca de Juli



SOLICITANTE : UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ANÁLISIS N° : 1112-01F-20F-2024

CONTACTO : JORGE ARTURO ZEGARRA FLORES

LUGAR : AREQUIPA

MATRIZ : HOJAS DE QUINUA

FECHA DE RECEP. : 09/11/2024

INFORME DE ANÁLISIS : ESPECIAL

CÓDIGO LAB.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	Zn	Fe	UNIDAD
1112-01F-2024	BLANCA DE JULI - BI -D1	31.40	190.10	mg / Kg
1112-02F-2024	BLANCA DE JULI - BI -D2	63.10	249.00	mg / Kg
1112-03F-2024	BLANCA DE JULI - BI -D3	160.20	206.70	mg / Kg
1112-04F-2024	BLANCA DE JULI - BI -D4	117.20	250.90	mg / Kg
1112-05F-2024	BLANCA DE JULI - BII -D1	38.30	132.90	mg / Kg
1112-06F-2024	BLANCA DE JULI - BII -D2	37.80	382.30	mg / Kg
1112-07F-2024	BLANCA DE JULI - BII -D3	726.00	142.00	mg / Kg
1112-08F-2024	BLANCA DE JULI - BII -D4	537.95	301.50	mg / Kg
1112-09F-2024	BLANCA DE JULI - BIII -D1	38.10	148.80	mg / Kg
1112-10F-2024	BLANCA DE JULI - BIII -D2	62.10	390.30	mg / Kg
1112-11F-2024	BLANCA DE JULI - BIII -D3	460.95	195.30	mg / Kg
1112-12F-2024	BLANCA DE JULI - BIII -D4	312.97	350.60	mg / Kg
1112-13F-2024	BLANCA DE JULI - BIV -D1	244.98	179.00	mg / Kg
1112-14F-2024	BLANCA DE JULI - BIV -D2	39.60	327.50	mg / Kg
1112-15F-2024	BLANCA DE JULI - BIV -D3	550.00	149.50	mg / Kg
1112-16F-2024	BLANCA DE JULI - BIV -D4	274.64	364.40	mg / Kg
1112-17F-2024	BLANCA DE JULI - BV -D1	29.10	148.50	mg / Kg
1112-18F-2024	BLANCA DE JULI - BV -D2	32.10	280.80	mg / Kg
1112-19F-2024	BLANCA DE JULI - BV -D3	348.30	157.40	mg / Kg
1112-20F-2024	BLANCA DE JULI - BV -D4	250.97	354.50	mg / Kg

Los resultados están expresados en muestra seca.

Método y Técnica usada.

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú
Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563
Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 16 Resultados del segundo análisis foliar de la variedad Kancolla



VALLE GRANDE
Laboratorio de Química Agrícola

50 AÑOS
1965 - 2015

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ANÁLISIS N° : 1112-41F-60F-2024

CONTACTO : JORGE ARTURO ZEGARRA FLORES

LUGAR : AREQUIPA

MATRIZ : HOJAS DE QUINUA

FECHA DE RECEP. : 09/11/2024

INFORME DE ANÁLISIS : ESPECIAL

CÓDIGO LAB.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	Zn	Fe	UNIDAD
1112-41F-2024	KANCOLLA - BI-D1	42.00	144.40	mg / Kg
1112-42F-2024	KANCOLLA - BI-D2	45.00	334.10	mg / Kg
1112-43F-2024	KANCOLLA - BI-D3	229.50	143.20	mg / Kg
1112-44F-2024	KANCOLLA - BI-D4	372.50	400.00	mg / Kg
1112-45F-2024	KANCOLLA - BII-D1	48.00	186.40	mg / Kg
1112-46F-2024	KANCOLLA - BII-D2	35.30	368.50	mg / Kg
1112-47F-2024	KANCOLLA - BII-D3	606.00	173.00	mg / Kg
1112-48F-2024	KANCOLLA - BII-D4	137.30	321.60	mg / Kg
1112-49F-2024	KANCOLLA - BIII-D1	37.00	186.80	mg / Kg
1112-50F-2024	KANCOLLA - BIII-D2	41.90	241.40	mg / Kg
1112-51F-2024	KANCOLLA - BIII-D3	457.00	164.60	mg / Kg
1112-52F-2024	KANCOLLA - BIII-D4	121.30	308.10	mg / Kg
1112-53F-2024	KANCOLLA - BIV-D1	50.10	226.30	mg / Kg
1112-54F-2024	KANCOLLA - BIV-D2	101.90	499.50	mg / Kg
1112-55F-2024	KANCOLLA - BIV-D3	469.00	246.50	mg / Kg
1112-56F-2024	KANCOLLA - BIV-D4	309.00	402.30	mg / Kg
1112-57F-2024	KANCOLLA - BV-D1	44.40	300.00	mg / Kg
1112-58F-2024	KANCOLLA - BV-D2	60.40	336.60	mg / Kg
1112-59F-2024	KANCOLLA - BV-D3	448.00	178.40	mg / Kg
1112-60F-2024	KANCOLLA - BV-D4	245.50	327.80	mg / Kg

