

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Biológicas y Químicas
Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica y Agrícola



Efecto de fertilización foliar ZN y FE sobre el rendimiento en cuatro variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) bajo condiciones edafoclimáticas en Huasacache - Arequipa

Tesis presentada por el Bachiller:

Cornejo Quilca, Francisco Hilario

ORCID: 0009-0007-4615-1751

para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y Agrícola

Asesor (a):

Dr. Zegarra Flores, Jorge Arturo

ORCID: 0000-0002-5430-4283

Arequipa - Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AGRONOMICA Y AGRICOLA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 13 de Octubre del 2024

Dictamen: 006676-C-EPIAyA-2024

Visto el borrador del expediente 006676, presentado por:

2017242871 - CORNEJO QUILCA FRANCISCO HILARIO

Titulado:

**EFFECTO DE FERTILIZACIÓN FOLIAR ZN Y FE SOBRE EL RENDIMIENTO EN CUATRO
VARIEDADES DE ALFALFA (MEDICAGO SATIVA L.) BAJO CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS EN
HUASACACHE - AREQUIPA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

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

INGENIERO AGRONOMO Y AGRÍCOLA

**30675663 - STRETZ CHAVEZ HUMBERTO JOSE
DICTAMINADOR**



**29568810 - COLOMA DONGO FROY ENGELBERT
DICTAMINADOR**



**29500662 - DIAZ VENTO INGRIND MIRNA
DICTAMINADOR**



Efecto de fertilización foliar ZN y FE sobre el rendimiento en cuatro variedades de alfalfa (Medicago sativa L.) bajo condiciones edafoclimáticas en Huasacache - Arequipa

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

16%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	12%
	Trabajo del estudiante	

2	repositorio.ucsm.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	

3	dspace.unza.zm	1%
	Fuente de Internet	

4	journals.wsrpublishing.com	1%
	Fuente de Internet	

5	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	

6	repositorio.untrm.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	

7	repositorio.umsa.bo	1%
	Fuente de Internet	

8	1library.co	1%
	Fuente de Internet	

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres y abuelos, quienes siempre han estado a mi lado, brindándome su apoyo y sacrificio a lo largo de todos estos años. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la constancia. Este logro es tan mío como de ustedes.

A mis amigos, quienes, con su paciencia, me acompañaron en los momentos más difíciles y frustrantes de este camino académico. A aquellos que creyeron en mí cuando más lo necesitaba, su fe me dio la fuerza para seguir adelante.

A los miembros del jurado, quienes dedicaron su tiempo a revisar este trabajo de investigación y brindaron su orientación para elevar la calidad de mi presentación. También quiero expresar mi gratitud a Dios y a la Virgen de La Merced.



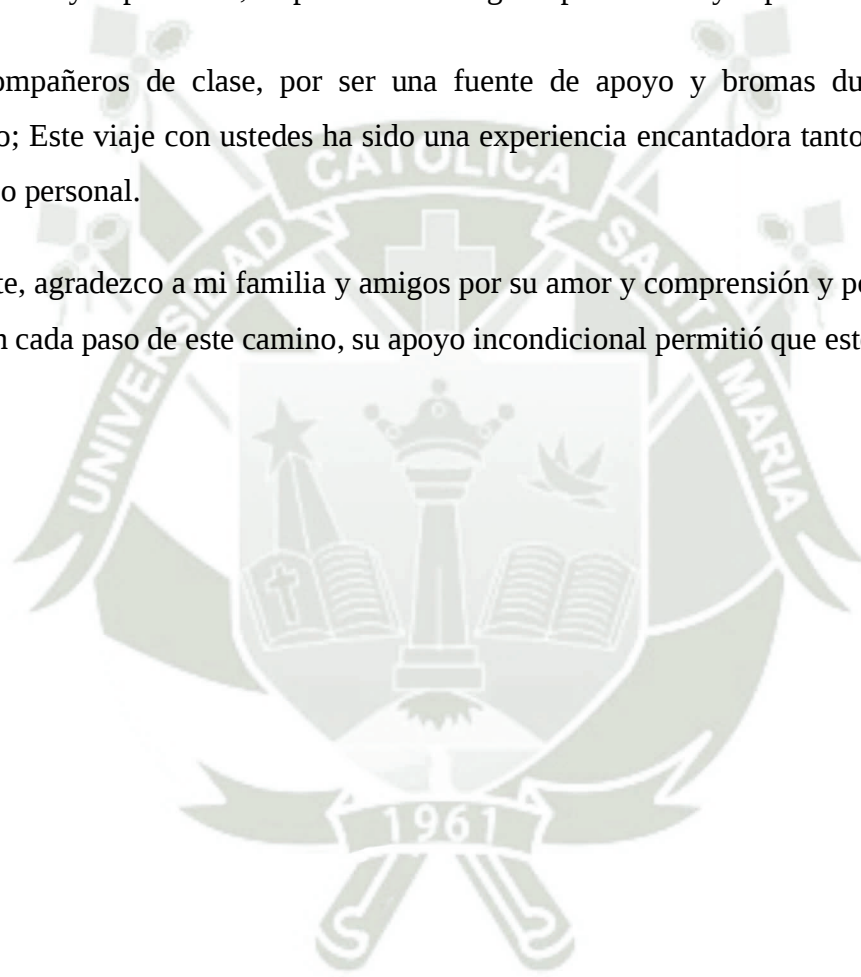
AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor de tesis, Ing. Jorge Zegarra, por su guía y sus valiosos consejos durante el proceso de investigación. Su dedicación y conocimientos han sido importante para la culminación de este proyecto.

A mis profesores, quienes a lo largo de mi formación académica han compartido sus conocimientos y experiencia, inspirándome a seguir aprendiendo y superándome cada día.

A mis compañeros de clase, por ser una fuente de apoyo y bromas durante mi tiempo académico; Este viaje con ustedes ha sido una experiencia encantadora tanto en lo académico como en lo personal.

Finalmente, agradezco a mi familia y amigos por su amor y comprensión y por estar siempre a mi lado en cada paso de este camino, su apoyo incondicional permitió que este logro se realice.



RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el campo experimental Fundo la Banda en Huasacache perteneciente a la Universidad Católica de Santa María, distrito de Hunter, provincia y departamento de Arequipa para realizar la evaluación de biofortificación de hierro y zinc en cuatro tipos de variedades de alfalfa (*Medicago sativa L.*). La siguiente investigación se empleó un diseño completo al azar con bloques (DBCA), con arreglo de parcelas divididas con dos factores: Variedades de alfalfa (Cuf 101, Moapa 69, California 55 y Yaragua), cuatro dosis de aplicación foliar: D1 (0 kg Zn ha⁻¹ + 0 kg Fe ha⁻¹), D2 (2 kg Zn ha⁻¹ + 0 kg Fe ha⁻¹), D3 (0 kg Zn ha⁻¹ + 2 kg Fe ha⁻¹) y D4 (2 kg Zn ha⁻¹ + 2 kg Fe ha⁻¹); el diseño experimental contó con 5 bloques por cada tratamiento, El objetivo del trabajo de investigación fue evaluar los efectos de cada factor entre variedades de alfalfa y dosis en los niveles de concentración, producción de biomasa forrajera (materia fresca, materia seca y porcentaje de materia seca) y características biométricas. Se realizó cuatro evaluaciones cada 40 días. Los resultados mostraron en rendimiento, la aplicación foliar de 2 kg ha⁻¹ de hierro produjo un aumento en el cultivo de alfalfa con un valor máximo de 3 313.3 kg ha⁻¹ en el primer corte, en el segundo y tercer corte solo se obtuvo un aumento numérico sin significancia estadística, de la misma forma la variedad Yaragua obtuvo el mayor rendimiento, respecto al nivel de concentración de zinc y hierro en las plantas de alfalfa se concluye que la aplicación combinada elevó la concentración, adicionalmente la variedad Cuf 101 mostró los valores más altos de concentración y relacionando a los parámetros biométricos para altura de planta no se encontró significancia estadística a excepción de la variedad Yaragua en el segundo corte (65 cm), para el número de tallos se encontró que la variedad Cuf 101 obtuvo los valores más altos en los tres cortes y para número de hojas en planta se concluye que la variedad Moapa 69 obtuvo los valores más altos.

Palabras clave: Biofortificación, Alfalfa, Zinc, Hierro, Aplicación foliar.

ABSTRACT

The present work was carried out in the experimental field Fundo la Banda in Huasacache belonging to the Catholic University of Santa María, Hunter district, province and department of Arequipa to carry out the evaluation of iron and zinc biofortification in four types of alfalfa varieties (*Medicago sativa L.*). The following investigation used a complete randomized block design (DBCA), with a divided plot arrangement with two factors: Alfalfa varieties (Cuf 101, Moapa 69, California 55 and Yaragua), four foliar application doses: D1 (0 kg Zn ha⁻¹ + 0 kg Fe ha⁻¹), D2 (2 kg Zn ha⁻¹ + 0 kg Fe ha⁻¹), D3 (0 kg Zn ha⁻¹ + 2 kg Fe ha⁻¹) and D4 (2 kg Zn ha⁻¹ + 2 kg Fe ha⁻¹); The experimental design had 5 blocks for each treatment. The objective of the research work was to evaluate the effects of each factor between alfalfa varieties and doses on the concentration levels, production of forage biomass (fresh matter, dry matter and percentage of seca) and biometric characteristics. Four evaluations were carried out every 40 days. The results showed in yield, the foliar application of 2 kg ha⁻¹ of iron produced an increase in the alfalfa crop with a maximum value of 3 313.3 kg ha⁻¹ in the first cut, in the second and third cuts only a numerical increase without statistical significance, in the same way the Yaragua variety obtained the highest yield, with respect to the level of zinc and iron concentration in the alfalfa plants, it is concluded that the combined application increased the concentration, additionally the variety Cuf 101 showed the higher concentration values and relating to the biometric parameters for plant height, no statistical significance was found except for the Yaragua variety in the second cut (65 cm), for the number of stems it was found that the variety Cuf 101 obtained the values highest in the three cuts and for the number of leaves on the plant, it is concluded that the variety Moapa 69 obtained the highest values.

Keywords: Biofortification, Alfalfa, Zinc, Iron, Foliar application.

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..... 2

1.3.1 Aspecto general..... 2

1.3.2 Aspecto tecnológico 2

1.3.3 Aspecto social 2

1.3.4 Aspecto económico 2

1.3.5 Importancia..... 3

1.4 Objetivos 3

1.4.1 Objetivo general 3

1.4.2 Objetivos específicos..... 3

1.5 Hipótesis..... 3

CAPÍTULO II 4

2. MARCO TEÓRICO 4

2.1 Análisis bibliográfico 4

2.1.1 Biofortificación de cultivos..... 4

2.1.2 La nutrición en el Perú 5

2.1.3 Efectos del microelemento zinc en humanos 5

2.1.4 Efectos del microelemento hierro en humanos 6

2.1.5 Cultivo de alfalfa..... 6

2.1.6 Variedades en estudio..... 7

2.1.7 El zinc en la planta 7

2.1.8 El hierro en la planta 8

2.1.9 Fertilización foliar 9

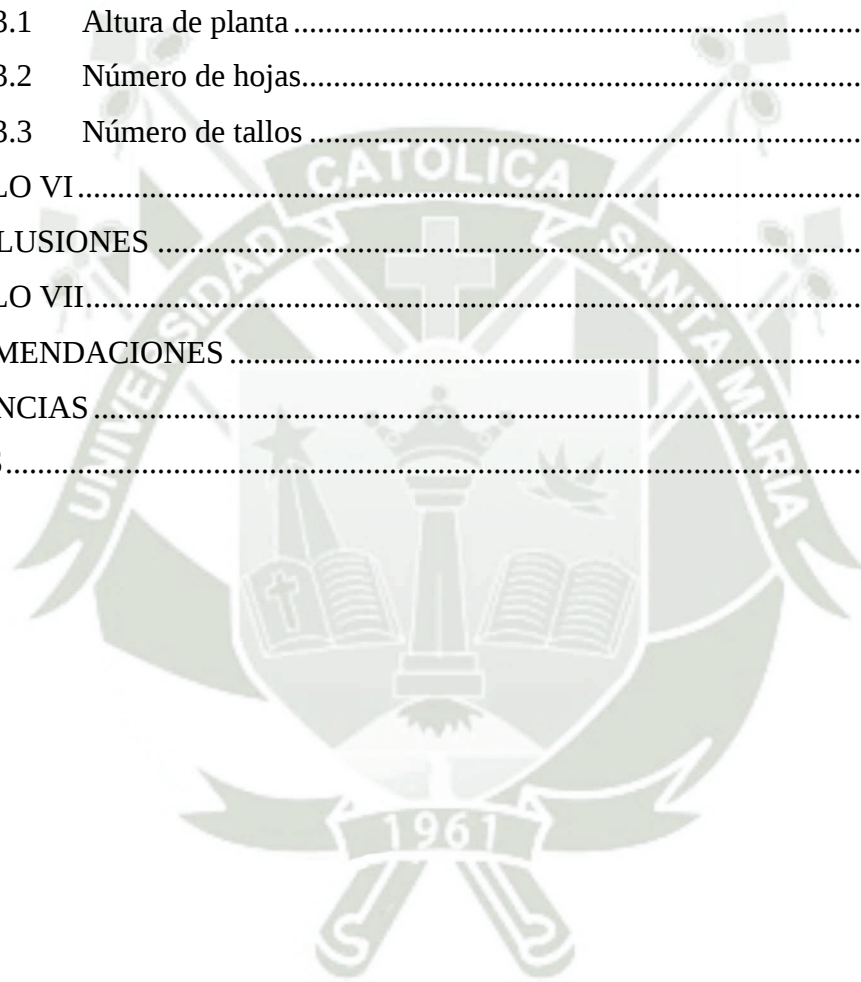
2.2 Antecedentes de investigación 9

2.2.1 Revisión de tesis universitarias 9

2.2.2	Revisión de artículos de investigación	10
CAPÍTULO III		13
3. MATERIALES Y MÉTODOS		13
3.1	Materiales	13
3.1.1	Localización del trabajo	13
3.1.1.1	Localización espacial	13
3.1.1.2	Localización temporal	14
3.1.2	Material biológico	14
3.1.3	Material de laboratorio	14
3.1.4	Material de campo	14
3.1.5	Equipos y maquinarias	14
3.1.6	Otros materiales	15
3.2	Métodos de muestreo	15
3.2.1	Universo	15
3.2.2	Tamaño de muestra	15
3.2.3	Procedimiento de muestreo	15
3.3	Métodos de evaluación	15
3.3.1	Metodología de experimentación	15
3.3.1.1	Manejo en el campo	15
3.3.1.2	Control Fitosanitario	17
3.3.1.3	Labores Culturales	17
3.3.1.4	Fertilización de fondo	17
3.3.2	Factores	18
3.3.3	Tratamientos	19
3.4	Recopilación de información	20
3.4.1	En el campo	20
3.4.2	En el laboratorio	23
3.3	Variables de respuesta	23
3.3.1	Variables	23
3.3.2	Características a observar	23
3.4	Evaluación estadística	24
3.4.1	Diseño experimental	24
3.4.2	Modelo aditivo lineal	24
3.4.3	Unidades experimentales	24

3.4.4	Croquis Experimental.....	25
3.4.5	Análisis estadísticos	25
3.4.6	Análisis de significancia.....	26
CAPÍTULO IV		27
4. RESULTADOS		27
4.1	Rendimiento	27
4.3.1	Producción de Biomasa.....	27
4.3.1.1	Primer Corte	27
4.3.1.2	Segundo Corte	28
4.3.1.3	Tercer Corte.....	28
4.2	Concentración de micronutrientes en planta	31
4.2.1	Nivel de concentración de zinc	31
4.2.1.1	Primer Corte	31
4.2.1.2	Segundo Corte	32
4.2.1.3	Tercer Corte.....	33
4.2.2	Nivel de concentración de hierro.....	36
4.2.2.1	Primer Corte	36
4.2.2.2	Segundo Corte	37
4.2.2.3	Tercer Corte.....	38
4.1	Parámetros biométricos	41
4.1.1	Altura de Planta.....	41
4.1.1.1	Primer Corte	41
4.1.1.2	Segundo Corte	42
4.1.1.3	Tercer Corte.....	42
4.1.2	Número de Hojas.....	45
4.1.2.1	Primer Corte	45
4.1.2.2	Segundo Corte	46
4.1.2.3	Tercer Corte.....	46
4.1.3	Número de Tallos.....	49
4.1.3.1	Primer Corte	49
4.1.3.2	Segundo Corte	50
4.1.3.3	Tercer Corte.....	50
CAPÍTULO V		54

5. DISCUSIÓN.....	54
5.1 Efectos en el rendimiento.....	54
5.1.1 Producción de biomasa.....	54
5.2 Efectos de la biofortificación en el nivel de concentración de micronutrientes.....	55
5.2.1 Nivel de concentración de zinc	55
5.2.2 Nivel de concentración de hierro.....	55
5.3 Efectos de la biofortificación en parámetros biométricos	56
5.3.1 Altura de planta	56
5.3.2 Número de hojas.....	56
5.3.3 Número de tallos	57
CAPÍTULO VI.....	58
6. CONCLUSIONES	58
CAPÍTULO VII.....	59
7. RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS.....	60
ANEXOS.....	67



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1.	Fuentes utilizadas para la aplicación de elementos mayores.	17
Tabla N°2.	Esquema de tratamientos.....	19
Tabla N°3	Análisis de varianza para la variable de rendimiento (kg ha^{-1}).....	27
Tabla N°4	Análisis de varianza para la variable de rendimiento (kg ha^{-1}).....	28
Tabla N°5	Análisis de varianza para la variable de rendimiento (kg ha^{-1}).....	29
Tabla N°6.	Efecto de la dosis y variedad en el rendimiento de alfalfa (kg ha^{-1}) en tres momentos de corte	29
Tabla N°7.	Efecto de la dosis y variedad en la concentración de zinc en alfalfa (mg kg^{-1})	32
Tabla N°8.	Efecto de la dosis y variedad en la concentración de zinc en alfalfa (mg kg^{-1})	33
Tabla N°9.	Efecto de la dosis y variedad en la concentración de zinc en alfalfa (mg kg^{-1})	33
Tabla N°10.	Efecto de la dosis y variedad en la concentración de zinc en alfalfa (mg kg^{-1}) en tres momentos de corte	34
Tabla N°11.	Efecto de la dosis y variedad en la concentración de hierro en alfalfa (mg kg^{-1})	37
Tabla N°12.	Efecto de la dosis y variedad en la concentración de hierro en alfalfa (mg kg^{-1})	38
Tabla N°13.	Efecto de la dosis y variedad en la concentración de hierro en alfalfa (mg kg^{-1})	38
Tabla N°14.	Efecto de la dosis y variedad en la concentración de hierro en alfalfa (mg kg^{-1}) en tres momentos de corte	39
Tabla N°15.	Efecto de la dosis y variedad en la altura de planta en alfalfa (cm).....	41
Tabla N°16.	Efecto de la dosis y variedad en la altura de planta en alfalfa (cm).....	42
Tabla N°17.	Efecto de la dosis y variedad en la altura de planta en alfalfa (cm).....	42
Tabla N°18.	Efecto de la dosis y variedad en la altura de planta en alfalfa (cm) en tres momentos de corte	43
Tabla N°19.	Efecto de la dosis y variedad en el número de hojas en alfalfa.....	46
Tabla N°20.	Efecto de la dosis y variedad en el número de hojas en alfalfa.....	46
Tabla N°21.	Efecto de la dosis y variedad en el número de hojas en alfalfa.....	47
Tabla N°22.	Efecto de la dosis y variedad en el número de hojas en alfalfa en tres	

momentos de corte	47
Tabla N°23. Efecto de la dosis y variedad en el número de tallos en alfalfa	50
Tabla N°24. Efecto de la dosis y variedad en el número de tallos en alfalfa	50
Tabla N°25. Efecto de la dosis y variedad en el número de tallos en alfalfa	51
Tabla N°26. Efecto de la dosis y variedad en el número de tallos en alfalfa en tres momentos de corte	51



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación del Invernadero en el Fundo “La Banda” Huasacache.	13
Figura 2.	Vista frontal del campo experimental.....	16
Figura 3.	Datos meteorológicos registrados en el campo experimental por la Estación Automática Huasacache.	16
Figura 4.	Plaguicida utilizado en el manejo fitosanitario de caballada en campo.	17
Figura 5.	Equipo usado para las aplicaciones foliares de micronutrientes en campo.....	18
Figura 6.	Medición de altura.....	20
Figura 7.	Conteo del número de hojas.	20
Figura 8.	Conteo del número de tallos.....	21
Figura 9.	Corte de las muestras en fresco.	21
Figura 10.	Embolsado y rotulado de las muestras para laboratorio.....	22
Figura 11.	Empaquetado de las muestras para laboratorio.	22
Figura 12.	Croquis experimental y distribución de unidades experimentales.	25
Figura 13.	Rendimiento en tres momentos de corte producto de la interacción entre dosis y variedad	30
Figura 14.	Rendimiento en tres momentos de corte producto de la dosis	30
Figura 15.	Rendimiento en tres momentos de corte producto de la variedad.....	31
Figura 16.	Concentración de zinc en tres momentos de corte producto de la interacción entre dosis y variedad	35
Figura 17.	Concentración de zinc en tres momentos de corte producto de la dosis	35
Figura 18.	Concentración de zinc en tres momentos de corte producto de la variedad.....	36
Figura 19.	Concentración de hierro en tres momentos de corte producto de la interacción entre dosis y variedad	40
Figura 20.	Concentración de hierro en tres momentos de corte producto de la dosis	40
Figura 21.	Concentración de hierro en tres momentos de corte producto de la variedad.....	41
Figura 22.	Altura de planta en tres momentos de corte producto de la interacción entre dosis y variedad	44
Figura 23.	Altura de planta en tres momentos de corte producto de la dosis	44
Figura 24.	Altura de planta en tres momentos de corte producto de la variedad.....	45
Figura 25.	Número de hojas en tres momentos de corte producto de la interacción entre dosis y variedad	48
Figura 26.	Número de hojas en tres momentos de corte producto de la dosis.....	48

Figura 27. Número de hojas en tres momentos de corte producto de la variedad	49
Figura 28. Número de tallos en tres momentos de corte producto de la interacción entre dosis y variedad	51
Figura 29. Número de tallos en tres momentos de corte producto de la dosis	52
Figura 30. Número de tallos en tres momentos de corte producto de la variedad.....	52

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N°1. Base de datos	67
Anexo N°2. Análisis de varianza para la variable de rendimiento (kg ha^{-1}).....	73
Anexo N°3. Análisis de varianza para la variable de nivel de concentración de zinc (mg kg^{-1}).....	74
Anexo N°4. Análisis de varianza para la variable de nivel de concentración de hierro (mg kg^{-1})	75
Anexo N°5. Análisis de varianza para la variable de altura de planta (cm)	76
Anexo N°6. Análisis de varianza para la variable de número de hojas	77
Anexo N°7. Análisis de varianza para la variable de número de tallos.....	78
Anexo N°8. Análisis de suelo del área de estudio	79

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Enunciado del Problema

Se enuncia el siguiente problema diciendo: ¿Cuál es el efecto de la fertilización foliar con micronutrientes Zn y Fe sobre el rendimiento en cuatro variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) CUF101, MOAPA 69, CALIFORNIA 55 y CARAVELI bajo condiciones edafoclimáticas en Huasacache – Arequipa?

1.2 Descripción del Problema

Los seres humanos y otros animales dependen de varias especies de plantas para obtener alimentos minerales. Se ha determinado que se necesitan más de 22 microelementos diferentes para el funcionamiento normal del organismo humano. Algunos de ellos se requieren en mayor cantidad, mientras que otros como hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), yodo (I) y selenio (Se) se requieren en trazas (Broadley & White, 2009). Estos elementos son muy importantes, “para la salud humana y, en muchos casos, logran desarrollo corporal y mental” (Dimkpa & Bindraban, 2016).

Muchos enzimas, proteínas y otros compuestos biológicos que controlan funciones biológicas importantes en los seres humanos no son completamente funcionales si hay una falta de microelementos. La carencia de Fe y Zn es la más conocida en el mundo como “hambre oculta”, y provoca un crecimiento lento, poco desarrollo psicomotor en niños, inmunidad débil, disminución de la masa muscular, pérdida de cabello, infertilidad, y en casos agudos incluso la muerte (Stein, 2010).

Los micronutrientes desempeñan un papel fundamental en el reclutamiento coordinado de las respuestas inmunitarias innatas y adaptativas a las infecciones virales, en particular en la regulación de las respuestas proinflamatorias y antiinflamatorias del huésped. Además, las cantidades inadecuadas de micronutrientes no solo debilitan el sistema inmunológico en la lucha contra las infecciones virales, sino también “contribuyen a la aparición de cepas más virulentas a través de alteraciones de la composición genética del genoma viral” (Gorji & Khaleghi Ghadiri, 2021).

Para los seres humanos, la deficiencia de micronutrientes está relacionada con la calidad de la dieta y agravado por suelos deficientes en microelementos. Mientras que la producción y la disponibilidad de cultivos básicos calóricamente densos aumentó durante el último año, la

producción de vegetales o productos animales ricos en micronutrientes no ha aumentado (Bouis & Saltzman, 2017).

1.3 Justificación del trabajo

1.3.1 Aspecto general

El presente trabajo tiene una importancia social, económica y tecnológica, ya que busca nuevas formas de mejorar el rendimiento en el desarrollo de la alfalfa en sus 4 variedades y obtener las mejores características en el desarrollo de alfalfa por ello el trabajo busca determinar los mejores niveles aplicación foliar para que favorezca el mejor desarrollo de las distintas variedades.

1.3.2 Aspecto tecnológico

La Biofortificación proporciona una alternativa para llegar a subgrupos de la población donde la suplementación y las actividades de fortificación convencional son difíciles de implementar. “Los grupos de esta población a menudo tienen un poder adquisitivo limitado para acceder a una dieta diversa rica en nutrientes” (Singh et al., 2016).

1.3.3 Aspecto social

El principal objetivo a largo plazo de la biofortificación es proporcionar alimentos nutritivos, saludables y seguros. “Alimentos de manera sostenible, asequible y suficiente para toda la población humana mundial” (Maqbool et al., 2020). Hay tres formas de biofortificación de cultivos alimentarios. con micronutrientes esenciales. El primero es la biofortificación agronómica que incluye la integración de fertilizantes en la producción agrícola. La segunda forma es el mejoramiento de cultivos convencional o genético que incluye la mejora de minerales niveles en el grano o la semilla con la ayuda de métodos de mejoramiento convencionales y moleculares. La tercera estrategia de biofortificación son los transgénicos que involucra a la generación de nuevas variedades de cultivos “mediante ingeniería genética y tecnologías recientes de edición del genoma” (Garg et al., 2018). En este estudio nos ocupamos de la revisión sistémica de la biofortificación agronómica.

1.3.4 Aspecto económico

La alfalfa es uno de los cultivos forrajeros más valiosos utilizados para alimentación animal. La importancia de la alfalfa se debe a su rendimientos altos y estables de piensos nutritivos. Además de un alto contenido de proteínas crudas, “contiene altos niveles de microelementos que son importantes para el crecimiento y desarrollo de animales” (Radovic

et al., 2009). Según Suttle (2010) “los cultivos forrajeros representan la fuente natural de minerales en nutrición ganadera” (p. 399). La deficiencia natural podría compensarse mediante “numerosas medidas: biofortificación de cultivos forrajeros” (Novoselec et al., 2018). Se ha reportado que el contenido de elementos minerales en alfalfa en “valores medios de Zn es de 17 a 23 mg Kg⁻¹ y de Fe 386 a 647 mg Kg⁻¹”(Butleska-Gjoroska et al., 2019)

1.3.5 Importancia

La alfalfa es un recurso fundamental para la producción agropecuaria, la calidad nutritiva y producción de forraje, la convierte en un sistema de producción agropecuaria, desde la producción intensiva a corral que la incluyen en la dieta animal como forraje cosechado y procesado.

Por lo tanto, la presente investigación plantea que la dieta humana puede ser mejorada mediante la biofortificación agronómica de Zn y Fe en el cultivo de alfalfa ya que es un cultivo forrajero que beneficiara a los diferentes animales en su nutrición.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la fertilización foliar con Zn y Fe sobre el rendimiento en cuatro variedades de alfalfa, CUF101, Moapa 69, California 55 y Caravelí bajo condiciones edafoclimáticas de Huasacache.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la aplicación foliar de los micronutrientes sobre el rendimiento de las cuatro variedades.
- Evaluar la cantidad de los micronutrientes sobre las diferentes variedades de alfalfa.
- Comparar el rendimiento de las variedades en las diferentes estrategias de aplicaciones de dosis.

1.5 Hipótesis

Dado que aplicación foliar de Zn y Fe se encuentran directamente relacionados con el rendimiento en el cultivo de alfalfa es probable que con diferentes concentraciones de Zn y Fe en las variedades de alfalfa estén relacionados con la absorción y concentración de estos en el cultivo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Análisis bibliográfico

2.1.1 Biofortificación de cultivos

La desnutrición mineral presenta un desafío global importante, además de las intervenciones tradicionales de suplementación y fortificación de alimentos, existen varias opciones agronómicas para aumentar los minerales en la comida que llega a los hogares (White & Broadley, 2005).

El enriquecimiento de cultivos básicos con nutrientes esenciales mediante técnicas de fertilización ha recibido atención mundial, siendo bien conocida la adición de fertilizantes químicos y enmiendas orgánicas para aumentar la producción de cultivos (Hasanuzzaman et al., 2023). Los fertilizantes, naturales o industriales, suministran uno o más nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

La biofortificación agronómica de los cultivos es una forma muy prometedora de mejorar la concentración de micronutrientes en las partes comestibles de los cultivos sin comprometer el rendimiento y “está reconocida como la estrategia más barata para aliviar el hambre oculta en todo el mundo” (Szerement et al., 2022).

En la última década en el mundo se ha visto la implementación de esta técnica en diversos cultivos como la aplicación de nanopartículas de hierro en maíz (Elanchezhian et al., 2017), nanopartículas de zinc en trigo (Du et al., 2019), microvegetales del género Brassicaceae (Di Gioia et al., 2019), e incluso en frutales como la aplicación directa del microelemento zinc en plátano (Mayorquín Guevara et al., 2021), aplicación de selenio en manzana (Groth et al., 2021). En el Perú la investigación en biofortificación ha generado resultados producto de la aplicación de zinc y hierro en el cultivo de papa (Acuña Eulogio, 2022; Gavilanez Fernández, 2015; Gutierrez Vilchez, 2018; Quispe Poma, 2020; Ramírez Aparicio, 2019; Vélez Navarrete, 2013).

Utilizar una vía de impacto de un programa de distribución de alimentos biofortificados para guiar el desarrollo de estrategias y la medición de los logros es una buena práctica para diseñar programas con un alto potencial de impacto y recopilar la información necesaria para

comprender no sólo qué impactos se logran sino también cómo y por qué se logran o no (Global Alliance for Improved Nutrition (GAIN) & HarvestPlus, 2020).

2.1.2 La nutrición en el Perú

En el Perú, según Zavaleta (2017) la anemia afecta al 43,6% de los niños menores de tres años constituyendo un problema de salud pública, esta cifra ha permanecido sin mayores cambios en los últimos años a pesar de los esfuerzos del gobierno por reducirla” (p. 154)

Según el Observatorio: “Medicina, salud y sociedad” del Colegio Médico del Perú (2023) “la anemia infantil en niños entre 6 y 36 meses de edad se mantiene en un nivel estacionario desde el año 2011”, habiéndose producido un incremento en la prevalencia de 3.6 puntos porcentuales en el año 2022 y un estancamiento en la reducción de la desnutrición crónica infantil en menores de cinco años de edad, situación que viene ocurriendo en los últimos cuatro años (p. 34).

La anemia ferropénica constituye el problema de nutrición más frecuente y de mayor distribución entre los niños menores de 5 años en países con bajos ingresos como el nuestro, por lo que es importante “recordar la relevancia de una adecuada nutrición durante los primeros 1 000 días de vida” (Tokumura et al., 2023). Esto requiere la implementación de múltiples intervenciones en el sector salud, como la administración de micronutrientes en los primeros años de vida.

2.1.3 Efectos del microelemento zinc en humanos

El zinc (Zn) es uno de los nutrientes esenciales más importantes y de gran importancia para la salud pública; interviene en numerosas funciones biológicas y se considera un oligoelemento polivalente, debido a su capacidad de unirse a más de 300 enzimas y más de 2000 factores transcripcionales, es sin duda uno de los micronutrientes más esenciales y juega un “papel importante en la fisiología humana, en las funciones inmunes mediadas por células, en el estrés oxidativo y como molécula de señalización intracelular” (Chasapis et al., 2020, p. 1449).

Pae et al. (2012) indica que:

El cuerpo humano contiene un total de 2 a 3 gramos de Zn, lo que convierte al Zn en el segundo metal de transición más abundante en los seres humanos y en muchos otros organismos vivos después del Fe y Y en el segundo catión divalente más abundante después del calcio.

El zinc es un mineral antioxidante esencial para prevenir la formación y respuesta reactiva de radicales libres, que son átomos inestables que contienen uno o más electrones desapareados que pueden dañar las células y provocar la progresión de enfermedades crónicas y degenerativas. (p. 109)

2.1.4 Efectos del microelemento hierro en humanos

El hierro es un elemento esencial para la vida humana ya que “participa en muchas funciones del cuerpo humano, incluido el transporte de oxígeno, la inmunidad, la división y diferenciación celular y el metabolismo energético” (Piskin et al., 2022, p. 20449).

El transporte de hierro en el sistema digestivo está controlado por varias proteínas fijadoras de hierro, como transferrina, lactoferrina, hemoglobina y bacterioferritina, entre otros agentes funcionales presentes en varios sitios clave. Generalmente, las mucinas “se unen al hierro en las condiciones ácidas del estómago, lo que ayuda a mantenerlo en estado de solución para su posterior absorción en las condiciones alcalinas del duodeno” (Shubham et al., 2020).

2.1.5 Cultivo de alfalfa

La alfalfa es uno de los cultivos forrajeros más valiosos utilizados para la alimentación animal, su importancia se debe a su alto y estable rendimiento de alimento nutritivo. Además de un alto contenido en proteínas crudas, “contiene altos niveles de microelementos que son importantes para el crecimiento y desarrollo de los animales” (Radovic et al., 2009b).

Introducida en el Perú por los españoles y cultivado en el Perú durante dos siglos. Por lo tanto puede ser más similar a las introducciones originales españolas que a las chilenas. Alrededor de 1899 se introdujeron en los Estados Unidos dos variedades, la '*smooth*' y la '*hairy peruana*'. La '*hairy peruana*' fue una variedad importante en el sur de California y Arizona hasta principios de los años cincuenta. “Se caracteriza por ser pubescente, no dormante, susceptible al pulgón manchado de la alfalfa y contener únicamente germoplasma de *M. sativa*” (Barnes et al., 1977).

Para el Ministerio de Agricultura y Riego & AgroRural (2019):

La alfalfa es una de las fuentes alimentarias más ricas de la naturaleza; alimento completo que contiene vitaminas A, E, B6, K y D; minerales, como calcio, hierro, potasio, fósforo, cloro, sodio, silicio y magnesio; fibra y enzimas; por su alto contenido en vitamina D, calcio y fósforo, resulta beneficioso para fortalecer los huesos y dientes, para evitar descalcificación y osteoporosis, es especial contra la anemia, por el buen contenido de hierro. (p. 37)

En función a la altitud la alfalfa crece normalmente desde el nivel del mar hasta los 3 800 metros de altitud, la densidad de siembra en zonas cálidas es de 20 kg ha⁻¹, sin embargo, en zonas frías y altas se incrementa hasta 30 kg ha⁻¹, la alfalfa por tener sus raíces a mayor profundidad, requiere suelos ligeros (arenosos) para que el agua llegue adecuadamente a las raíces. En “suelos arcillosos, el agua y la humedad afectan a estas pasturas, produciendo pudrición de la corona” (Ministerio de Agricultura y Riego & Instituto Nacional de Innovación Agraria, 2011).

2.1.6 Variedades en estudio

- a) **Cuf 101:** Es una variedad no dormante, es decir, del grupo 9, esto significa que tiene crecimiento continuo a lo largo del año. Es tolerante al pulgón verde, pulgón azul. Su corona es pequeña y poco profunda por lo que no se recomienda para pastoreo. Apta para henificar y de buena producción de forraje. Se recomienda para zonas de costa y sierra media, para sistema de cosecha por cortes. No tolera heladas. Dosis de siembra: 25 a 30 kg ha⁻¹ (Hortus, s. f.).
- b) **Moapa 69:** Esta variedad tiene una adaptación que oscila entre los 2200 a 3200 m.s.n.m, la densidad de siembra adecuada para esta variedad es de 25 a 30 kg ha⁻¹, es resistente a la roya (*Puccinia*) y tolerancia a las sequias, con una duración en pradera de 6 a 7 años, “tiene una producción de forraje verde de 60 a 80 tn ha⁻¹ al año con intervalos de corte de 28 a 35 días” (Soplin Cruz, 2021, p. 83).
- c) **California 55:** Variedad tradicional de alfalfa no dormante (dormancia 9), con un elevado potencial productivo, obteniéndose rendimientos que pueden sobrepasar la producción de materia seca de 30 tn ha⁻¹ en el segundo año de producción con una frecuencia de 7 a 8 cortes (Semillería San Alfonso, s. f.).
- d) **Yaragua (Caravelí):** Variedad nacional, donde se dice que puede obtener en el primer año de producción de forraje la cantidad de 33 tn ha⁻¹ (Bazán R. et al., 2017), poseyendo hasta 28% de Materia Seca (Velásquez Benavente, 2016).

2.1.7 El zinc en la planta

El zinc (Zn) se absorbe y transfiere en forma de Zn²⁺ en las plantas y es un nutriente esencial que tiene funciones fisiológicas particulares en todos los sistemas vivos, como el mantenimiento de la integridad estructural y funcional de las membranas biológicas y la facilitación de la síntesis de proteínas y la expresión genética, la estructura de las enzimas, producción de energía y ciclo de Krebs; también tiene un impacto positivo en el rendimiento

de los cultivos; por lo tanto, “el rendimiento cuantitativo y cualitativo de los cultivos depende en gran medida del zinc (Zn) en el suelo” (Mousavi et al., 2013, p. 49).

Según Broadley et al. (2007):

La deficiencia grave de Zn se caracteriza por necrosis del ápice de la raíz (“muerte regresiva”), mientras que la deficiencia subletal de Zn induce clorosis espacialmente heterogénea o intervenal (“hoja moteada”), el desarrollo de tintes marrón rojizo o bronce (“bronceado”) y una variedad de respuestas similares a la deficiencia de auxinas, como el acortamiento de los entrenudos (“roseta”), epinastia, curvatura hacia adentro de la lámina de la hoja y reducciones en el tamaño de las hojas. (p. 138)

En la mayoría de los cultivos, la concentración foliar típica de zinc requerida para un crecimiento adecuado se aproxima a 15-20 mg Zn kg⁻¹ en la Materia Seca.

2.1.8 El hierro en la planta

Según Intagri S.C. (s. f.):

El hierro (Fe) es un micronutriente esencial para las plantas, ya que desempeña funciones claves en la síntesis de clorofila, mantiene la estructura de los cloroplastos y la actividad enzimática. A pesar de que el hierro es el cuarto elemento más abundante en la tierra, y el suelo generalmente contiene entre 1 a 5 % de hierro total, la mayor parte del hierro en el suelo se encuentra en minerales de silicatos u óxidos e hidróxidos de hierro, formas que no están disponibles para las plantas, lo que puede causar deficiencias en los cultivos y mermar los rendimientos. (párr. 7)

La deficiencia de hierro, comúnmente conocida como clorosis férrica es uno de los desórdenes nutricionales más importantes que afecta a cereales, hortalizas y frutales, limitando su rendimiento y causando pérdidas económicas para los productores.

Para optimizar la adquisición, distribución y eficiencia del uso del hierro, las plantas reaccionan para cambiar su disponibilidad en su entorno regulando estrictamente la homeostasis del hierro, pero también adaptando su metabolismo. Un bajo contenido de hierro implica un alto requerimiento energético y afecta la funcionalidad de las cadenas de transporte de electrones respiratorias y fotosintéticas, que son procesos dependientes del hierro. Además, “una baja disponibilidad de hierro afecta el contenido de un amplio número de metabolitos en la planta. Estos metabolitos pueden tener un papel en algunas vías de señalización” (Lucena & Hernandez-Apaolaza, 2017, p. 46).

2.1.9 Fertilización foliar

Según Niu et al. (2021) “el uso de grandes cantidades de fertilizantes químicos promueve una agricultura de alto rendimiento, pero también está asociado con una serie de problemas, como bajas tasas de utilización de fertilizantes, acidificación del suelo y salinización del suelo” (p. 37). Estudios exhaustivos han demostrado que la pulverización de fertilizantes quelados sobre las hojas puede reducir la cantidad total de fertilizante aplicado y lograr una alta eficiencia fertilizante. La aplicación de fertilizantes foliares después de la fertilización del suelo es un método eficaz para aumentar el contenido de oligoelementos en los cultivos y su rendimiento, y para mejorar el entorno del suelo.

2.2 Antecedentes de investigación

2.2.1 Revisión de tesis universitarias

- En la tesis “Fraccionamiento de la fertilización foliar con Zinc en la biofortificación agronómica del cultivo de Papa” se observa que la aplicación foliar del microelemento zinc produce efectos negativos en la altura, cobertura foliar y el rendimiento del cultivo sujeto a las aplicaciones, sin embargo, se obtuvo incrementos significativos del microelemento presente en tejido foliar, con una distribución desigual comparado con la concentración en la parte radicular del cultivo (Acuña Eulogio, 2022).
- En la tesis “Características agronómicas y valor nutricional de cuatro variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) bajo diferentes densidades de siembra” se puso a prueba algunas variedades de alfalfa, de las cuales la variedad Moapa 69 obtuvo 45.6 toneladas de peso fresco y en la variedad Cuf 101 obtuvo 42.4 toneladas de peso fresco, ambas a una densidad de 200 plantas/m² sin alguna aplicación adicional de nutrientes (Soplin Cruz, 2021).
- En la tesis “Fertilización foliar y edáfica con Zinc para la biofortificación agronómica del cultivo de Papa (*Solanum tuberosum* L.) en Cañete” donde al aplicar foliarmente 5 kg ha⁻¹ del microelemento zinc se obtuvo reducciones en el peso fresco y seco del follaje, de forma contraria obtuvo aumentos en la concentración de zinc en las hojas, llegando a obtener 637.72 mg kg⁻¹ con la dosis de 5 kg ha⁻¹ frente a un tratamiento testigo con 79.26 mg kg⁻¹, de forma que en cuestión de rendimiento no se obtuvo un incremento con la fertilización de zinc, pudiendo deberse a un posible efecto tóxico de zinc en el follaje (Quispe Poma, 2020).

- En la tesis “Biofortificación agronómica con selenio y zinc sobre guisante forrajero (*Pisum sativum* L.) bajo condiciones de secano mediterráneas” donde aplicando 8 kg Zn ha⁻¹ mediante vía foliar se obtuvo concentraciones de 96.95 mg Zn kg⁻¹ y el tratamiento testigo obtuvo una concentración de 21.5 mg Zn kg⁻¹, adicionalmente la aplicación foliar de zinc disminuyó numéricamente la producción de biomasa forrajera en un 2% sin ser estadísticamente significativo (Riaño Salas, 2019).
- En la tesis “Características biométricas en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo fertilización edáfica y foliar con zinc” donde con la aplicación foliar de 5 kg Zn ha⁻¹ se pudo obtener 174.7 mg Zn kg⁻¹, representando un aumento del 143.7% en comparación con el tratamiento testigo, en cuestión de rendimiento se observó una reducción numérica pasando de un valor de 32 tn ha⁻¹ sin aplicar zinc a tener un rendimiento de 28.6 tn ha⁻¹ con la aplicación foliar (Ramírez Aparicio, 2019).
- En la tesis “Producción de biomasa forrajera de variedades o ecotipos de alfalfa (*Medicago Sativa* L.) en el Sector Humedades del Distrito de Salas - Lambayeque” donde al poner en estudio las variedades de alfalfa California 55 y Cuf 101 se observó un comportamiento distinto entre ambas, la variedad California 55 en su primer corte obtuvo un rendimiento de 10.9 ton ha⁻¹ y en el segundo corte tuvo un aumento a 13.3 ton ha⁻¹ mientras que la variedad Cuf 101 en su primer corte obtuvo un rendimiento de 9.4 ton ha⁻¹ y en el segundo corte presentó una reducción del rendimiento a 7.9 ton ha⁻¹ (Aguilar Quintana, 2018).
- En la tesis “Producción en forraje de cinco variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Ticllas a 2395 msnm - Ayacucho” donde a través de cinco campañas de corte determinó el rendimiento promedio de las variedades Cuf 101 y Moapa 69 cuyos valores son 32 180 kg ha⁻¹ y 28 020 kg ha⁻¹ respectivamente, de igual forma se observó un comportamiento similar en precocidad y en las características morfológicas en campo (Sulca Quispe, 2015).

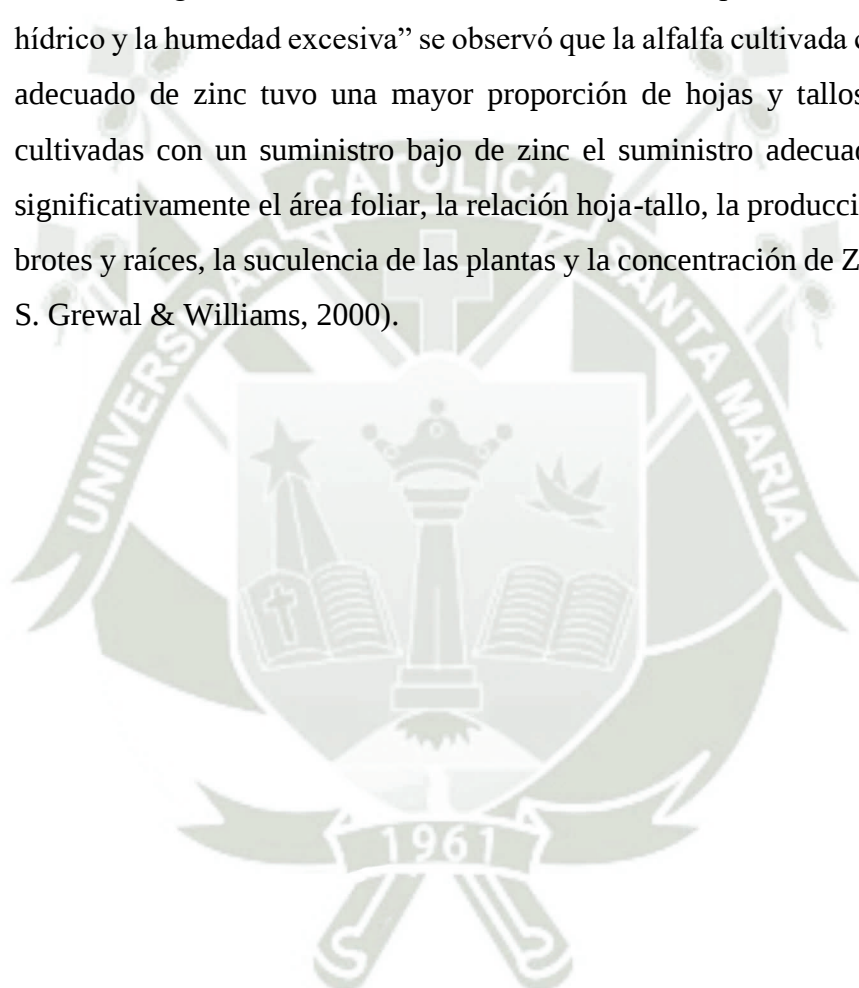
2.2.2 Revisión de artículos de investigación

- En la investigación titulada “Aplicación foliar de selenio, zinc y cobre en la biofortificación de alfalfa (*Medicago sativa* L.)” indica que la cantidad de zinc presente en la biomasa de alfalfa está fuertemente correlacionada ($r=0.99$) con la aplicación de dosis del microelemento, de igual forma la dosis de zinc aplicada a la alfalfa tiene un efecto negativo en la concentración del microelemento hierro en su biomasa, de esa forma sin aplicación foliar se obtuvo 15.58 mg Zn kg⁻¹, al aplicar

foliarmente $0.5 \text{ kg Zn ha}^{-1}$ obtuvo $33.11 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ y por último aplicando 1 kg Zn ha^{-1} obtuvo $49.9 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ (Petković et al., 2019).

- En la investigación “Brotos vegetales enriquecidos con hierro: efectos sobre el rendimiento, generación de ROS y sistema antioxidante” se observó la reducción de la acumulación de biomasa en alfalfa enriquecida con hierro en un 16,1% y 13,3% para el peso fresco y la materia seca respectivamente, el nivel de concentración de hierro presente en la materia seca es directamente proporcional con la dosis de hierro aplicada, pero inversamente proporcional con la concentración de zinc en la materia seca (Przybysz et al., 2016).
- En la investigación “Concentraciones de minerales y compuestos fenólicos en tres especies de brotes comestibles tratados con quelatos de hierro durante la imbibición” donde aplicando soluciones con alto contenido de quelatos de hierro condujeron a la suplementación con hierro de los brotes de alfalfa resultantes y tuvieron efectos positivos o neutros sobre las concentraciones fenólicas totales, una estrategia eficaz para aumentar el contenido mineral y el valor nutricional de los brotes de algunas especies de plantas (Park et al., 2014).
- En la investigación “Gestión de fertilizantes para una mayor productividad de los pastos de alfalfa establecidos” donde aplicando sulfato de zinc como fertilizantes, se obtuvo un rendimiento de $13.78 \text{ ton ha}^{-1}$ y una concentración promedio de $22.6 \text{ mg Zn kg}^{-1}$, un aumento del 42% en comparación con el tratamiento testigo, adicionalmente, se probó con otros fertilizantes donde se observó mejores resultados producto de la combinación con fósforo y selenio, de entre las formas de zinc probadas, el sulfato de zinc y el superfosfato simple recubierto de zinc demostraron ser igualmente efectivos y superiores al óxido de zinc para mejorar el rendimiento del forraje y otros atributos de la alfalfa (H. Grewal, 2010).
- En la investigación “Efecto del zinc sobre el rendimiento y algunas características relacionadas de la alfalfa” se encontró que la concentración de zinc en el cultivo de alfalfa fue influenciada significativamente por la aplicación de zinc (en la forma de sulfato de zinc) en las dosis de 40, 80 y $120 \text{ kg Zn ha}^{-1}$, la dosis más alta produjo una reducción en el rendimiento en materia fresca y seca, la aplicación no excesiva de zinc mejoró significativamente las propiedades cualitativas y cuantitativas de la alfalfa (Ceylan et al., 2009).

- En la investigación “El zinc influye en la nodulación, la gravedad de las enfermedades, la caída de las hojas y el rendimiento de forraje de los cultivares de alfalfa” se encontró que en condiciones de campo, la aplicación de zinc aumentó significativamente el número y el peso seco de los nódulos, el rendimiento de forraje y la relación hoja-tallo de las plantas de alfalfa, también se observó que la respuesta frente a dosis bajas de zinc depende del cultivar en estudio (H. S. Grewal, 2001).
- En la investigación “La nutrición con zinc afecta las respuestas de la alfalfa al estrés hídrico y la humedad excesiva” se observó que la alfalfa cultivada con un suministro adecuado de zinc tuvo una mayor proporción de hojas y tallos que las plantas cultivadas con un suministro bajo de zinc el suministro adecuado de Zn mejoró significativamente el área foliar, la relación hoja-tallo, la producción de biomasa de brotes y raíces, la succulencia de las plantas y la concentración de Zn en las hojas (H. S. Grewal & Williams, 2000).



CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Localización del trabajo

3.1.1.1 Localización espacial

La investigación se realizó en el campo experimental de la Universidad Católica de Santa María, ubicado en el distrito de Hunter, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa, con una altitud de 2450 m.s.n.m.

a. Ubicación política:

- Departamento: Arequipa
- Provincia: Arequipa
- Distrito: Hunter
- Lugar: Campo experimental

b. Posición geográfica:

- Latitud Sur: - 16°27'28.91''
- Longitud Oeste: - 71°34'0.70"
- Altitud: 2202 m.s.n.m.
- Zona: 19 K

Figura 1. Ubicación del Invernadero en el Fundo “La Banda” Huasacache.



Fuente: Google Maps (2023)

3.1.1.2 Localización temporal

El trabajo de investigación se desarrolló desde el mes de enero del 2023 hasta el mes de diciembre del 2023 en Fundo la Banda Huasacache.

3.1.2 Material biológico

A. Plantas de alfalfa de las variedades:

- a. CUF 101
- b. MOAPA 69
- c. CALIFORNIA 55
- d. YARAGUA (CARAVELI)

3.1.3 Material de laboratorio

1. Horno de secado
2. Agua desionizada
3. Balanza
4. Tijeras

3.1.4 Material de campo

1. Libreta
2. Fichas de registro
3. Cuadrante de 0.8 x 1.0 m
4. Bolsas de papel
5. Coreador
6. Tijeras
7. Fertilizantes
 - a. Sulfato Ferroso
 - b. Sulfato de zinc

3.1.5 Equipos y maquinarias

1. Mochila pulverizadora de 20 L
2. Motosierra para pasto
3. Computadora
4. Calculadora científica
5. Cámara de teléfono celular

3.1.6 Otros materiales

1. Materiales de escritorio
2. Código R versión 4.2.0
3. Software RStudio 2023.06.0+421 "Mountain Hydrangea"
4. Microsoft Excel

3.2 Métodos de muestreo

3.2.1 Universo

Las unidades experimentales fueron parcelas de 41.4 m^2 . Cada parcela constó de 12 surcos dividido por 4 dosis que contienen 2 surcos, de 5.5 m de ancho y 14.8 m de largo, con un distanciamiento entre plantas de 0.2 m, y un espacio de 0.4 m entre unidades experimentales. La dimensión de los bloques fue de 325.6 m^2 y el área total fue de 1280 m^2 . El área total neta fue de 1628 m^2 .

3.2.2 Tamaño de muestra

Para determinar el tamaño de la muestra se realizó dos formas; la primera fue mediante la selección de cuadrantes de 0.8 m^2 la segunda es la selección de 10 plantas de alfalfa por dosis de aproximadamente 200 gr. Las unidades experimentales se formaron con 5 bloques con 4 variedades las cuales se aplicaron 4 Dosis lo que tiene 80 UE que se destinaron al laboratorio para evaluar la cantidad de zinc y hierro en la planta e 160 UE que permitieron evaluar el rendimiento de acuerdo a las dosis.