Los resultados están expresados en muestra seca.

Método y Técnica usada.

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama

NOTA:

1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.

2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quim. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

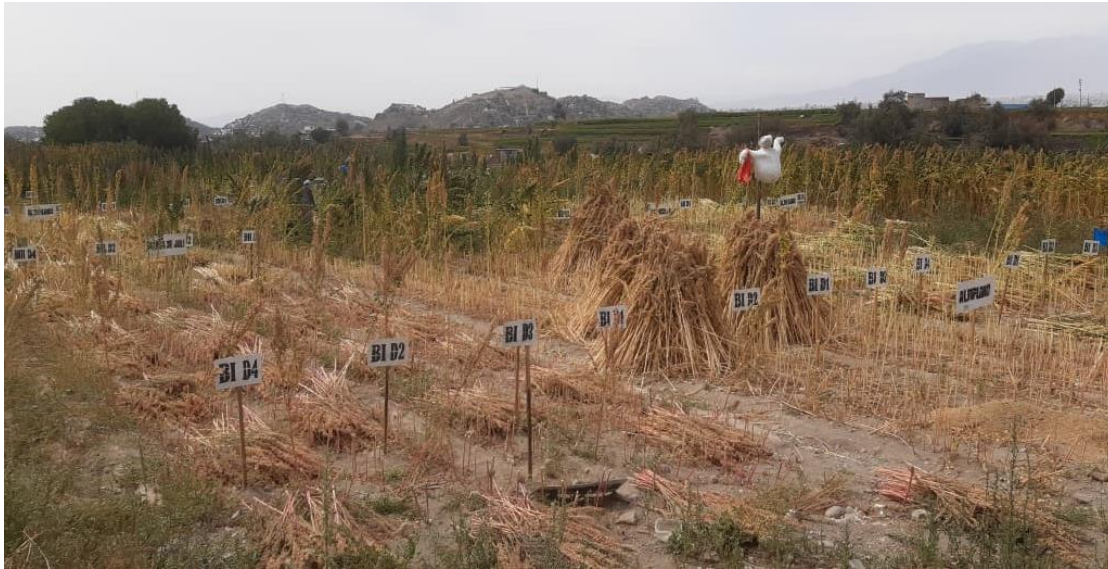
Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 17 *Corte de la quinua*



Anexo 18 *Secado de la quinua en el invernadero*



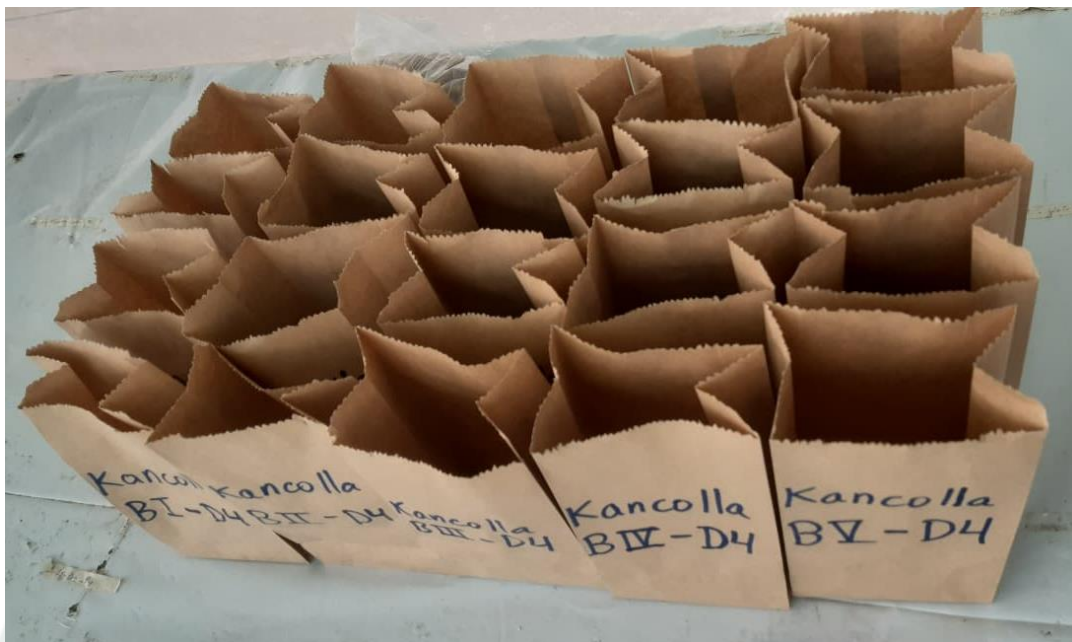
Anexo 19 *Ventado del grano de la quinua*