3.2.3 Procedimiento de muestreo

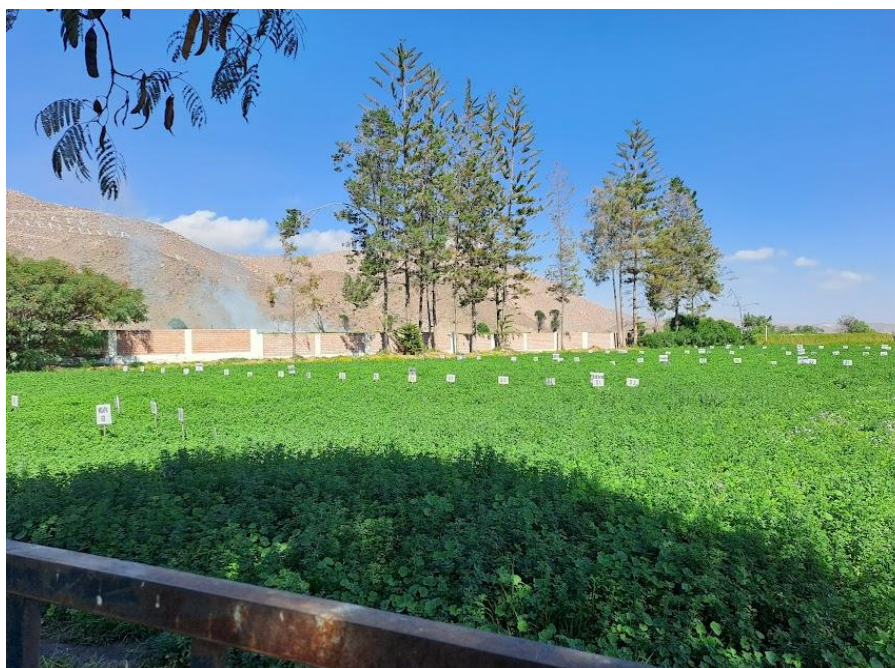
Se realizó el muestreo en dos diferentes formas una fue realizada a través del laboratorio y la otra en el campo el cual se tomaron muestreo de morfología de cada planta en el campo.

3.3 Métodos de evaluación

3.3.1 Metodología de experimentación

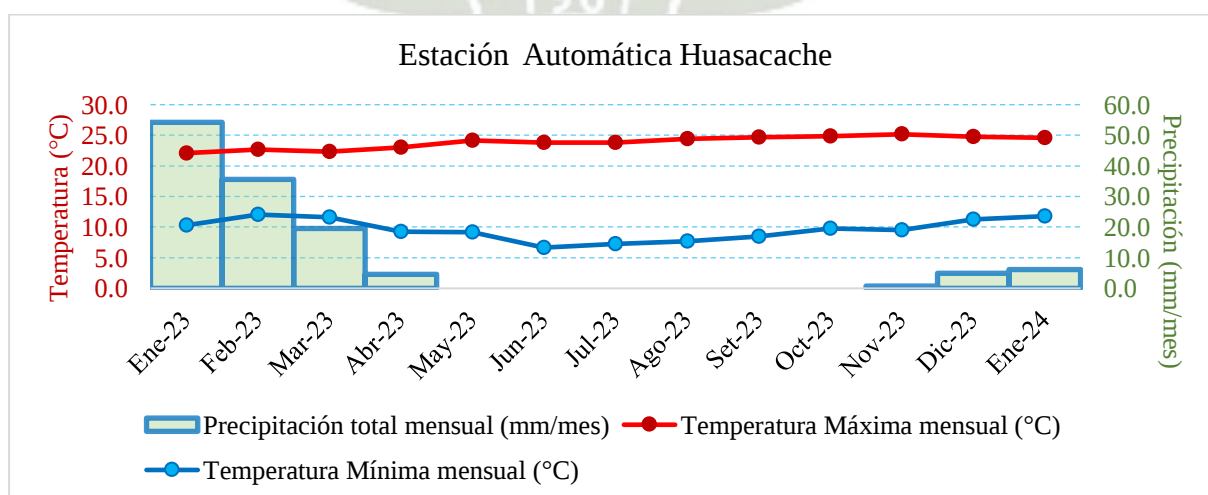
3.3.1.1 Manejo en el campo

El campo experimental se encuentra en el Fundo La Banda en Huasacache perteneciente a la UCSM el cual es un campo abierto de 1976 m^2 los cuales se dividieron en distintos campos experimentales.

Figura 2. Vista del campo experimental.


No se realizaron ajustes experimentales debido a que se realizó en campo abierto, se presentaron temperaturas máximas y mínimas entre el 25.2°C y 6.7°C respectivamente, a inicios del experimento se presenciaron precipitaciones de hasta 54 mm/mes en el mes de enero del año 2023.

La información se obtuvo de la estación automática Huasacache a través del portal de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y se obtuvo la siguiente figura:

Figura 3. Datos meteorológicos registrados en el campo experimental por la Estación Automática Huasacache.


Fuente SENAMHI (2024)

3.3.1.2 Control Fitosanitario

Se realizó aplicaciones de para el control de caballada (*Spodoptera eridania*). Las aplicaciones se realizaron según recomendación de la etiqueta del producto y con los implementos de seguridad y protección personal necesarios para la aplicación en campo.

Figura 4. Plaguicida utilizado en el manejo fitosanitario de caballada en campo.



3.3.1.3 Labores Culturales

Se realizó el desmalezado del campo experimental en las diferentes fechas para poder realizar los análisis sin alteraciones de los análisis.

3.3.1.4 Fertilización de fondo

Se realizó una aplicación de fondo para aportar los macronutrientes necesarios para el desarrollo de la alfalfa, teniendo disponibles los fertilizantes de Nitrato de Amonio.

Tabla N°1. Fuentes utilizadas para la aplicación de elementos mayores.

Fertilizante	% de elemento
Fosfato diamónico	18% N y 46% P ₂ O ₅
Cloruro de potasio	60% K ₂ O
Sulfato de zinc heptahidratado	21% Zn
Sulfato de hierro heptahidratado	21% Fe

Figura 5. Equipo usado para las aplicaciones foliares de micronutrientes en campo



3.3.2 Factores

a) Variedades de Alfalfa

- **CUF101:** es una variedad que pertenece al grupo de dormancia 9, con reposo invernal corto, de alta resistencia al pulgón verde y azul, alta resistencia a Fusariosis pero poca resistencia a la Antracnosis. Este genotipo tiene regular adaptación al pastoreo directo (Sagra, 2015), viéndose afectada por el pastoreo intenso.
- **MOAPA 69:** variedad desarrollada en USA con dormancia 8, tolerante, suelos con pH de 6.5 a 7.5., es una variedad que se adapta entre los 2, 000 a 3, 500 m.s.n.m., se puede usar en el pastoreo, corte, heno, etc. La densidad de siembra es de 25 Kg. /ha. y 10 Kg. en asociación. La permanencia en el campo alcanza hasta los 7 años según el manejo y fertilización, la producción de forraje es de 6 a 8 cortes/año/ha. Su capacidad de carga es de 3 a 4 animales/ha. y tiene un crecimiento erecto, de rápida recuperación después del corte, resistente a *Aphis sp.*, *Phytophthora*, *Fusarium*, wilt y nemátodos.
- **CALIFORNIA 55:** es una variedad tradicional de alfalfa no dormante (dormancia 9). Ocupa un lugar importante entre las variedades de alfalfa más utilizadas, principalmente por sus elevadas producciones de forraje. En diversos ensayos ha demostrado ser la variedad de alfalfa con mayor potencial productivo, obteniéndose rendimientos que pueden sobrepasar las 30 t/ha de MS en el segundo año de producción, con 7 a 8 cortes anuales. La planta es erecta, tiene una gran velocidad de rebrote después

de cada corte y con buena relación hoja/tallo durante todo el periodo de crecimiento. En siembras puras se recomienda usar entre 15 y 25 kg/ha.

- **CARAVELI:** alfalfa regional, de siembra en núcleos familiares, para el abastecimiento misto de animales vacuno como para cuyes.

b) Dosis foliares de micronutrientes

Se definió cuatro niveles:

- Dosis testigo (D1): 0 kg Zn ha⁻¹ + 0 kg Fe ha⁻¹
- Dosis 2 (D2): 2 kg Zn ha⁻¹ + 0 kg Fe ha⁻¹
- Dosis 3 (D3): 0 kg Zn ha⁻¹ + 2 kg Fe ha⁻¹
- Dosis 4 (D4): 2 kg Zn ha⁻¹ + 2 kg Fe ha⁻¹

3.3.3 Tratamientos

Una vez determinados los niveles de los factores, se procedió a armar el esquema de tratamientos para el desarrollo del experimento.

Tabla N°2. Esquema de tratamientos.

Tratamiento	Variedad	Dosis (kg ha ⁻¹)/Aplicación	
		Zn	Fe
T1 (V ₁ D ₁)	CUF 101	0	0
T2 (V ₁ D ₂)	CUF 101	2	0
T3 (V ₁ D ₃)	CUF 101	0	2
T4 (V ₁ D ₄)	CUF 101	2	2
T5 (V ₂ D ₁)	Moapa 69	0	0
T6 (V ₂ D ₂)	Moapa 69	2	0
T7 (V ₂ D ₃)	Moapa 69	0	2
T8 (V ₂ D ₄)	Moapa 69	2	2
T9 (V ₃ D ₁)	California 55	0	0
T10 (V ₃ D ₂)	California 55	2	0
T11 (V ₃ D ₃)	California 55	0	2
T12 (V ₃ D ₄)	California 55	2	2
T13 (V ₄ D ₁)	Caraveli	0	0
T14 (V ₄ D ₂)	Caraveli	2	0
T15 (V ₄ D ₃)	Caraveli	0	2
T16 (V ₄ D ₄)	Caraveli	2	2

3.4 Recopilación de información

3.4.1 En el campo

- **Altura de Planta**

Se procedió a medir el tamaño de la planta de cada cuadrante el cual eran 5 plantas desde el base del tallo hasta la parte más alta apical de la planta la cual son 80 zonas de muestras, en total son 400 muestras.

Figura 6. Medición de altura.



- **Número de Hojas**

Se realizó el conteo del número de hojas de cada planta, la toma de muestra fue al azar y se tomó 5 plantas de cada surco y la repetición de cada tratamiento, en total se muestrearon 400 plantas de alfalfa.

Figura 7. Conteo del número de hojas.



- **Número de Tallos**

Se contabilizó la cantidad de tallos desde la corona de la planta sin contar los nuevos brotes laterales de cada tallo primario; la toma de muestra fue al azar y se tomó 5 plantas de cada surco y la repetición de cada tratamiento, en total se muestrearon 400 plantas de alfalfa.

Figura 8. Conteo del número de tallos.



- **Materia Fresca**

Se realizó el pesaje del forraje producido por cada cuadrante en cada uno de los cuatro cortes, por lo que se obtuvo 80 UE de peso en fresco. Se utilizó una balanza electrónica para obtener el peso de la materia fresca.

Figura 9. Corte de las muestras en fresco.



Cada muestra fue empaquetada en campo al final del pesaje, rotulada según tratamientos y enviada a laboratorio para el análisis de materia seca y concentración de microelementos hierro y zinc.

Figura 10. Embolsado y rotulado de las muestras para laboratorio.

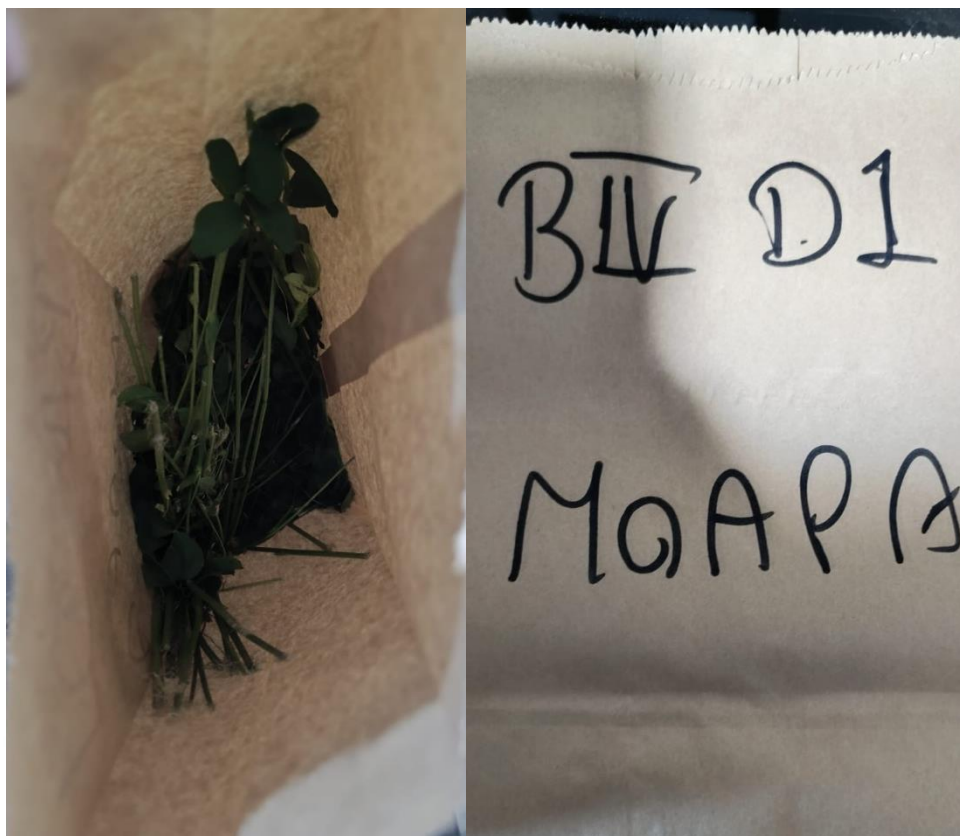
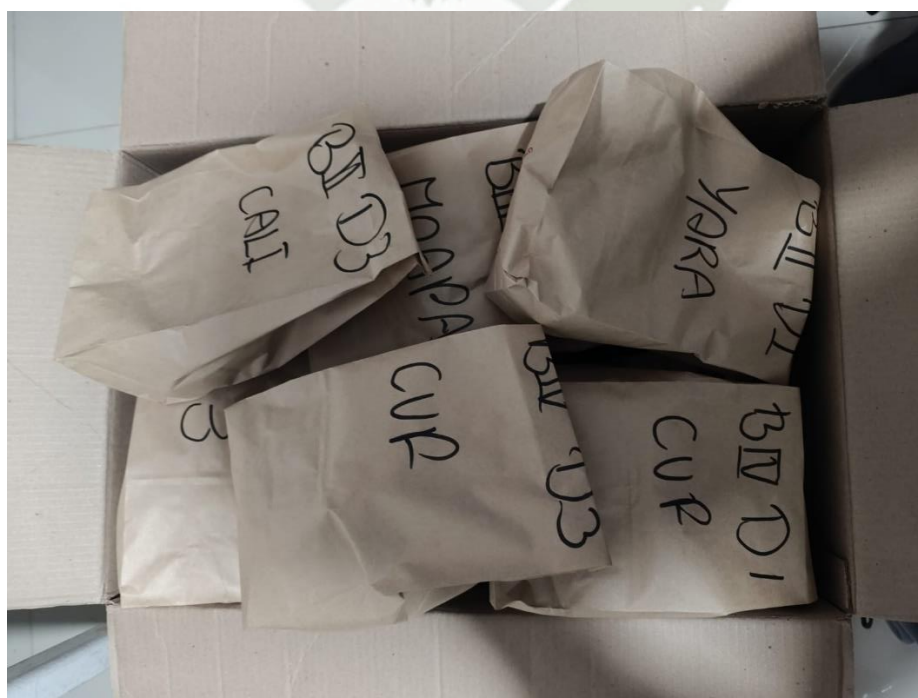


Figura 11. Empaquetado de las muestras para laboratorio.



3.4.2 En el laboratorio

- **Nivel de concentración de zinc y hierro**

A partir del follaje de alfalfa enviado, mediante el método de espectrometría de absorción atómica por llama se determinó el nivel de concentración en la unidad mg kg^{-1} a partir de la muestra seca.

3.3 Variables de respuesta

3.3.1 Variables

1. Variedades dependientes

- 1.1 CUF 101 (V1)
- 1.2 MOAPA 69 (V2)
- 1.3 CALIFORNIA 55 (V3)
- 1.4 YARAGUA (V4)

2. Variables independientes

- 2.1 Dosis testigo (D1): $0 \text{ kg Zn ha}^{-1} + 0 \text{ kg Fe ha}^{-1}$
- 2.2 Dosis 2 (D2): $2 \text{ kg Zn ha}^{-1} + 0 \text{ kg Fe ha}^{-1}$
- 2.3 Dosis 3 (D3): $0 \text{ kg Zn ha}^{-1} + 2 \text{ kg Fe ha}^{-1}$
- 2.4 Dosis 4 (D4): $2 \text{ kg Zn ha}^{-1} + 2 \text{ kg Fe ha}^{-1}$

3.3.2 Características a observar

1) Características del cultivo de alfalfa:

a. Observación de rendimiento y producción de biomasa forrajera

- Rendimiento en kg ha^{-1}

b. Observación de niveles de concentración de micronutrientes

- Nivel de concentración de zinc (mg kg^{-1})
- Nivel de concentración de hierro (mg kg^{-1})

c. Observación de parámetros biométricos

- Altura de planta (cm)
- Número de hojas
- Número de tallos

3.4 Evaluación estadística

3.4.1 Diseño experimental

Se empleó un Diseño de Bloques Completo al Azar (DBCA), con arreglo de parcelas divididas con dos Factores (Variedades de alfalfa y Dosis de aplicación), El diseño experimental contó con 5 bloques por cada tratamiento.

3.4.2 Modelo aditivo lineal

Según nuestra metodología hay 4 (a) niveles para el factor A (variedad de alfalfa) y 4 (b) niveles del factor B (dosis foliar) y que cada una de los 5 (r) bloques del experimento contiene todas las posibles combinaciones de tratamientos, es decir contiene los 16 (ab) tratamientos posibles.

El modelo estadístico para este diseño es:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \rho_j + \gamma_{ij} + \beta_k + (\alpha\beta)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

con

$$i = 1, 2, 3, 4; \quad j = 1, 2, 3, 4, 5; \quad k = 1, 2, 3, 4$$

donde:

- Y_{ijk} es el resultado observado con la i-ésima variedad j-ésimo bloque y k-ésimo nivel de dosis foliar.
- μ es el efecto de la media general.
- α_i es el efecto del i-ésima variedad.
- ρ_j es el efecto del j-ésimo bloque.
- γ_{ij} es el efecto del error experimental en parcelas (Error(α)).
- β_k es el efecto del k-ésimo nivel de dosis foliar.
- $(\alpha\beta)_{ik}$ es el efecto de la interacción en el i-ésima variedad y el k-ésimo nivel de dosis foliar.
- ε_{ijk} es el efecto del error experimental en subparcelas (Error(β)).

3.4.3 Unidades experimentales

Las unidades experimentales comprenden 5 bloques con 4 parcelas; con 4 variedades y 4 Dosis lo que tiene 80 UE que se destinaron al laboratorio para evaluar la cantidad de zinc y hierro en la planta, e 160 UE que permitieron evaluar el rendimiento de acuerdo a las dosis; así se distribuyen las siguientes características.

- Número de UE: 80 UE y 160 UE

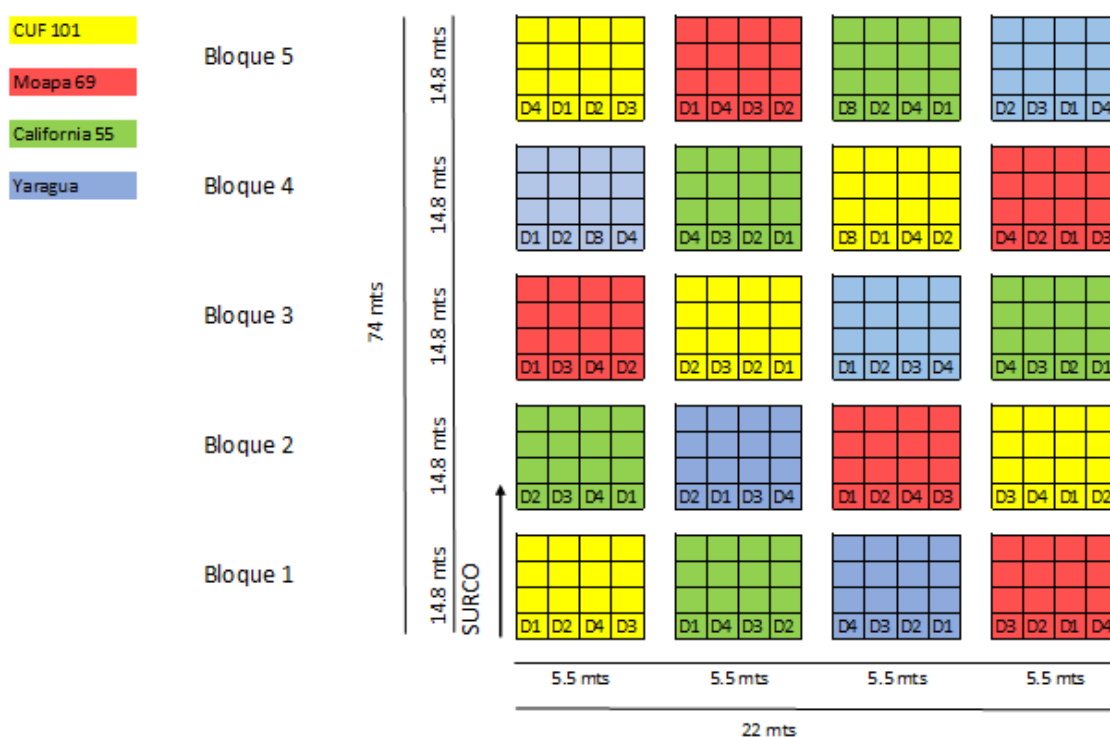
- Largo parcela: 74 m
- Ancho parcela: 24 m
- Largo de UE: 14.8 m
- Ancho de UE: 5.5 m
- Distanciamiento Ancho: 1 m
- Distancia entre Largo: 0.8 m
- Área de UE: 0.8 m²
- Área neta experimental: 1976 m²
- Área total: 1776 m²

3.4.4 Croquis Experimental

Figura 12. Croquis experimental y distribución de unidades experimentales.

Factor 1: CUF 101, Moapa 69, California 55, Yaragua

Factor 2: D1 = 0; D2 = 2 Kg Zn; D3 = 2 Kg Fe; D4 = 2 Kg Zn + 2 Kg Fe



(Propio, 2022)

3.4.5 Análisis estadísticos

El experimento se llevó a cabo bajo un diseño de bloques completos aleatorios de parcela dividida con cinco repeticiones, considerando la variedad de alfalfa como factor A (CUF 101, Moapa 69, California 55 y Caraveli); y la dosis (D1, D2, D3, D4) como factor B.

3.4.6 Análisis de significancia

Los datos obtenidos de la evaluación de variables en los tratamientos fueron sometidos al análisis de variancia (ANVA). Los promedios fueron comparados mediante la prueba de comparación de medias HSD (diferencia honestamente significativa) de Tukey con un nivel de significación de 0.05. Se utilizará la prueba de comparación de medias HSD de Tukey. El análisis estadístico será realizado empleando el paquete *Agricolae* del ambiente para computación estadística R, versión 4.2.0 (R Project for Statistical Computing, 2023).



CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Rendimiento

4.3.1 Producción de Biomasa

En base los datos recopilados en el Anexo N°1 se procedió a realizar el análisis de varianza (Anexo N°2) posteriormente con los datos de los tres cortes se elaboró la Tabla N°3 para la observación de rendimiento (kg ha^{-1}), donde:

4.3.1.1 Primer Corte

En el primer corte se encontró significancia para los efectos principales de los factores variedad y dosis, no se encontró significancia en la interacción (Tabla N°3), la comparación de medias de los tratamientos se puede ver en la Figura 13.

En la comparación de medias de los efectos principales del factor dosis (Figura 14) la dosis D3 ($\text{Fe } 2 \text{ kg ha}^{-1} + \text{Zn } 0 \text{ kg ha}^{-1}$) obtuvo el rendimiento más alto con un valor de $3\,331.3 \text{ kg ha}^{-1}$ siendo estadísticamente diferente de los tratamientos D4 ($3\,246.1 \text{ kg ha}^{-1}$), D2 ($3\,169.8 \text{ kg ha}^{-1}$) y D1 ($2\,932.3 \text{ kg ha}^{-1}$), suponiendo un aumento del 13.6% en relación a la dosis testigo.

En la comparación de medias de los efectos principales en el factor variedad (Figura N° 15) la variedad Yaragua y California 55 obtuvieron los rendimientos más altos con una producción de biomasa de $3\,583$ y $3\,549.9 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivamente, siendo estadísticamente diferentes de las variedades Moapa 69 y Cuf 101 que mostraron rendimientos de $2\,892.5$ y $2\,654.2 \text{ kg ha}^{-1}$.

Tabla N°3 Análisis de varianza para la variable de rendimiento (kg ha^{-1})

FV	GL	SC	CM	F value	Pr(>F)	Sign
Bloq	4	12539550	313488	17.7406	5.3^{-9}	***
V	3	13158391	4386130	5.4675	0.01331	*
Ea	12	9626546	802212			
D	3	1765488	588496	3.3303	0.02713	*
V : D	9	1614434	179382	1.0151	0.44158	
Eb	48	8481945	176707			
signif. codes:	0	0.001	0.01	0.05	0.1	1
CV(a)	28.3%					
CV(b)	13.3%					
Medio	3169.9					

4.3.1.2 Segundo Corte

En el segundo corte no se encontró significancia en los efectos principales, pero si en la interacción de los mismos (Tabla N°3), la comparación de medias de los tratamientos se encuentra en la Figura 13.

En la comparación de medias de los tratamientos se encontró que el tratamiento con mayor rendimiento se produjo con la combinación de la variedad California 55 (V3) con la dosis D2 ($\text{Fe } 0 \text{ kg ha}^{-1} + \text{Zn } 2 \text{ kg ha}^{-1}$) con un valor promedio de $6\,738.5 \text{ kg ha}^{-1}$, representando un aumento del 8.7% en relación con la dosis testigo en la misma variedad (V3D1).

Tabla N°4 Análisis de varianza para la variable de rendimiento (kg ha⁻¹)

FV	GL	SC	MC	F	Pr(>F)	Sign
Bloq	4	7849019	1962255	4.6066	0.003146	**
V	3	1689179	563060	0.2642	0.849883	
Ea	12	25574443	2131204			
D	3	2092644	697548	1.6376	0.193066	
V : D	9	8795527	977281	2.2943	0.031147	*
Eb	48	20446366	425966			
signif. cod:	0 ****	0.001 ****	0.01 ***	0.05 **	0.1 **	1
CV(a)	23.7%					
CV(b)	10.6%					
Media	6166.8119					

4.3.1.3 Tercer Corte

En el tercer corte no se encontró significancia ni en la interacción entre factores ni en los efectos principales (Tabla N°3).

Si bien estadísticamente no hubo diferencia, de forma numérica la dosis D4 ($\text{Fe } 2 \text{ kg ha}^{-1} + \text{Zn } 2 \text{ kg ha}^{-1}$) obtuvo el rendimiento más alto en este corte, sin embargo, en comparación de la dosis testigo D1 ($6\,306 \text{ kg ha}^{-1}$) solo representó un aumento no significativo del 1.4%, las dosis D2 y D3 mostraron los rendimientos más bajos en este corte con $6\,240.2$ y $6\,145.6 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivamente.

Tabla N°5 Análisis de varianza para la variable de rendimiento (kg ha⁻¹)

FV	GL	SC	CM	F	Pr(>F)	Sign
Bloq	4	32779936	8194984	14.3084	9.244 ⁻⁰⁸	***
V	3	5231866	1743955	0.8572	0.4895	
Ea	12	24412840	2034403			
D	3	670307	223436	0.3901	0.7606	
V : D	9	604282	671387	1.1722	0.339	
Eb	48	27491579	572741			
signif. cod:	0 ****	0.001 ***	0.01 **	0.05 *	0.1	1
CV(a)	22.7%					
CV(b)	12.1.6%					
Media	6271.98					

Tabla N°6. Efecto de la dosis y variedad en el rendimiento de alfalfa (kg ha⁻¹) en tres momentos de corte

Factor	Rendimiento (kg ha ⁻¹)		
	1 ^{er} Corte	2 ^{do} Corte	3 ^{er} Corte
Variedad			
V1 (CUF 101)	2654.2 b	5915.7 a	6171.6 a
V2 (MOAPA 69)	2892.5 ab	6263.6 a	6295.5 a
V3 (CALIFORNIA 55)	3549.9 a	6236.8 a	5958.3 a
V4 (YARAGUA)	3583.0 a	6251.2 a	6662.6 a
Dosis			
D1 (Fe 0 kg ha ⁻¹ + Zn 0 kg ha ⁻¹)	2932.3 b	5911.4 a	6306.0 a
D2 (Fe 0 kg ha ⁻¹ + Zn 2 kg ha ⁻¹)	3169.8 ab	6320.1 a	6240.2 a
D3 (Fe 2 kg ha ⁻¹ + Zn 0 kg ha ⁻¹)	3331.3 a	6144.9 a	6145.7 a
D4 (Fe 2 kg ha ⁻¹ + Zn 2 kg ha ⁻¹)	3246.1 ab	6290.9 a	6396.0 a
Variedad x Dosis			
V1 * D1	2686.5 bcd	5169.9 b	6271.3 a
V1 * D2	2525.7 cd	6283.1 ab	6337.6 a
V1 * D3	2886.8 abcd	6223.9 ab	5751.8 a
V1 * D4	2517.9 cd	5985.8 ab	6325.6 a
V2 * D1	2418.8 d	5725.0 ab	5961.3 a
V2 * D2	2901.4 abcd	6555.8 ab	6257.7 a
V2 * D3	3175.1 abcd	6130.6 ab	6189.5 a
V2 * D4	3074.6 abcd	6643.0 ab	6773.5 a
V3 * D1	3448.0 abc	6200.9 ab	6005.4 a
V3 * D2	3514.1 ab	6738.5 a	6271.7 a
V3 * D3	3606.8 ab	6030.7 ab	5642.1 a
V3 * D4	3630.5 ab	5977.3 ab	5914.0 a
V4 * D1	3176.1 abcd	6549.7 ab	6986.1 a
V4 * D2	3738.0 a	5703.1 ab	6093.8 a
V4 * D3	3656.3 a	6194.3 ab	6999.3 a
V4 * D4	3761.5 a	6557.6 ab	6571.1 a
F de V			
Bloques	0.000 *	0.003 *	0.000 *
Variedad	0.013 *	0.850 n.s.	0.490 n.s.
Dosis	0.027 *	0.193 n.s.	0.761 n.s.
V x D	0.442 n.s.	0.031 *	0.334 n.s.
CV Parcela (%)	28.3%	23.7%	22.7%
CV Subparcela (%)	13.3%	10.6%	12.1%

n.s.= no significativo; *= significativo al 5%

Figura 13. Rendimiento en tres momentos de corte producto de la interacción entre dosis y variedad

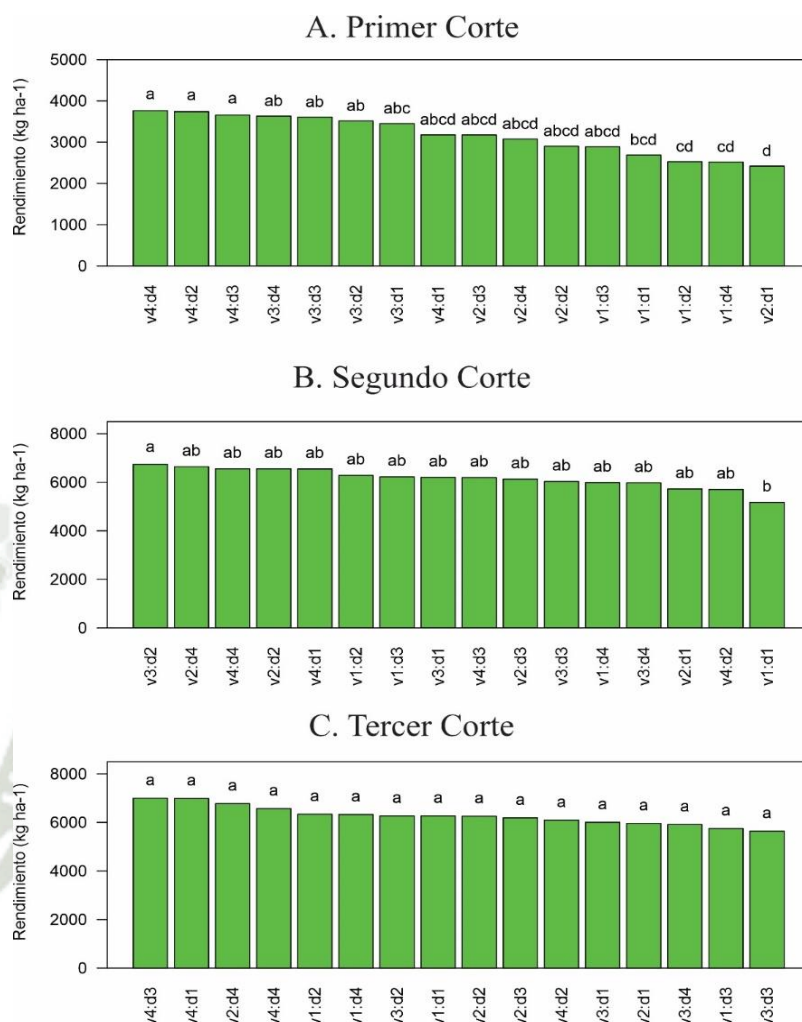


Figura 14. Rendimiento en tres momentos de corte producto de la dosis

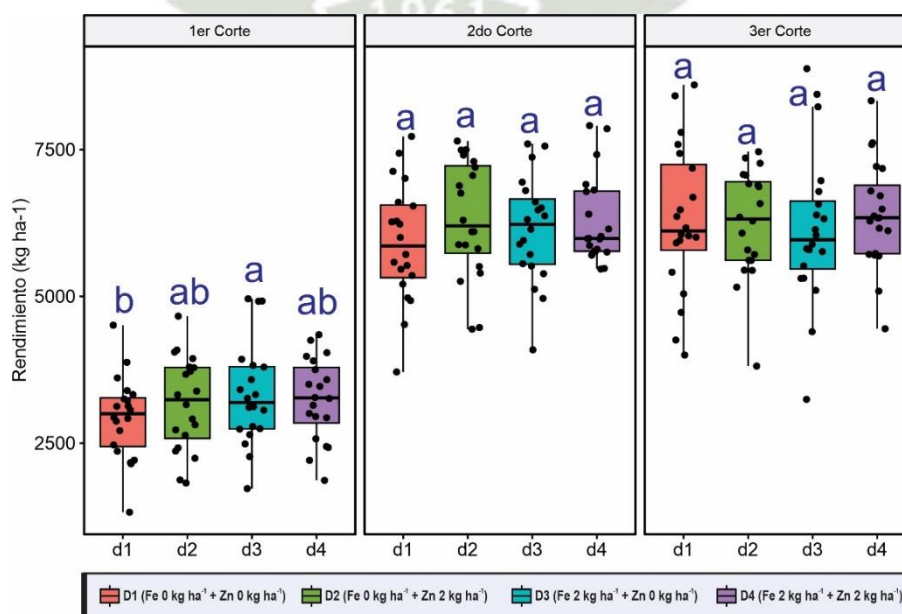
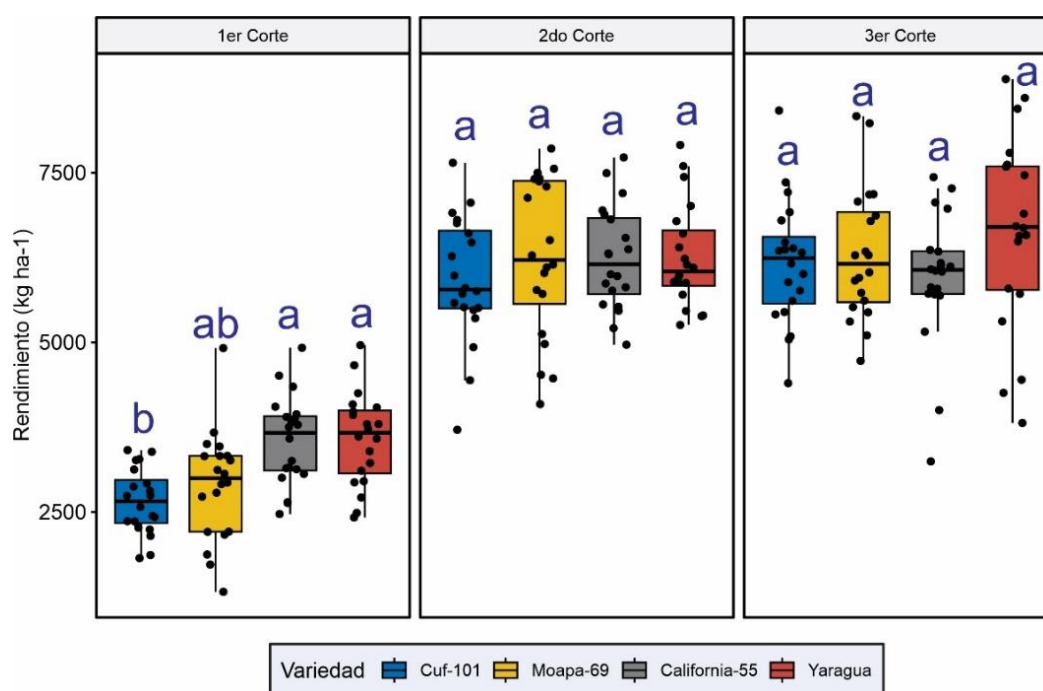


Figura 15. Rendimiento en tres momentos de corte producto de la variedad



4.2 Concentración de micronutrientes en planta

4.2.1 Nivel de concentración de zinc

En base los datos recopilados en el Anexo N°1 se procedió a realizar el análisis de varianza (Anexo N°3) posteriormente con los datos de los tres cortes se elaboró la Tabla N°4 para la observación de rendimiento (mg kg^{-1}), donde:

4.2.1.1 Primer Corte

En el primer corte se encontró significancia tanto en los efectos principales como en la interacción (Tabla N°4), la comparación de medias de los tratamientos se encuentra en la Figura N°16.

En la comparación de medias de los efectos principales del factor dosis (Figura N°17) las dosis D4 ($\text{Fe } 2 \text{ kg ha}^{-1} + \text{Zn } 2 \text{ kg ha}^{-1}$) y D3 ($\text{Fe } 2 \text{ kg ha}^{-1} + \text{Zn } 0 \text{ kg ha}^{-1}$) obtuvieron los niveles de concentración más altos con valores de 176.2 mg kg^{-1} y 174.4 mg kg^{-1} respectivamente, siendo estadísticamente diferente de los tratamientos D3 (27.5 mg kg^{-1}) y D1 (23.9 mg kg^{-1}), suponiendo un aumento del 637.2% en relación a la dosis testigo.

En la comparación de medias de los efectos principales en el factor variedad (Figura N° 18) la variedad Cuf 101 obtuvo el nivel de concentración de zinc más alto con un valor de 119.5

mg kg⁻¹ siendo estadísticamente diferente de las variedades Moapa 69, California 55 y Yaragua que mostraron rendimientos de 105.4, 91.2 y 86 mg kg⁻¹ respectivamente.

Tabla N°7. Efecto de la dosis y variedad en la concentración de zinc en alfalfa (mg kg⁻¹)

FV	GL	SC	CM	F	Pr(>F)	Sign
Bloq	4	1042	261	0.4383	0.780293	
V	3	13630	4543	6.0098	0.009676	**
Ea	12	9072	756			
D	3	447933	149311	251.1211	< 2.2 ⁻¹⁶	***
V : D	9	34651	3850	6.4753	5.66 ⁻⁰⁶	***
Eb	48	28540	595			
signif. cod:	0 ****	0.001 ***	0.01 **	0.05 *	0.1 *	1
CV(a)	27.4%					
CV(b)	24.3%					
Media	100.5092					

4.2.1.2 Segundo Corte

En el segundo corte se encontró significancia en el efecto principal del factor dosis y en la interacción (Tabla N°4), la comparación de los tratamientos se encuentra en la Figura N°16.

En la comparación de medias de los efectos principales del factor dosis (Figura N°17) se encontró diferencia estadística significativa entre las dosis que contienen zinc frente a las que no lo incorporaron, siendo las mejores dosis la D2 (Fe 0 kg ha⁻¹ + Zn 2 kg ha⁻¹) con un valor de 137.3 mg kg⁻¹ y D4 (Fe 2 kg ha⁻¹ + Zn 2 kg ha⁻¹) con un valor de 131.9 mg kg⁻¹ en comparación con la dosis D3 (Fe 2 kg ha⁻¹ + Zn 0 kg ha⁻¹) con un valor de 30.9 mg kg⁻¹ y la dosis testigo D1 (Fe 0 kg ha⁻¹ + Zn 0 kg ha⁻¹) con el valor más bajo de concentración de zinc de 22 mg kg⁻¹.

En la comparación de medias de la interacción (Figura N°16) se encontró que la mayor concentración de zinc se obtuvo con las combinaciones V4*D4 y V1*D2 con valores de 196.5 y 179 mg kg⁻¹ respectivamente, siendo ambos tratamientos iguales estadísticamente entre sí pero diferentes estadísticamente de los demás tratamientos, ambas dosis D4 (Fe 2 kg ha⁻¹ + Zn 2 kg ha⁻¹) y D2 (Fe 0 kg ha⁻¹ + Zn 2 kg ha⁻¹) aportan zinc con la aplicación foliar.

Tabla N°8. Efecto de la dosis y variedad en la concentración de zinc en alfalfa (mg kg⁻¹)

	Df	Sum Cua	Media Cua	F	Pr(>F)	
Bloq	4	1973	493	1.7337	0.1580	
V	3	1846	615	1.5062	0.2631	
Ea	12	4902	409			
D	3	235162	78387	275.4959	< 2.2 ⁻¹⁶	***
V : D	9	50995	5666	19.9139	2.243 ⁻¹³	***
Eb	48	13658	285			
signif. cod:	0 ****	0.001 ****	0.01 ***	0.05 **	0.1 *	1
CV(a)	25.1%					
CV(b)	20.9%					
Media	80.53387					

4.2.1.3 Tercer Corte

En el tercer corte se encontró significancia en el efecto principal del factor dosis y en la interacción (Tabla N°4), la comparación de los tratamientos se encuentra en la Figura N°16.

En la comparación de medias de los efectos principales del factor dosis (Figura N°17) se encontró diferencia estadística significativa entre la dosis D2 (Fe 0 kg ha⁻¹ + Zn 2 kg ha⁻¹) que obtuvo una concentración promedio de 120.5 mg kg⁻¹.

En la comparación de medias de la interacción (Figura N°16) se encontró que el mayor valor promedio de concentración se produjo con la combinación de la variedad Yaragua (V4) con la dosis D2 (Fe 0 kg ha⁻¹ + Zn 2 kg ha⁻¹) con un valor promedio de 139.5 mg kg⁻¹, representando un aumento del 493.6 % en relación con la dosis testigo en la misma variedad (V4D1).

Tabla N°9. Efecto de la dosis y variedad en la concentración de zinc en alfalfa (mg kg⁻¹)

FV	GL	SC	CM	F	Pr(>F)	Sign
Bloq	4	602	150	0.9471	0.44505587	
V	3	1346	449	2.6814	0.0939609	.
Ea	12	2008	167			
D	3	139582	46527	292.8209	< 2.2 ⁻¹⁶	***
V : D	9	5869	652	4.1043	0.0005852	***
Eb	48	7627	159			
signif. cod:	0 ****	0.001 ****	0.01 ***	0.05 **	0.1 *	1
CV(a)	20.1%					
CV(b)	19.6%					
Media	64.43287					

Tabla N°10. Efecto de la dosis y variedad en la concentración de zinc en alfalfa (mg kg⁻¹) en tres momentos de corte

Factor	Concentración Zn (mg kg ⁻¹)		
	1 ^{er} Corte	2 ^{do} Corte	3 ^{er} Corte
Variedad			
V1 (CUF 101)	119.5 a	77.3 a	62.9 a
V2 (MOAPA 69)	105.4 ab	81.9 a	69.5 a
V3 (CALIFORNIA 55)	91.2 b	75.2 a	58.6 a
V4 (YARAGUA)	86.0 b	87.7 a	66.7 a
Dosis			
D1 (Fe 0 kg ha ⁻¹ + Zn 0 kg ha ⁻¹)	23.9 b	22.0 b	20.4 c
D2 (Fe 0 kg ha ⁻¹ + Zn 2 kg ha ⁻¹)	174.4 a	137.3 a	120.5 a
D3 (Fe 2 kg ha ⁻¹ + Zn 0 kg ha ⁻¹)	27.5 b	30.9 b	28.2 c
D4 (Fe 2 kg ha ⁻¹ + Zn 2 kg ha ⁻¹)	176.2 a	131.9 a	88.6 b
Variedad x Dosis			
V1 * D1	22.6 d	25.4 e	18.5 e
V1 * D2	171.2 bc	179.0 a	109.0 bc
V1 * D3	31.8 d	27.7 e	24.5 e
V1 * D4	252.3 a	77.0 cd	99.8 cd
V2 * D1	23.5 d	23.6 e	20.3 e
V2 * D2	160.2 bc	121.8 b	132.4 ab
V2 * D3	25.3 d	44.4 de	36.3 e
V2 * D4	155.7 bc	138.0 b	89.1 cd
V3 * D1	24.6 d	18.6 e	19.4 e
V3 * D2	199.5 ab	140.0 b	101.2 cd
V3 * D3	26.9 d	26.0 e	23.2 e
V3 * D4	170.6 bc	116.2 b	90.6 cd
V4 * D1	25.0 d	20.5 e	23.5 e
V4 * D2	166.7 bc	108.4 bc	139.5 a
V4 * D3	25.8 d	25.4 e	28.9 e
V4 * D4	126.3 c	196.5 a	75.0 d
F de V	1^{er} Corte	2^{do} Corte	3^{er} Corte
Bloques	0.780 n.s.	0.158 n.s.	0.445 n.s.
Variedad	0.010 *	0.263 n.s.	0.094 n.s.
Dosis	0.000 *	0.000 *	0.000 *
V x D	0.000 *	0.000 *	0.001 *
CV Parcela (%)	27.4%	25.1%	20.1%
CV Subparcela (%)	24.3%	20.9%	19.6%

n.s.= no significativo; *= significativo al 5%

Figura N°16. Concentración de zinc en tres momentos de corte producto de la interacción entre dosis y variedad

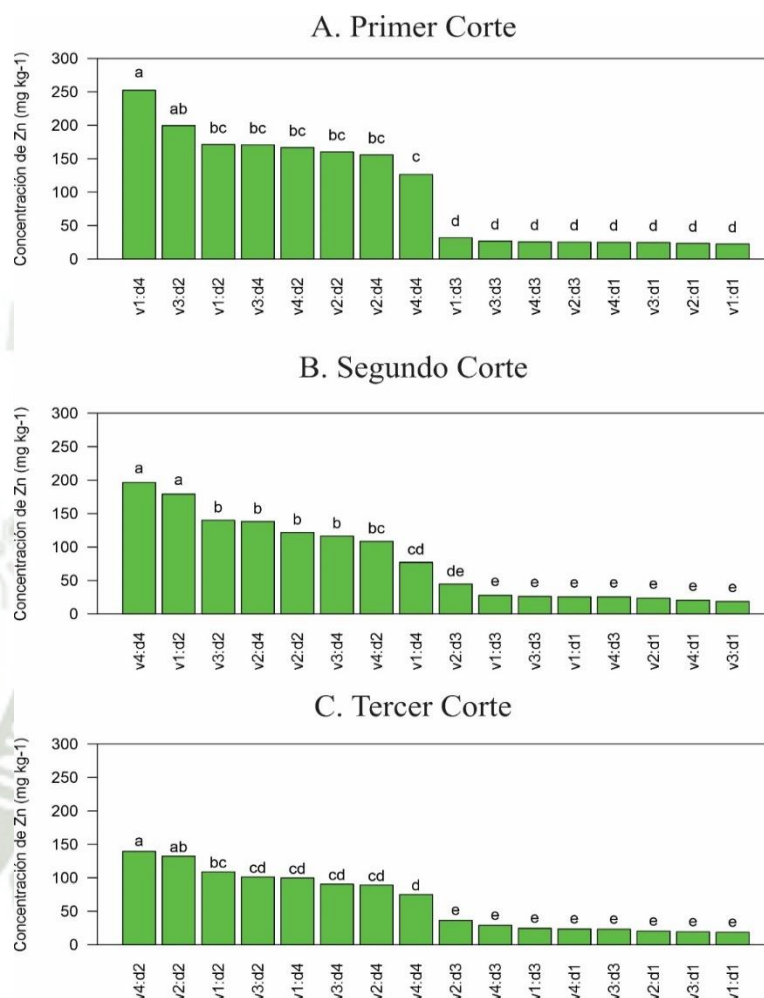


Figura N°17. Concentración de zinc en tres momentos de corte producto de la dosis

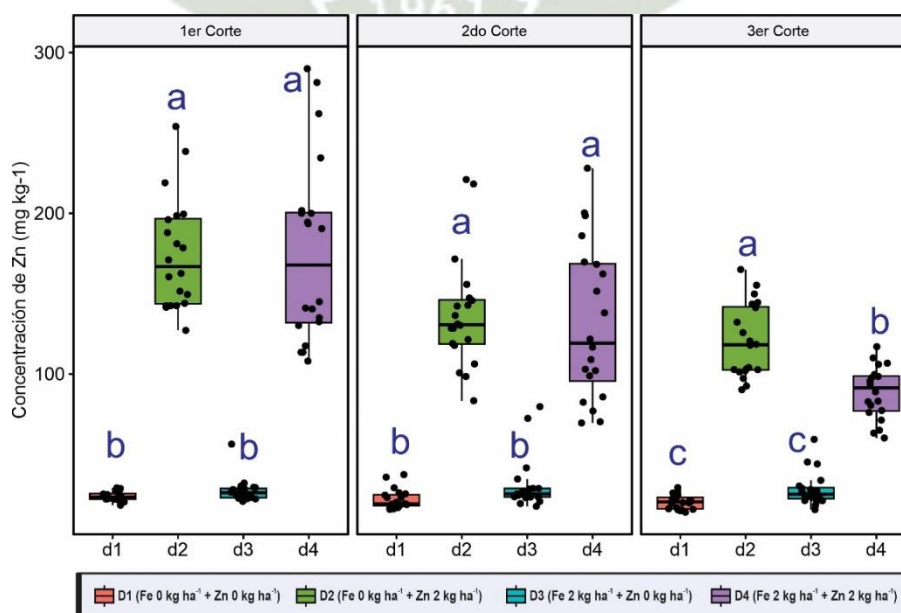
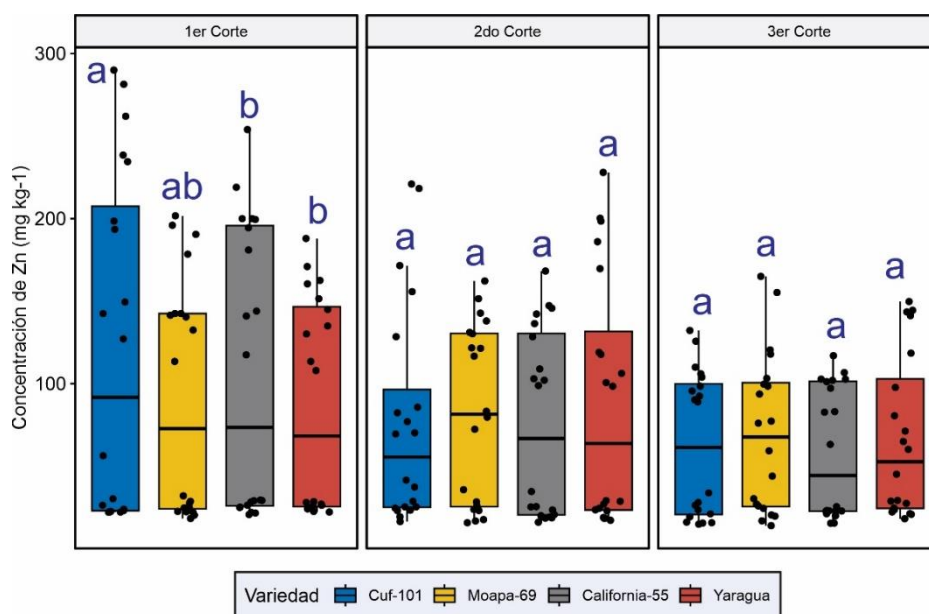


Figura N°18. Concentración de zinc en tres momentos de corte producto de la variedad



4.2.2 Nivel de concentración de hierro

En base al Anexo N°4 se elaboró la Tabla N°5 para la observación de nivel de concentración de hierro (mg kg^{-1}) donde:

4.2.2.1 Primer Corte

En el primer corte se encontró significancia en los efectos principales y en la interacción entre variedad y dosis, la comparación de medias de los tratamientos se encuentra en la Figura N°19.

En la comparación de medias de los efectos principales del factor dosis (Figura N°20) se encontró que la mayor concentración de hierro se dio con la aplicación de la dosis D4 ($\text{Fe } 2 \text{ kg ha}^{-1} + \text{Zn } 2 \text{ kg ha}^{-1}$) con un valor de 243.2 mg kg^{-1} , representando un aumento del 93.3 % en comparación con la dosis testigo D1 con un valor de 125.8 mg kg^{-1} .

En la comparación de medias de los efectos principales del factor variedad (Figura N°21) se encontró diferencia estadística entre las variedades Cuf 101 (195.1 mg kg^{-1}), Yaragua (180.7 mg kg^{-1}) y California 55 (178.6 mg kg^{-1}) en comparación con la variedad Moapa 69 (143.1 mg kg^{-1}).

En la comparación de medias de la interacción (Figura N°19) se encontró que el mayor valor promedio de concentración se produjo con la combinación de la variedad Cuf 101 (V1) con la dosis D4 ($\text{Fe } 2 \text{ kg ha}^{-1} + \text{Zn } 2 \text{ kg ha}^{-1}$) con un valor promedio de 293.3 mg kg^{-1} ,

representando un aumento del 144.2 % en relación con la dosis testigo en la misma variedad (V1D1).

Tabla N°11. Efecto de la dosis y variedad en la concentración de hierro en alfalfa (mg kg⁻¹)

FV	GL	SC	CM	F	Pr(>F)	Sign
Bloq	4	6147	1537	2.0530	0.101796	
V	3	29384	9795	8.4321	0.002768	**
Ea	12	13939	1162			
D	3	215699	71900	96.0449	< 2.2 ⁻¹⁶	***
V : D	9	25672	2852	3.8104	0.001093	**
Eb	48	35933	749			
signif. cod:	0 ****	0.001 ***	0.01 **	0.05 *	0.1 "	1
CV(a)	19.5%					
CV(b)	15.7%					
Media	174.3878					

4.2.2.2 Segundo Corte

En el segundo corte se encontró significancia en los efectos principales y en la interacción entre variedad y dosis, la comparación de medias de los tratamientos se encuentra en la Figura N°19.

En la comparación de medias de los efectos principales del factor dosis (Figura N°20) se encontró que la mayor concentración de hierro se dio con la aplicación de la dosis D4 (Fe 2 kg ha⁻¹ + Zn 2 kg ha⁻¹) con un valor de 230 mg kg⁻¹, representando un aumento del 90.9 % en comparación con la dosis testigo D1 con un valor de 120.5 mg kg⁻¹.

En la comparación de medias de los efectos principales del factor variedad (Figura N°21) se encontró que el valor más alto de concentración de hierro se dio en la variedad Cuf 101 (V1) con un valor de 188.6 mg kg⁻¹, seguido por las variedades California 55 (V3), Yaragua (V4) y Moapa 69 (V2) con valores de concentración de 179.5, 162.8 y 142.9 mg kg⁻¹ respectivamente.

En la comparación de medias de la interacción (Figura N°19) se encontró que los valores promedio más altos de concentración se produjeron con las dosis D4 (Fe 2 kg ha⁻¹ + Zn 2 kg ha⁻¹) y D3 (Fe 2 kg ha⁻¹ + Zn 0 kg ha⁻¹), siendo las únicas dosis que incorporan hierro a la planta de alfalfa, el mayor valor de concentración se produjo con la combinación de la variedad

Yaragua (V4) con la dosis D4 ($\text{Fe } 2 \text{ kg ha}^{-1} + \text{Zn } 2 \text{ kg ha}^{-1}$) obteniendo un valor promedio de 258.8 mg kg^{-1} .

Tabla N°12. Efecto de la dosis y variedad en la concentración de hierro en alfalfa (mg kg⁻¹)

FV	GL	SC	CM	F	Pr(>F)	Sign
Bloq	4	3087	772	1.0276	0.402682	
V	3	24212	8071	10.7979	0.001002	**
Ea	12	8969	747			
D	3	167733	55911	74.4404	$< 2.2^{-16}$	***
V : D	9	45077	5009	6.6684	4.006^{-06}	***
Eb	48	36052	751			
signif. cod:	0 ****	0.001 ****	0.01 ***	0.05 **	0.1 *	1
CV(a)	16.2%					
CV(b)	16.3%					
Media	168.4571					

4.2.2.3 Tercer Corte

En el tercer corte solo se encontró significancia estadística en el efecto principal de dosis (Tabla N°5), la comparación de medias por dosis se encuentra en la Figura N°20, donde la mayor concentración de hierro se produjo con la dosis D3 ($\text{Fe } 2 \text{ kg ha}^{-1} + \text{Zn } 0 \text{ kg ha}^{-1}$) con un valor de 230.8 mg kg^{-1} , seguido por las dosis D4 (200.8 mg kg^{-1}), D1 (132.3 mg kg^{-1}) y D2 (130.8 mg kg^{-1}). La dosis D3 representa un aumento del 74% en comparación a la dosis testigo D1

Tabla N°13. Efecto de la dosis y variedad en la concentración de hierro en alfalfa (mg kg⁻¹)

FV	GL	SC	CM	F	Pr(>F)	Sign
Bloq	4	10616	2654	4.2804	0.004834	
V	3	2783	928	0.8889	0.474655	**
Ea	12	12522	1044			
D	3	151062	50354	81.2119	$< 2.2^{-16}$	***
V : D	9	8385	932	1.5027	0.174238	
Eb	48	29761	620			
signif. cod:	0 ****	0.001 ****	0.01 ***	0.05 **	0.1 *	1
CV(a)	18.6%					
CV(b)	14.3%					
Media	173.6685					

Tabla N°14. Efecto de la dosis y variedad en la concentración de hierro en alfalfa (mg kg⁻¹) en tres momentos de corte

Factor	Concentración Fe (mg kg ⁻¹)		
	1 ^{er} Corte	2 ^{do} Corte	3 ^{er} Corte
Variedad			
V1 (CUF 101)	195.1 A	188.6 a	182.8 a
V2 (MOAPA 69)	143.1 B	142.9 c	174.8 a
V3 (CALIFORNIA 55)	178.6 A	179.5 ab	169.5 a
V4 (YARAGUA)	180.7 A	162.8 bc	167.6 a
Dosis			
D1 (Fe 0 kg ha ⁻¹ + Zn 0 kg ha ⁻¹)	125.8 C	120.5 c	132.3 c
D2 (Fe 0 kg ha ⁻¹ + Zn 2 kg ha ⁻¹)	122.6 C	128.4 c	130.8 c
D3 (Fe 2 kg ha ⁻¹ + Zn 0 kg ha ⁻¹)	205.9 B	194.9 b	230.8 a
D4 (Fe 2 kg ha ⁻¹ + Zn 2 kg ha ⁻¹)	243.2 A	230.0 a	200.8 b
Variedad x Dosis			
V1 * D1	120.1 E	133.7 de	133.2 c
V1 * D2	119.6 E	148.0 cde	133.6 c
V1 * D3	247.6 Ab	228.5 ab	252.3 a
V1 * D4	293.3 A	244.1 a	212.2 ab
V2 * D1	113.3 E	128.7 de	141.6 c
V2 * D2	104.2 E	119.8 de	136.8 c
V2 * D3	153.0 Cde	123.4 de	217.6 ab
V2 * D4	201.8 Bc	200.0 abc	203.0 ab
V3 * D1	131.4 E	118.6 de	126.6 c
V3 * D2	132.9 De	125.9 de	124.7 c
V3 * D3	194.2 Bcd	256.5 a	213.5 ab
V3 * D4	256.1 Ab	217.1 ab	213.3 ab
V4 * D1	138.3 De	101.1 e	127.6 c
V4 * D2	133.7 De	120.1 de	128.2 c
V4 * D3	229.1 B	171.1 bcd	240.0 a
V4 * D4	221.8 B	258.8 a	174.5 bc
F de V	1^{er} Corte	2^{do} Corte	3^{er} Corte
Bloques	0.102 n.s.	0.403 n.s.	0.005 *
Variedad	0.003 *	0.001 *	0.475 n.s.
Dosis	0.000 *	0.000 *	0.000 *
V x D	0.001 *	0.000 *	0.174 n.s.
CV Parcela (%)	19.5%	16.2%	18.6%
CV Subparcela (%)	15.7%	16.3%	14.3%

n.s.= no significativo; *= significativo al 5%

Figura 19. Concentración de hierro en tres momentos de corte producto de la interacción entre dosis y variedad

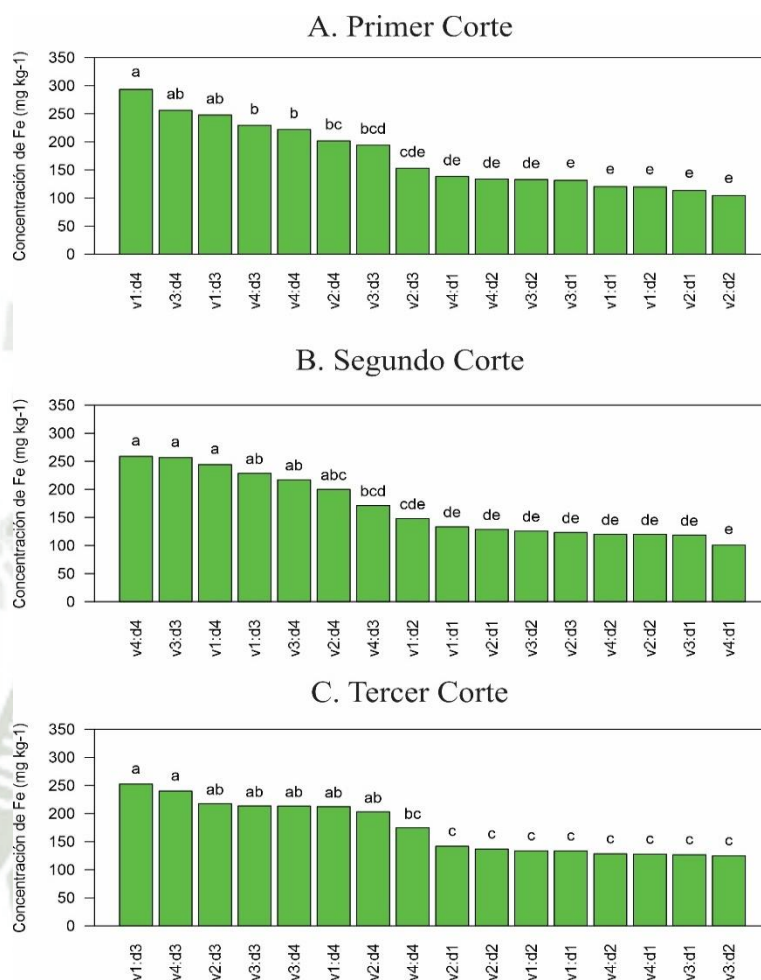


Figura 20. Concentración de hierro en tres momentos de corte producto de la dosis

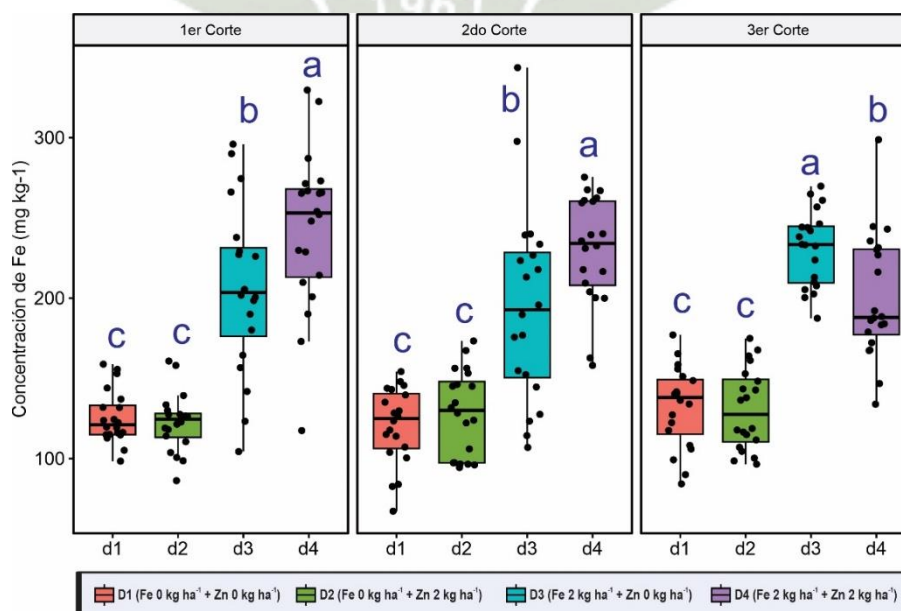
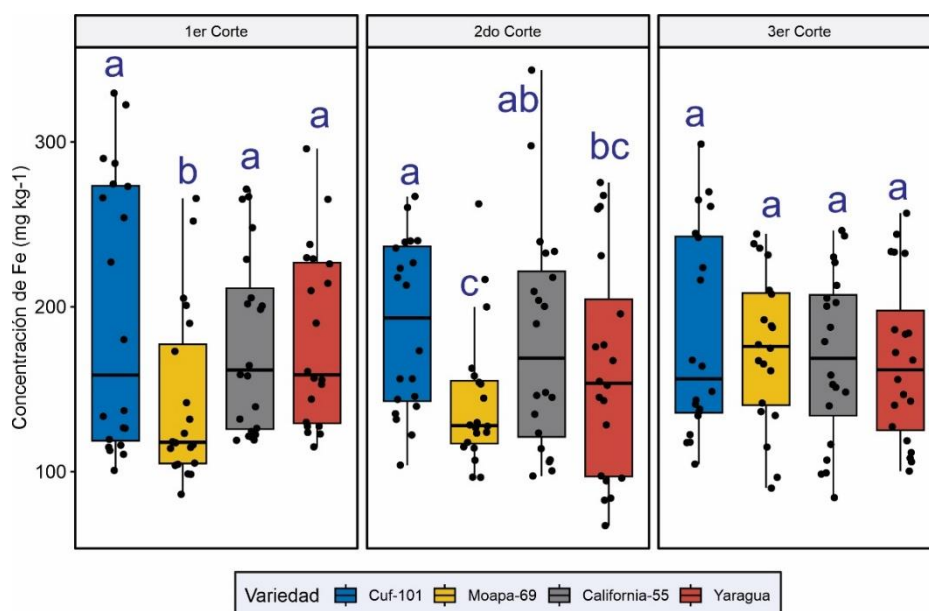


Figura 21. Concentración de hierro en tres momentos de corte producto de la variedad



4.1 Parámetros biométricos

4.1.1 Altura de Planta

En base al Anexo N°5 se elaboró la Tabla N°6 para la observación de altura de planta (cm), donde:

4.1.1.1 Primer Corte

En el primer corte no se encontró significancia estadística de ninguna fuente variación a excepción de los bloques (Tabla N°6), donde la altura de planta se caracterizó por estar en el rango de 51 cm (V1*D1) y 59 cm (V4*D4).

Tabla N°15. Efecto de la dosis y variedad en la altura de planta en alfalfa (cm)

FV	GL	SC	CM	F	Pr(>F)	Sign
Bloq	4	485.50	121.376	4.4419	0.003905	**
V	3	275.16	91.721	0.7196	0.559221	
Ea	12	1529.49	127.457			
D	3	25.08	8.360	0.3060	0.820944	
V : D	9	158.06	17.563	0.6427	0.754924	
Eb	48	1311.61	27.325			
signif. cod:	0 ****	0.001 ****	0.01 ***	0.05 **	0.1 *	1
CV(a)	20.6%					
CV(b)	9.5%					
Media	54.88485					

4.1.1.2 Segundo Corte

En el segundo corte se encontró significancia estadística en el efecto principal de variedad, en la comparación de medias (Figura N°24) se encontró que la variedad Yaragua (V4) obtuvo el mayor valor de altura con 65 centímetros, seguido por las variedades California 55 (V3), Moapa 69 (V2) y Cuf 101 (V1) con valores de 63, 60 y 59 centímetros de altura respectivamente.

Tabla N°16. Efecto de la dosis y variedad en la altura de planta en alfalfa (cm).

FV	GL	SC	CM	F	Pr(>F)	Sign
Bloq	4	228.05	57.012	8.1662	4.164 ⁻⁰⁵	***
V	3	395.40	131.801	4.5921	0.02312	*
Ea	12	344.42	28.702			
D	3	33.24	11.079	1.5870	0.20476	
V : D	9	44.80	4.978	0.7130	0.69425	
Eb	48	335.11	6.981			
signif. cod:	0 ****	0.001 ****	0.01 ***	0.05 **	0.1 *	1
CV(a)	8.7%					
CV(b)	4.3%					
Media	61.73012					

4.1.1.3 Tercer Corte

En el tercer corte no se encontró significancia estadística de ninguna fuente variación a excepción de los bloques (Tabla N°6), donde la altura de planta indistintamente de la variedad y dosis se caracterizó por estar entre los rangos de 76 cm (V4*D2) y 58 cm (V1*D2).

Tabla N°17. Efecto de la dosis y variedad en la altura de planta en alfalfa (cm)

FV	GL	SC	CM	F	Pr(>F)	Sign
Bloq	4	1277.66	319.42	10.3062	4.174 ⁻⁰⁶	***
V	3	1220.02	406.67	2.1510	0.1470	
Ea	12	2268.74	189.06			
D	3	108.02	36.01	1.1618	0.3341	
V : D	9	472.21	52.47	1.6929	0.1168	
Eb	48	1487.64	30.99			
signif. cod	0 ****	0.001 ****	0.01 ***	0.05 **	0.1 *	1
CV(a)	21.6%					
CV(b)	8.7%					
Media	63.66625					

Tabla N°18. Efecto de la dosis y variedad en la altura de planta en alfalfa (cm) en tres momentos de corte

Factor	Altura de planta (cm)		
	1 ^{er} Corte	2 ^{do} Corte	3 ^{er} Corte
Variedad			
V1 (CUF 101)	53 a	59 b	59 a
V2 (MOAPA 69)	53 a	60 ab	61 a
V3 (CALIFORNIA 55)	56 a	63 ab	65 a
V4 (YARAGUA)	57 a	65 a	69 a
Dosis			
D1 (Fe 0 kg ha ⁻¹ + Zn 0 kg ha ⁻¹)	55 a	62 a	62 a
D2 (Fe 0 kg ha ⁻¹ + Zn 2 kg ha ⁻¹)	54 a	61 a	65 a
D3 (Fe 2 kg ha ⁻¹ + Zn 0 kg ha ⁻¹)	54 a	63 a	64 a
D4 (Fe 2 kg ha ⁻¹ + Zn 2 kg ha ⁻¹)	56 a	61 a	64 a
Variedad x Dosis			
V1 * D1	51 a	59 bc	59 b
V1 * D2	53 a	59 c	58 b
V1 * D3	54 a	60 bc	60 b
V1 * D4	54 a	59 c	60 b
V2 * D1	55 a	59 bc	59 b
V2 * D2	52 a	60 abc	60 b
V2 * D3	51 a	61 abc	60 b
V2 * D4	55 a	60 bc	64 ab
V3 * D1	57 a	64 abc	61 b
V3 * D2	57 a	61 abc	67 ab
V3 * D3	57 a	65 abc	68 ab
V3 * D4	55 a	61 abc	66 ab
V4 * D1	58 a	64 abc	69 ab
V4 * D2	55 a	66 a	76 a
V4 * D3	56 a	65 ab	66 ab
V4 * D4	59 a	64 abc	66 ab
F de V	1^{er} Corte	2^{do} Corte	3^{er} Corte
Bloques	0.004 *	0.000 *	0.000 *
Variedad	0.559 n.s.	0.023 *	0.147 n.s.
Dosis	0.821 n.s.	0.205 n.s.	0.334 n.s.
V x D	0.755 n.s.	0.694 n.s.	0.117 n.s.
CV Parcela (%)	20.6%	8.7%	21.6%
CV Subparcela (%)	9.5%	4.3%	8.7%

n.s= no significativo; *= significativo al 5%

Figura 22. Altura de planta en tres momentos de corte producto de la interacción entre dosis y variedad

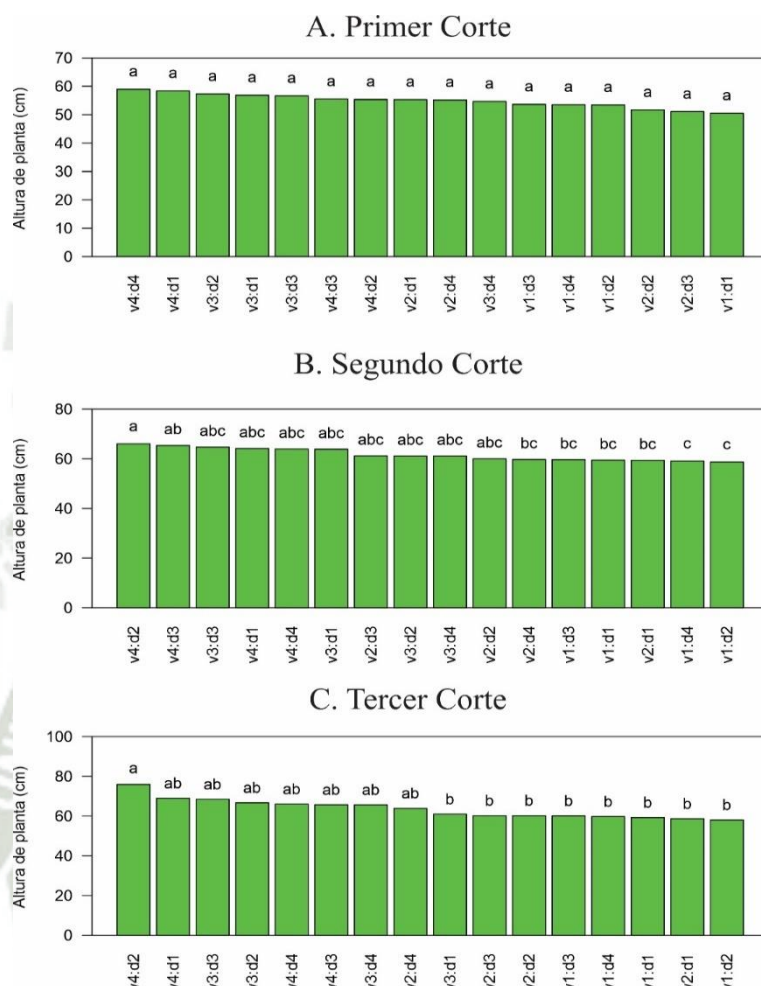


Figura 23. Altura de planta en tres momentos de corte producto de la dosis

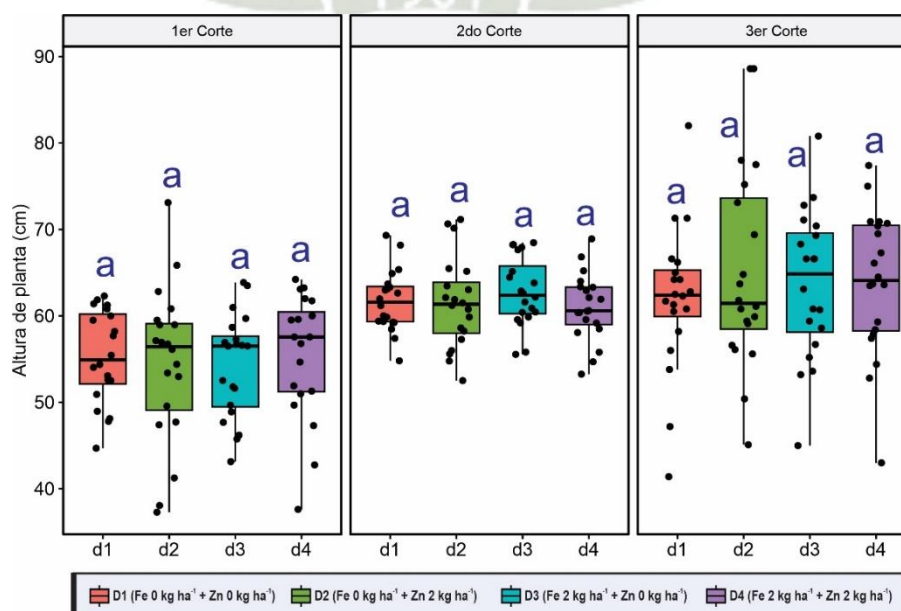
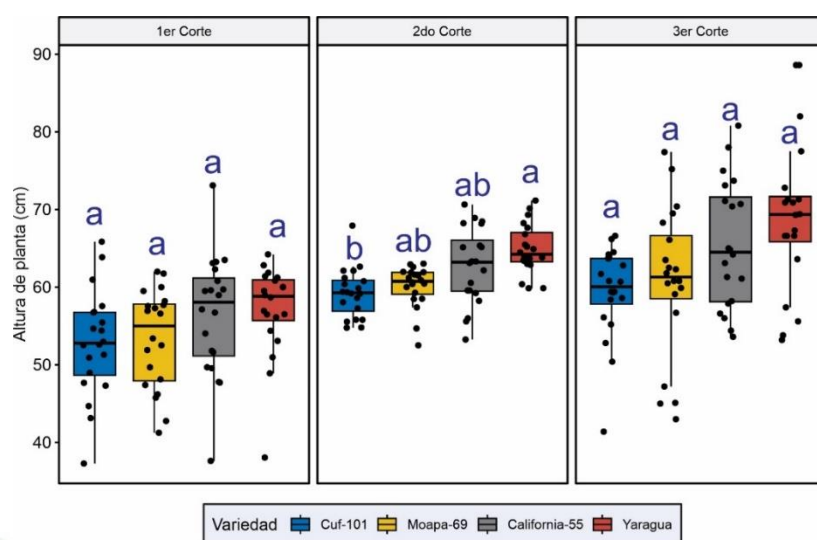


Figura 24. Altura de planta en tres momentos de corte producto de la variedad



4.1.2 Número de Hojas

En base al Anexo N°6 se elaboró la Tabla N°7 para la observación de número de hojas, donde:

4.1.2.1 Primer Corte

En el primer corte se encontró significancia en los efectos principales y en la interacción entre variedad y dosis, la comparación de medias de los tratamientos se encuentra en la Figura N°25.

En la comparación de medias de los efectos principales del factor dosis (Figura N°26) se encontró que el mayor número de hojas se dio con la dosis D1 ($\text{Fe } 0 \text{ kg ha}^{-1} + \text{Zn } 0 \text{ kg ha}^{-1}$) con un valor de 81 hojas, seguido por las dosis D4 ($\text{Fe } 2 \text{ kg ha}^{-1} + \text{Zn } 2 \text{ kg ha}^{-1}$), D2 ($\text{Fe } 0 \text{ kg ha}^{-1} + \text{Zn } 2 \text{ kg ha}^{-1}$) y D3 ($\text{Fe } 2 \text{ kg ha}^{-1} + \text{Zn } 0 \text{ kg ha}^{-1}$) con valores de 79, 67 y 65 hojas, representando una reducción en el número de hojas al incorporar hierro y zinc de forma foliar en la planta de alfalfa.

En la comparación de medias de los efectos principales del factor variedad (Figura N°27) se encontró igualdad estadística entre las variedades Cuf 101 (V1) y Moapa 69 (V2) con valores de 90 y 85 hojas respectivamente, pero siendo estadísticamente diferentes de las variedades California 55 (V3) y Yaragaua (V4) con los valores más bajos de 64 y 53 hojas respectivamente.

En la comparación de medias de la interacción (Figura N°25) se encontró que el valor más alto de número de hojas se dio con la combinación entre la variedad Moapa 69 (V2) y la dosis D4 ($\text{Fe } 2 \text{ kg ha}^{-1} + \text{Zn } 2 \text{ kg ha}^{-1}$) con un valor promedio de 111 hojas.

Tabla N°19. Efecto de la dosis y variedad en el número de hojas en alfalfa

FV	GL	SC	CM	F	Pr(>F)	Sign
Bloq	4	1326.9	331.7	1.1486	0.345230	
V	3	18861.1	6287.0	23.9842	2.343 ⁻⁰⁵	***
Ea	12	3145.6	262.1			
D	3	3647.5	1215.8	4.2100	0.010089	*
V : D	9	8218.0	913.1	3.1617	0.004492	**
Eb	48	13862.5	288.8			
signif. cod	0 ****	0.001 ***	0.01 ***	0.05 **	0.1 *	1
CV(a)	22.2%					
CV(b)	23.3%					
Media	73.02425					

4.1.2.2 Segundo Corte

En el segundo corte se encontró significancia estadística en el efecto principal de variedad, en la comparación de medias (Figura N°27) se observó igualdad estadística entre las variedades Moapa 69 (V2) y Cuf 101 (V1) con valores 204 y 193 hojas, seguido por las variedades California 55 (182 hojas) y Yaragua (164 hojas).

Tabla N°20. Efecto de la dosis y variedad en el número de hojas en alfalfa

FV	GL	SC	CM	F	Pr(>F)	Sign
Bloq	4	114173	28543.1	18.1596	3.829 ⁻⁰⁹	***
V	3	17360	5786.7	6.7794	0.006319	**
Ea	12	10243	853.6			
D	3	3813	1271.1	0.8087	0.010089	
V : D	9	4952	550.2	0.3501	0.004492	
Eb	48	75446	1571.8			
signif. cod	0 ****	0.001 ***	0.01 ***	0.05 **	0.1 *	1
CV(a)	15.8%					
CV(b)	21.4%					
Media	185.3514					

4.1.2.3 Tercer Corte

En el tercer corte se encontró significancia estadística en el efecto principal de variedad, en la comparación de medias (Figura N°27) se observó que la mayor cantidad de hojas se produjo con la variedad Moapa 69 (V2) con un valor de 196 hojas seguido por las variedades Cuf 101 (162 hojas), California 55 (146 hojas) y Yaragua (128 hojas).

Tabla N°21. Efecto de la dosis y variedad en el número de hojas en alfalfa

FV	GL	SC	CM	F	Pr(>F)	Sign
Bloq	4	39784	9946.1	7.9298	5.439 ⁻⁰⁹	***
V	3	50999	16999.5	10.5807	0.001093	**
Ea	12	19280	1606.6			
D	3	3795	1265.0	1.0085	0.397183	
V : D	9	16931	1881.3	14999	0.175240	
Eb	48	60205	1254.3			
signif. cod	0 ****	0.001 ***	0.01 ***	0.05 **	0.1 *	1
CV(a)	25.3%					
CV(b)	22.4%					
Media	158.1712					

Tabla N°22. Efecto de la dosis y variedad en el número de hojas en alfalfa en tres momentos de corte

Factor	Número de hojas		
	1 ^{er} Corte	2 ^{do} Corte	3 ^{er} Corte
Variedad			
V1 (CUF 101)	90 a	193 a	162 ab
V2 (MOAPA 69)	85 a	204 a	196 a
V3 (CALIFORNIA 55)	64 b	182 ab	146 b
V4 (YARAGUA)	53 b	164 b	128 b
Dosis			
D1 (Fe 0 kg ha ⁻¹ + Zn 0 kg ha ⁻¹)	81 a	178 a	155 a
D2 (Fe 0 kg ha ⁻¹ + Zn 2 kg ha ⁻¹)	67 ab	180 a	150 a
D3 (Fe 2 kg ha ⁻¹ + Zn 0 kg ha ⁻¹)	65 b	195 a	169 a
D4 (Fe 2 kg ha ⁻¹ + Zn 2 kg ha ⁻¹)	79 ab	188 a	159 a
Variedad x Dosis			
V1 * D1	94 ab	194 a	149 bc
V1 * D2	82 abc	183 a	174 abc
V1 * D3	94 ab	195 a	153 bc
V1 * D4	92 abc	199 a	173 abc
V2 * D1	85 abc	186 a	198 ab
V2 * D2	85 abc	211 a	161 abc
V2 * D3	60 bcde	226 a	238 a
V2 * D4	111 a	191 a	190 abc
V3 * D1	67 bcde	177 a	147 bc
V3 * D2	64 bcde	173 a	138 bc
V3 * D3	66 bcde	183 a	141 bc
V3 * D4	58 bcde	193 a	158 abc
V4 * D1	77 abcd	153 a	124 bc
V4 * D2	38 e	154 a	128 bc
V4 * D3	42 de	176 a	143 bc
V4 * D4	55 cde	171 a	116 c
F de V	1^{er} Corte	2^{do} Corte	3^{er} Corte
Bloques	0.345 n.s.	0.000 *	0.000 *
Variedad	0.000 *	0.006 *	0.001 *
Dosis	0.010 *	0.495 n.s.	0.397 n.s.
V x D	0.004 *	0.953 n.s.	0.175 n.s.
CV Parcela (%)	22.2%	15.8%	25.3%
CV Subparcela (%)	23.3%	21.4%	22.4%

n.s.= no significativo; *= significativo al 5%

Figura 25. Número de hojas en tres momentos de corte producto de la interacción entre dosis y variedad

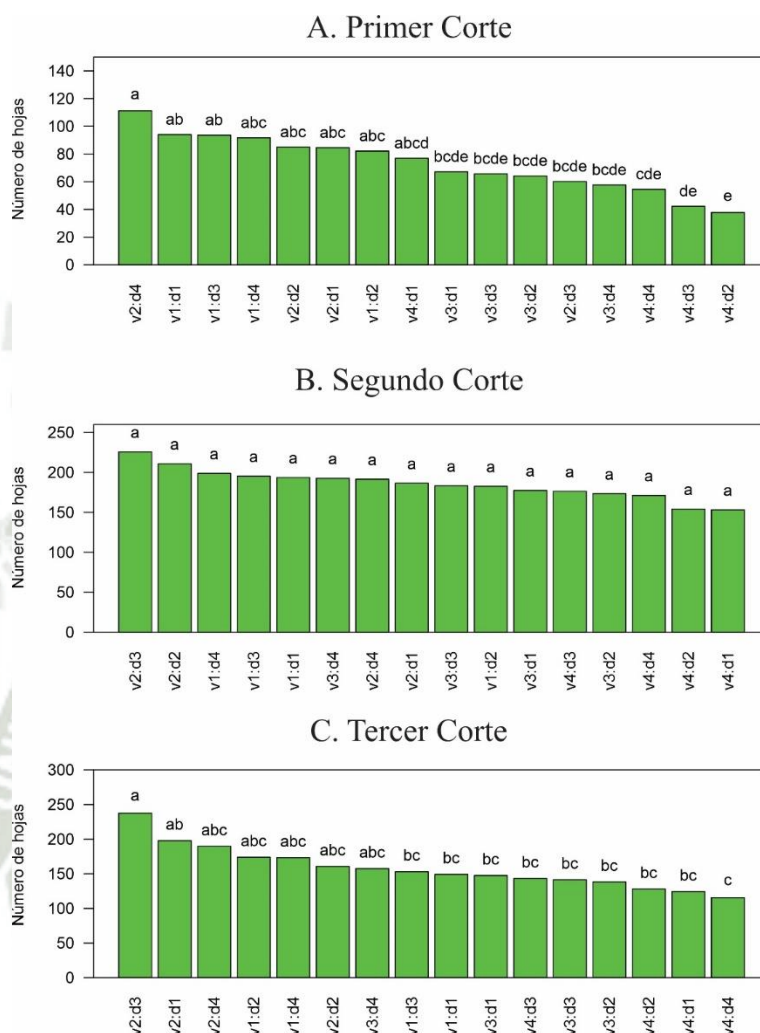


Figura 26. Número de hojas en tres momentos de corte producto de la dosis

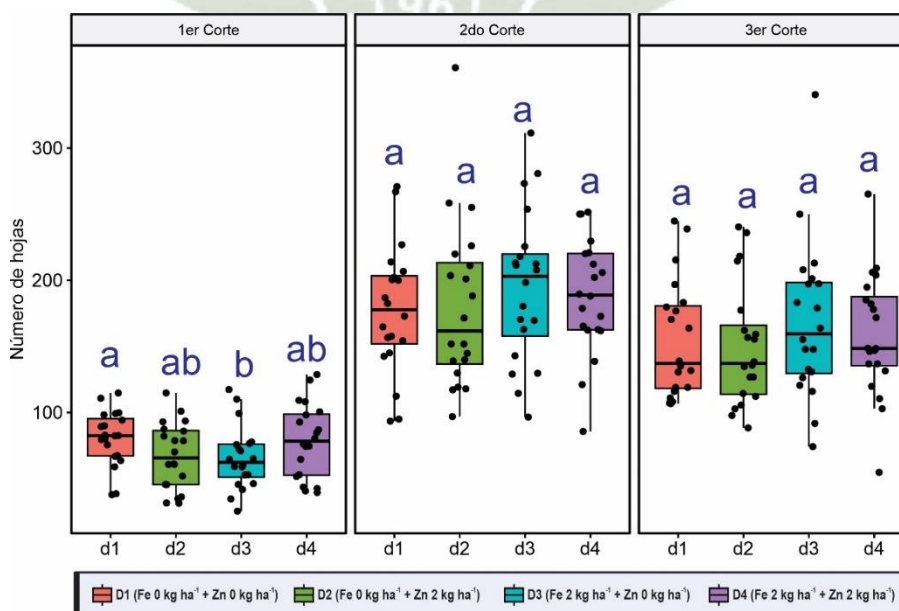
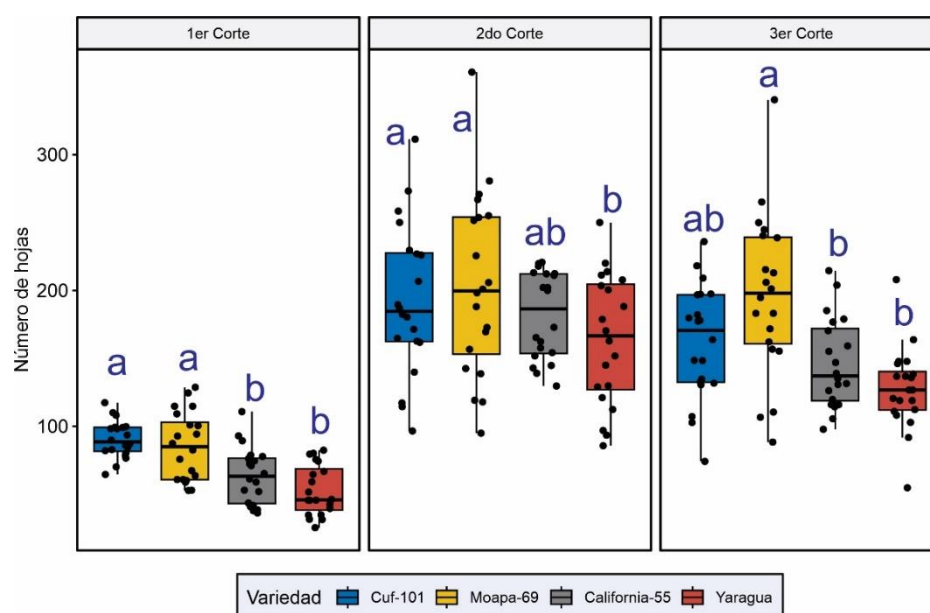


Figura 27. Número de hojas en tres momentos de corte producto de la variedad



4.1.3 Número de Tallos

En base al Anexo N°7 se elaboró la Tabla N°8 para la observación de número de tallos, donde:

4.1.3.1 Primer Corte

En el primer corte se encontró significancia en los efectos principales y en la interacción entre variedad y dosis, la comparación de medias de los tratamientos se encuentra en la Figura N°28.

En la comparación de medias de los efectos principales del factor dosis (Figura N°29) se encontró diferencia estadística entre la dosis D1 ($\text{Fe } 0 \text{ kg ha}^{-1} + \text{Zn } 0 \text{ kg ha}^{-1}$) con un valor promedio entero de 5 tallos, seguido por las dosis D4 ($\text{Fe } 2 \text{ kg ha}^{-1} + \text{Zn } 2 \text{ kg ha}^{-1}$), D2 ($\text{Fe } 0 \text{ kg ha}^{-1} + \text{Zn } 2 \text{ kg ha}^{-1}$) y D3 ($\text{Fe } 2 \text{ kg ha}^{-1} + \text{Zn } 0 \text{ kg ha}^{-1}$) con valores promedio de 3 tallos.

En la comparación de medias de los efectos principales del factor variedad (Figura N°30) se encontró diferencia estadística entre las variedades Cuf 101 (V1), Moapa 69 (V2) y California 55 (V3) las tres con un promedio entero de 4 tallos frente a la variedad Yaragua (V4) que obtuvo un valor de 3 tallos en promedio.

En la comparación de medias de la interacción (Figura N°28) se encontró el mayor número de tallos se dio con las combinaciones V1*D1 y V2*D2 con 5 tallos promedio, mientras que el número de tallos más bajo se dio con las combinaciones V4*D2 y V4*D4 de la variedad Yaragua con 3 tallos por planta.

Tabla N°23. Efecto de la dosis y variedad en el número de tallos en alfalfa

FV	GL	SC	CM	F	Pr(>F)	Sign
Bloq	4	20.951	5.2376	7.0857	0.0001444	***
V	3	13.807	4.6024	7.4277	0.0045102	**
Ea	12	7.436	0.6196			
D	3	9.414	3.1380	4.2453	0.0097020	**
V : D	9	18.063	2.0070	2.7152	0.0121372	*
Eb	48	35.481	0.7392			
signif. cod	0 ****	0.001 ****	0.01 ***	0.05 **	0.1 *	1
CV(a)	19.6%					
CV(b)	21.4%					
Media	4.017437					

4.1.3.2 Segundo Corte

En el segundo corte no se encontró significancia estadística de ninguna fuente variación a excepción de los bloques (Tabla N°8), donde el grupo de datos se caracterizó entre los valores de 5 y 4 tallos indistintamente de la variedad y la dosis aplicada en la investigación.

Tabla N°24. Efecto de la dosis y variedad en el número de tallos en alfalfa

FV	GL	SC	CM	F	Pr(>F)	Sign
Bloq	4	64.129	16.0323	18.4065	3.164 ⁻⁰⁹	***
V	3	10.506	3.5019	3.0657	0.06911	.
Ea	12	13.707	1.1423			
D	3	1.624	0.5413	0.6215	0.60456	
V : D	9	2.469	0.2743	0.3149	0.96624	
Eb	48	41.809	0.8710			
signif. cod	0 ****	0.001 ****	0.01 ***	0.05 **	0.1 *	1
CV(a)	23.4%					
CV(b)	20.4%					
Media	4.575888					

4.1.3.3 Tercer Corte

En el tercer corte se encontró significancia estadística en el efecto principal de variedad, en la comparación de medias (Figura N°30) se observó significancia estadística donde el mayor número de tallos se dio en las variedades Cuf 101 y Moapa 69 con un valor promedio de 5 tallos por planta frente a las variedades California 55 y Yaragua con un valor promedio de 4 tallos.

Tabla N°25. Efecto de la dosis y variedad en el número de tallos en alfalfa

FV	GL	SC	CM	F	Pr(>F)	Sign
Bloq	4	24.6080	6.1520	9.7949	7.099 ⁻⁰⁶	***
V	3	19.2265	6.4088	4.6848	0.02175	*
Ea	12	16.4160	1.3680			
D	3	0.0975	0.0325	0.0517	0.98427	
V : D	9	8.5795	0.9533	1.5178	0.16889	
Eb	48	30.1480	0.6281			
signif. cod	0 ****	0.001 ****	0.01 ***	0.05 **	0.1 **	1
CV(a)	25.5%					
CV(b)	17.3%					
Media	4.5925					

Tabla N°26. Efecto de la dosis y variedad en el número de tallos en alfalfa en tres momentos de corte

Factor	Número de tallos		
	1 ^{er} Corte	2 ^{do} Corte	3 ^{er} Corte
Variedad			
V1 (CUF 101)	4 a	5 a	5 a
V2 (MOAPA 69)	4 a	5 a	5 ab
V3 (CALIFORNIA 55)	4 ab	4 a	4 ab
V4 (YARAGUA)	3 b	4 a	4 b
Dosis			
D1 (Fe 0 kg ha ⁻¹ + Zn 0 kg ha ⁻¹)	5 a	5 a	5 a
D2 (Fe 0 kg ha ⁻¹ + Zn 2 kg ha ⁻¹)	4 ab	4 a	5 a
D3 (Fe 2 kg ha ⁻¹ + Zn 0 kg ha ⁻¹)	4 b	5 a	5 a
D4 (Fe 2 kg ha ⁻¹ + Zn 2 kg ha ⁻¹)	4 ab	4 a	5 a
Variedad x Dosis			
V1 * D1	5 a	5 a	5 abc
V1 * D2	4 ab	5 a	6 a
V1 * D3	4 ab	5 a	5 abc
V1 * D4	5 ab	5 a	5 ab
V2 * D1	5 ab	5 a	5 abc
V2 * D2	5 a	4 a	4 abc
V2 * D3	3 ab	5 a	5 abc
V2 * D4	5 ab	4 a	4 abc
V3 * D1	4 ab	5 a	4 abc
V3 * D2	4 ab	4 a	5 abc
V3 * D3	4 ab	4 a	4 abc
V3 * D4	4 ab	4 a	5 abc
V4 * D1	5 ab	4 a	4 bc
V4 * D2	3 b	4 a	4 abc
V4 * D3	3 ab	4 a	4 abc
V4 * D4	3 b	4 a	4 c
F de V	1^{er} Corte	2^{do} Corte	3^{er} Corte
Bloques	0.000 *	0.000 *	0.000 *
Variedad	0.005 *	0.069 n.s.	0.022 *
Dosis	0.010 *	0.605 n.s.	0.984 n.s.
V x D	0.012 *	0.966 n.s.	0.169 n.s.
CV Parcela (%)	19.6%	23.4%	25.5%
CV Subparcela (%)	21.4%	20.4%	17.3%

n.s= no significativo; *= significativo al 5%

Figura 28. Número de tallos en tres momentos de corte producto de la interacción entre dosis y variedad

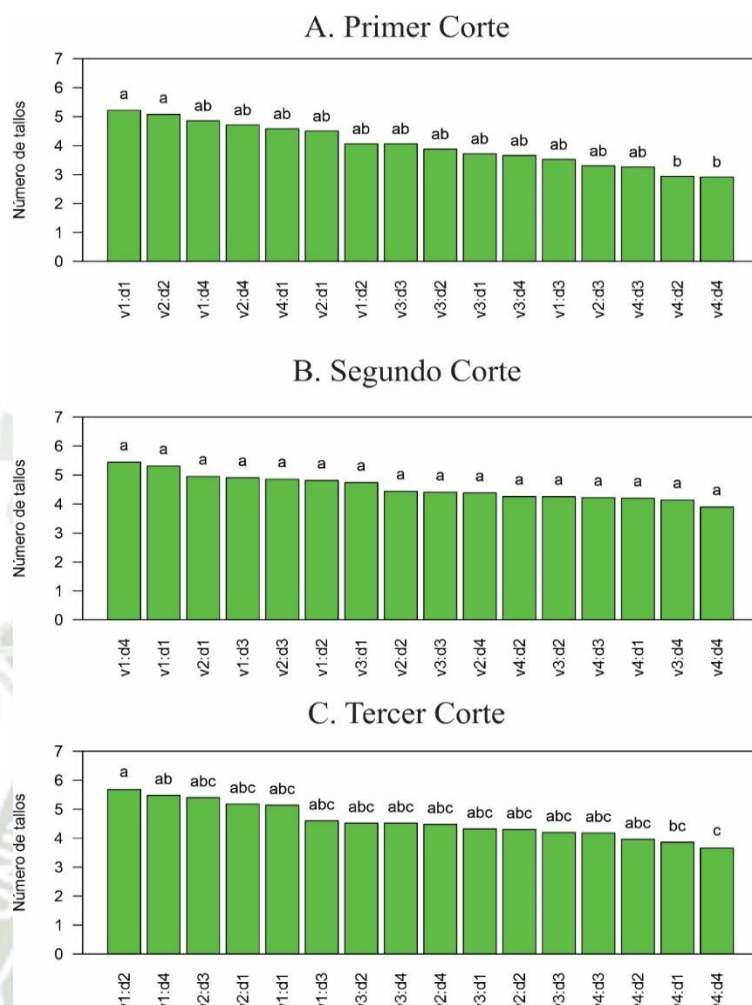


Figura 29. Número de tallos en tres momentos de corte producto de la dosis

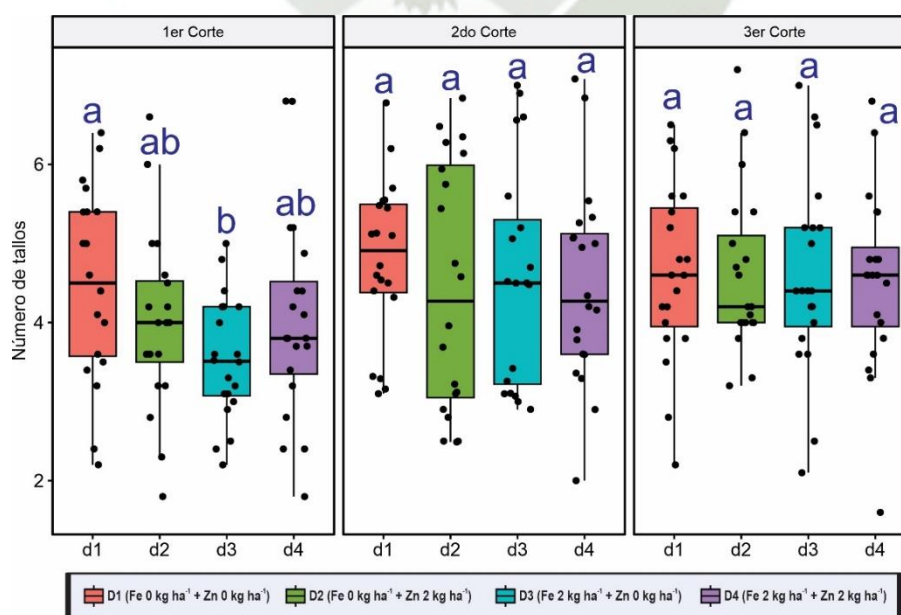
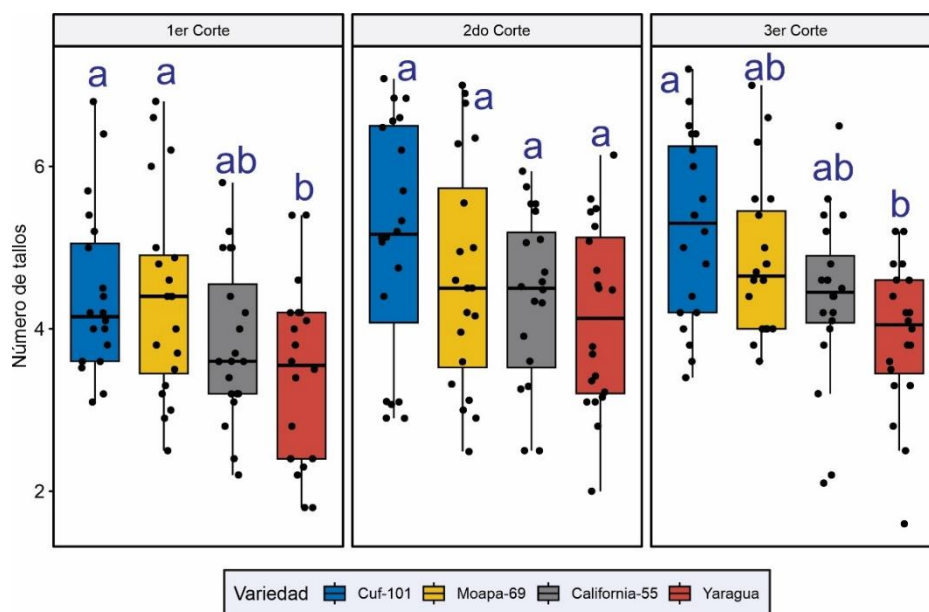


Figura 30. Número de tallos en tres momentos de corte producto de la variedad



CAPÍTULO V

5. DISCUSIÓN

5.1 Efectos en el rendimiento

5.1.1 Producción de biomasa

El rendimiento potencial del cultivo de alfalfa tiende a ser bajo en el primer año de producción en comparación con años posteriores y cortes realizados, Petković et al. (2019) en el primer corte realizado obtuvo un rendimiento de 1.97 tn ha^{-1} en el rendimiento testigo, similar al rendimiento encontrado en la presente investigación con un valor oscilante entre 2.65 y 3.58 tn ha^{-1} en el primer corte después del establecimiento del cultivo, adicionalmente la aplicación de zinc en el estudio descrito a una dosis de $0.5 \text{ kg Zn ha}^{-1}$ obtuvo un incremento en el rendimiento del 37.05% y con una dosis más alta de 1 kg Zn ha^{-1} reflejó un aumento mínimo del 14%. Nuestros datos en el primer corte reflejan un aumento del 8% con la dosis de 2 kg Zn ha^{-1} , esto podría indicar que a mayor incremento de la dosis del microelemento se obtendría un menor rendimiento en comparación con dosis moderadas.

De igual forma, Przybysz et al. (2016) encontró que el “rendimiento de alfalfa con dosis muy altas de hierro reduce el rendimiento en un 19.2 %” (p. 198). Mientras que en la presente investigación la aplicación de 2 kg Fe ha^{-1} obtuvo un aumento de rendimiento de 13.6% en el primer corte realizado con significancia estadística, esto debido a la dosis aplicada. Un aumento similar lo obtuvo Park et al. (2014) “con un aumento del 12.4% en el rendimiento, pero con dosis altas de hierro observó rendimientos más bajos en comparación con el tratamiento testigo” (p. 99). La dosis de hierro aplicada a la planta de alfalfa es un tema que requerirá de mayor experimentación para determinar el método de aplicación que permita un rendimiento óptimo con el objetivo de biofortificación con micronutrientes.

Respecto al efecto de la variedad en el rendimiento, Bazán R. et al. (2017) reporta para la variedad Yaragua un rendimiento en el primer corte de 3.56 tn ha^{-1} un resultado similar al encontrado en la presente investigación (3.58 tn ha^{-1}) debido a las características climáticas similares con una temperatura máxima y mínima promedio de 24 y 10 °C respectivamente. Adicionalmente, Aguilar Quintana (2018) “reportó para las variedades California 55 y Cuf 101 los rendimientos para el primer corte de 2.34 y 2.02 tn ha^{-1} , ambos valores son más bajos que los obtenidos en nuestro campo experimental (3.5 y 2.6 tn ha^{-1})” (p. 109). Debido a las condiciones climáticas diferentes, mientras que en nuestro campo experimental no se excedía de 25°C en la temperatura máxima, las condiciones del estudio referenciado fueron superiores

a 30°C y con temperaturas mínimas de 15°C, generando una mayor precocidad en el desarrollo para el primer corte programado. Respecto a la variedad Moapa 69, Sulca Quispe (2015) indica “un rendimiento promedio de 4.8 tn ha⁻¹” (p. 308). Un valor mayor al encontrado en la presente investigación (2.8 tn ha⁻¹) debido a las condiciones climáticas en las que se desarrolló el experimento.

5.2 Efectos de la biofortificación en el nivel de concentración de micronutrientes

5.2.1 Nivel de concentración de zinc

Respecto a los valores encontrados en la presente investigación hay ciertos contrastes respecto al nivel de concentración, Ceylan et al. (2009) solo pudo obtener hasta 34 mg kg⁻¹ aún aplicando 120 kg ha⁻¹ de ZnSO₄ (p. 342). Pero siendo la aplicación directa al suelo, es decir, de forma edáfica, nuestro experimento puede indicar un mayor aprovechamiento del microelemento a través de la aplicación directamente al follaje, como el zinc aplicado en el follaje se transporta rápidamente a las estructuras reproductivas de las plantas, donde se acumula aún más, la epidermis de la hoja absorbe fácilmente el zinc aplicado foliarmente, lo moviliza y transloca a través del floema con la ayuda de proteínas transportadoras reguladoras del zinc (Zulfiqar et al., 2020). Asimismo, Condori Ramos (2023) encontró “valores de concentración menores utilizando las dosis de 9 y 18 kg ha⁻¹ de zinc con la técnica de biofortificación agronómica de tipo edáfica” (p. 102). Lo que resalta nuestro hallazgo de biofortificación con zinc utilizando la biofortificación agronómica de tipo foliar, aplicando directamente el microelemento al follaje.

Adicionalmente a esto, Petković et al. (2019) obtuvo “incrementos en el nivel de concentración de zinc con aplicaciones foliares de 0.5 y 1 kg ha⁻¹ de zinc con valores de 33 y 50 mg Zn kg⁻¹” (p. 193). Valores que están por debajo de nuestros resultados obtenidos en el primer corte (174.4 mg Zn kg⁻¹) debido a la dosis aplicada de 2 kg ha⁻¹ pero acorde al incremento de la concentración de zinc en el follaje producto de la aplicación foliar dependiente de la dosis planteada en cada estudio.

5.2.2 Nivel de concentración de hierro

Przybysz et al. (2016) indica que:

Los brotes de alfalfa enriquecidos con dosis moderadas de hierro no pierden otros iones valiosos para el desarrollo del cultivo, pero su acumulación de biomasa en general disminuye ligeramente al aumentar la dosis de hierro, en consecuencia elevando la

concentración de hierro en tejido a inversamente proporcional a la producción de biomasa. (p. 96).

En la presente investigación se encontró que los valores más altos de concentración de hierro en el cultivo de alfalfa se dan con la aplicación foliar conjunta de hierro y zinc en la dosis moderada de 2 kg ha^{-1} .

Rehman et al. (2021) sostiene que:

Las partes de la planta que crecen activamente, como el ápice, las semillas y las puntas de las raíces, necesitan que el hierro sea transportado a través del floema debido a la transpiración ineficiente en el xilema y también es necesaria la removilización del hierro de las hojas viejas a las de nuevo crecimiento, lo que también se puede realizar mediante transporte del floema. (p. 45).

5.3 Efectos de la biofortificación en parámetros biométricos

5.3.1 Altura de planta

De acuerdo al comportamiento biométrico observado por Aguilar Quintana (2018) en las variedades California 55 y Cuf 101 determinó una altura de planta promedio de 58.5 y 43.25 cm respectivamente, valores inferiores a los encontrados en el segundo corte en la presente investigación, donde solo se encontró significancia estadística entre las cuatro variedades en el segundo corte realizado en el presente estudio. Por otro lado, Soplin Cruz (2021) determinó un altura promedio para las variedades Moapa 69, Cuf 101 y California los valores de 61, 58 y 56 cm respectivamente siendo valores similares a los nuestros (60, 59 y 63 cm respectivamente), debido a la semejanza de las condiciones climáticas y la altura sobre el nivel del mar.

5.3.2 Número de hojas

Respecto al efecto de las variedades en el número de hojas, Soplin Cruz (2021) indica que para las variedades Moapa 69, California 55 y Cuf 101 “los valores de 357.6, 374.4 y 309.4 hojas” (p. 59). Los cuales son valores mayores a los encontrados en la presente investigación los cuales en el segundo corte fueron 204, 182 y 193 para cada variedad respectivamente, esta diferencia en el comportamiento de las variedades se debe a las diferencias de las características climatológicas entre las zonas de estudio. Adicionalmente, Aguilar Quintana (2018) indica que las variedades Cuf 101 y California 55 “poseen una relación hoja/tallo menor a algunas variedades siendo una expresión genotípica de cada variedad, una alta proporción de hojas indica una alta calidad nutritiva tanto para digestión en fresco como para henificación” (p. 68).

Relacionado al efecto de las dosis de zinc en el número de hojas, H. Grewal (2010) indica que:

Con la aplicación de zinc, se reduce la caída de hojas y se mejora la relación hoja-tallo, siendo la retención de hojas y la alta relación hoja/tallo rasgos deseables asociados con una mejor calidad del forraje y el heno en alfalfa. (p. 29)

Si bien estadísticamente no se encontró significancia entre las dosis foliares aplicadas, numéricamente en el segundo y tercer corte se encontró un mayor número de hojas con la aplicación foliar de zinc.

5.3.3 Número de tallos

Los valores de número de tallos encontrados en el presente trabajo de investigación son similares a los encontrados por Soplin Cruz (2021) con valores oscilantes entre 4 y 5 tallos por planta muestreada, resultando en una expresión genotípica de cada variedad puesta en estudio; las variedades Cuf 101 y Moapa 69 prueban ser las variedades con mayor formación de tallos por corte en el presente estudio (promedio numérico entero de 5 tallos). Adicionalmente, Aguilar Quintana (2018) indica “una relación tallo/hoja promedio de 1.19 y 1.12 para las variedades Cuf 101 y California 55” (p. 89). Lo cual indica una mayor acumulación de materia seca en los tallos frente a la producción o retención de hojas en planta al momento del corte producto de la variedad.

Respecto a la incorporación de dosis de zinc, H. Grewal (2010) sostiene que:

La aplicación puede incrementar el número de hojas en planta al momento del corte aumentando la relación hoja/tallo, elevando la calidad del forraje quizás debido a que las proteínas también están más concentradas en las hojas que en los tallos, siendo más digestibles que los tallos. (p. 35)

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES

1. Para rendimiento, la aplicación foliar de 2 kg ha^{-1} de hierro produjo un aumento en el rendimiento del cultivo de alfalfa con un valor máximo de $3\,313.3 \text{ kg ha}^{-1}$ en el primer corte, en el segundo y tercer corte solo se obtuvo un aumento numérico sin significancia estadística, de la misma forma la variedad Yaragua obtuvo el mayor rendimiento con significancia en el primer corte con $3\,583 \text{ kg ha}^{-1}$, en el segundo y tercer corte la variedad no representó un factor de variación significativo para esta variable.
2. Respecto al nivel de concentración de zinc y hierro en las plantas de alfalfa se concluye que la aplicación combinada de 2 kg ha^{-1} de zinc con 2 kg ha^{-1} de hierro elevó la concentración de ambos elementos en los tres cortes evaluados, adicionalmente la variedad Cuf 101 mostró los valores más altos de concentración de hierro en el cultivo de alfalfa en los tres cortes.
3. En relación a los parámetros biométricos para altura de planta no se encontró significancia estadística a excepción de la variedad Yaragua en el segundo corte (65 cm), para el número de tallos se encontró que la variedad Cuf 101 obtuvo los valores más altos en los tres cortes y para número de hojas en planta se concluye que la variedad Moapa 69 obtuvo los valores más altos en los tres cortes.

CAPÍTULO VII

7. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar una campaña forrajera más amplia en estudios posteriores para cultivos forrajeros, abarcando todos los cortes posibles en un periodo anual, para hallar la biomasa producida anualmente y por corte promedio, adicionalmente del porcentaje de materia seca promedio obtenido en todo el periodo en estudio.
2. Se recomienda la experimentación con dosis adicionales de hierro y zinc, asimismo, complementar con la aplicación de otros microelementos y describir su interacción en el nivel de concentración en el forraje con objetivos de biofortificación tanto en el nivel de concentración de nutrientes en follaje como el contenido de proteína.
3. Se recomienda realizar estudios de correlación entre los parámetros biométricos para desarrollar estrategias de manejo orientadas a totalizar la producción de biomasa a partir de estos parámetros y su relación entre los mismos.

REFERENCIAS

- Acuña Eulogio, M. (2022). *Fraccionamiento de la fertilización foliar con Zinc en la biofortificación agronómica del cultivo de Papa* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5500>
- Aguilar Quintana, E. D. (2018). *Producción de biomasa forrajera de variedades o ecotipos de alfalfa (Medicago Sativa L.) en el Sector Humedades del Distrito de Salas— Lambayeque* [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/1866>
- Barnes, D. K., Bingham, E. T., Murphy, R. P., Hunt, O. J., Beard, D. F., Skrdla, W. H., & Teuber, L. R. (Eds.). (1977). *Alfalfa Germplasm in the United States: Genetic Vulnerability, Use, Improvement, and Maintenance*. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.157857>
- Bazán R., V., Yamada A., G., Coronado S., L., & Fuentes N., N. (2017). Comportamiento Productivo de la Alfalfa (Medicago sativa) de la Variedad Caravelí Sometida al Pastoreo en el Valle de Huaral. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 28(3), 743. <https://doi.org/10.15381/rivep.v28i3.13359>
- 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>
- Broadley, M. R., & White, P. J. (2009). *Plant Nutritional Genomics*. John Wiley & Sons.
- Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., & Lux, A. (2007). Zinc in plants. *New Phytologist*, 173(4), 677-702. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.01996.x>
- Butleska-Gjoroska, V., Krstik, M., Gudeva, L. K., & Cvetanovska, L. (2019). DETERMINATION OF MINERAL COMPOSITION IN THE ALFALFA (Medicago sativa L.) COLLECTED FROM DIFFERENT REGIONS IN THE REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA. *Journal of Agriculture and Plant Sciences*, 17(1), Article 1.
- Ceylan, S., Soya, H., Budak, B., Akdemir, H., & Colak Esetlili, B. (2009). Effect of zinc on yield and some related traits of alfalfa. *Turkish Journal of Field Crops*, 14, 136-143.
- Chasapis, C. T., Ntoupas, P.-S. A., Spiliopoulou, C. A., & Stefanidou, M. E. (2020). Recent aspects of the effects of zinc on human health. *Archives of Toxicology*, 94(5), 1443-1460. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02702-9>

- Condori Ramos, A. R. (2023). *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/handle/20.500.12920/13015>
- Di Gioia, F., Petropoulos, S. A., Ozores-Hampton, M., Morgan, K., & Rosskopf, E. N. (2019). Zinc and Iron Agronomic Biofortification of Brassicaceae Microgreens. *Agronomy*, 9(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110677>
- Dimkpa, C. O., & Bindraban, P. S. (2016). Fortification of micronutrients for efficient agronomic production: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1), 7. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0346-6>
- Du, W., Yang, J., Peng, Q., Liang, X., & Mao, H. (2019). Comparison study of zinc nanoparticles and zinc sulphate on wheat growth: From toxicity and zinc biofortification. *Chemosphere*, 227, 109-116. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.168>
- Elanchezhian, R., Kumar, D., Ramesh, K., Biswas, A. K., Guhey, A., & Patra, A. K. (2017). Morpho-physiological and biochemical response of maize (Zea mays L.) plants fertilized with nano-iron (Fe₃O₄) micronutrient. *Journal of Plant Nutrition*, 40(14), 1969-1977. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1270320>
- 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, 12. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00012>
- Gavilanez Fernández, L. I. (2015). *Efecto de la fertilización foliar y edáfica con hierro y zinc para la biofortificación agronómica del tubérculo de papa (Solanum tuberosum L.)* [bachelorThesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4265>
- Global Alliance for Improved Nutrition (GAIN) & HarvestPlus. (2020). *The Commercialisation of Biofortified Crops Programme: Monitoring reference manual*. GAIN and HarvestPlus. <https://www.gainhealth.org/resources/reports-and-publications/commercialisation-biofortified-crops-programme-monitoring>
- Google Maps. (2023). *Fundo Huasacache—Universidad Católica de Santa María*. Fundo Huasacache - Universidad Católica de Santa María. <https://www.google.com/maps/place/16%C2%B027'29.2%22S+71%C2%B034'00.7%22W/@-16.4582471,-71.5663608,130m/data=!3m1!1e3!4m4!3m3!8m2!3d-16.4581062!4d-71.5668718?entry=tту>

- Gorji, A., & Khaleghi Ghadiri, M. (2021). Potential roles of micronutrient deficiency and immune system dysfunction in the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic. *Nutrition*, 82, 111047. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2020.111047>
- Grewal, H. (2010). Fertiliser management for higher productivity of established lucerne pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 303-314. <https://doi.org/10.1080/00288233.2010.524225>
- Grewal, H. S. (2001). Zinc influences nodulation, disease severity, leaf drop and herbage yield of alfalfa cultivars. *Plant and Soil*, 234(1), 47-59. <https://doi.org/10.1023/A:1010544601267>
- Grewal, H. S., & Williams, R. (2000). Zinc nutrition affects alfalfa responses to water stress and excessive moisture. *Journal of Plant Nutrition*, 23(7), 949-962. <https://doi.org/10.1080/01904160009382073>
- Groth, S., Budke, C., Weber, T., Oest, M., Brockmann, S., Holz, M., Daum, D., & Rohn, S. (2021). Selenium biofortification of different varieties of apples (*Malus domestica*) – Influence on protein content and the allergenic proteins Mal d 1 and Mal d 3. *Food Chemistry*, 362, 130134. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130134>
- Gutierrez Vilchez, P. P. (2018). Biofortificación agronómica del cultivo de papa mediante aplicación foliar y edáfica de Zinc y su interacción con Cadmio. *Universidad Nacional Agraria La Molina*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3769>
- Hasanuzzaman, M., Tahir, M. S., Tanveer, M., & Shah, A. N. (Eds.). (2023). *Mineral Biofortification in Crop Plants for Ensuring Food Security*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-981-99-4090-5>
- Hortus. (s. f.). *Alfalfa Cuf-101*. Recuperado 16 de abril de 2024, de <https://www.hortus.com.pe/detalle-producto/forrajes/alfalfa-cuf-101>
- Intagri S.C. (s. f.). *El Hierro (Fe) en la Nutrición Vegetal*. Recuperado 16 de abril de 2024, de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-hierro-en-la-nutricion-vegetal>
- Lucena, J. J., & Hernandez-Apaolaza, L. (2017). Iron nutrition in plants: An overview. *Plant and Soil*, 418(1-2), 1-4. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3316-8>
- Maqbool, A., Abrar, M., Bakhsh, A., Çalışkan, S., Khan, H. Z., Aslam, M., & Aksoy, E. (2020). Biofortification Under Climate Change: The Fight Between Quality and Quantity. En S. Fahad, M. Hasanuzzaman, M. Alam, H. Ullah, M. Saeed, I. Ali Khan, & M. Adnan (Eds.), *Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth* (pp. 173-227). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49732-3_9

- Mayorquín Guevara, J. E., Sanches, A. G., Pedrosa, V. M. D., Cruz, M. C. P. da, Silva, J. A. A. da, & Teixeira, G. H. de A. (2021). The injection of zinc sulfate into banana tree pseudostem can triple the zinc content and it is an effective method for fruit biofortification. *Journal of Food Composition and Analysis*, 102, 104020. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104020>
- Ministerio de Agricultura y Riego & AgroRural. (2019). Cultivo de Alfalfa. *Ministerio de Agricultura y Riego*. <http://repositorio.midagri.gob.pe:80/jspui/handle/20.500.13036/282>
- Ministerio de Agricultura y Riego & Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2011). Producción de Pasturas en los Valles Interandinos. *Ministerio de Agricultura y Riego*. <http://repositorio.midagri.gob.pe:80/jspui/handle/20.500.13036/685>
- Mousavi, S. R., Galavi, M., & Rezaei, M. (2013). Zinc (Zn) Importance for Crop Production—A Review. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4, 64-68.
- Niu, J., Liu, C., Huang, M., Liu, K., & Yan, D. (2021). Effects of Foliar Fertilization: A Review of Current Status and Future Perspectives. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(1), 104-118. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-3>
- Novoselec, J., Klir, Ž., Domaćinović, M., Lončarić, Z., & Antunović, Z. (2018). Biofortification of feedstuffs with microelements in animal nutrition. *Poljoprivreda*, 24(1), 25-34.
- Observatorio: “Medicina, salud y sociedad” del Colegio Médico del Perú. (2023). *La anemia infantil en el Perú: Situación y retos, una nueva perspectiva*. Colegio Médico del Perú. <https://www.cmp.org.pe/wp-content/uploads/2023/11/INFORME-DEL-SEMINARIO-LA-ANEMIA-INFANTIL-EN-EL-PERU.pdf>
- Pae, M., Meydani, S. N., & Wu, D. (2012). The role of nutrition in enhancing immunity in aging. *Aging and Disease*, 3(1), 91-129.
- Park, S.-A., Grusak, M. A., & Oh, M.-M. (2014). Concentrations of minerals and phenolic compounds in three edible sprout species treated with iron-chelates during imbibition. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 55(6), 471-478. <https://doi.org/10.1007/s13580-014-0075-9>
- Petković, K., Manojlović, M., Lombnæs, P., Čabilovski, R., Krstić, Đ., Lončarić, Z., & Lombnæs, P. (2019). Foliar application of selenium, zinc and copper in alfalfa (*Medicago sativa* L.) biofortification. *Turkish Journal Of Field Crops*, 24(1), Article 1. <https://doi.org/10.17557/tjfc.569363>

- Piskin, E., Cinciosi, 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>
- Przybysz, A., Wrochna, M., Małacka-Przybysz, M., Gawrońska, H., & Gawroński, S. W. (2016). Vegetable sprouts enriched with iron: Effects on yield, ROS generation and antioxidative system. *Scientia Horticulturae*, 203, 110-117. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.017>
- Quispe Poma, M. (2020). *Fertilización foliar y edáfica con Zinc para la biofortificación agronómica del cultivo de Papa (Solanum tuberosum L.) en Cañete* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4572>
- R Project for Statistical Computing. (2023). *R: The R Project for Statistical Computing*. <https://www.r-project.org/>
- Radovic, J., Sokolovic, D., & Markovic, J. (2009a). Alfalfa-most important perennial forage legume in animal husbandry. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 25(5-6-1), 465-475. <https://doi.org/10.2298/BAH0906465R>
- Radovic, J., Sokolovic, D., & Markovic, J. (2009b). Alfalfa-most important perennial forage legume in animal husbandry. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 25(5-6-1), 465-475. <https://doi.org/10.2298/BAH0906465R>
- Ramírez Aparicio, J. A. (2019). *Características biométricas en el cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) bajo fertilización edáfica y foliar con zinc* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4138>
- Rehman, A. ur, Masood, S., Khan, N. U., Abbasi, M. E., Hussain, Z., & Ali, I. (2021). Molecular basis of Iron biofortification in crop plants; A step towards sustainability. *Plant Breeding*, 140(1), 12-22. <https://doi.org/10.1111/pbr.12886>
- Riaño Salas, P. (2019). *Biofortificación agronómica con selenio y zinc sobre guisante forrajero (Pisum sativum L.) bajo condiciones de secano mediterráneas* [masterThesis]. <https://dehesa.unex.es:8443/handle/10662/8962>
- Semillería San Alfonso. (s. f.). *Semillas de Alfalfa California 55*. Recuperado 16 de abril de 2024, de <https://www.semilleriasanalfonso.cl/product/semillas-de-alfalfa-california-55/>
- SENAMHI. (2024). *Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional SENAMHI - Perú*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>

- Shubham, K., Anukiruthika, T., Dutta, S., Kashyap, A. V., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2020). Iron deficiency anemia: A comprehensive review on iron absorption, bioavailability and emerging food fortification approaches. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 58-75. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.021>
- Singh, U., Praharaj, C. S., Chaturvedi, S. K., & Bohra, A. (2016). Biofortification: Introduction, Approaches, Limitations, and Challenges. En U. Singh, C. S. Praharaj, S. S. Singh, & N. P. Singh (Eds.), *Biofortification of Food Crops* (pp. 3-18). Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2716-8_1
- Soplin Cruz, D. (2021). *Características agronómicas y valor nutricional de cuatro variedades de alfalfa (Medicago sativa L.) bajo diferentes densidades de siembra* [Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - UNTRM]. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2353>
- Stein, A. J. (2010). Global impacts of human mineral malnutrition. *Plant and Soil*, 335(1-2), 133-154. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0228-2>
- Sulca Quispe, A. (2015). *Producción en forraje de cinco variedades de alfalfa (Medicago sativa L). Ticllas a 2395 msnm—Ayacucho* [Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3122>
- Suttle, N. F. (2010). *Mineral Nutrition of Livestock*. CABI.
- Szerement, J., Szatanik-Kloc, A., Mokrzycki, J., & Mierzwa-Hersztek, M. (2022). Agronomic biofortification with Se, Zn, and Fe: An effective strategy to enhance crop nutritional quality and stress defense—A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(1), 1129-1159. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00719-2>
- Tokumura, C., Mejía, E., Tokumura, C., & Mejía, E. (2023). Anemia infantil en el Perú: En el baúl de los pendientes. *Revista Medica Herediana*, 34(1), 3-4. <https://doi.org/10.20453/rmh.v34i1.4445>
- Velásquez Benavente, H. E. (2016). *Evaluación Químico-Nutricional Comparativa de 04 Variedades de Alfalfa Al 10 % de Floración en la Irrigación Majes, Arequipa – 2015*. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/5362>
- Vélez Navarrete, A. R. (2013). *Efecto de la fertilización foliar y edáfica con hierro y zinc para la biofortificación agronómica del tubérculo de papa (Solanum tuberosum L.) bajo invernadero. Cutuglahua, Pichincha*. [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2036>

White, P. J., & Broadley, M. R. (2005). Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends in Plant Science*, 10(12), 586-593.

<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.10.001>

Zavaleta, N. (2017). Anemia infantil: Retos y oportunidades al 2021. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 34(4), 588.

<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2017.344.3281>

Zulfiqar, U., Hussain, S., Ishfaq, M., Matloob, A., Ali, N., Ahmad, M., Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2020). Zinc-induced effects on productivity, zinc use efficiency, and grain biofortification of bread wheat under different tillage permutations. *Agronomy*, 10(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101566>



ANEXOS

Anexo N°1. Base de datos

CORTE	Variedad	Dosis	Bloque	Rendimiento	Zinc	Hierro	Altura	Tallos	Hojas
1er Corte	Cuf-101	d1	I	2361.81	22.25	112.85	48.966	5.4	82.9
1er Corte	Cuf-101	d2	I	2242.47	238.5	126.55	54.4	4.5	78.6
1er Corte	Cuf-101	d3	I	2269.87	30.3	274.5	60.97	3.1	99.4
1er Corte	Cuf-101	d4	I	2443.64	262	322.5	51.3	4.1	84.7
1er Corte	Moapa-69	d1	I	2210.79	20.4	105.2	58.2	4	94.3
1er Corte	Moapa-69	d2	I	2726.23	141.5	114.1	59.5	6	87.4
1er Corte	Moapa-69	d3	I	2785.26	32.1	205.2	57.3	2.9	58.9
1er Corte	Moapa-69	d4	I	2932.9	132.5	252	61.75	4.875	128.75
1er Corte	California-55	d1	I	3252.29	22.05	124.4	62.3	2.4	37.9
1er Corte	California-55	d2	I	3156.88	181	121.5	73.1	3.6	78.8
1er Corte	California-55	d3	I	3061.7	29.3	200.55	63.5	4.2	65.3
1er Corte	California-55	d4	I	3751.44	194.5	266.85	63.1	3.2	40.7
1er Corte	Yaragua	d1	I	3222.21	26.35	155.6	53.08	4.1	66.8
1er Corte	Yaragua	d2	I	3796.81	151.5	127.55	60.83	2.3	34.8
1er Corte	Yaragua	d3	I	3929.69	28.1	295.9	56.94	2.4	34.7
1er Corte	Yaragua	d4	I	3580.5	135	214.25	59.99	2.4	42.6
1er Corte	Cuf-101	d1	II	2874.53	22.15	114.85	44.69	5.7	98.3
1er Corte	Cuf-101	d2	II	2364.77	142.5	133.55	37.29	3.6	82.1
1er Corte	Cuf-101	d3	II	3264.22	22.65	227.15	43.14	4.2	110.1
1er Corte	Cuf-101	d4	II	2426.24	234.5	273	47.31	3.8	87
1er Corte	Moapa-69	d1	II	3328.22	22.15	116.3	57.7	3.5	63.7
1er Corte	Moapa-69	d2	II	2911.18	178.5	98.65	41.25	4.6	101
1er Corte	Moapa-69	d3	II	3327.59	22.4	141.85	46.2	2.5	52.8
1er Corte	Moapa-69	d4	II	3261.55	190.5	265.75	42.76	3.7	100.5
1er Corte	California-55	d1	II	3877.75	29.15	119.25	60.8	3.2	58.97
1er Corte	California-55	d2	II	3941.46	199.5	139.35	58.97	3.2	36.2
1er Corte	California-55	d3	II	3824.18	28.4	205.45	56.73	3.1	41.8
1er Corte	California-55	d4	II	4347.29	200	248	63.25	3.7	74.6
1er Corte	Yaragua	d1	II	3611.6	25	144	61.86	3.4	80.2
1er Corte	Yaragua	d2	II	4663.25	160.5	160.8	58.96	2.8	45.5
1er Corte	Yaragua	d3	II	3796.76	22.25	226	56.52	3.5	46.2
1er Corte	Yaragua	d4	II	4041.29	145	265.25	60.03	1.8	39.5
1er Corte	Cuf-101	d1	III	2921.26	22.25	116.1	52.6	3.6	99.2
1er Corte	Cuf-101	d2	III	2812.86	127.15	110.55	65.85	4.2	86
1er Corte	Cuf-101	d3	III	2739.91	26.35	266.1	52.52	3.52	117.4
1er Corte	Cuf-101	d4	III	2574.68	193.5	287.05	56.8	5.2	98.2
1er Corte	Moapa-69	d1	III	1323.68	27.7	131.8	48.12	6.2	67.4
1er Corte	Moapa-69	d2	III	1873.81	142.5	103.8	56.94	5	60.8
1er Corte	Moapa-69	d3	III	1725.91	22.65	104.45	49.68	4.8	75.8
1er Corte	Moapa-69	d4	III	2208.36	201.7	117.5	57.56	3.8	92.8
1er Corte	California-55	d1	III	2470.05	25.3	158.85	54.04	5	89.4

CORTE	Variedad	Dosis	Bloque	Rendimiento	Zinc	Hierro	Altura	Tallos	Hojas
1er Corte	California-55	d2	III	2634.2	254	158.1	49.56	5	61.2
1er Corte	California-55	d3	III	2644.82	26.35	201.8	51.8	4.4	72.4
1er Corte	California-55	d4	III	3145.43	117.5	271.4	37.62	3.4	43.6
1er Corte	Yaragua	d1	III	2937.77	24.2	123.85	61.4	5.4	79.6
1er Corte	Yaragua	d2	III	2419.68	171	127.5	38.06	3.6	31.6
1er Corte	Yaragua	d3	III	2486.9	24.4	237.85	56.5	4	59.2
1er Corte	Yaragua	d4	III	2954.54	108	190.15	50.98	4.2	74.4
1er Corte	Cuf-101	d1	IV	3126.58	22.35	119.65	50.92	5	90
1er Corte	Cuf-101	d2	IV	3387.63	149.5	126.35	52.98	4	93.6
1er Corte	Cuf-101	d3	IV	3412.4	56.35	290	47.68	3.6	64.6
1er Corte	Cuf-101	d4	IV	3278.5	290	329.65	54.66	6.8	108.2
1er Corte	Moapa-69	d1	IV	2167.61	18.35	98.45	52.52	4.4	82.6
1er Corte	Moapa-69	d2	IV	3323.56	196	118.15	47.4	6.6	114.8
1er Corte	Moapa-69	d3	IV	3120.47	24.75	123.25	45.76	3.3	60.12
1er Corte	Moapa-69	d4	IV	3502.64	113.5	173	51.9	6.8	109.2
1er Corte	California-55	d1	IV	4509.43	25.05	131.9	59.5	5.8	110.8
1er Corte	California-55	d2	IV	3786.17	144	126.3	47.72	4	52
1er Corte	California-55	d3	IV	4921.05	29.55	198.5	59.7	3.6	77.8
1er Corte	California-55	d4	IV	3902.65	141	228.8	59.6	5.2	76.2
1er Corte	Yaragua	d1	IV	3395.24	27.05	152.95	61.24	5.4	82.4
1er Corte	Yaragua	d2	IV	4086.28	188	130	62.82	4.2	45.6
1er Corte	Yaragua	d3	IV	3109.02	28.6	156.7	58.68	4.2	45.6
1er Corte	Yaragua	d4	IV	4252.18	113.5	209.8	64.22	3.8	64.6
1er Corte	Cuf-101	d1	V	2148.16	24	137.05	55.452	6.4	99.8
1er Corte	Cuf-101	d2	V	1820.63	198.5	100.75	56.74	4	70.2
1er Corte	Cuf-101	d3	V	2747.41	23.2	180.15	63.86	3.2	76.6
1er Corte	Cuf-101	d4	V	1866.23	281.4	254.1	57.56	4.4	80.4
1er Corte	Moapa-69	d1	V	3063.62	28.75	114.75	60	4.4	114.8
1er Corte	Moapa-69	d2	V	3672.27	142.5	86.3	53.4	3.2	60.8
1er Corte	Moapa-69	d3	V	4916.43	24.75	190	56.6	3	53
1er Corte	Moapa-69	d4	V	3467.45	140.45	200.85	62	4.4	124.6
1er Corte	California-55	d1	V	3130.56	21.65	122.5	47.8	2.2	38.6
1er Corte	California-55	d2	V	4051.91	219	119.05	57.14	3.6	93
1er Corte	California-55	d3	V	3582.27	20.75	164.45	51.62	5	71
1er Corte	California-55	d4	V	3005.9	200	265.3	49.68	2.8	53
1er Corte	Yaragua	d1	V	2713.63	22.6	115.05	54.38	4.6	75.6
1er Corte	Yaragua	d2	V	3724.08	162.6	122.85	56.12	1.8	31.4
1er Corte	Yaragua	d3	V	4958.96	25.84	229.12	48.9	2.2	25.4
1er Corte	Yaragua	d4	V	3978.86	130.15	229.75	59.52	2.4	51.6
2do Corte	Cuf-101	d1	I	3712.4	16.5	103.95	59.35	5.13	182.47
2do Corte	Cuf-101	d2	I	4441.93	221	122.25	58.607	4.75	171.49
2do Corte	Cuf-101	d3	I	5715.54	25.45	239.3	59.195	3.07	180.43
2do Corte	Cuf-101	d4	I	5476.92	70.25	266.95	59.169	5.33	162.7
2do Corte	Moapa-69	d1	I	7130.73	35.8	115.1	61.97	3.32	142.55

CORTE	Variedad	Dosis	Bloque	Rendimiento	Zinc	Hierro	Altura	Tallos	Hojas
2do Corte	Moapa-69	d2	I	7499.46	130.25	96.7	61.89	3.96	119.22
2do Corte	Moapa-69	d3	I	7560.09	79.7	127.55	60.45	2.9	280.68
2do Corte	Moapa-69	d4	I	7856.78	162.25	216.6	58.51	5	172.8
2do Corte	California-55	d1	I	6540.95	18.75	100.5	68.18	4.32	172.9
2do Corte	California-55	d2	I	6886.29	128.45	97.35	70.64	5.94	151.84
2do Corte	California-55	d3	I	5558.39	34.65	343.6	68.23	4.52	213.1
2do Corte	California-55	d4	I	5466.73	168.25	232.6	63.31	5.54	202.2
2do Corte	Yaragua	d1	I	7438.65	18.4	82.7	69.314	5.48	93.52
2do Corte	Yaragua	d2	I	6101.77	98.45	167.35	71.16	3.22	151.8
2do Corte	Yaragua	d3	I	7597.84	27	176.9	67.648	3.42	170.4
2do Corte	Yaragua	d4	I	5988.4	200.25	275.4	64	3.36	178.8
2do Corte	Cuf-101	d1	II	4929.51	37.4	145.65	62.64	6.2	226.92
2do Corte	Cuf-101	d2	II	7647.28	128.5	131.75	62.12	6.48	258.44
2do Corte	Cuf-101	d3	II	5519.54	41.6	213.1	67.928	6.56	273.24
2do Corte	Cuf-101	d4	II	5802.89	76.99	260.25	62.118	6.84	229.62
2do Corte	Moapa-69	d1	II	5714.92	26.1	129.8	59.28	6.78	270.86
2do Corte	Moapa-69	d2	II	7408.38	131.1	128.35	61.21	6.28	360.8
2do Corte	Moapa-69	d3	II	7371.92	23.85	114.35	60.4	7	225.59
2do Corte	Moapa-69	d4	II	6147.38	138.04	199.96	61.928	4.16	205.9
2do Corte	California-55	d1	II	5208.63	20.05	113.95	63.31	5.54	202.2
2do Corte	California-55	d2	II	5812.55	145.75	145.1	65.156	4.58	211.11
2do Corte	California-55	d3	II	4965.61	23.55	217.8	68.464	4.48	212.4
2do Corte	California-55	d4	II	5976.79	102.1	200.25	68.914	4.34	212.2
2do Corte	Yaragua	d1	II	5463.37	29.2	128.4	63.698	4.54	200.52
2do Corte	Yaragua	d2	II	5881.47	119	145.15	63.46	5.44	203.56
2do Corte	Yaragua	d3	II	5387.15	28.8	195.75	63.82	4.48	207.8
2do Corte	Yaragua	d4	II	5703.16	228	267.5	65.216	5.26	220.1
2do Corte	Cuf-101	d1	III	6269.22	24.65	135.15	59.394	5.12	164.8
2do Corte	Cuf-101	d2	III	5509.11	218.25	173.35	60.77	6.84	226.1
2do Corte	Cuf-101	d3	III	6472.31	28.8	226.7	59.87	6.6	311.36
2do Corte	Cuf-101	d4	III	5984.53	82.4	217.75	60.38	7.08	250.08
2do Corte	Moapa-69	d1	III	4522.07	16.85	126.55	58.465	5.55	267
2do Corte	Moapa-69	d2	III	4469.56	83.35	123.95	63.03	6.35	255.1
2do Corte	Moapa-69	d3	III	5122.81	28.45	123.36	61.6	6.9	253.75
2do Corte	Moapa-69	d4	III	5771.7	121.7	162.7	62.93	4.95	251.6
2do Corte	California-55	d1	III	5526.43	18.55	148.05	59.231	5.45	200.03
2do Corte	California-55	d2	III	6299.99	142.25	146.25	55.99	5.75	219.9
2do Corte	California-55	d3	III	6311.36	25.55	189.7	59.57	5.06	217.9
2do Corte	California-55	d4	III	5867.67	103	209.35	53.26	3.91	165.4
2do Corte	Yaragua	d1	III	6231.01	18.55	67.25	59.862	4.72	213.9
2do Corte	Yaragua	d2	III	5397.44	106.25	96.1	59.87	6.14	188.22
2do Corte	Yaragua	d3	III	5954.35	24.55	154.8	68.24	5.6	211.36
2do Corte	Yaragua	d4	III	6786.13	186.05	259.4	60.38	5.08	250.08
2do Corte	Cuf-101	d1	IV	5582.49	23.15	143.85	61.193	4.4	186.836

CORTE	Variedad	Dosis	Bloque	Rendimiento	Zinc	Hierro	Altura	Tallos	Hojas
2do Corte	Cuf-101	d2	IV	7058.91	155.75	156.35	57.28	3.1	139.93
2do Corte	Cuf-101	d3	IV	6608.52	23.4	239.95	55.8138	5.2	96.577
2do Corte	Cuf-101	d4	IV	5755.33	85.75	240.1	55.8	2.9	161.863
2do Corte	Moapa-69	d1	IV	4975.79	23.2	154.2	57.396	4.5	94.99
2do Corte	Moapa-69	d2	IV	6103.55	121.45	153.2	52.514	3.12	201.02
2do Corte	Moapa-69	d3	IV	4090.52	72.4	106.95	62.6	3	198.34
2do Corte	Moapa-69	d4	IV	6022.37	151.5	262.45	54.686	4.2	138.72
2do Corte	California-55	d1	IV	7725.33	19.35	107.15	65.355	5.1	154.28
2do Corte	California-55	d2	IV	7199.41	147.3	106.05	58.24	2.5	144.8
2do Corte	California-55	d3	IV	6372.44	20.75	233.6	62.17	4.7	129.709
2do Corte	California-55	d4	IV	5763.07	108.95	239.5	60.55	3.6	220.779
2do Corte	Yaragua	d1	IV	6604.15	18.95	143.1	62.99	3.1	145.025
2do Corte	Yaragua	d2	IV	5877.59	100.7	94.45	70.145	2.8	129.85
2do Corte	Yaragua	d3	IV	5889.46	23.65	175.7	64.47	3.1	129.05
2do Corte	Yaragua	d4	IV	6400.94	169.7	260.85	63.37	2	121.125
2do Corte	Cuf-101	d1	V	5355.81	25.43	139.65	54.81	5.7	206.757
2do Corte	Cuf-101	d2	V	6758.33	171.55	156.3	54.776	2.9	117.196
2do Corte	Cuf-101	d3	V	6803.71	19.4	223.4	55.55	3.106	114.517
2do Corte	Cuf-101	d4	V	6909.15	69.55	235.65	58.069	5.068	189.6
2do Corte	Moapa-69	d1	V	6281.63	15.8	117.8	60.01	4.6	156.702
2do Corte	Moapa-69	d2	V	7298.18	142.75	96.55	61.5	2.49	117.952
2do Corte	Moapa-69	d3	V	6507.52	17.65	144.6	60.89	4.5	169.572
2do Corte	Moapa-69	d4	V	7416.67	116.7	158.1	60.612	3.595	188.127
2do Corte	California-55	d1	V	6003.09	16.1	123.45	63.11	3.289	157.7
2do Corte	California-55	d2	V	7494.02	136.4	134.85	55.6	2.5	139.035
2do Corte	California-55	d3	V	6945.49	25.4	297.7	65.1345	3.26	142.958
2do Corte	California-55	d4	V	6812.38	98.9	203.95	59.57	3.293	162.398
2do Corte	Yaragua	d1	V	7011.36	17.25	83.95	64.9068	3.16	112.432
2do Corte	Yaragua	d2	V	5257.13	117.75	97.45	65.477	3.69	96.94
2do Corte	Yaragua	d3	V	6142.79	23	152.4	62.8748	4.5	162.88
2do Corte	Yaragua	d4	V	7909.27	198.5	231	66.82	3.78	85.712
3er Corte	Cuf-101	d1	I	5044.35	14.9	136.3	66.2	6.2	130.6
3er Corte	Cuf-101	d2	I	5446.88	90.25	104.6	63.7	7.2	218.2
3er Corte	Cuf-101	d3	I	6386.68	15.6	223.75	66.6	4.2	74.2
3er Corte	Cuf-101	d4	I	6368.28	110	244.6	63.7	6.8	182.2
3er Corte	Moapa-69	d1	I	5952.13	16.95	141.63	60.5	6.3	244.8
3er Corte	Moapa-69	d2	I	5615.43	103.25	114.95	75.2	4	162.2
3er Corte	Moapa-69	d3	I	6787.44	44	187.45	70.4	6.6	340.4
3er Corte	Moapa-69	d4	I	6283.54	76.1	167.35	77.4	4.6	194.8
3er Corte	California-55	d1	I	6058.51	15.5	158.6	65	5.6	176.8
3er Corte	California-55	d2	I	6078	101.25	107.05	73.1	5.4	214.6
3er Corte	California-55	d3	I	6043.04	25.55	213	73.7	4.4	116
3er Corte	California-55	d4	I	5717.3	82.75	178.9	75	4.6	185.2
3er Corte	Yaragua	d1	I	6688.8	21.3	108.25	71.3	4.6	119

CORTE	Variedad	Dosis	Bloque	Rendimiento	Zinc	Hierro	Altura	Tallos	Hojas
3er Corte	Yaragua	d2	I	5715.27	143.5	118.75	88.6	4.2	126.8
3er Corte	Yaragua	d3	I	8443.32	18.2	232.5	66.6	5.2	147.8
3er Corte	Yaragua	d4	I	6713.36	65	146.8	70.9	4.8	136.8
3er Corte	Cuf-101	d1	II	6475.53	26.35	140.95	64.2	6.5	196.8
3er Corte	Cuf-101	d2	II	6919.15	92.5	138	50.4	6	134.8
3er Corte	Cuf-101	d3	II	5763.18	33.85	269.75	60.7	5.6	197.4
3er Corte	Cuf-101	d4	II	6160.63	106	298.75	64.5	5.4	209.2
3er Corte	Moapa-69	d1	II	7183.92	19.8	134.05	60.8	5.6	238.8
3er Corte	Moapa-69	d2	II	7075.7	165	136.45	61.8	4.7	240.4
3er Corte	Moapa-69	d3	II	8229.81	20.5	207.7	56.7	4	213
3er Corte	Moapa-69	d4	II	8333.68	93.75	235.6	63.5	5.6	265.2
3er Corte	California-55	d1	II	6169.58	20	151.15	64.2	4.4	135.2
3er Corte	California-55	d2	II	5790.96	102	152.9	64.8	4	114.4
3er Corte	California-55	d3	II	5813.18	23.18	205.3	71.1	3.8	155.2
3er Corte	California-55	d4	II	5690.44	83.1	226.9	70.4	4.1	204
3er Corte	Yaragua	d1	II	8603.2	20.9	106	82	3.8	163.8
3er Corte	Yaragua	d2	II	7463.99	118.5	111.6	69.4	3.3	138.4
3er Corte	Yaragua	d3	II	8879.79	24.7	233.2	72.8	4.4	208
3er Corte	Yaragua	d4	II	7617.66	97.75	172.25	57.4	3.3	146.2
3er Corte	Cuf-101	d1	III	6007.43	15.8	148.65	62.8	4.8	131.8
3er Corte	Cuf-101	d2	III	5612.64	104	164	59.4	6.4	236
3er Corte	Cuf-101	d3	III	6323.63	21.2	260.95	58.6	5.2	163.8
3er Corte	Cuf-101	d4	III	7213.39	88.95	133.95	58.4	6.4	178
3er Corte	Moapa-69	d1	III	4727.52	24.55	165.35	62.5	5.4	215.4
3er Corte	Moapa-69	d2	III	5443.03	120.5	174.9	59.1	4	156.8
3er Corte	Moapa-69	d3	III	5520.36	27.05	244.25	68.3	7	250
3er Corte	Moapa-69	d4	III	6339.72	98.5	231.5	69.5	4.6	171.8
3er Corte	California-55	d1	III	6361.57	22.75	99.3	56	4.2	170.4
3er Corte	California-55	d2	III	7269.02	102.7	148.25	61.1	5.4	159.2
3er Corte	California-55	d3	III	6137.42	23.05	202.6	53.6	4.2	130.8
3er Corte	California-55	d4	III	6339	117	230.2	54.4	4.8	147
3er Corte	Yaragua	d1	III	7793.93	29.3	155.9	71.3	4.6	119
3er Corte	Yaragua	d2	III	6895.95	141.25	142.75	88.6	4.2	126.8
3er Corte	Yaragua	d3	III	5793.02	45.2	244	66.6	5.2	147.8
3er Corte	Yaragua	d4	III	7587.82	80.6	186.15	70.9	4.8	136.8
3er Corte	Cuf-101	d1	IV	8416.87	19.4	122.45	41.4	4	107.2
3er Corte	Cuf-101	d2	IV	6350.11	132.25	117.85	56.1	5	102.8
3er Corte	Cuf-101	d3	IV	5886.66	28.1	264.85	59.4	4.4	197.2
3er Corte	Cuf-101	d4	IV	6797.19	95.65	167.65	52.8	3.4	148.6
3er Corte	Moapa-69	d1	IV	5910.72	26	177.1	47.2	3.8	106.7
3er Corte	Moapa-69	d2	IV	6285.67	117.9	161.25	45.1	4.8	88.4
3er Corte	Moapa-69	d3	IV	5306.59	30.35	238.25	45	4.4	183.2
3er Corte	Moapa-69	d4	IV	7178.98	77.3	188.45	43	4	110.5
3er Corte	California-55	d1	IV	7435.55	23.05	139.9	61.3	5.2	116

CORTE	Variedad	Dosis	Bloque	Rendimiento	Zinc	Hierro	Altura	Tallos	Hojas
3er Corte	California-55	d2	IV	7063.06	97.25	116.55	78	4.6	105.6
3er Corte	California-55	d3	IV	6970.94	22.9	246.3	80.8	6.5	179
3er Corte	California-55	d4	IV	6118.33	106.75	243	70.7	4.5	131.5
3er Corte	Yaragua	d1	IV	7587.92	23.7	140.3	66.6	2.8	108.2
3er Corte	Yaragua	d2	IV	6581	144.5	167.65	77.5	4	112.3
3er Corte	Yaragua	d3	IV	6570.41	27.5	256.8	69.3	2.5	91.8
3er Corte	Yaragua	d4	IV	6487.27	71.3	183.4	67.3	1.6	54.8
3er Corte	Cuf-101	d1	V	5412.39	16.15	117.6	61.7	4.2	179.8
3er Corte	Cuf-101	d2	V	7359.13	125.75	143.45	60.8	3.8	177.4
3er Corte	Cuf-101	d3	V	4398.94	23.65	242	55.2	3.6	132.7
3er Corte	Cuf-101	d4	V	5088.64	98.5	216.25	59.3	5.4	148.4
3er Corte	Moapa-69	d1	V	6032.38	14	90.05	62.3	4.8	183.2
3er Corte	Moapa-69	d2	V	6868.76	155.25	96.55	59.9	4	155.4
3er Corte	Moapa-69	d3	V	5103.23	59.35	210.1	60.8	5	201.2
3er Corte	Moapa-69	d4	V	5731.55	99.7	192.1	66.1	3.6	206
3er Corte	California-55	d1	V	4001.54	15.55	84.25	58.2	2.2	139
3er Corte	California-55	d2	V	5157.45	102.75	98.55	56.6	3.2	97.8
3er Corte	California-55	d3	V	3245.86	21.25	200.35	63.1	2.1	126.3
3er Corte	California-55	d4	V	5704.72	63.25	187.6	57.9	4.6	119.8
3er Corte	Yaragua	d1	V	4256.63	22.3	127.3	53.8	3.5	111
3er Corte	Yaragua	d2	V	3812.7	149.8	100.35	55.6	4.1	135.8
3er Corte	Yaragua	d3	V	5309.79	28.9	233.5	53.2	3.6	120.6
3er Corte	Yaragua	d4	V	4449.27	60.2	184	63.6	3.8	102.9

Anexo N°2. Análisis de varianza para la variable de rendimiento (kg ha^{-1})

Primer corte

Response: REND_PF

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloq	4	12539550	3134888	17.7406	5.31e-09 ***
V	3	13158391	4386130	5.4675	0.01331 *
Ea	12	9626546	802212		
D	3	1765488	588496	3.3303	0.02713 *
V:D	9	1614434	179382	1.0151	0.44158
Eb	48	8481945	176707		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 28.3 %, cv(b) = 13.3 %, Mean = 3169.875

Segundo corte

Response: REND_PF

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloq	4	7849019	1962255	4.6066	0.003146 **
V	3	1689179	563060	0.2642	0.849883
Ea	12	25574443	2131204		
D	3	2092644	697548	1.6376	0.193066
V:D	9	8795527	977281	2.2943	0.031147 *
Eb	48	20446366	425966		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 23.7 %, cv(b) = 10.6 %, Mean = 6166.819

Tercer corte

Response: REND_PF

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloq	4	32779936	8194984	14.3084	9.244e-08 ***
V	3	5231866	1743955	0.8572	0.4895
Ea	12	24412840	2034403		
D	3	670307	223436	0.3901	0.7606
V:D	9	6042482	671387	1.1722	0.3339
Eb	48	27491579	572741		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 22.7 %, cv(b) = 12.1 %, Mean = 6271.98

Anexo N°3. Análisis de varianza para la variable de nivel de concentración de zinc (mg kg⁻¹)

Primer corte

Response: ZN

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloq	4	1042	261	0.4383	0.780293
V	3	13630	4543	6.0098	0.009676 **
Ea	12	9072	756		
D	3	447933	149311	251.1211	< 2.2e-16 ***
V:D	9	34651	3850	6.4753	5.666e-06 ***
Eb	48	28540	595		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 27.4 %, cv(b) = 24.3 %, Mean = 100.5092

Segundo corte

Response: ZN

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloq	4	1973	493	1.7337	0.1580
V	3	1846	615	1.5062	0.2631
Ea	12	4902	409		
D	3	235162	78387	275.4959	< 2.2e-16 ***
V:D	9	50995	5666	19.9139	2.243e-13 ***
Eb	48	13658	285		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 25.1 %, cv(b) = 20.9 %, Mean = 80.53387

Tercer corte

Response: ZN

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloq	4	602	150	0.9471	0.4450587
V	3	1346	449	2.6814	0.0939609 .
Ea	12	2008	167		
D	3	139582	46527	292.8209	< 2.2e-16 ***
V:D	9	5869	652	4.1043	0.0005852 ***
Eb	48	7627	159		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 20.1 %, cv(b) = 19.6 %, Mean = 64.43287

Anexo N°4. Análisis de varianza para la variable de nivel de concentración de hierro (mg kg⁻¹)

Primer corte

Response: FE

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloq	4	6147	1537	2.0530	0.101796
V	3	29384	9795	8.4321	0.002768 **
Ea	12	13939	1162		
D	3	215699	71900	96.0449	< 2.2e-16 ***
V:D	9	25672	2852	3.8104	0.001093 **
Eb	48	35933	749		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 19.5 %, cv(b) = 15.7 %, Mean = 174.3878

Segundo corte

Response: FE

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloq	4	3087	772	1.0276	0.402682
V	3	24212	8071	10.7979	0.001002 **
Ea	12	8969	747		
D	3	167733	55911	74.4404	< 2.2e-16 ***
V:D	9	45077	5009	6.6684	4.006e-06 ***
Eb	48	36052	751		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 16.2 %, cv(b) = 16.3 %, Mean = 168.4571

Tercer corte

Response: FE

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloq	4	10616	2654	4.2804	0.004834 **
V	3	2783	928	0.8889	0.474655
Ea	12	12522	1044		
D	3	151062	50354	81.2119	< 2.2e-16 ***
V:D	9	8385	932	1.5027	0.174238
Eb	48	29761	620		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 18.6 %, cv(b) = 14.3 %, Mean = 173.6685

Anexo N°5. Análisis de varianza para la variable de altura de planta (cm)

Primer corte

Response: ALT

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloq	4	485.50	121.376	4.4419	0.003905 **
V	3	275.16	91.721	0.7196	0.559221
Ea	12	1529.49	127.457		
D	3	25.08	8.360	0.3060	0.820944
V:D	9	158.06	17.563	0.6427	0.754924
Eb	48	1311.61	27.325		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 20.6 %, cv(b) = 9.5 %, Mean = 54.88485

Segundo corte

Response: ALT

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloq	4	228.05	57.012	8.1662	4.164e-05 ***
V	3	395.40	131.801	4.5921	0.02312 *
Ea	12	344.42	28.702		
D	3	33.24	11.079	1.5870	0.20476
V:D	9	44.80	4.978	0.7130	0.69425
Eb	48	335.11	6.981		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 8.7 %, cv(b) = 4.3 %, Mean = 61.73012

Tercer corte

Response: ALT

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloq	4	1277.66	319.42	10.3062	4.174e-06 ***
V	3	1220.02	406.67	2.1510	0.1470
Ea	12	2268.74	189.06		
D	3	108.02	36.01	1.1618	0.3341
V:D	9	472.21	52.47	1.6929	0.1168
Eb	48	1487.64	30.99		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 21.6 %, cv(b) = 8.7 %, Mean = 63.66625

Anexo N°6. Análisis de varianza para la variable de número de hojas

Primer corte

Response: HOJA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloq	4	1326.9	331.7	1.1486	0.345230
V	3	18861.1	6287.0	23.9842	2.343e-05 ***
Ea	12	3145.6	262.1		
D	3	3647.5	1215.8	4.2100	0.010089 *
V:D	9	8218.0	913.1	3.1617	0.004492 **
Eb	48	13862.5	288.8		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 22.2 %, cv(b) = 23.3 %, Mean = 73.02425

Segundo corte

Response: HOJA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloq	4	114173	28543.1	18.1596	3.829e-09 ***
V	3	17360	5786.7	6.7794	0.006319 **
Ea	12	10243	853.6		
D	3	3813	1271.1	0.8087	0.495276
V:D	9	4952	550.2	0.3501	0.952672
Eb	48	75446	1571.8		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 15.8 %, cv(b) = 21.4 %, Mean = 185.3514

Tercer corte

Response: HOJA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloq	4	39784	9946.1	7.9298	5.439e-05 ***
V	3	50999	16999.5	10.5807	0.001093 **
Ea	12	19280	1606.6		
D	3	3795	1265.0	1.0085	0.397183
V:D	9	16931	1881.3	1.4999	0.175240
Eb	48	60205	1254.3		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 25.3 %, cv(b) = 22.4 %, Mean = 158.1712

Anexo N°7. Análisis de varianza para la variable de número de tallos

Primer corte

Response: TALLO

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloq	4	20.951	5.2376	7.0857	0.0001444 ***
V	3	13.807	4.6024	7.4277	0.0045102 **
Ea	12	7.436	0.6196		
D	3	9.414	3.1380	4.2453	0.0097020 **
V:D	9	18.063	2.0070	2.7152	0.0121372 *
Eb	48	35.481	0.7392		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 19.6 %, cv(b) = 21.4 %, Mean = 4.017437

Segundo corte

Response: TALLO

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloq	4	64.129	16.0323	18.4065	3.164e-09 ***
V	3	10.506	3.5019	3.0657	0.06911 .
Ea	12	13.707	1.1423		
D	3	1.624	0.5413	0.6215	0.60456
V:D	9	2.469	0.2743	0.3149	0.96624
Eb	48	41.809	0.8710		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 23.4 %, cv(b) = 20.4 %, Mean = 4.575888

Tercer corte

Response: TALLO

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloq	4	24.6080	6.1520	9.7949	7.099e-06 ***
V	3	19.2265	6.4088	4.6848	0.02175 *
Ea	12	16.4160	1.3680		
D	3	0.0975	0.0325	0.0517	0.98427
V:D	9	8.5795	0.9533	1.5178	0.16889
Eb	48	30.1480	0.6281		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 25.5 %, cv(b) = 17.3 %, Mean = 4.5925

Anexo N°8. Análisis de suelo del area de estudio



SOLICITANTE : UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PREDIO : JORGE ARTURO ZEGARRA FLORES
MATRIZ : SUELO AGRICOLA

ANÁLISIS N° : 1114-025 -2022
LUGAR : AREQUIPA
FECHA DE RECEP. : 03/11/2022

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACION CON MICRONUTRIENTES DISPONIBLES MUESTRA : M2 - SB - STA. RITA

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Textura				
Arena	60.88	%		
Limo	20.38	%		
Arcilla	18.74	%	MES - 001	Bouyoucos
Clase Textural	FRANCO ARENOSO			
Carbonato de Calcio Total	3.23	%	MES - 003	Gravimétrico
Conductividad Eléctrica (E.S) a 25 °C.	0.67	dS / m	MES - 004	Electrométrico
pH (1/1) a Temp = 23.4 °C	7.96		MES - 005	Electrométrico
Fósforo Disponible	11.52	ppm	MES - 006	Olsen
Materia Orgánica	0.83	%	MES - 007	Walkley y Black
Potasio Disponible	1202.00	ppm	MES - 009	Acetato de Amonio
Cationes Cambiables				Extractante: Ac. Amonio
Calcio	3.83	mEq / 100 g	MES - 010	FAAS
Magnesio	1.03	mEq / 100 g	MES - 011	FAAS
Sodio	2.91	mEq / 100 g	MES - 012	FAAS
Potasio	3.07	mEq / 100 g	MES - 013	FAAS
P.S.I	23.42	%	MES - 015	Cálculo Matemático
C.I.C.E	11.44	mEq / 100 g	MES - 017	Cálculo Matemático
Micronutrientes Disponibles				Extractante: DTPA
Cobre	0.48	ppm	MES - 018	FAAS
Zinc	2.18	ppm	MES - 019	FAAS
Manganeso	2.13	ppm	MES - 020	FAAS
Hierro	3.98	ppm	MES - 021	FAAS
				Extractante: CaCl₂.2H₂O
Boro	4.20	ppm	MES - 022	Colorimétrico

LEGENDA:

E.S : Extracto de Salucomin.
(1/1) : Relación Masa del Suelo / Volumen del Agua.
P.S.I : Porcentaje de Sodio Intercambiable.
C.I.C.E : Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo.

% : Masa / Masa.
ppm : mg / Kg.
MES : Método Propio del Laboratorio.
FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama.

NOTA:

- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 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