Anexo 20 *Pesado del grano de la quinua*



Anexo 21 Bolseado del grano de la quinua (cada bloque y su dosis)



Anexo 22 Empaquetado de las muestras del grano de quinua para su envío a laboratorio



Anexo 23 *Envío de las muestras a laboratorio*



Anexo 24 Resultados de la concentración de hierro y zinc en grano (variedad Altiplano)



SOLICITANTE : UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ANÁLISIS N° : 151-41F-80F-2025

CONTACTO : JORGE ARTURO ZEGARRA FLORES

LUGAR : AREQUIPA

MATRIZ : SEMILLA DE QUINUA

FECHA DE RECEP. : 12/02/2025

INFORME DE ANÁLISIS : ESPECIAL

CÓDIGO LAB.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	Zn	Fe	UNIDAD
151-41FRUT -2025	ALTIPLANO - B I - D1	27.80	45.30	mg / Kg
151-42FRUT -2025	ALTIPLANO - B I - D2	26.80	38.60	mg / Kg
151-43FRUT -2025	ALTIPLANO - B I - D3	36.20	47.35	mg / Kg
151-44FRUT -2025	ALTIPLANO - B I - D4	26.95	42.95	mg / Kg
151-45FRUT -2025	ALTIPLANO - B II - D1	29.55	56.45	mg / Kg
151-46FRUT -2025	ALTIPLANO - B II - D2	31.75	51.10	mg / Kg
151-47FRUT -2025	ALTIPLANO - B II - D3	35.35	49.25	mg / Kg
151-48FRUT -2025	ALTIPLANO - B II - D4	38.70	61.10	mg / Kg
151-49FRUT -2025	ALTIPLANO - B III - D1	32.25	47.05	mg / Kg
151-50FRUT -2025	ALTIPLANO - B III - D2	31.05	61.10	mg / Kg
151-51FRUT -2025	ALTIPLANO - B III - D3	28.85	33.15	mg / Kg
151-52FRUT -2025	ALTIPLANO - B III - D4	26.35	32.60	mg / Kg
151-53FRUT -2025	ALTIPLANO - B IV - D1	31.60	42.20	mg / Kg
151-54FRUT -2025	ALTIPLANO - B IV - D2	42.10	53.50	mg / Kg
151-55FRUT -2025	ALTIPLANO - B IV - D3	41.50	49.90	mg / Kg
151-56FRUT -2025	ALTIPLANO - B IV - D4	35.50	49.30	mg / Kg
151-57FRUT -2025	ALTIPLANO - B V - D1	36.25	47.15	mg / Kg
151-58FRUT -2025	ALTIPLANO - B V - D2	34.90	46.20	mg / Kg
151-59FRUT -2025	ALTIPLANO - B V - D3	41.40	48.55	mg / Kg
151-60FRUT -2025	ALTIPLANO - B V - D4	34.90	49.15	mg / Kg

Los resultados están expresados en muestra seca.

Método y Técnica usada.

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 25 Resultados de la concentración de hierro y zinc en grano (variedad Kancolla)



SOLICITANTE : UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ANÁLISIS Nº : 151-21F-40F-2025

CONTACTO : JORGE ARTURO ZEGARRA FLORES

LUGAR : AREQUIPA

MATRIZ : SEMILLA DE QUINUA

FECHA DE RECEP. : 12/02/2025

INFORME DE ANÁLISIS : ESPECIAL

CÓDIGO LAB.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	Zn	Fe	UNIDAD
151-21FRUT -2025	KANCOLLA - B I - D1	22.45	37.95	mg / Kg
151-22FRUT -2025	KANCOLLA - B I - D2	21.20	43.90	mg / Kg
151-23FRUT -2025	KANCOLLA - B I - D3	22.90	45.65	mg / Kg
151-24FRUT -2025	KANCOLLA - B I - D4	26.50	45.35	mg / Kg
151-25FRUT -2025	KANCOLLA - B II - D1	31.50	54.60	mg / Kg
151-26FRUT -2025	KANCOLLA - B II - D2	30.80	54.85	mg / Kg
151-27FRUT -2025	KANCOLLA - B II - D3	34.75	48.60	mg / Kg
151-28FRUT -2025	KANCOLLA - B II - D4	31.15	47.85	mg / Kg
151-29FRUT -2025	KANCOLLA - B III - D1	34.15	72.50	mg / Kg
151-30FRUT -2025	KANCOLLA - B III - D2	34.20	67.85	mg / Kg
151-31FRUT -2025	KANCOLLA - B III - D3	35.60	68.55	mg / Kg
151-32FRUT -2025	KANCOLLA - B III - D4	33.80	66.10	mg / Kg
151-33FRUT -2025	KANCOLLA - B IV - D1	37.25	64.65	mg / Kg
151-34FRUT -2025	KANCOLLA - B IV - D2	36.60	55.95	mg / Kg
151-35FRUT -2025	KANCOLLA - B IV - D3	28.00	52.95	mg / Kg
151-36FRUT -2025	KANCOLLA - B IV - D4	33.85	57.70	mg / Kg
151-37FRUT -2025	KANCOLLA - B V - D1	43.10	60.35	mg / Kg
151-38FRUT -2025	KANCOLLA - B V - D2	43.55	67.70	mg / Kg
151-39FRUT -2025	KANCOLLA - B V - D3	50.60	76.95	mg / Kg
151-40FRUT -2025	KANCOLLA - B V - D4	44.85	70.45	mg / Kg

Los resultados están expresados en muestra seca.

Método y Técnica usada.

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

**MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO**



**MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO**

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 26 Resultados de la concentración de hierro y zinc (en grano) variedad Blanca de Juli



SOLICITANTE : UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ANÁLISIS N° : 151-01F-20F-2025

CONTACTO : JORGE ARTURO ZEGARRA FLORES

LUGAR : AREQUIPA

MATRIZ : SEMILLA DE QUINUA

FECHA DE RECEP. : 12/02/2025

INFORME DE ANÁLISIS : ESPECIAL

CÓDIGO LAB.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	Zn	Fe	UNIDAD
151-01FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B I - D1	20.80	50.45	mg / Kg
151-02FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B I - D2	32.65	42.95	mg / Kg
151-03FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B I - D3	30.40	41.50	mg / Kg
151-04FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B I - D4	28.50	43.35	mg / Kg
151-05FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B II - D1	27.25	38.20	mg / Kg
151-06FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B II - D2	23.70	42.05	mg / Kg
151-07FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B II - D3	35.60	56.80	mg / Kg
151-08FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B II - D4	28.55	44.95	mg / Kg
151-09FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B III - D1	30.80	48.80	mg / Kg
151-10FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B III - D2	34.90	51.60	mg / Kg
151-11FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B III - D3	27.80	39.40	mg / Kg
151-12FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B III - D4	31.25	47.85	mg / Kg
151-13FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B IV - D1	37.85	55.55	mg / Kg
151-14FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B IV - D2	35.85	52.40	mg / Kg
151-15FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B IV - D3	42.25	85.35	mg / Kg
151-16FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B IV - D4	33.10	50.35	mg / Kg
151-17FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B V - D1	30.90	52.45	mg / Kg
151-18FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B V - D2	26.90	49.40	mg / Kg
151-19FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B V - D3	37.50	52.25	mg / Kg
151-20FRUT-2025	BLANCA DE JULI - B V - D4	29.45	48.25	mg / Kg

Los resultados están expresados en muestra seca.

Método y Técnica usada.

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú
Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563
Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe