

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**TESIS**

**“RENDIMIENTO DE HENO Y SU CONCENTRACIÓN DE  
FÓSFORO EN EL TALLO DE OCHO VARIEDADES DE ALFALFA  
(*Medicago sativa* L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL INIA –  
BAÑOS DEL INCA”**

Para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

Presentado por el Bachiller:

**ROSARIO LUYCHO GOICOCHEA**

Asesores:

**Dr. ISIDRO RIMARACHÍN CABRERA**

**Ing. MSc. WILLIAM LEONCIO CARRASCO CHILÓN**


**CAJAMARCA - PERÚ**

**-2026-**

## **CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD**

1. Investigador:  
**Rosario Luycho Goicochea**  
DNI: N° 46219734  
Escuela Profesional/Unidad UNC:  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**
2. Asesor:  
**Dr. ISIDRO RIMARACHÍN CABRERA**  
**Ing. MSc. WILLIAM LEONCIO CARRASCO CHILÓN**  
Facultad/Unidad UNC:  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**
3. Grado académico o título profesional  
☐ Bachiller    ☒ Título profesional    ☐ Segunda especialidad  
☐ Maestro    ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:  
☒ Tesis    ☐ Trabajo de investigación    ☐ Trabajo de suficiencia profesional  
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:  
**RENDIMIENTO DE HENO Y SU CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO EN EL TALLO DE OCHO  
VARIEDADES DE ALFALFA (*Medicago sativa* L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL INIA –  
BAÑOS DEL INCA.**
6. Fecha de evaluación: 05/02/2026
7. Software antiplagio: ☒ **TURNITIN**    ☐ **URKUND (ORIGINAL) (\*)**
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 17%
9. Código Documento: oid: 3117:553364145
10. Resultado de la Evaluación de Similitud: 17%  
☒ **APROBADO**    ☐ **PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO**

Fecha Emisión: 05/02/2026

<small>Firma y/o Sello Emisor Constancia</small>
 ..... <b>Dr. ISIDRO RIMARACHÍN CABRERA</b> <b>DNI: 26676820</b>



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

## FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los veintiocho días del mes de enero del año dos mil veintiséis, se reunieron en el ambiente **2C - 202** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 064-2026-FCA-UNC, de fecha 12 de enero del 2026**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"RENDIMIENTO DE HENO Y SU CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO EN EL TALLO DE OCHO VARIEDADES DE ALFALFA (*Medicago sativa* L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL INIA - BAÑOS DEL INCA"**, realizada por el Bachiller **ROSARIO LUYCHO GOICOCHEA** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las diecisiete horas y diez minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciséis (16); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las dieciocho horas y cero minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Dr. Wilfredo Poma Rojas  
PRESIDENTE

MBA. Ing. Santiago Demetrio Medina Miranda  
SECRETARIO

Ing. José Lizandro Silva Mego  
VOCAL

Dr. Isidro Rimarachín Cabrera  
ASESOR

Ing. M. Sc. William Leoncio Carrasco Chilón  
ASESOR

## **DEDICTORIA**

A mis amados padres, Teófilo y Francisca, por su amor incondicional, su ejemplo de vida y el apoyo inquebrantable que me han brindado en cada paso de mi camino. Su esfuerzo, sacrificio y fe constante han sido la fuerza que me impulsó a alcanzar este logro, convirtiéndose en mi mayor fuente de inspiración.

Dedico también este trabajo a mis queridos hermanos, quienes, con su cariño, ánimo y comprensión acompañaron mi crecimiento personal y profesional, recordándome siempre el valor de la unión y el amor familiar.

**El autor**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la fortaleza, claridad y constancia necesarias para culminar esta etapa de formación profesional, permitiéndome afrontar con responsabilidad y compromiso cada una de las exigencias del proceso de investigación. Expreso mi sincero reconocimiento al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) – Estación Experimental Baños del Inca, por las facilidades brindadas, el acceso a infraestructura, materiales y el acompañamiento técnico que hicieron viable la ejecución del trabajo experimental.

Mi gratitud a los docentes de la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de Cajamarca, por su aporte académico, su exigencia formativa y su permanente orientación hacia una práctica agronómica científica y responsable. De manera especial, agradezco a mis asesores de tesis, el Dr. Isidro Rimarachín Cabrera y el Ing. MSc. William Leoncio Carrasco Chilón (INIA), por su guía profesional, observaciones oportunas y dedicación constante, las cuales fueron determinantes para el rigor técnico y la correcta culminación del presente estudio.

**El autor**

## ÍNDICE DE GENERAL

CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Justificación de la Investigación .....	2
1.2. Problema .....	2
1.2.1. Planteamiento de problema .....	3
1.2.2. Formulación del problema .....	4
1.3. OBJETIVOS .....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos .....	4
1.4. Hipótesis .....	5
1.4.1. Hipótesis general .....	5
1.4.2. Hipótesis específicas .....	5
CAPÍTULO II .....	6
REVISIÓN DE LITERATURA .....	6
2.1. Antecedentes de la investigación.....	6
2.2. Bases teóricas .....	11
2.2.1. Teoría del cultivo de la alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> L.) .....	12
2.2.2. Rendimiento de heno en alfalfa .....	12
2.2.3. Importancia del fósforo en el cultivo de alfalfa .....	12
2.2.4. Concentración de fósforo en el tallo de la alfalfa .....	13
2.2.5. Relación entre rendimiento de heno y concentración de fósforo.....	13
2.2.6. Variedades de alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> L.) .....	13
2.3. Términos básicos.....	17
2.3.1 Rendimiento de heno.....	17
2.3.2. Materia seca (MS).....	18
2.3.3. Concentración de fósforo en tallo.....	18
2.3.4. Fertilización fosfatada .....	18
2.3.5. Fósforo (P).....	18
2.3.6. Calidad del heno.....	18

2.3.7. Eficiencia de absorción de fósforo .....	18
2.3.8. Eficiencia varietal y absorción de fósforo .....	19
2.3.9. Alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> L.).....	19
2.3.10. Biomasa.....	19
2.3.11. Concentración de fósforo en tallo.....	19
2.3.12. Fósforo (P) en el heno .....	19
2.3.13. Fertilización fosfatada .....	19
2.3.14. Heno.....	19
2.3.15. Materia seca (MS).....	19
2.3.16. Rendimiento de heno.....	20
2.3.17. Relación hoja–tallo (L:S).....	20
2.3.18. Variedad .....	20
CAPÍTULO III.....	21
MATERIALES Y MÉTODOS .....	21
3.1. Ubicación .....	21
3.2. Características climatológicas de la zona de estudio.....	21
3.2.1. Datos meteorológicos. ....	21
3.3. Materiales .....	22
3.3.1. Material biológico.....	22
3.3.2. Material de campo .....	22
3.3.3. Material de escritorio.....	23
3.3.4. Equipos de laboratorio .....	23
3.4. Metodología.....	23
3.4.1 Diseño experimental .....	23
3.4.2. Factores del Experimento .....	23
3.4.3. Factor B: Frecuencia de Corte.....	24
3.4.4 Unidades Experimentales .....	24
3.4.6. Repeticiones .....	24
3.4.7. Mediciones y Análisis.....	25
3.5.6. Análisis Estadístico. ....	25
CAPÍTULO IV .....	26

RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	26
4.1. Rendimiento de heno por variedad y por corte .....	26
4.2. Concentración de fósforo (P) en tallo del heno .....	30
4.3. Relación entre rendimiento de heno y concentración de P .....	34
4. 3.1. Relación entre rendimiento de heno y concentración de fósforo.....	35
CAPÍTULO V .....	38
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	38
5.1. Conclusiones .....	38
CAPÍTULO VI .....	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41
ANEXOS .....	47
Análisis bromatológico .....	52
Análisis de suelo inicial .....	55
Análisis de suelo final .....	59



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLAS</b>	<b>PAGINA</b>
TABLA 1. Taxonomía de la alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> L.). .....	12
TABLA 2. Variables .....	23
TABLA 3. ANOVA para rendimiento de heno por variedad y corte.....	27
TABLA 4. Medias ajustadas y agrupamiento tukey ( $\alpha=0.05$ ) por variedad .....	27
TABLA 5. ANOVA para concentración de p por variedad.....	30
TABLA 6. Análisis de varianza para el rendimiento de forraje verde vs. variedad.....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS	PAGINAS
FIGURA 1. Ubicación del experimento .....	21
FIGURA 2. Distribución de bloques .....	24
FIGURA 3. Vista satelital de la distribución de los bloques.....	25
FIGURA 4. Dinámica del rendimiento de heno por corte (kg/ha) .....	27
FIGURA 5. Concentración de p ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) por variedad.....	21
FIGURA 6. Dispersión rendimiento de heno vs. [p] en tallo por ariedad .....	35
FIGURA 7. Lugar de instalación de las parcelas .....	47
FIGURA 8. Observación de desarrollo vegetativo en parcela experimental.....	48
FIGURA 9. Tratamiento 2 variedad andina 06.....	48
FIGURA 10. Corte de las variedades de alfalfa .....	49
FIGURA 11. Peso de biomasa fresca en variedades de alfalfa .....	49
FIGURA 12. Peso de biomasa seca de alfalfa en laboratorio .....	50
FIGURA 13. Procesamiento de muestras de alfalfa en laboratorio.....	50
FIGURA 14. Secado de muestras de alfalfa en laboratorio .....	51
FIGURA 15. Pesaje de biomasa seca de alfalfa mediante balanza portátil .....	51

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como problema general ¿Cuál es la relación entre la concentración de fósforo y el rendimiento de heno en el tallo de cada una de las ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivadas en la Estación Experimental INIA – Baños del Inca?, Objetivo Determinar la relación entre la concentración de fósforo y el rendimiento de heno en el tallo de cada una de las ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivadas en la Estación Experimental INIA – Baños del Inca, en la metodología Se empleó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), mediante el cual el área experimental se dividió en bloques homogéneos, con el propósito de reducir la variabilidad ambiental y obtener una mayor precisión en la comparación de tratamientos, Resultados y conclusiones Los resultados mostraron diferencias significativas en el rendimiento de heno ( $F=3.34$ ;  $p=0.004$ ) y en la concentración de fósforo ( $F=6.80$ ;  $p=0.001$ ), lo que demuestra la influencia del genotipo en ambas características. Las variedades Moapas, Alfa Máster y CUF 101 presentaron los mayores rendimientos, mientras que Andina 06 registró la concentración más alta de fósforo. No se observó correlación directa entre rendimiento y concentración de fósforo, evidenciando un fenómeno de dilución de nutrientes: a mayor producción de biomasa, menor concentración tisular del mineral. Este resultado indica que el contenido total de fósforo por hectárea no necesariamente se reduce con el aumento de rendimiento, sino que depende de la eficiencia fisiológica de cada variedad. Se concluye que la productividad y el contenido mineral de la alfalfa dependen de la variabilidad genética y de las condiciones ambientales. Por ello, se recomienda implementar un manejo nutricional diferenciado por variedad, optimizando la fertilización fosfatada para equilibrar el rendimiento y la calidad del heno, contribuyendo así a mejorar la producción forrajera y la sostenibilidad ganadera en las zonas de Cajamarca.

**Palabras clave:** Alfalfa, rendimiento, heno, concentración de fósforo, variedades forrajeras, dilución de nutrientes, eficiencia nutricional, fertilización fosfatada, INIA – Baños del Inca, Cajamarca.

## ABSTRACT

The general problem addressed in this research was: What is the relationship between phosphorus concentration and hay yield in the stem of each of the eight alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties grown at the INIA Experimental Station – Baños del Inca? The objective was To determine the relationship between phosphorus concentration and hay yield in the stem of each of the eight alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties grown at the INIA Experimental Station – Baños del Inca, A Randomized Complete Block Design (RCBD) was used, in which the experimental area was divided into homogeneous blocks to reduce environmental variability and achieve greater precision in the comparison of treatments. The results showed significant differences in hay yield ( $F=3.34$ ;  $p=0.004$ ) and phosphorus concentration ( $F=6.80$ ;  $p=0.001$ ), demonstrating the influence of genotype on both traits. The varieties Moapas, Alfa Máster, and CUF 101 achieved the highest yields, while Andina 06 recorded the highest phosphorus concentration. No direct correlation was observed between yield and phosphorus concentration, indicating a nutrient dilution phenomenon: as biomass production increases, tissue phosphorus concentration decreases. This result suggests that the total phosphorus content per hectare does not necessarily decline with higher yields but depends on the physiological efficiency of each variety. It is concluded that alfalfa productivity and mineral content depend on genetic variability and environmental conditions. Therefore, it is recommended to implement variety-specific nutritional management strategies, optimizing phosphate fertilization to balance hay yield and quality, thus improving forage production and livestock sustainability in the of Cajamarca.

**Keywords:** Alfalfa, yield, hay, phosphorus concentration, forage varieties, nutrient dilution, nutritional efficiency, phosphate fertilization, INIA – Baños del Inca.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) constituye una de las especies forrajeras más importantes en los sistemas ganaderos por su elevado contenido de proteína, adecuada digestibilidad y alta capacidad de rebrote, características que permiten una oferta sostenida de forraje a lo largo del año y favorecen la eficiencia productiva del ganado (Arias Arredondo et al., 2021)

En el Perú, este cultivo destaca especialmente en regiones andinas como Cajamarca, donde sustenta gran parte de la producción pecuaria. No obstante, el rendimiento de heno varía entre variedades debido a diferencias genéticas, manejo y condiciones ambientales (Rodríguez, 2021). Aunque en el mercado se ofertan diversas variedades, aún se dispone de poca información sobre su desempeño agronómico local, lo que dificulta la selección de materiales adaptados (Gutiérrez, 2024).

En sistemas forrajeros altoandinos, las limitaciones de fósforo en suelos ácidos pueden restringir el rendimiento potencial de alfalfa y disminuir la concentración de P en el forraje, lo que afecta su valor nutricional y eficiencia como alimento animal (Li et al., 2024). Por tanto, resulta esencial identificar prácticas de manejo y variedades que optimicen la absorción de fósforo, favoreciendo un balance entre producción de biomasa y calidad nutritiva del cultivo forrajero.

A nivel nacional, la mayoría de estudios se ha centrado en comparar rendimientos, pero son escasas las evaluaciones que integran la producción de heno y la concentración de fósforo en el tallo (Arias y Cruz, 2021; Cubas 2021). Esta falta de información dificulta la selección de genotipos que aporten volumen y calidad mineral.

En este contexto, la investigación “Rendimiento de heno y su concentración de fósforo en el tallo de ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la Estación Experimental INIA – Baños del Inca” se desarrolló con el propósito de generar información técnica que facilite la selección de variedades adaptadas y mejore el manejo nutricional en sistemas forrajeros de Cajamarca, fortaleciendo la sostenibilidad de la

producción pecuaria regional. Dado que diversas variedades de alfalfa se introducen actualmente mediante semillas importadas sin suficiente información sobre su comportamiento agronómico en condiciones locales, este estudio evaluó el rendimiento de heno y la concentración de fósforo en el tallo de ocho variedades cultivadas en dicha estación experimental. A partir de ello, se plantearon los objetivos específicos que orientan la investigación y que servirán como referencia para futuros estudios.

### **1.1. Justificación de la Investigación**

En la región Cajamarca, la ganadería constituye una de las principales actividades económicas y sociales, siendo la producción forrajera un factor determinante para su sostenibilidad. Dentro de las especies forrajeras más utilizadas, la alfalfa (*Medicago sativa L.*) destaca por su alto valor nutritivo, buena palatabilidad y capacidad de adaptación a diferentes condiciones agroecológicas. Sin embargo, su rendimiento y calidad dependen en gran medida de la disponibilidad de nutrientes esenciales en el suelo, entre ellos el fósforo, elemento clave para el desarrollo radicular, la formación de tejidos y la acumulación de biomasa.

En la actualidad, muchos suelos de la sierra norte del Perú, como los de la Estación Experimental INIA – Baños del Inca, presentan niveles variables de fertilidad, especialmente en lo que respecta al contenido de fósforo disponible. Esta situación puede influir de manera significativa en el rendimiento de heno y en la concentración de este nutriente en los tejidos de la planta, afectando su valor nutritivo y la eficiencia productiva del cultivo. A pesar de la importancia de este mineral, existen pocos estudios locales que relacionen de forma directa la concentración de fósforo en el tallo con la producción de heno en diferentes variedades de alfalfa adaptadas a las condiciones altoandinas.

El desconocimiento de la relación entre rendimiento de heno y concentración de fósforo limita la adecuada selección varietal y el uso eficiente de los nutrientes del suelo, afectando la productividad forrajera y elevando costos de fertilización. Por ello, es

necesario evaluar el rendimiento y la concentración de fósforo en ocho variedades de alfalfa bajo las condiciones del INIA – Baños del Inca.

## **1.2. Problema**

### **1.2.1. Planteamiento de problema**

La ganadería en la región Cajamarca constituye una de las principales actividades económicas y sociales, aportando significativamente al sustento de las familias rurales y al desarrollo agropecuario regional. En este contexto, la disponibilidad de forrajes de alta calidad nutricional es un factor decisivo para mantener la productividad del ganado. Entre las especies forrajeras más valoradas destaca la alfalfa (*Medicago sativa* L.), por su elevado contenido proteico, su buena digestibilidad y su adaptabilidad a diversas condiciones agroecológicas. No obstante, la producción y calidad del forraje dependen de la variedad utilizada y de la fertilidad del suelo, especialmente del contenido de fósforo, elemento esencial en la nutrición vegetal.

El fósforo cumple funciones vitales en los procesos fisiológicos de las plantas, como la fotosíntesis, la transferencia de energía y el desarrollo de raíces y tallos. Sin embargo, los suelos de Cajamarca, particularmente los de la Estación Experimental del INIA – Baños del Inca, presentan características que limitan su disponibilidad, tales como acidez elevada y una alta fijación del fósforo en compuestos insolubles. Esta condición puede restringir el crecimiento de la alfalfa y, por consiguiente, afectar su rendimiento de heno y la concentración de fósforo en sus tejidos vegetales.

A pesar de la importancia de este nutriente, existen pocos estudios locales que relacionen de manera directa el rendimiento de heno con la concentración de fósforo en el tallo de diferentes variedades de alfalfa cultivadas bajo las condiciones edafoclimáticas de Cajamarca. Esta falta de información técnica dificulta la identificación de variedades más eficientes en la absorción y aprovechamiento del fósforo, lo que se traduce en un uso ineficiente de fertilizantes, mayores costos de producción y menor sostenibilidad de los sistemas ganaderos.

En este sentido, se plantea la necesidad de realizar un estudio que evalúe comparativamente el rendimiento de heno y la concentración de fósforo en ocho variedades de alfalfa cultivadas en la Estación Experimental INIA – Baños del Inca, con el propósito de determinar si existe una relación significativa entre ambas variables. Este análisis permitirá obtener información científica que contribuya a seleccionar variedades con mejor desempeño nutricional y productivo, optimizando así el manejo del cultivo y el uso racional de los recursos del suelo en los sistemas forrajeros de la región.

### **1.2.2. Formulación del problema**

#### **a. Problema general**

¿Cuál es la relación entre la concentración de fósforo y el rendimiento de heno en el tallo de cada una de las ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivadas en la Estación Experimental INIA – Baños del Inca?

#### **b. Problema específico**

¿Existe diferencias significativas en el rendimiento de heno entre las ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivadas en la Estación Experimental INIA – Baños del Inca?

¿Existe diferencias significativas de concentración de fósforo en el tallo de heno entre las ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivadas en la Estación Experimental INIA – Baños del Inca?

¿Existe relación entre rendimiento de heno y la concentración de fósforo del tallo en ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivadas en la Estación Experimental INIA – Baños del Inca?

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Determinar la relación entre la concentración de fósforo y el rendimiento de heno en el tallo de cada una de las ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivadas en la Estación Experimental INIA – Baños del Inca.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**



Determinar si existe diferencias significativas en el rendimiento de heno entre las ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivadas en la Estación Experimental INIA – Baños del Inca.

Analizar si existe diferencias significativas de concentración de fósforo en el tallo de heno entre las ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivadas en la Estación Experimental INIA – Baños del Inca.

Determinar si existe relación entre rendimiento de heno y la concentración de fósforo del tallo en ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivadas en la Estación Experimental INIA – Baños del Inca.

#### **1.4. Hipótesis**

##### **1.4.1. Hipótesis general**

Existe relación entre la concentración de fósforo y el rendimiento de heno en el tallo de cada una de las ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivadas en la Estación Experimental INIA – Baños del Inca.

##### **1.4.2. Hipótesis específicas**

Existe diferencias significativas en el rendimiento de heno entre las ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivadas en la Estación Experimental INIA – Baños del Inca.

Existe diferencias significativas de la concentración de fósforo en el tallo de heno entre las ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivadas en la Estación Experimental INIA – Baños del Inca, es regular.

No existe relación entre rendimiento de heno y la concentración de fósforo del tallo en ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivadas en la Estación Experimental INIA – Baños del Inca.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

En España, García et al. (2022) reportaron que la fertilización fosfatada incrementó el rendimiento de materia seca de alfalfa entre 15 y 22 %, en comparación con parcelas sin aplicación de fósforo. Asimismo, la proteína cruda del forraje aumentó en promedio 6,5 %, mientras que la fibra detergente ácida (FDA) se redujo entre 3 y 5 %, evidenciando una mejora significativa en la calidad del heno. Los autores también observaron un aumento de aproximadamente 18 % en la relación hoja:tallo, lo que favoreció una mayor digestibilidad del forraje. Estos resultados confirman que el fósforo cumple un rol clave tanto en la productividad como en la calidad nutricional de la alfalfa, especialmente en sistemas de corte intensivo.

En Argentina, Martínez et al. (2023) analizaron la eficiencia de uso del fósforo en seis variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivadas en suelos con baja disponibilidad de este nutriente en la región pampeana. Los resultados indicaron que las variedades con mayor eficiencia de absorción y redistribución interna del fósforo lograron incrementos de hasta 18 % en la producción de biomasa aérea, además de una mayor concentración de fósforo en el tallo y una mejor relación hoja:tallo. Estos efectos se reflejaron en una mejora significativa de la calidad del heno, particularmente en términos de digestibilidad y valor nutritivo. Los autores concluyeron que la selección varietal constituye una estrategia clave para optimizar el uso del fósforo y mejorar la sostenibilidad productiva de la alfalfa en sistemas forrajeros intensivos.

Bouray et al. (2020) evaluaron, en su estudio “Impactos del fosfoyeso, fertilizante soluble y enmienda con cal en suelos ácidos sobre la biodisponibilidad de fósforo y azufre bajo alfalfa (*Medicago sativa* L.)”, la respuesta del cultivo a la aplicación de fosfoyeso (PG), cal y un fertilizante soluble con P+S (PS) en dos tipos de suelo. El ensayo se condujo en un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial 4x2x2: cuatro dosis de PG o PS por separado, dos suelos y dos niveles de cal (0 y 2

t/ha), con cuatro repeticiones por tratamiento, totalizando 112 macetas. Tras finalizar el experimento, los datos se sometieron a ANOVA. Los resultados indicaron que las mayores producciones de biomasa y la mayor absorción de P y S se lograron con 9 t/ha de PG combinadas con cal. Además, el aluminio intercambiable se redujo en ambos suelos incluso con 1 t/ha de PG respecto al control. En conjunto, la incorporación de fosfoyeso en suelos ácidos mejoró la disponibilidad de P, incrementó la absorción de P y S y, en consecuencia, elevó el rendimiento de biomasa de la alfalfa.

En Alberta, Canadá, Tian et al. (2025) estudiaron la respuesta del crecimiento y las propiedades de la rizósfera de la alfalfa a diferentes niveles de fertilización fosfatada. Observaron que los tratamientos con fósforo incrementaron significativamente la concentración de P en los tallos y mejoraron el desarrollo radicular y la actividad microbiana del suelo. Estas condiciones resultaron en un mayor rendimiento de materia seca y mejor calidad nutritiva del heno, evidenciando que la disponibilidad de P en el suelo no solo mejora la producción, sino también la eficiencia biológica de la planta.

Rivas et al, (2020), En su estudio evaluó durante cuatro años el rendimiento de cuatro variedades de alfalfa (Cuf-101, Moapa, Oaxaca y Valenciana) en Montecillos, Texcoco. Se midieron RMSA, RMSE, TAF y relación hoja:tallo, analizados con GLM de SAS y prueba de Tukey. Los resultados mostraron diferencias significativas entre variedades, estaciones y años. El rendimiento fue mayor el primer año y disminuyó hasta un 57 % al final. La variedad Oaxaca mantuvo la mejor producción y Moapa la menor. El verano presentó los mayores rendimientos, mientras que en invierno la producción cayó cerca de un 50 %. La relación hoja:tallo fue más alta en el segundo año, destacando Cuf-101 y Valenciana en invierno. En conclusión, el genotipo y la estación influyen en la producción de materia seca, siendo el verano la etapa más productiva.

Rojas et al. (2019), en su investigación realizó el rendimiento de forraje en base seca, densidad de tallos y plantas por metro cuadrado, peso por tallo, relación hoja:tallo, además de la composición botánica y morfológica. Donde los resultados evidenciaron diferencias significativas entre variedades, destacando Milenia como la de mayor

rendimiento de materia seca ( $20,643 \text{ kg MS ha}^{-1}$ ) y Aragón como la de menor productividad ( $14,488 \text{ kg MS ha}^{-1}$ ). Asimismo, la relación hoja:tallo más alta se observó en Aragón (1.31) y la más baja en Oaxaca (1.13). Se determinó, además, un marcado efecto estacional, siendo primavera y verano las épocas de mayor producción debido a condiciones favorables de temperatura y peso por tallo. Este estudio confirma la importancia de seleccionar variedades adaptadas a las condiciones locales, a fin de optimizar la producción forrajera y fortalecer la base alimenticia para el ganado.

Appiah et al. (2024), el manejo sostenible de la nutrición potásica en la alfalfa es fundamental para maximizar la producción de biomasa y semilla, ya que la deficiencia de este nutriente reduce el rendimiento e incrementa los costos por consumo excesivo. La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una leguminosa forrajera perenne de alto valor nutritivo y proteico, reconocida por su capacidad de mejorar la fertilidad del suelo y servir como alimento para el ganado. El potasio cumple un papel crucial al intervenir en procesos fisiológicos como el crecimiento, la fotosíntesis, la absorción de nutrientes y la tolerancia al estrés abiótico, determinantes en la productividad del cultivo. Pese a que existen estudios sobre la función del potasio en la agricultura, las investigaciones específicas en alfalfa son limitadas. Este trabajo revisa la importancia del potasio en el rendimiento, la calidad y la resistencia de la alfalfa, analiza los factores que regulan su disponibilidad, absorción y transporte, así como las consecuencias de su deficiencia, y finalmente plantea estrategias de manejo orientadas a garantizar la sostenibilidad y productividad de este cultivo en los sistemas agrícolas.

Ibarlucea et al. (2021) desarrollaron un estudio titulado “Respuesta a fósforo y azufre en alfalfa en un suelo con larga historia agrícola”, cuyo objetivo fue cuantificar, durante tres años, el efecto de la fertilización con P y S en la producción de materia seca de una pastura pura de alfalfa sin latencia invernal y de alto potencial productivo, establecida en un suelo Argiudol con degradación físico-química. El ensayo se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones y cuatro tratamientos: T1 (testigo), T2 (200 kg/ha de sulfato de calcio), T3 (200 kg/ha de sulfato de calcio + 200

kg/ha de superfosfato triple de calcio) y T4 (200 kg/ha de sulfato de calcio + 200 kg/ha de superfosfato triple de calcio + 1000 kg/ha de dolomita). Los resultados evidenciaron una interacción significativa entre los cortes y los tratamientos. En el 92% de los cortes no se observaron diferencias por la adición de azufre (T2–T1), mientras que en el 72% de los cortes la aplicación de fósforo incrementó de manera significativa la producción de materia seca desde el segundo corte, con respuestas que oscilaron entre 32 y 70% a lo largo del período. Asimismo, la aplicación de dolomita (1500 kg/ha) generó aumentos significativos en 3 de los 29 cortes al comparar T4 frente a T3.

En la sierra peruana, se han comparado variedades de alfalfa en puna húmeda y seca, reportándose diferencias significativas en rendimiento de forraje y calidad (Arias y Cruz, 2021). En Cajamarca, una tesis experimental con cuatro variedades mostró variación en  $t\ MS\cdot ha^{-1}$  y parámetros bromatológicos por variedad y ambiente (Rodríguez, 2021). A nivel de manejo nutricional, se documentan limitaciones de P en suelos altoandinos y la necesidad de fertilización fosfatada para sostener biomasa y valor nutritivo (Liñán, 2024). En estudios de manejo biológico, la biofertilización aumentó biomasa y calidad del forraje en zonas altoandinas (Quispe et al., 2024). La línea de base nacional confirma la relevancia de la alfalfa en ganadería (bovinos y cuyes) y su respuesta a prácticas de manejo (MINAM, 2020). Además, INIA/MIDAGRI implementó parcelas demostrativas en Cajamarca para elevar productividad con germoplasma de alta calidad (INIA, 2024).

En Ayacucho, Gutiérrez (2024) evaluó el efecto de la fertilización fosfatada y sulfatada en el rendimiento de alfalfa, determinando que la aplicación de  $220\ kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  incrementó la producción de forraje verde y materia seca en un 16,9 % respecto al testigo. Este resultado demuestra que la disponibilidad de fósforo mejora la absorción de nutrientes y la acumulación de biomasa en tallos y hojas, reflejándose en un aumento significativo del rendimiento total de heno (Gutiérrez, 2024).

Torres (2024), el estudio se desarrolló en el Centro Experimental Canaán, Ayacucho (2750 msnm), con el propósito de evaluar el efecto de la fertilización con

fósforo y azufre en el rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Se analizaron tres variables: altura de planta, rendimiento de forraje verde y materia seca, aplicando niveles de fósforo (0 y 220 kg/ha), azufre (0 y 100 kg/ha) y la combinación P220 + S100. El experimento se condujo bajo un diseño de parcelas divididas con cuatro tratamientos, tres repeticiones y doce subparcelas. La mayor altura de planta se alcanzó con 220 kg/ha de P + 100 kg/ha de S (90.88 cm). Con solo fósforo se obtuvo 19,090.38 kg/ha de forraje verde y 4,186.90 kg/ha de materia seca por corte. Con solo azufre, los valores fueron 19,449.90 kg/ha y 4,272.25 kg/ha, respectivamente. La interacción de ambos nutrientes registró un rendimiento acumulado de biomasa fresca de 159,528 t/ha/año, lo que representó un incremento de 16.97% frente al testigo. Se concluye que las dosis más altas de fertilización favorecen significativamente la producción de biomasa y el crecimiento de la alfalfa.

Huallpayunca, (2024) en su estudio evaluó el rendimiento productivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) en condiciones de altura, desarrollado en la hacienda Sullupucyo Zurite Anta. Se analizaron seis variedades de dormancia 4–8 en tres edades de corte (30, 45 y 60 días), bajo un diseño factorial en bloques completos al azar con 18 tratamientos. Se midieron variables de rendimiento forrajero, relación hoja-tallo y calidad nutricional. Los mayores rendimientos de materia seca se obtuvieron en las variedades Aragón (20,439.6 kg MS/ha) e Icon (19,042.9 kg MS/ha). En porcentaje, destacaron Vulcan (20.58%), Icon (20.40%), Thalia (19.90%), Aragón (19.62%) y W-350 (18.90%), con el máximo a los 60 días (24.04%). El mayor contenido proteico se alcanzó a los 45 días (20.46%), sobresaliendo Alabama 350, W-350, Aragón, Thalia e Icon. La fibra varió entre 22.74% y 29.38%, siendo mayor en Vulcan a los 60 días. En hoja, el valor proteico máximo fue de 27.07% en W-350 a los 45 días, mientras que en tallo se registró a menor edad de corte con W-350 (17.45%).

En la sierra central del Perú, Liñán (2024) identificó que los suelos agrícolas presentan bajos niveles de fósforo disponible (Olsen-P < 15 ppm), lo que condiciona el rendimiento del cultivo. El estudio recomienda la incorporación de fuentes fosfatadas

para mejorar la eficiencia de absorción del P y asegurar una producción sostenida de biomasa aérea en alfalfa. Además, evidenció que las deficiencias de fósforo limitan la formación de tallos y reducen la calidad del heno producido (Liñán, 2024).

En Cajamarca, Rodríguez (2021) evaluó cuatro variedades de alfalfa en el centro poblado La Viña – Magdalena, registrando diferencias significativas en rendimiento de materia seca (MS) y contenido mineral entre variedades y cortes. Los resultados demostraron que las condiciones edáficas y la genética varietal influyen directamente en la acumulación de nutrientes y en el rendimiento de heno, siendo las variedades de origen extranjero las que mostraron mayor respuesta productiva (Rodríguez, 2021).

Asimismo, Cubas Leiva (2021) comparó seis variedades de alfalfa en dos altitudes de Cajamarca, encontrando variabilidad en la composición química (proteína, NDF, ADF, cenizas y minerales). El estudio evidenció que el contenido de nutrientes, incluido el fósforo, depende del microclima y de la etapa fenológica al momento del corte, lo cual afecta directamente la calidad y digestibilidad del heno (Cubas Leiva, 2021).

Por otro lado, Quispe et al. (2024) demostraron que la biofertilización con microorganismos promotores de crecimiento vegetal incrementó la biomasa y mejoró la calidad del forraje de alfalfa en zonas altoandinas, resaltando la importancia de complementar las fuentes biológicas con la fertilización fosfatada para un manejo sostenible del cultivo (Quispe et al., 2024).

## **2.2. Bases teóricas**

Las bases teóricas de la presente investigación permiten sustentar conceptualmente las variables de estudio, facilitando la comprensión de los procesos agronómicos que influyen en el rendimiento de heno y la concentración de fósforo en el tallo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.). Asimismo, proporcionan un marco científico que respalda el análisis de los resultados obtenidos bajo las condiciones edafoclimáticas de la Estación Experimental INIA – Baños del Inca.

### **2.2.1. Teoría del cultivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.)**

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una leguminosa forrajera perenne reconocida por su elevada productividad, calidad nutricional y capacidad de adaptación a diversos ambientes agroecológicos. A nivel mundial y nacional, este cultivo constituye una de las principales fuentes de forraje para la alimentación del ganado, debido a su alto contenido de proteína, minerales y energía metabolizable (FAO, 2021).

En el Perú, la alfalfa es ampliamente cultivada en regiones altoandinas como Cajamarca, donde desempeña un rol estratégico en los sistemas de producción pecuaria. Su éxito agronómico se asocia a su sistema radicular profundo, su capacidad de rebrote y su habilidad para fijar nitrógeno atmosférico mediante simbiosis con rizobios, contribuyendo a la mejora de la fertilidad del suelo (INIA, 2020). No obstante, su productividad depende de factores como la variedad, el manejo agronómico y la disponibilidad de nutrientes esenciales.

### **2.2.2. Rendimiento de heno en alfalfa**

El rendimiento de heno se define como la cantidad de biomasa seca producida por unidad de superficie, generalmente expresada en toneladas por hectárea. Este indicador refleja la eficiencia productiva del cultivo y es utilizado para evaluar el desempeño agronómico de diferentes variedades de alfalfa bajo determinadas condiciones de manejo y ambiente (IICA, 2022).

En la alfalfa, el rendimiento de heno está influenciado por la frecuencia y altura de corte, la edad fisiológica del rebrote, la fertilidad del suelo y las características genéticas de la variedad. Estudios realizados en zonas altoandinas señalan que las variedades adaptadas localmente presentan mayor estabilidad productiva y mejor respuesta a las prácticas de manejo, lo que se traduce en mayores rendimientos acumulados (Rodríguez et al., 2021).

### **2.2.3. Importancia del fósforo en el cultivo de alfalfa**

El fósforo es un macronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de la alfalfa, ya que participa en procesos fundamentales como la transferencia de energía,



la síntesis de ácidos nucleicos y el desarrollo del sistema radicular. Una adecuada disponibilidad de fósforo favorece el establecimiento del cultivo, el vigor del rebrote y la acumulación de biomasa aérea (IPNI, 2019).

En suelos de regiones altoandinas, la disponibilidad de fósforo suele ser limitada debido a procesos de fijación del nutriente, lo que reduce su absorción por las plantas. Esta deficiencia puede generar disminuciones significativas en el rendimiento de heno y afectar negativamente la calidad del forraje producido (Gutiérrez & Salazar, 2023).

#### **2.2.4. Concentración de fósforo en el tallo de la alfalfa**

La concentración de fósforo en el tallo constituye un indicador clave del estado nutricional de la planta y de la calidad del forraje. El fósforo presente en los tejidos vegetales influye directamente en el metabolismo energético y en la formación de estructuras celulares, aspectos que determinan la digestibilidad y el valor nutritivo del heno (Zhang et al., 2025).

Diversas investigaciones señalan que la concentración de fósforo en el tallo varía según la variedad, la edad del rebrote y la disponibilidad del nutriente en el suelo. Variedades con mayor eficiencia en la absorción y translocación del fósforo tienden a presentar concentraciones más elevadas en el tejido aéreo, lo que mejora el aporte mineral del forraje destinado a la alimentación animal (Tian et al., 2025).

#### **2.2.5. Relación entre rendimiento de heno y concentración de fósforo**

El rendimiento de heno y la concentración de fósforo en el tallo presentan una relación directa, dado que una adecuada nutrición fosforada favorece el crecimiento vegetativo y la acumulación de materia seca. Investigaciones recientes reportan que la fertilización fosforada puede incrementar el rendimiento del forraje entre 15 % y 25 %, además de mejorar su digestibilidad y reducir el contenido de fibra detergente ácida (Zhang et al., 2025).

#### **2.2.6. Variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.)**

Según Alabama S.A. (2020), en el medio nacional se dispone de diversas variedades de alfalfa que se diferencian por su grado de dormancia, resistencia a

condiciones edáficas y capacidad de adaptación a distintos pisos altitudinales. Entre las más empleadas en sistemas forrajeros del país destacan Moapa 69, CUF 101 y Alta Sierra, las cuales presentan comportamientos productivos y morfológicos diferenciados.

**a. Alfalfa variedad Moapa 69.**

La variedad Moapa 69, desarrollada en Estados Unidos, es una de las más difundidas a nivel mundial debido a su alta productividad y persistencia. Presenta una dormancia 8, lo que la hace adecuada para regiones con inviernos moderados. Se adapta a suelos con un pH entre 6.5 y 7.5 y prospera en altitudes que varían entre 2 000 y 3 500 m s. n. m. Esta variedad es versátil, pudiendo destinarse a corte, pastoreo o henificación, y muestra un crecimiento erecto y vigoroso, con rápida recuperación postcorte. Su vida útil en praderas oscila entre 6 y 7 años, dependiendo del manejo agronómico y de la fertilización aplicada. En condiciones óptimas, puede alcanzar 6 a 8 cortes anuales, con alta calidad forrajera y buena palatabilidad (Alabama S.A., 2020; Putnam et al., 2022; Cárdenas y Rojas, 2023).

**b. Alfalfa variedad CUF 101.**

La variedad CUF 101 también fue desarrollada en los Estados Unidos y se caracteriza por una dormancia 9, que le confiere tolerancia a climas templados y alta capacidad de rebrote. Se adapta a altitudes comprendidas entre 1 000 y 3 200 m s. n. m., y se utiliza principalmente para corte, pastoreo y ensilaje. El primer corte se realiza entre los 60 y 90 días después de la siembra, dependiendo de las condiciones climáticas y del manejo aplicado. Su vida útil varía entre 4 y 6 años, y puede producir de 6 a 10 cortes por año. Presenta porte erecto, tallos gruesos y excelente recuperación tras cada cosecha, lo que la convierte en una de las variedades más empleadas en zonas altoandinas con buena disponibilidad hídrica (Alabama S.A., 2020; Vilcara y Passoni, 2023; Putnam et al., 2022).

**c. Alfalfa variedad alta sierra.**

La variedad Alta Sierra es de origen peruano y constituye una de las selecciones más tradicionales utilizadas por los agricultores del país. Posee dormancia 7, y su rango

de adaptación comprende altitudes entre 1 000 y 3 800 m s. n. m., tanto en zonas templadas como frías. Se emplea para corte, pastoreo y ensilaje, y su vida útil en pradera puede alcanzar de 10 a 15 años, dependiendo de la fertilización, riego y manejo del pastoreo. Esta variedad presenta crecimiento erecto, alta densidad foliar y resistencia notable a plagas, especialmente a los pulgones, además de una rápida recuperación después del corte. Su productividad permite 8 a 10 cortes anuales, con buen rendimiento en materia seca y contenido proteico adecuado para la alimentación de ganado bovino y ovino (Alabama S.A., 2020; Cárdenas y Rojas, 2023; Vilcara y Passoni, 2023).

#### **d. Alfalfa Var. AGP 450**

La alfalfa Var. AGP 450 se ha consolidado como una alternativa altamente productiva, con rendimientos de hasta 20 toneladas de forraje seco por hectárea al año. Su contenido proteico varía entre 18 % y 22 %, lo que la convierte en un excelente alimento para rumiantes de alta producción. Además, posee buena tolerancia a enfermedades foliares y estrés hídrico, lo que la hace adaptable a diversas regiones agroecológicas (Vargas, 2022; Martínez & Romero, 2021). Presenta un crecimiento erecto y vigoroso, con una recuperación rápida tras el corte; se recomienda cortar a una altura de 5–10 cm cada 4–6 semanas, para optimizar tanto el rendimiento como la calidad forrajera. Su sistema radicular profundo también contribuye a la fijación biológica de nitrógeno, mejorando la fertilidad del suelo (Pérez, 2021).

#### **e. Alfalfa Var. Alfa Master**

La variedad Alfa Master destaca por su elevado rendimiento y excelente valor nutritivo, alcanzando hasta 23 toneladas de forraje seco por hectárea por año, con un contenido proteico entre 15 % y 21 %. Su composición nutricional favorece la ganancia de peso y la producción lechera, por lo que se utiliza ampliamente en sistemas intensivos (Fernández et al., 2022; Martínez, 2023). Se caracteriza por su resistencia a climas adversos y enfermedades foliares, lo que permite su cultivo en distintas zonas del país (Sánchez & Pérez, 2021). Para maximizar la productividad, se recomienda

realizar cortes cada 5–7 semanas, a una altura de 6–8 cm, lo que favorece la regeneración de tallos. Además, su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico contribuye a mejorar la fertilidad del suelo en rotaciones agrícolas (Rojas, 2021).

#### **f. Alfalfa Var. Andina 06**

La alfalfa Var. Andina 06 es una variedad nacional reconocida por su adaptación a las condiciones climáticas y edáficas de la región andina, mostrando una excelente tolerancia al frío y a la sequía. Según Ramírez y Torres (2022), puede alcanzar hasta 24 toneladas de forraje seco por hectárea al año, con un contenido de proteína bruta de 18 % a 20 %. Su rusticidad le permite prosperar en altitudes superiores a los 3 000 m s. n. m., manteniendo un buen vigor vegetativo y resistencia a enfermedades (Salazar et al., 2021; Martínez, 2023). Se recomienda realizar cortes a una altura de 7–10 cm cada 5–6 semanas, lo que asegura su persistencia y buen rebrote. Además, su capacidad para fijar nitrógeno favorece la fertilidad de los suelos altoandinos y promueve la sostenibilidad en sistemas de rotación (Cruz, 2020; González y Herrera, 2021).

#### **g. Alfalfa Var. Alfaplus**

La alfalfa Var. Alfaplus es reconocida por su elevado rendimiento, resistencia a enfermedades y amplia adaptabilidad. Puede producir hasta 30 toneladas de forraje seco por hectárea por año, con un contenido proteico de 18 % a 20 % (Ramírez & Soto, 2021). Su tolerancia a condiciones de humedad variable y su vigor la hacen apropiada para diferentes regiones. Se recomienda realizar cortes cada 4–6 semanas a una altura de 5–7 cm, favoreciendo la calidad del forraje y la longevidad de la pradera (Salas, 2019). Además, presenta una excelente capacidad de fijación biológica de nitrógeno, lo que incrementa la fertilidad del suelo y promueve sistemas agrícolas sostenibles (Hernández et al., 2021).

#### **g. Alfalfa Var. AGP 350**

La alfalfa Var. AGP 350 se caracteriza por su equilibrio entre productividad y adaptabilidad, alcanzando entre 25 y 28 toneladas de forraje seco por hectárea por año, con contenido proteico de 16 % a 18 %. Es resistente a plagas y enfermedades comunes

y se adapta a suelos de textura media y climas templados o fríos (Mendoza & Ruiz, 2022; Hernández et al., 2023). Su rápido rebrote permite cortes cada 4–6 semanas, a una altura de 6–8 cm, manteniendo la calidad forrajera. Además, su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico mejora la estructura y fertilidad del suelo, contribuyendo a una agricultura más sostenible (Pérez y Martínez, 2022).

#### **h. Alfalfa Var. Supersonic**

La alfalfa Var. Supersonic es una de las más modernas y de mayor rendimiento potencial, alcanzando hasta 35 toneladas de forraje seco por hectárea anuales, con contenido proteico de 20 % a 22 % (García & López, 2021). Destaca por su rápida recuperación postcorte y su adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas, lo que permite su cultivo desde zonas templadas hasta valles interandinos (Fernández et al., 2022). Es altamente resistente a enfermedades fúngicas y presenta excelente vigor vegetativo. Se recomienda cortar cada 4–5 semanas a una altura de 7–10 cm, garantizando así una producción continua y de alta calidad. Además, su capacidad de fijar nitrógeno mejora la fertilidad del suelo y beneficia los cultivos en rotación, convirtiéndola en una alternativa estratégica para la producción sostenible de forraje (Salazar y Ramos, 2021; Cruz y Díaz, 2020).

### **2.3. Términos básicos**

#### **2.3.1 Rendimiento de heno**

El rendimiento de heno es la cantidad de materia seca producida por un cultivo forrajero y recolectada en forma de heno por unidad de superficie, generalmente expresada en kilogramos o toneladas por hectárea ( $\text{kg ha}^{-1}$  o  $\text{t ha}^{-1}$ ). Este indicador permite evaluar la productividad real del cultivo, ya que considera únicamente la biomasa útil después del secado, eliminando el efecto del contenido de agua. En especies como la alfalfa (*Medicago sativa* L.), el rendimiento de heno depende del genotipo, del número y momento de corte, del manejo agronómico y de la disponibilidad de nutrientes, especialmente del fósforo, siendo un parámetro clave para la planificación y sostenibilidad de los sistemas forrajeros.

### **2.3.2. Materia seca (MS)**

La materia seca es la fracción del forraje libre de agua, obtenida mediante secado en horno a 65 °C hasta peso constante. Es la base para expresar la producción de heno y el contenido de nutrientes. Este parámetro permite comparar rendimientos entre variedades y cortes (Tian et al., 2025).

### **2.3.3. Concentración de fósforo en tallo**

Se define como la proporción de fósforo presente en el tejido del tallo, expresada en porcentaje o en gramos por kilogramo de materia seca. Este parámetro refleja la eficiencia de absorción y translocación del P, influenciada por la variedad y el estado fenológico (Zhang et al., 2024).

### **2.3.4. Fertilización fosfatada**

La fertilización fosfatada consiste en la aplicación de fuentes minerales de fósforo (como fosfato diamónico o superfosfato triple) para mejorar la disponibilidad de este nutriente en el suelo. Este manejo promueve el crecimiento radicular y aumenta la concentración de fósforo en tejidos aéreos (Rui et al., 2022).

### **2.3.5. Fósforo (P)**

El fósforo es un macronutriente esencial involucrado en la transferencia de energía (ATP), el crecimiento radicular y la formación de biomasa. Su deficiencia reduce la producción de materia seca y la calidad del heno (Chen et al., 2023).

### **2.3.6. Calidad del heno**

Se refiere al conjunto de características químicas y físicas (proteína, fibra, digestibilidad, color y aroma) que determinan su valor nutritivo. La fertilización con P mejora la calidad al favorecer el crecimiento foliar y la síntesis proteica (Tian et al., 2025).

### **2.3.7. Eficiencia de absorción de fósforo**

Es la capacidad de la planta para captar y utilizar el fósforo disponible del suelo. Variedades de alfalfa con mayor eficiencia presentan más biomasa y concentración de P en tallos (Wang et al., 2024).

### **2.3.8. Eficiencia varietal y absorción de fósforo**

Las variedades de alfalfa difieren en su capacidad de absorber y utilizar el fósforo del suelo. Wang et al. (2024) determinaron que las variedades con mayor eficiencia de absorción de P presentan más biomasa y mayor concentración de fósforo en tallos, lo que repercute en una mejor calidad del heno. En el Perú, el INIA (2024) ha validado germoplasmas adaptados a la sierra para mejorar la productividad en suelos de baja fertilidad fosfatada.

### **2.3.9. Alfalfa (*Medicago sativa* L.)**

Leguminosa perenne forrajera de alto contenido proteico, ampliamente utilizada para la producción de heno por su alta digestibilidad (Tian et al., 2025).

### **2.3.10. Biomasa**

Masa total de materia vegetal acumulada por la planta, expresada en peso seco por hectárea (Chen et al., 2023).

### **2.3.11. Concentración de fósforo en tallo**

Porcentaje de fósforo acumulado en el tejido estructural del tallo, indicador de eficiencia de absorción y translocación (Zhang et al., 2024).

### **2.3.12. Fósforo (P) en el heno**

Macronutriente esencial involucrado en la transferencia de energía, división celular y desarrollo radicular (Chen et al., 2023).

### **2.3.13. Fertilización fosfatada**

Aplicación de fuentes minerales de fósforo (como superfosfato triple o DAP) para mejorar la disponibilidad del nutriente en el suelo (Zhang et al., 2025).

### **2.3.14. Heno**

Forraje seco obtenido del secado de plantas forrajeras, principalmente alfalfa, destinado a la alimentación animal (Gao et al., 2022).

### **2.3.15. Materia seca (MS)**

Fracción del forraje libre de agua, base para expresar rendimiento y contenido de nutrientes (Gutiérrez, 2024).

**2.3.16. Rendimiento de heno**

Cantidad total de materia seca obtenida por hectárea luego del proceso de secado del forraje (Zhang et al., 2025).

**2.3.17. Relación hoja–tallo (L:S)**

Proporción entre la biomasa foliar y la del tallo; a mayor relación, mayor calidad nutricional (Li et al., 2023).

**2.3.18. Variedad**

Grupo genético de alfalfa con características agronómicas específicas (rendimiento, persistencia, absorción de nutrientes) (Wang et al., 2024).

**TABLA 01**

*Taxonomía de la alfalfa (Medicago sativa L.)*

Categoría taxonómica	Clasificación
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Subfamilia	Faboideae (Papilionoideae)
Tribu	Trifolieae
Género	<i>Medicago</i>
Especie	<i>Medicago sativa</i> L.

*USDA (2023).*



## CAPÍTULO III

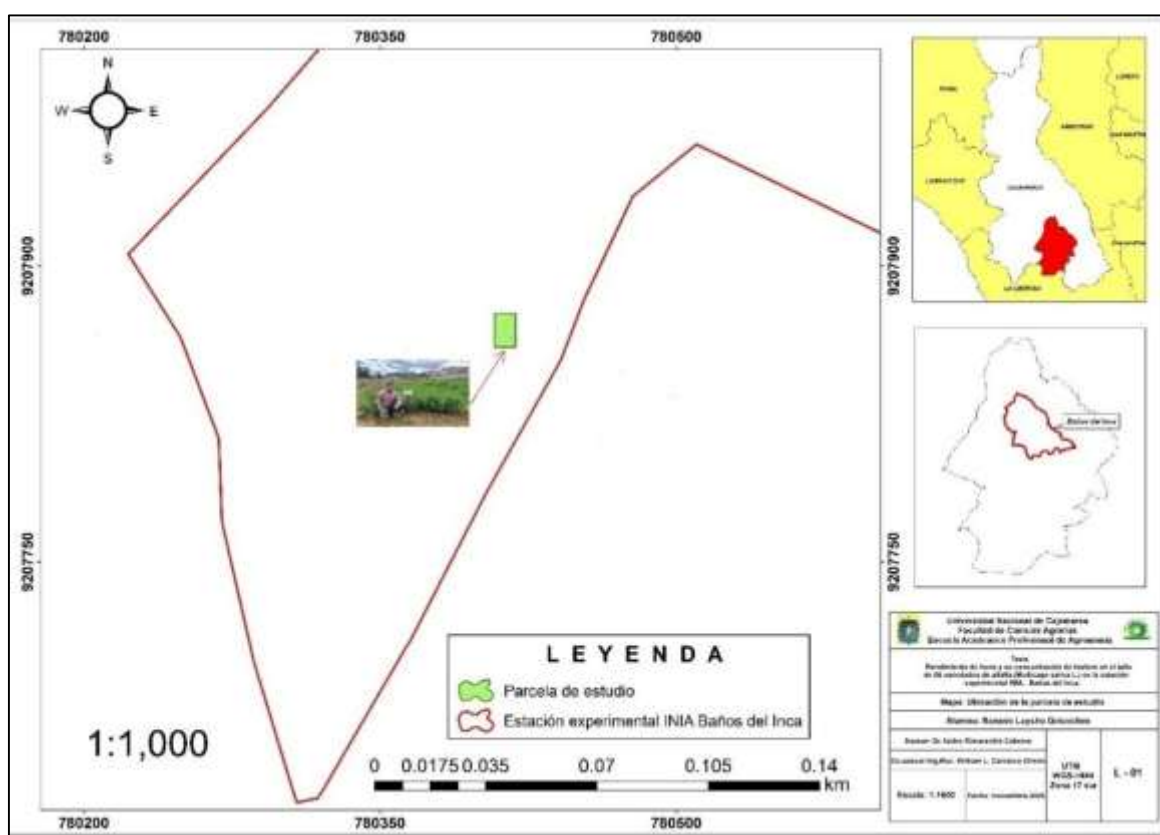
### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación

La investigación fue realizada en el en la estación experimental INIA – Baños del Inca, en el distrito de Los Baños del Inca, provincia y región Cajamarca en la sierra norte del Perú a 2667 m.s.n.m.

**Figura 1**

*Ubicación del experimento, y distribución de parcelas.*



#### 3.2. Características climatológicas de la zona de estudio

##### 3.2.1. Datos meteorológicos.

##### a. Temperatura

La temperatura promedio anual en la Estación Experimental INIA – Baños del Inca se mantiene entre 14 y 15 °C, con una variación térmica moderada a lo largo del año. Con promedios de 16 a 17 °C, las temperaturas máximas alcanzan entre 21 y 23 °C, y las mínimas descienden hasta 6 °C. Este régimen térmico estable y templado

caracteriza a la zona como de clima subhúmedo interandino, favorable para la experimentación agrícola y el desarrollo de cultivos de clima templado (INIA, 2022; SENAMHI, 2023).

#### **b. Precipitación**

La precipitación anual promedio oscila entre 700 y 950 mm, con un régimen monomodal caracterizado por una marcada estacionalidad. Las lluvias se concentran entre los meses de octubre y abril, representando cerca del 85 % del total anual, mientras que el periodo de mayo a septiembre es seco o con lluvias muy escasas. Este patrón pluviométrico está influenciado por el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical y los flujos húmedos del anticiclón del Atlántico Sur, que determinan la dinámica estacional de las lluvias en los Andes del norte del Perú (INIA, 2022; SENAMHI, 2023).

#### **c. Humedad y viento**

La humedad relativa promedio anual se mantiene entre 70 y 80 %, con valores más altos durante la temporada lluviosa (enero a marzo) y menores en la época seca (junio a agosto). Estas condiciones reflejan un ambiente templado subhúmedo, favorable para el desarrollo vegetal y la investigación agronómica.

En cuanto al viento, la dirección predominante es del este y sureste, con velocidades medias de 1.5 a 2.5 m/s. Este flujo moderado contribuye a la ventilación natural de los cultivos, reduce la humedad superficial y disminuye la incidencia de enfermedades fúngicas en periodos secos (INIA, 2022; SENAMHI, 2023).

### **3.3. Materiales**

#### **3.3.1. Material biológico**

Semilla de alfalfa

#### **3.3.2. Material de campo**

Mochila de fumigar

Hoz o segadora

### 3.3.3. Material de escritorio

Cinta masking.

Lapiceros.

Lápiz.

Libreta de apuntes.

Papel bond.

### 3.3.4 Equipos de laboratorio

Cámara fotográfica.

Computadora.

Equipo de protección de laboratorio (mandil, guantes quirúrgicos y mascarilla).

Estereoscopio.

Estufa

Balanza

## 3.4. Metodología

### 3.4.1 Diseño experimental

Se empleó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), mediante el cual el área experimental se dividió en bloques homogéneos, con el propósito de reducir la variabilidad ambiental y obtener una mayor precisión en la comparación de tratamientos.

**Tabla 2**

*variables*

Tipo de Variable	Variable	Descripción
1	Producción de Heno	Cantidad de heno producido por hectárea (kg/ha)
2	Concentración de Fósforo	Cantidad de fósforo presente en el heno (mg/kg o g/kg)

### 3.4.2 Factores del Experimento

CUF-101

Alfa plus

Andina 06

Moapa

Alfa Master

AGP 350

Supersonic

AGP 450

### 3.4.3 Factor B: Frecuencia de Corte

Cada 45 días

### 3.4.4 Unidades Experimentales

Cada variedad se sembró en parcelas de tamaño uniforme de 15 m<sup>2</sup>. Cada bloque contuvo todas las combinaciones de variedades y frecuencias de corte, garantizando una distribución equilibrada de los tratamientos dentro del diseño experimental.

### 3.4.6. Repeticiones

El experimento se repitió en tres bloques, lo que permitió obtener datos más representativos y realizar un análisis estadístico confiable de los resultados.

### Figura 2

*Croquis del experimento*

#### BLOQUE I

CUF 101	ALFA PLUS	AGP 350	ALFA MASTER	AGP 450	ANDINA 06	SUPER SONI	MOAPAS
---------	-----------	---------	-------------	---------	-----------	------------	--------

#### BLOQUE II

ALFA MASTER	AGP 450	ANDINA06	SUPER SONI	CUF 101	MOAPAS	AGP 350	ALFA PLUS
-------------	---------	----------	------------	---------	--------	---------	-----------

#### BLOQUE III

SUPER SONI	MOAPAS	CUF 101	ANDINA 06	AGP 350	ALFA PLUS	ALFA MASTER	AGP 450
------------	--------	---------	-----------	---------	-----------	-------------	---------

**Figura 3**

*Vista satelital de la distribución de los bloques*



#### **3.4.7. Mediciones y Análisis**

**Producción de heno:** Se realizó el pesaje de la producción total de heno por metro cuadrado después de cada corte, con el fin de cuantificar el rendimiento de materia seca obtenida por variedad.

**Concentración de fósforo:** Se efectuó el análisis de laboratorio para determinar el contenido de fósforo presente en las muestras de heno, empleando métodos estandarizados de análisis químico para evaluar la disponibilidad de este nutriente esencial.

#### **3.5.6. Análisis Estadístico.**

Los datos recolectados se analizaron mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias significativas en la producción de heno y en la concentración de fósforo entre las distintas variedades y frecuencias de corte. En los casos en que se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey para identificar los tratamientos que presentaron contrastes estadísticamente relevantes.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo presenta, describe e interpreta los resultados de un ensayo experimental comparando ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la Estación Experimental INIA – Baños del Inca. Las variables respuesta fueron: rendimiento de heno ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) y concentración de fósforo en tallo del heno ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), evaluadas a lo largo de cuatro cortes. Se aplicó un diseño en bloques y se realizaron análisis de varianza (ANOVA) y comparaciones múltiples (Tukey HSD,  $\alpha=0.05$ ). La matriz de consistencia planteó como objetivos: (i) cuantificar y comparar el rendimiento de heno por variedad; (ii) cuantificar y comparar la concentración de P en tallo por variedad; y (iii) analizar la relación entre ambas variables.

#### **4.1. Rendimiento de heno por variedad y por corte**

En la Tabla 3 se presenta el rendimiento de forraje verde y de heno en las ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Dentro del análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias significativas entre variedades; en cuanto al rendimiento de heno, lo que evidenció diferencia significativamente entre variedades ( $F=3.34$ ;  $p=0.004$ ) y un efecto altamente significativo del número de corte ( $F=6.79$ ;  $p<0.001$ ), mientras que el efecto de bloque no resultó significativo ( $p=0.600$ ). El contraste de medias mediante la prueba de (Tukey HSD,  $\alpha=0.05$ ) agrupó a las variedades Moapas ( $3516.7 \text{ kg ha}^{-1}$ ), Alfa Máster ( $3479.2 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y CUF 101 ( $3460.8 \text{ kg ha}^{-1}$ ) dentro del grupo de mayor rendimiento, seguidas por Alfa Plus ( $3273.3 \text{ kg ha}^{-1}$ ); AGP 350 ( $2656.7 \text{ kg ha}^{-1}$ ) registró el valor más bajo.

A nivel temporal, los cortes I–III mantuvieron rendimientos superiores y consistentes, mientras que el IV corte evidenció una merma aproximadamente (20–25 %) del rendimiento promedio.

**Tabla 3**

ANOVA para rendimiento de heno por variedad y corte.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Variedad	7	8461429	1208776	3.34	0.004
BLOQUE	2	372240	186120	0.51	0.600
Corte	3	7373646	2457882	6.79	0.000
Error	83	30062181	362195		
Total	95	46269496			

**Tabla 4**

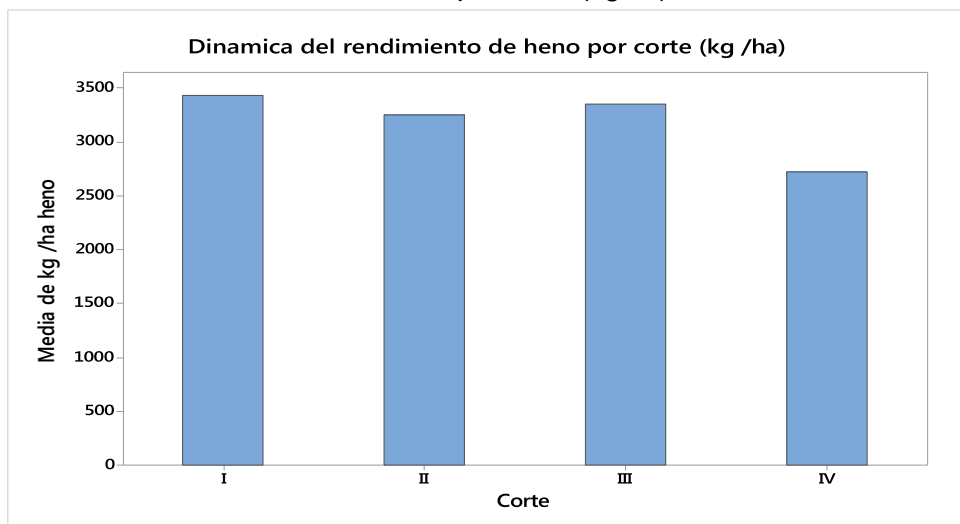
Medias ajustadas y agrupamiento Tukey ( $\alpha=0.05$ ) por variedad.

Variedad	Kg ha de FV	Kg de heno /ha
MOAPAS	19416.7 a	3516.67 a
ALFA MÁSTER	20012.5 a	3479.17 a
CUF 101	18675.0 ab	3460.83 a
ALFA PLUS	18895.8 ab	3273.33 ab
AGP 450	15185.8 bc	3208.33 ab
SUPER SONI	17637.5 abc	3184.17 ab
ANDINA 6	14833.3 c	2802.50 ab
AGP 350	14835.0 c	2656.67 b

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (HSD Tukey,  $p<0.05$ ).

**Figura 4**

Dinámica del rendimiento de heno por corte (kg/ha)



En la Tabla 3 presenta el rendimiento de forraje verde y de heno en las ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Dentro del análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias significativas entre variedades; en cuanto al rendimiento de heno, lo que evidenció diferencia significativamente entre variedades ( $F=3.34$ ;  $p=0.004$ ), lo que demuestra la existencia de variabilidad genética en el rendimiento de heno entre los genotipos evaluados. Al respecto, Annicchiarico et al. (2021) y De Ben et al. (2023), mencionan que encontraron diferencias en productividad entre variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.), asociadas con la capacidad de rebrote, densidad de tallos y proporción hoja:tallo, factores que determinan la eficiencia de aprovechamiento de los recursos y la persistencia del cultivo. Asimismo, diversos estudios señalan que la interacción genotipo  $\times$  ambiente ( $G \times E$ ) puede modificar el comportamiento productivo de las variedades, alterando su rendimiento según las condiciones edafoclimáticas y el manejo agronómico aplicado (Picasso et al., 2019; Turan et al., 2017). Así mismo, las guías técnicas recomiendan fijar la cosecha entre botón floral de 10–20 % de floración para maximizar rendimiento-calidad; cortes tardíos aumentan lignina y deprimen calidad, y cortes demasiado tempranos repetidos agotan reservas y reducen rendimientos posteriores (UC ANR, 2001; Putnam et al., 2008).

El efecto altamente significativo del número de corte ( $F=6.79$ ;  $p<0.001$ ), coincide con los hallazgos de Putnam et al. (2020) y Fontana et al. (2023), quienes demostraron que la frecuencia de corte influye directamente en la acumulación de biomasa y en la calidad nutritiva del forraje. Cortes más frecuentes reducen el rendimiento total debido a un menor tiempo de recuperación fisiológica, mientras que intervalos de corte moderados permiten una mayor acumulación de materia seca sin comprometer la calidad nutricional (Rios-Rodríguez et al., 2021).

Por otro lado, el efecto no significativo del bloque ( $p = 0.600$ ) indica que las condiciones ambientales dentro del ensayo fueron homogéneas, garantizando la validez de los resultados. Esto coincide con lo descrito por Annicchiarico et al. (2021), quienes destacan que un adecuado control experimental minimiza la variación externa y permite



atribuir las diferencias observadas a los factores genéticos y de manejo propiamente dichos.

En la Tabla 4 se presentan las medias obtenidas mediante la prueba de comparación múltiple de Tukey (HSD,  $\alpha = 0.05$ ). Las variedades Moapas (3516.7 kg ha<sup>-1</sup>), Alfa Máster (3479.2 kg ha<sup>-1</sup>) y CUF 101 (3460.8 kg ha<sup>-1</sup>) conformaron el grupo de mayor rendimiento de heno, evidenciando un comportamiento significativamente superior al resto. Les siguió Alfa Plus (3273.3 kg ha<sup>-1</sup>) con un rendimiento intermedio, mientras que la variedad AGP 350 (2656.7 kg ha<sup>-1</sup>) registró el valor más bajo, ubicándose en el grupo inferior según el test de Tukey. Rodríguez (2024), determinó que variedades como Alfa Máster y Super Sonic mostraron rendimientos superiores en materia seca, lo que confirma la influencia del genotipo sobre la productividad del cultivo. Dichos resultados concuerdan con el comportamiento observado en la presente investigación, donde las variedades más vigorosas presentaron mayor acumulación de biomasa por hectárea. Del mismo modo, López (2024) reportó que el rendimiento de alfalfa varía según el ambiente, manejo y frecuencia de corte, lo que respalda la variabilidad productiva observada y la mayor adaptación fisiológica de Moapas, Alfa Máster y CUF 101 en las condiciones altoandinas del presente estudio. A su vez, Vásquez (2021), menciona que la fertilización foliar mejora el rendimiento y la calidad del forraje, confirmando que el manejo agronómico y el momento de corte influye en la respuesta productiva, tal como se evidenció en este estudio.

Por otro lado, en la (figura 4) se observa la dinámica del rendimiento por corte (I–IV) con barras de error ( $\pm$ EE) y letras de Tukey. El patrón por cortes revela una estacionalidad de la productividad y la influencia del estado fenológico al momento de la cosecha; en los tres primeros cortes (I–III) concentraron la mayor productividad, mientras que el IV corte presentó una reducción promedio del 20–25 %. Este comportamiento se explica por el agotamiento parcial de reservas radicales y mayor lignificación de tejidos, lo cual reduce la tasa de rebrote y la calidad del forraje (Zhang et al., 2020; Mora et al., 2023). De manera complementaria, las guías técnicas de

manejo recomiendan realizar la cosecha entre el botón floral y el 10–20 % de floración para optimizar la relación rendimiento–calidad; los cortes tardíos incrementan la lignina y disminuyen la digestibilidad, mientras que cortes excesivamente tempranos agotan las reservas y reducen el vigor en cosechas posteriores (UC ANR, 2001; Putnam et al., 2008; Putnam et al., 2022).

En conjunto, los resultados del presente estudio respaldan que el manejo racional del corte y la selección de genotipos de alta persistencia son factores determinantes para sostener la productividad de alfalfa en condiciones altoandinas. Las variedades Moapas, Alfa Máster y CUF 101 destacan como las más adecuadas por su eficiencia fisiológica, estabilidad de rendimiento y potencial para producción de heno de calidad, coincidiendo con hallazgos de investigaciones recientes en ambientes templados y de altura.

#### 4.2. Concentración de fósforo (P) en tallo del heno

El ANOVA para concentración de P mostró diferencias altamente significativas entre variedades ( $F=6.80$ ;  $p=0.001$ ), sin efecto de bloque ( $p=0.090$ ). El orden varietal (promedio de cortes) fue: Andina 06 ( $2112 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > AGP 450 (1997), AGP 350 (1852) > Super Sonic (1802), Alfa Máster (1716), CUF 101 ( $\approx 1664$ ), Alfa Plus (1603) > Moapas ( $1401 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

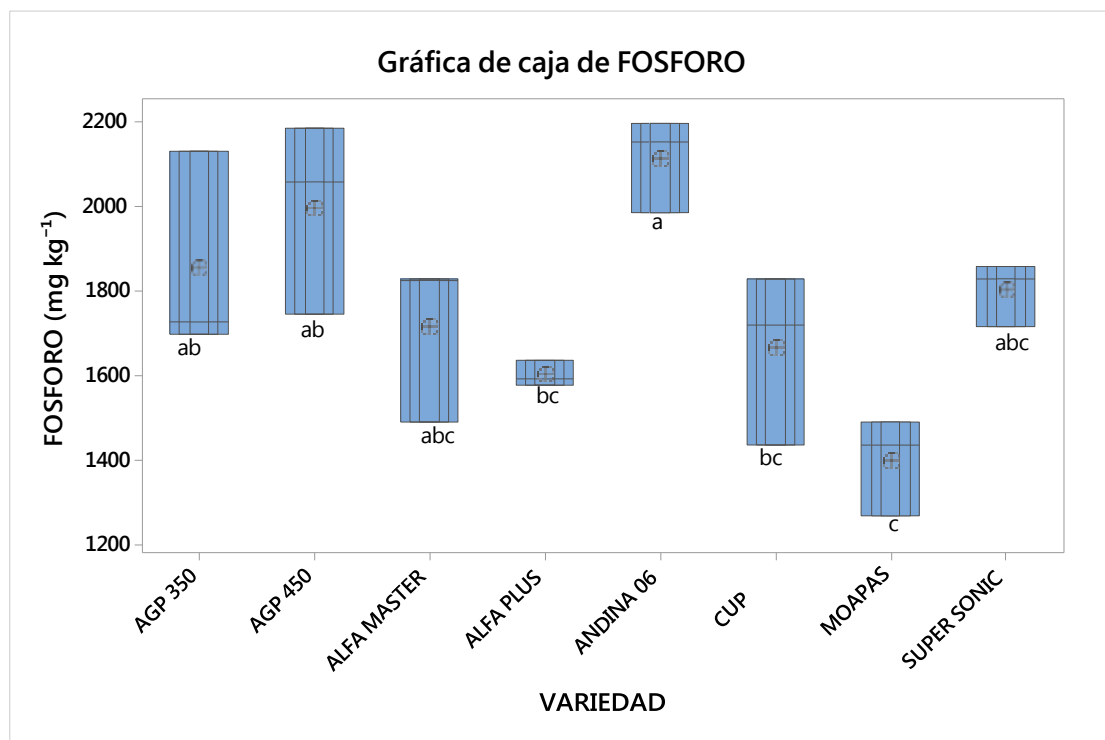
**Tabla 5**

*ANOVA para concentración de P por variedad.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
VARIEDAD	7	1063227	151890	6.80	0.001
BLOQUE	2	128524	64262	2.88	0.090
Error	14	312753	22340		
Total	23	1504504			

**Figura 5**

*Concentración de P ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) por variedad.*



En la Tabla 5 y Figura 5 se presentan los resultados del ANOVA para la concentración de fósforo (P), el cual mostró diferencias altamente significativas entre variedades ( $F = 6.80$ ;  $p = 0.001$ ) y sin efecto de bloque ( $p = 0.090$ ). El orden varietal promedio fue: Andina 06 ( $2112 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > AGP 450 ( $1997$ ), AGP 350 ( $1852$ ) > Super Sonic ( $1802$ ), Alfa Máster ( $1716$ ), CUF 101 ( $1664$ ), Alfa Plus ( $1603$ ) > Moapas ( $1401 \text{ mg kg}^{-1}$ ). La variación genotípica en la concentración de fósforo refleja diferencias en la capacidad de absorción y uso interno del nutriente, relacionadas con factores como la arquitectura radical, la exudación de carboxilatos, la actividad de fosfatasa y la asociación con hongos micorrícicos arbusculares, además de posibles interacciones con el pH y la disponibilidad de fósforo del suelo. Este resultado coincide con lo reportado por Cubas (2021), quien evaluó seis variedades de alfalfa en dos pisos altitudinales en Cajamarca y observó diferencias marcadas en la composición química del forraje, asociadas principalmente a la absorción diferencial de nutrientes y adaptación edáfica. En ese sentido, la variación detectada en la presente investigación

refleja no solo diferencias genéticas, sino también diversos mecanismos fisiológicos de adquisición y uso del fósforo, dependientes del ambiente y la estructura radical. De manera similar, Rodríguez, (2024), al analizar el rendimiento productivo y valor nutricional de cuatro variedades de alfalfa en La Viña – Magdalena (Cajamarca), observó variaciones en la concentración de nutrientes minerales, lo que respalda que la capacidad de asimilación del fósforo depende de la adaptación edáfica y fisiológica de cada cultivar. Por su parte, López (2024), en un estudio realizado en Pinra – Huacaybamba (Huánuco), demostró que el rendimiento y la calidad mineral de la alfalfa varían de acuerdo con las condiciones edafoclimáticas y la frecuencia de corte, resaltando que los suelos con mejor disponibilidad de fósforo y pH equilibrado favorecen la nutrición mineral y la persistencia del cultivo. Estos resultados coinciden con la presente investigación, donde las variedades con mayor concentración de P mostraron mejor adaptación al suelo y mayor eficiencia en el aprovechamiento de nutrientes bajo las condiciones de la Estación Experimental INIA – Baños del Inca. Finalmente, Vásquez (2021) evidenció que la aplicación de fertilizantes foliares en alfalfa incrementa significativamente la concentración de nutrientes y mejora la calidad del forraje en el valle de Cajamarca, demostrando que, además del componente genético, el manejo agronómico influye en la disponibilidad y absorción del fósforo en el tejido vegetal. En conjunto, estos estudios coinciden en que la absorción y acumulación de fósforo en alfalfa es el resultado de la interacción entre genética, condiciones edafoclimáticas y manejo, siendo Andina 06, AGP 450 y AGP 350 las variedades con mayor eficiencia fosfórica y potencial nutritivo en las condiciones altoandinas del Perú.

En cuanto a estudios internacionales los resultados son consistentes con los hallazgos de Zhang et al. (2024), quienes demostraron que la absorción de fósforo en alfalfa está estrechamente relacionada con la longitud de raíces finas, la exudación de compuestos orgánicos y la actividad enzimática del suelo, factores que determinan la capacidad del cultivo para adquirir P en suelos con baja disponibilidad. Asimismo, el estudio de Li et al. (2024) evidenció que la respuesta al fósforo varía según el genotipo y las condiciones

edáficas, mostrando diferencias significativas en el contenido mineral y la calidad del forraje de dos cultivares de alfalfa cultivados en suelos ácidos. Esto coincide con el presente estudio, donde las variedades con mayor concentración de fósforo (Andina 06, AGP 450 y AGP 350) demostraron una mejor eficiencia fisiológica y adaptativa frente a las condiciones del suelo donde se desarrolló este estudio.

De igual forma, Massaliyev et al. (2024) reportaron que la fertilización fosfatada en diferentes variedades de alfalfa cultivadas en suelos tipo light chestnut incrementó significativamente el rendimiento y la calidad del forraje, lo que confirma que la disponibilidad y aprovechamiento del fósforo depende del genotipo y su interacción con el ambiente. Este resultado refuerza la hipótesis de que las diferencias varietales encontradas en el presente estudio son consecuencia de mecanismos fisiológicos específicos de cada cultivar, relacionados con la eficiencia de absorción radicular y la retención del nutriente en tejidos aéreos.

Además, investigaciones recientes como las de Nyiraneza et al. (2021) y Fontana et al. (2025) sostienen que la eficiencia fosfórica en cultivos forrajeros depende de la capacidad del genotipo para mantener concentraciones óptimas de P en el tejido bajo diferentes niveles de suministro, recomendando el uso del índice de nutrición fosfórica (PNI) como herramienta diagnóstica. Estos autores destacan que genotipos con mayor capacidad de dilución crítica de fósforo mantienen un mejor equilibrio entre productividad y nutrición mineral, lo que coincide con el comportamiento de Andina 06, que logró los valores más altos de concentración de P en el presente trabajo.

En conjunto, los resultados respaldan que la eficiencia de absorción y uso del fósforo en alfalfa está determinada por la interacción entre el genotipo, las características del suelo y las condiciones ambientales, lo que explica la variación significativa entre variedades. Las variedades Andina 06, AGP 450 y AGP 350 demostraron ser las más eficientes fisiológicamente, mientras que Moapas presentó una menor capacidad de acumulación, probablemente por su limitada adaptación a las condiciones edáficas altoandinas y una menor simbiosis micorrícica.

### 4.3. Relación entre rendimiento de heno y concentración de P

No se observó correlación positiva directa entre el rendimiento de heno y la [P] en tallo. En particular, Moapas combinó alto rendimiento con baja [P], mientras que Andina 06 mostró alta [P] con rendimiento intermedio. Zhang et al. (2024) demostraron que la biomasa se relaciona principalmente con la capacidad radicular para absorber P, y Zhang et al. (2025) confirmaron que un manejo adecuado del fósforo puede mejorar el rendimiento hasta en 19 %, dependiendo del genotipo y la fertilidad del suelo.

Este patrón inverso coincide con lo reportado por Fontana et al. (2025), quienes establecieron curvas críticas de dilución para P, K y S en *Medicago sativa*, demostrando que el contenido de P disminuye exponencialmente con el aumento de la biomasa seca. Según los autores, este comportamiento no indica deficiencia nutricional, sino un mayor volumen de biomasa diluyendo el fósforo absorbido por unidad de peso seco.

Asimismo, Du et al. (2024) observaron que la eficiencia de adquisición de fósforo en alfalfa depende de la arquitectura radical y la exudación de ácidos carboxílicos en la rizósfera. Genotipos con raíces más largas y activas pueden mantener el crecimiento sin aumentar necesariamente la concentración tisular de P. Esto explicaría el comportamiento de Moapas, capaz de sostener alto rendimiento mediante una mayor eficiencia fisiológica del uso de P (PUE).

De manera similar, Li et al. (2024) demostraron que, en ambientes de pH ácido, algunas variedades de alfalfa mantienen un rendimiento elevado con bajas concentraciones de P gracias a una micorrización más activa y uso interno más eficiente del fósforo. Esta simbiosis permite sostener el metabolismo fotosintético y la síntesis de biomasa con un menor requerimiento de concentración mineral.

En contraste, las variedades con alta [P] y menor biomasa, como Andina 06, podrían expresar menor eficiencia de conversión de nutrientes (relación P absorbido / materia seca producida), lo que también ha sido reportado por Boren et al. (2024) bajo diferentes regímenes hídricos: las variedades con alta eficiencia fisiológica en el uso de P y K logran mayores rendimientos con menor concentración tisular.

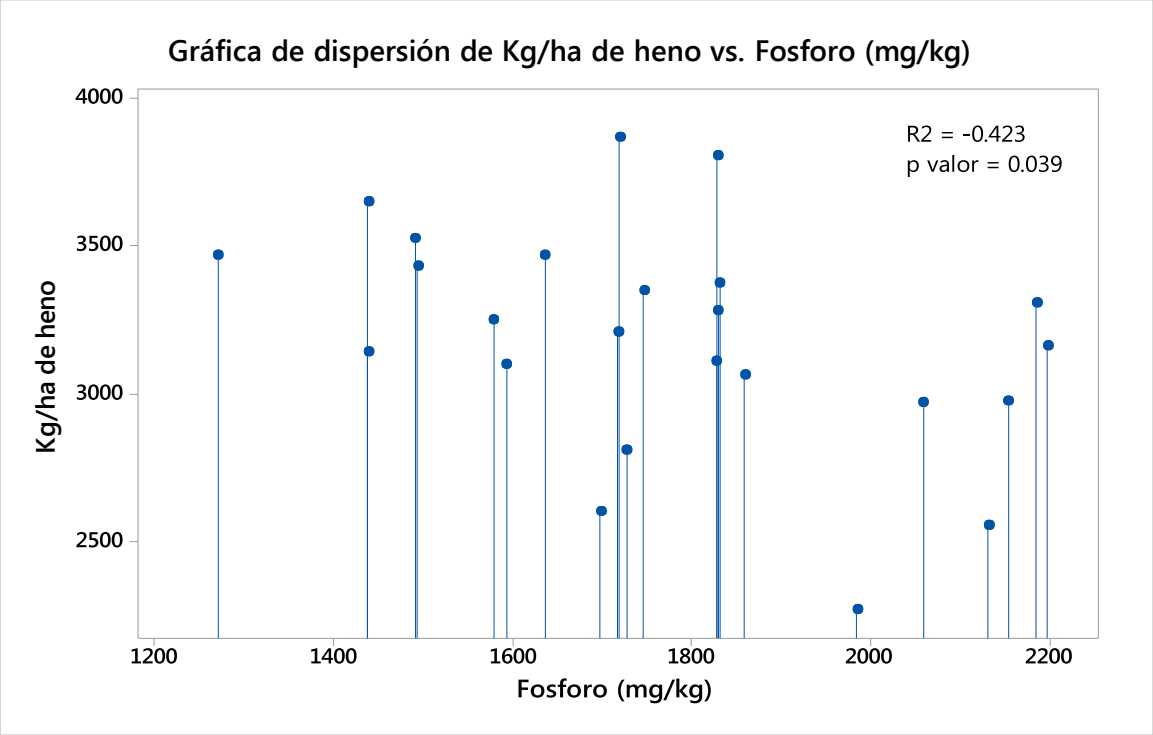
Por otra parte, Wan et al. (2022) en su meta-análisis sobre fertilización fosfatada en alfalfa, confirmaron que el incremento de P disponible eleva el rendimiento promedio en un 15–20 %, pero la concentración en tejido no siempre aumenta de forma proporcional, lo que evidencia que la relación rendimiento–[P] no es lineal. En suelos de textura media y alta alcalinidad, típicos de ambientes altoandinos, la disponibilidad de P soluble puede limitar la absorción, pero las variedades adaptadas compensan mediante una mayor eficiencia de uso del P absorbido (Varol et al., 2024).

#### 4. 3.1 Relación entre rendimiento de heno y concentración de fósforo

Una de las hipótesis específicas de esta investigación plantea que existiría una relación significativa entre la concentración de fósforo en el tallo y el rendimiento de heno. Sin embargo, los resultados no muestran una correlación positiva directa entre ambas variables. Por ejemplo, Moapas tuvo el mayor rendimiento, pero la menor concentración de P, mientras que Andina 06 mostró lo opuesto.

**Figura 6**

*Dispersión rendimiento de heno vs. [P] en tallo por variedad (promedios)*



Este desacople sugiere la presencia de dilución de nutrientes: cuando la biomasa crece más rápido que la absorción de P, su concentración tisular disminuye, aunque el contenido total de P por hectárea no necesariamente sea bajo. Esta condición se clarifica estimando extracción de P ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

$$\text{Extracción de P (kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Rendimiento de heno (kg ha}^{-1}\text{)} \times [\text{P}] \text{ (mg ha}^{-1}\text{)}}{10^6}$$

En la Figura 6 se observa la relación entre el rendimiento de heno ( $\text{kg/ha}$ ) y la concentración de fósforo ( $\text{mg/kg}$ ) en el tallo, considerando los valores observados por corte y variedad. Cada punto representa una observación individual, lo que permite visualizar la variabilidad experimental y la tendencia general negativa entre ambas variables ( $R^2 = -0.423$ ;  $p = 0.039$ ). Este patrón confirma la presencia de un desacople rendimiento–nivel de fósforo, consistente con el fenómeno de dilución de nutrientes descrito en alfalfa por Fontana et al. (2025) y Du et al. (2024). También el hallazgo empírico (alto rendimiento con baja [P] y viceversa) es consistente con el concepto de dilución de nutrientes y las curvas de dilución crítica, aplicadas con éxito a N y K, y recientemente a P en cultivos forrajeros. El Índice de Nutrición Fosfórica (PNI) cociente entre la [P] observada y la [P] crítica para una biomasa dada permite distinguir deficiencia real de dilución por alto crecimiento (Gómez et al., 2019; Fontana et al., 2025; Nyiraneza et al., 2021; Xie et al., 2022). En este estudio (sin gradiente explícita de P), la estimación de PNI por variedad y corte sería un siguiente paso para afinar diagnósticos.

En la dilución de nutrientes y curvas críticas de fósforo este patrón coincide con el principio de dilución crítica de nutrientes, propuesto originalmente para nitrógeno y potasio, y extendido recientemente al fósforo en cultivos forrajeros. Fontana et al. (2025) desarrollaron curvas críticas de dilución para P en alfalfa y demostraron que la concentración de fósforo disminuye exponencialmente con el aumento de biomasa, sin reflejar deficiencia real mientras el índice de nutrición fosfórica (PNI) se mantenga dentro de valores adecuados. Du et al. (2024) observaron que diferentes genotipos de alfalfa



exhiben estrategias contrastantes de absorción y uso del fósforo, determinadas por la arquitectura radical y la exudación de ácidos carboxílicos. Las variedades más eficientes logran mantener altos rendimientos con menor concentración de fósforo en tejido, lo que coincide con la situación de Moapas en tu estudio.

De igual forma, Li et al. (2024) demostraron que en suelos ácidos, algunas variedades de *Medicago sativa* logran mantener buena calidad forrajera y rendimiento bajo niveles bajos de P disponible, debido a una alta eficiencia metabólica y micorrización arbuscular. Esto sugiere que el desacople rendimiento-[P] puede ser expresión de eficiencia fisiológica, no de deficiencia.

Nyiraneza et al. (2021) encontraron resultados similares en pasturas mixtas, donde rendimientos elevados generaron disminuciones de la concentración de P, K y N por unidad de materia seca, sin afectar la extracción total de nutrientes. Del mismo modo, Gómez et al. (2019) reportaron que este fenómeno es común en cultivos andinos de papa y forrajes, reforzando el concepto de que una alta biomasa implica “dilución aparente” del fósforo.

Los resultados sugieren que no basta con analizar la concentración tisular de fósforo, sino que se debe estimar la extracción total de P por hectárea, considerando el rendimiento. Además, ajustar las fuentes de fósforo (DAP, SSP o polifosfatos) y la sincronización con los cortes puede reducir el desacople, optimizando tanto rendimiento como calidad del heno (Boren et al., 2024; Wan et al., 2022).

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Respecto al objetivo general, el análisis de dispersión confirmó una relación negativa entre rendimiento de heno y concentración tisular de fósforo, ( $R^2 = -0.423$ ;  $p=0.039$ ), lo cual reafirma que la concentración mineral en tallo disminuye relativamente conforme se incrementa la biomasa seca aérea, sin que ello signifique menor extracción total del nutriente a nivel de área. En consecuencia, la relación rendimiento–[P] refleja la expresión de diferentes estrategias de eficiencia fisiológica genotípica, más que deficiencias nutricionales directas.

Respecto al primer objetivo específico se identificaron diferencias significativas en el rendimiento de heno entre variedades (ANOVA:  $F=3.34$ ;  $p=0.004$ ), lo que confirma la influencia del genotipo sobre la productividad. Las variedades Moapas ( $3516.67 \text{ kg ha}^{-1}$ ), Alfa Máster ( $3479.17 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y CUF 101 ( $3460.83 \text{ kg ha}^{-1}$ ) conformaron el grupo de mayor rendimiento, mientras que AGP 350 registró el menor valor productivo ( $2656.67 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Asimismo, se observó un efecto altamente significativo del número de corte ( $F=6.79$ ;  $p<0.001$ ), donde los cortes I, II y III concentraron la mayor producción, y el IV corte evidenció una merma aproximada del 20–25 %, revelando limitación temporal en la recuperación fisiológica del rebrote y uso de reservas radicales.

Respecto al segundo objetivo específico, la concentración de fósforo en el tallo del heno varió significativamente entre variedades (ANOVA:  $F=6.80$ ;  $p=0.001$ ), sin efecto de bloque ( $p=0.090$ ), lo que permite inferir que las diferencias responden principalmente a mecanismos genéticos y fisiológicos de absorción y uso interno del P. El orden de concentración varietal promedio fue: Andina 06 ( $2112 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > AGP 450 ( $1997 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > AGP 350 ( $1852 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > Super Sonic ( $1802 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > Alfa Máster ( $1716 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > CUF 101 ( $1664 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > Alfa Plus ( $1603 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > Moapas ( $1401 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Esto evidencia variabilidad fosfórica relevante por unidad de materia seca, asociada a arquitectura radical y captura diferencial del nutriente en el suelo.

Respecto al tercer objetivo específico , los resultados demuestran que no existe una relación lineal y positiva ni negativa entre el rendimiento de heno ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) y la concentración de fósforo en el tallo ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de las ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) evaluadas, la variedad Moapas combinó el mayor rendimiento de heno ( $3516.67 \text{ kg ha}^{-1}$ ) con la menor concentración de P en tallo ( $1401 \text{ mg kg}^{-1}$ ); en contraste, Andina 06 presentó la mayor concentración de fósforo ( $2112 \text{ mg kg}^{-1}$ ) con un rendimiento intermedio de heno ( $2802.50 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Este comportamiento confirma un desacople rendimiento-[P], consistente con el fenómeno de dilución de nutrientes en materia seca.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Se recomienda priorizar las variedades Moapas, Alfa Máster y CUF 101 para sistemas orientados a la producción de heno, debido a su mayor rendimiento y estabilidad en los cortes, Cuando el objetivo sea mejorar el aporte mineral del forraje, destacan Andina 06, AGP 450 y AGP 350 por su mayor concentración de fósforo en el tallo. En ambos casos, es fundamental optimizar la fertilización fosfatada y ajustar el momento de corte para mantener un equilibrio entre calidad nutricional y productividad del heno por hectárea.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alabama S.A. (Perú). (s. f.). *Pastos y forrajes (alfalfas)* [Catálogo web].  
<https://www.alabama.com.pe/productos>
- Annicchiarico, P., Barrett, B., Brummer, E. C., Julier, B., & Marshall, A. H. (2020). Achievements and challenges in improving temperate perennial forage legumes. *Field Crops Research*, 255, 107822.  
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107822>
- Annicchiarico, P., et al. (2021). Comparison among nine alfalfa breeding schemes based on actual biomass yield gains. *Crop Science*, 61(4), 2495–2512.  
<https://doi.org/10.1002/csc2.20464>
- Arias Arredondo, A. G., Cruz, L. J. A., Pantoja, C. A., López, M. R., Bermúdez, W. A., & Morales, E. S. (2021). Estudio comparativo de la producción de forraje y calidad nutricional de variedades de cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*), en la puna húmeda y seca del Perú. *Compendio de Ciencias Veterinarias*, 11(2), 7-12. <https://doi.org/10.18004/compend.cienc.vet.2021.11.02.7>
- Boren, D., et al. (2024). Alfalfa potassium and phosphorus uptake and use efficiencies under contrasting water management. *Agronomy Journal*.  
<https://doi.org/10.1002/agj2.21692>
- Cárdenas, E. A. V., & Rojas, J. A. (2023). Características agronómicas y productivas de tres variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la sierra central del Perú. *Anales Científicos*, 84(2), 111–120.  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9793363.pdf>
- Chen, T., Wang, B., & Jiang, H. (2022). New archaeobotanical evidence for *Medicago* from the Astana Cemetery in Turpan, Xinjiang. *Heritage Science*, 10, 57.  
<https://www.nature.com/articles/s40494-022-00694-6>
- Cubas Leiva, M. B. (2021). Rendimiento y composición química de seis variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en dos altitudes de la región Cajamarca [Tesis

de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC.

<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/4174/Magali%20Beatriz%20Cubas%20Leiva%20-%20Tesis.%20final..pdf?isAllowed=y&sequence=1>

Cubas, M. B. (2021). *Evaluación de la composición química y comportamiento productivo de seis variedades de alfalfa (Medicago sativa L.) en dos pisos altitudinales en la provincia de Santa Cruz–Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].

<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4174>

Du, T., et al. (2024). External phosphorus enhances the efficient acquisition of phosphorus by alfalfa (*Medicago sativa* L.) through its interaction with root morphological traits and rhizosphere carboxylates. *Rhizosphere*, 100095. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2024.100861>

Fontana, M., et al. (2025). Critical dilution curves for phosphorus, potassium, and sulfur... *Plant and Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-025-07929-y>

Gao, R., Liu, Y., & Zhou, S. (2022). Evaluation of alfalfa hay quality based on relative feed value and chemical composition. *Animals*, 12(9), 1175. <https://doi.org/10.3390/ani12091175>

García, J., López, M., & Fernández, R. (2022). Effect of phosphorus fertilization on yield and forage quality of alfalfa (*Medicago sativa* L.) under Mediterranean conditions. *Grass and Forage Science*, 77(3), 412–421.

Gómez, M. I., Magnitskiy, S., & Rodríguez, L. E. (2019). Critical Dilution Curves for Nitrogen, Phosphorus, and Potassium in Potato Group Andigenum. *Agronomy Journal*, 111, 419–427. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.05.0357>

Guillén Pareja, A., & Guillén Pareja, J. (2025). *Rendimiento de tres variedades de alfalfa (Medicago sativa L.) en tres pisos ecológicos en la provincia de*

*Chincheros, Apurímac – 2023* [Tesis, Universidad Tecnológica de los Andes].

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UTEA\\_33e78ac436a058b3966fa40d95c76498](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UTEA_33e78ac436a058b3966fa40d95c76498)

Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2024, mayo 6). Cajamarca: MIDAGRI instala parcela demostrativa para incrementar producción de alfalfa de alta calidad genética en el distrito de Namora.

<https://www.gob.pe/institucion/inia/noticias/949135-cajamarca-midagri-instala-parcela-demostrativa-para-incrementar-produccion-de-alfalfa-de-alta-calidad-genetica-en-el-distrito-de-namora>

James, D. W., et al. (1995). Alfalfa cultivar response to phosphorus and potassium use efficiency on calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 18(12), 2777–2792.

<https://doi.org/10.1080/01904169509365076>

Li, H., Guo, L., Zhou, W., & Ma, Y. (2023). Leaf-to-stem ratio and nutritional quality evaluation of alfalfa under varying fertilization regimes. *Grassland Science*, 69(3), 256–265. <https://doi.org/10.1111/grs.12365>

Li, M., Guo, J., & Yan, H. (2024). Alfalfa (*Medicago sativa* L.) nitrogen utilization, yield and quality respond to nitrogen application level with center pivot fertigation system. *Agronomy*, 14(1), 48. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010048>

Li, Z., et al. (2024). Unveiling the Effects of Phosphorus on the Mineral Nutrient Content and Quality of Alfalfa in Acidic Soils. *Agronomy*, 14, 2271. <https://doi.org/10.3390/agronomy14102271>

Liñán, N. (2024). Diagnóstico de deficiencia de fósforo en suelos de la sierra central y su influencia en la productividad de alfalfa (*Medicago sativa* L.) [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. [https://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/4482/1/T026\\_45752506\\_T.pdf](https://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/4482/1/T026_45752506_T.pdf)

- Liñan, N. (2024). *Uso de abonos orgánicos en el rendimiento productivo de alfalfa (Medicago sativa) variedad Moapa a 3200 m s. n. m.* [Tesis, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión].  
[https://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/4482/1/T026\\_45752506\\_T.pdf](https://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/4482/1/T026_45752506_T.pdf)
- Liu, W., et al. (2023). Effectiveness of irrigation and fertilization strategies to offset alfalfa yield losses under drought. *Journal of Agronomy and Crop Science*.  
<https://doi.org/10.1111/jac.12660>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2020). Estudio de línea de base de la alfalfa con fines de evaluación de riesgo. Lima, Perú.  
[https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2020/02/estudio\\_lb\\_alfalfa.pdf](https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2020/02/estudio_lb_alfalfa.pdf)
- Morales, A., Torres, R., & Pineda, F. (2023). Effect of harvest stage on yield and nutritive value of alfalfa in temperate regions. *Journal of Integrative Agriculture*, 22(4), 1105–1113. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(22\)00147-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(22)00147-5)
- Nyiraneza, J., et al. (2021). *Nutrient dilution patterns in high-yielding forage systems under variable fertilization*. ***Agronomy Journal*, 113(3), 1876–1888.**  
<https://doi.org/10.1002/agj2.20657>
- Picasso, V. D., et al. (2019). Resilience, Stability, and Productivity of Alfalfa Cultivars across Environments. *Crop Science*, 59, 2270–2284.  
<https://doi.org/10.2135/cropsci2018.06.0372>
- Putnam, D. H., Orloff, S., & al. (2008). Harvest Strategies for Alfalfa. UC ANR Publication 8299.  
<https://alfalfa.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk12586/files/media/documents/UCAlfalfa8299HarvestStrategies-reg.pdf>
- Quispe, V., Flores, H., & Rojas, C. (2024). Efecto de la biofertilización en la biomasa de alfalfa y la productividad de cuyes en la sierra peruana. *Revista*



Peruana de Investigación Agropecuaria, 6(1), 41–50.

[https://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2414-10462024000100041](https://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2414-10462024000100041)

Rodríguez, E. (2021). Rendimiento productivo y valor nutricional de cuatro variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en La Viña – Magdalena – Cajamarca [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio UNC.

<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/6954/Tesis%20Eliany%20Rodriguez.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

Rojas, C., & Pérez, M. (2021). Efecto del fósforo en el rendimiento y calidad de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Agrociencia*, 55(4), 621–634.

Tian, J., Wang, Y., Fan, Y., Hao, X., Li, S., Kang, S., et al. (2025). Response of alfalfa growth and rhizosphere properties to phosphorus fertilization. *Frontiers in Plant Science*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC12089102/>

Turan, N., et al. (2017). Yield and quality characteristics of some alfalfa cultivars in Eastern Anatolia. *Turkish Journal of Field Crops*, 22(2), 224–232.

<https://www.field-crops.org/assets/pdf/product5a12fc6a48f4e.pdf>

UC ANR. (2001). Intermountain Alfalfa Management. University of California.

<https://alfalfa.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk12586/files/media/documents/117595.pdf>

UC Davis Alfalfa & Forage Systems. (2024). *Irrigated Alfalfa Manual* (edición web).

<https://alfalfa.ucdavis.edu/IrrigatedAlfalfa>

Undersander, D. J., Cosgrove, D. R., et al. (s. f.). *Alfalfa Management Guide*. American Society of Agronomy. [https://www.foragegenetics.com/getmedia/5b608591-](https://www.foragegenetics.com/getmedia/5b608591-5936-4c84-8cc4-646bfca8d1d9/Alfalfa-management-Guide.pdf)

[5936-4c84-8cc4-646bfca8d1d9/Alfalfa-management-Guide.pdf](https://www.foragegenetics.com/getmedia/5b608591-5936-4c84-8cc4-646bfca8d1d9/Alfalfa-management-Guide.pdf)

Varol, I. S., et al. (2024). Water productivity, yield response factors, yield and quality of alfalfa cultivars in semi-arid climate conditions. *Environmental and*

*Experimental Botany* <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105826>

Vilcara Cárdenas, E. A., & Passoni Telles, F. J. (2023). Características agronómicas y productivas de tres variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la sierra central del Perú. *Anales Científicos*, 84(2), 110–116.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9793363>

Wan, W., et al. (2022). Yield and quality of alfalfa in response to fertilization: a meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1051725.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1051725>

Wang, R., Liu, H., Xu, T., & Chen, Z. (2024). Phosphorus uptake efficiency and biomass accumulation in alfalfa cultivars grown under P-limited conditions. *Plants*, 13(3), 452. <https://doi.org/10.3390/plants13030452>

Xie, Y., et al. (2022). Determination of Critical Phosphorus Dilution Curve Based on Capsule Dry Matter for Flax in Northwest China. *Agronomy*, 12, 2819.

<https://doi.org/10.3390/agronomy12112819>

Zhang, L., Wang, Y., Zhao, X., Hu, Q., & Liu, M. (2025). Optimizing phosphorus fertilization management is crucial to improve alfalfa yield and quality: A meta-analysis. *Agriculture*, 15(8), 797.

<https://doi.org/10.3390/agriculture15080797>

Zhang, Y., Wang, L., ... & Zhao, Y. (2025). Advances in basic biology of alfalfa (*Medicago sativa* L.): A comprehensive overview. *Horticulture Research*, 12(7), uhaf081. <https://academic.oup.com/hr/article/12/7/uhaf081/8068795>

## ANEXOS

**Tabla 6**

*Análisis de Varianza para el rendimiento de Forraje verde vs. Variedad; BLOQUE; Corte.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Variedad	7	3.9445	0.56350	6.31	0.000
BLOQUE	2	0.1651	0.08253	0.92	0.401
Corte	3	3.8954	1.29848	14.53	0.000
Error	83	7.4152	0.08934		
Total	95	15.4202			

**Figura 7**

*Lugar de instalación de las parcelas*



**Figura 8**

*Observación de desarrollo vegetativo en parcela experimental*



**Figura 9**

*Tratamiento 2 variedad ANDINA 06*





**Figura 10**

*Corte de las variedades de alfalfa*



**Figura 11**

*Peso de biomasa fresca en variedades de alfalfa*



**Figura 12**

*Peso de biomasa seca de alfalfa en laboratorio*



**Figura 13**

*Procesamiento de muestras de alfalfa en laboratorio*



**Figura 14**

*Secado de muestras de alfalfa en laboratorio*



**Figura 15**

*Pesaje de biomasa seca de alfalfa mediante balanza portátil*





Análisis bromatológico



INFORME DE ENSAYO  
LABSAF BAÑOS DEL INCA  
N° 050004-25NA / AL / BI



I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	: PN PASTOS Y FORRAJES
Propietario / Productor	: PN PASTOS Y FORRAJES
Dirección del cliente	: AV. LA MOLINA NRO. 1981 LIMA - LIMA - LA MOLINA
Solicitado por	: CLIENTE
Muestreado por	: CLIENTE
Referencia del muestreo	: RESERVADO POR EL CLIENTE
Procedencia de muestra(s) (***)	: EEA BAÑOS DEL INCA - BAÑOS DEL INCA - CAJAMARCA
Fecha(s) de muestreo (***)	: 2024-08-27
Fecha de recepción de muestra(s)	: 2025-04-02
Lugar de ensayo	: LABSAF BAÑOS DEL INCA
Fecha(s) de análisis	: Del 2025-04-03 al 2025-05-16
Cotización del servicio	: 113-25-BI
Fecha de emisión	: 2025-05-19

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	AL0014-BI-25	AL0015-BI-25	AL0016-BI-25	AL0017-BI-25	AL0018-BI-25	AL0019-BI-25
Matriz Analizada	Alimentos	Alimentos	Alimentos	Alimentos	Alimentos	Alimentos
Fecha de Muestreo (***)	2024-08-27	2024-08-27	2024-08-27	2024-08-27	2024-08-27	2024-08-27
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)	9:00	9:20	9:40	10:01	10:20	10:40
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)	01-ANDINA03	01-CUP-101	01-ALFAPLUS	01-AGR350	01-ALFAMASTER	01-MOAPAS
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
Proteína	%	-	44.24	30.58	31.10	37.89
Metales Totales	-	-	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/kg	0.06	2.198.00	1.439.00	1.637.00	1.728.00

ITEM	7	8	9	10	11	12
Código de Laboratorio	AL0020-BI-25	AL0021-BI-25	AL0022-BI-25	AL0023-BI-25	AL0024-BI-25	AL0025-BI-25
Matriz Analizada	Alimentos	Alimentos	Alimentos	Alimentos	Alimentos	Alimentos
Fecha de Muestreo (***)	2024-08-27	2024-08-27	2025-11-30	2025-11-30	2025-11-30	2025-11-30
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)	11:05	11:24	11:45	12:20	12:40	13:00
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)	01-AGR450	01-SUPERSONIC	02-ANDINA06	02-CUP-101	02-ALFAPLUS	02-AGR380
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
Proteína	%	-	42.10	38.78	27.46	24.05
Metales Totales	-	-	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/kg	0.05	2.185.00	1.859.00	2.154.00	1.832.00

ITEM	13	14	15	16	17	18
Código de Laboratorio	AL0026-BI-25	AL0027-BI-25	AL0028-BI-25	AL0029-BI-25	AL0030-BI-25	AL0031-BI-25
Matriz Analizada	Alimentos	Alimentos	Alimentos	Alimentos	Alimentos	Alimentos



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Follajes  
Acreditado con la Norma  
NTP-ISO/IEC 17025:2017





Instituto Nacional de Innovación Agraria

**INFORME DE ENSAYO**  
**LABSAF BAÑOS DEL INCA**  
**N° 050004-25NA / AL / BI**



Fecha de Muestreo (***)			2025-11-30	2025-11-30	2025-11-30	2025-11-30	2025-02-10	2025-02-10
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)			14:00	14:20	14:40	15:00	10:00	10:40
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)			02-ALFAMASTER	02-MOAPAS	02-AGP450	02-SUPERSONIC	03-ANDINA06	03-CLIP-101
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
Proteínas	%	-	22,14	26,45	33,36	32,86	24,90	21,69
Metales Totales	-	-	-	-	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/kg	0,05	1.828,00	1.439,00	2.059,00	1.830,00	1.985,00	1.720,00

ITEM	19	20	21	22	23	24		
Código de Laboratorio	AL0032-BI-25	AL0033-BI-25	AL0034-BI-25	AL0035-BI-25	AL0036-BI-25	AL0037-BI-25		
Matriz Analizada	Alimentos	Alimentos	Alimentos	Alimentos	Alimentos	Alimentos		
Fecha de Muestreo (***)	2025-02-10	2025-02-10	2025-02-10	2025-02-10	2025-02-10	2025-02-10		
Hora de inicio de Muestreo (h) (***)	11:10	11:30	12:00	12:20	12:40	13:20		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)	03-ALFAPLUS	03-AGP350	03-ALFAMASTER	03-MOAPAS	03-AGP450	03-SUPERSONIC		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
Proteína	%	-	19,32	25,18	23,08	23,31	25,62	22,75
Metales Totales	-	-	-	-	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/kg	0,05	1.579,50	1.698,00	1.492,00	1.494,00	1.747,00	1.718,00

**III. METODOLOGÍA DE ENSAYO**

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Proteína	ISO 11261 INTERNATIONAL STANDARD Determination of total nitrogen - Modified Kjeldahl method (First edition 1995-03-01), cálculo de proteína por Proximat de Vences
Metales Totales	Metodos MP-AES 4210 / Mecorata NORMA-117-SSA1-1994/EPA 8010C/MET-UCC/INTRee-22 SENASA



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Follares  
Acreditado con la Norma  
NTP-ISO/IEC 17025:2017



Instituto Nacional de Innovación Agraria

**INFORME DE ENSAYO**  
**LABSAF BAÑOS DEL INCA**  
**N° 050004-25NA / AL / BI**



**IV. CONSIDERACIONES**

- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron.
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C.
- Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C.

(\*\*) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

**V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO**

- El presente informe de ensayo ha sido autorizado por: Mariela Cervantes Peraza - Responsable del LABSAF - BAÑOS DEL INCA



Firmado digitalmente por:  
CABRERA HÓYOS Hector  
Antonio FAU 20131305694.spf  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 20/06/2025 08:26:57-0500  
Firma

**FIN DE INFORME DE ENSAYO**



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Follares  
Acreditado con la Norma  
NTP-ISO/IEC 17025:2017

## Análisis de suelo inicial



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 200



### INFORME DE ENSAYO N° 111204-24 / SU / LABSAF - BAÑOS DEL INCA

#### I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : INIA-PN PASTOS Y FORRAJES  
 Propietario / Productor : INIA-PN PASTOS Y FORRAJES  
 Dirección del cliente : AV. LA MOLINA NRO. 1981 LIMA - LIMA - LA MOLINA  
 Solicitado por : CLIENTE  
 Muestreado por : CLIENTE  
 Número de muestra(s) : 1  
 Producto declarado : Suelo  
 Presentación de las muestras(s) : BOLSA DE PLÁSTICO  
 Referencia del muestreo : RESERVADO POR EL CLIENTE  
 Procedencia de muestra(s) : BAÑOS DEL INCA-CAJAMARCA-CAJAMARCA  
 Fecha(s) de muestreo : 2023-10-23 (\*\*\*)  
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2023-10-24  
 Lugar de ensayo : LABSAF BAÑOS DEL INCA  
 Fecha(s) de análisis : Del 2023-10-25 al 2023-11-15  
 Cotización del servicio : 535-24-BI  
 Fecha de emisión : 2023-11-15

#### II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1					
Código de Laboratorio	SU3068-BI-24	-	-	-	-	-
Matriz Analizada	Suelo	-	-	-	-	-
Fecha de Muestreo	2023-10-23	-	-	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)	15:00	-	-	-	-	-
Condición de la muestra	Conservada	-	-	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)	Lote N° 4	-	-	-	-	-
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
pH	unid. pH	0,10	6,8	-	-	-
Conductividad Eléctrica	mS/m	1,0	10,0	-	-	-
Carbonatos de Calcio Equivalente	%	0,50	-	-	-	-
Materia Orgánica	%	0,1	0,8	-	-	-
Fósforo Disponible	mg/Kg	0,5	32,44	-	-	-
Textura	-	-	-	-	-	-
Arena	%	-	45	-	-	-
Arcilla	%	-	34	-	-	-
Limo	%	-	21	-	-	-
Clase Textural	-	-	Franco Arcillo Arenoso	-	-	-
Potasio disponible (*)	mg/kg	0,50	136,0	-	-	-



Firmado digitalmente por:  
 CABRERA HOYOS Hector  
 Antonio FAU 20131365664 soft  
 Motivo: Soy el autor del  
 documento  
 Fecha: 18/11/2023 12:44:13-0500



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Follajes  
 Acreditado con la Norma  
 NTP-ISO/IEC 17025:2017  
 LABSAF (Nombre)  
 Dirección: (Dirección del laboratorio)  
 Email: (correo de contacto del laboratorio)

### III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA Method 9045 D-Rev. 4 2004 Soil and waste pH
Acidez y Aluminio Intercambiable	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección [21 de Diciembre 2002], ítem 7.3.29, AS-33, Determinación de Acidez y Aluminio intercambiable AS-33 método de Cloruro de Potasio
Carbonato De Calcio Equivalente	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección [21 de Diciembre 2002], ítem 7.3.29, AS-29, Determinación de los carbonatos de calcio equivalente AS-29 Método de neutralización ácido.
Materia Orgánica	NOM-021-RECNAT-2000, 3da Sección, 2002, ítem 7.1.7 AS-07 2002 Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black)
Potasio Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección [21 de Diciembre 2002], ítem 7.1.10, AS-11 2002 Determinación de Potasio extraíble en suelos neutros y básicos (AS-11 Método de Bray y Kurtz)
Fósforo Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección [21 de Diciembre 2002], ítem 7.1.12, AS-12 o EPA 8010 D, Revision 5, 2018; Validado (modificado y aplicado fuera del alcance) 2023 Determinación de fósforo disponible en suelos con saturación de calcio de amonio 9%, PH 7.0 o Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994 / Cor 1:1995 1994 Soil quality -- Determination of the specific electrical conductivity
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección [21 de Diciembre 2002], ítem 7.1.9, AS-09 2002 Determinación de la textura del suelo (AS-09 Método de Bouyoucos)

### IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestra: Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems acreditados a ensayo.
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente puede afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C
- Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C

(\*) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA

(\*\*) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

(\*\*\*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

### V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente informe de ensayo ha sido autorizado por: Mariela Cerveros Peña - Responsable del LABSAF - BAÑOS DEL INCA

Firma

#### FIN DE INFORME DE ENSAYO



Firmado digitalmente por:  
CABRERA HOYOS Hector  
Atributo FAU 29131305994 soft  
Atributo: Soy el autor del documento  
Fecha: 15/11/2023 12:44:13 -0500

## INTERPRETACIONES DE RESULTADOS DE ANALISIS

### CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN VALOR DE PH

pH	Evaluación	Efectos
< 5.0	Fuertemente ácido	Condiciones muy desfavorables.
5.1 - 6.5	Moderadamente ácido	Deficiente asimilación de algunos elementos.
6.6 - 7.3	Neutro	Efectos mínimos.
7.4 - 8.5	Mediamente alcalino	Existencia de carbonato cálcico. Deficiente asimilación de algunos nutrientes.
> 8.5	Alcalino	Presencia de carbonato sódico. Poca asimilación de algunos nutrientes.

### CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN EL VALOR DE LA CONDUCTIVIDAD (CE)

CLASIFICACIÓN	CE (dS/m)	Efectos
Normal	< 1.0	Efecto despreciable de la salinidad. No existe restricción para ningún cultivo, aunque algunos cultivos muy sensibles pueden ser afectados en sus rendimientos.
Muy ligeramente salino	1.1 - 2.0	Los rendimientos de cultivos sensibles pueden verse afectados en sus rendimientos.
Moderadamente salino	2.1 - 4.0	Los rendimientos de cultivos pueden verse afectados en sus rendimientos.
Suelo salino	4.1 - 8.0	El rendimiento de casi todos los cultivos se ve afectado por esta condición de salinidad.
Fuertemente salino	8.1 - 16	Sólo los cultivos muy resistentes a la salinidad pueden crecer en estos suelos.
Muy fuertemente salino	> 16	Prácticamente ningún cultivo convencional puede crecer exitosamente en estos suelos.

### MATERIA ORGÁNICA

Clasificación	NAPO
Muy Baja	< 0.5
Baja	0.6 - 1.5
Medio	1.6 - 3.5
Alto	3.6 - 6.0
Muy Alto	> 6.0

### FÓSFORO

Clasificación	mg/kg de P
Baja	< 5.5
Medio	6.5 - 11
Alto	> 11

### CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

Clasificación	CIC (Cmol/Kg suelo)	Efectos
Muy Baja	< 5.0	Suelo muy pobre
Baja	5.0 - 15	Suelo pobre
Medio	15 - 25	Suelo medio
Alto	25 - 40	Suelo rico
Muy Alto	> 40	Suelo muy rico

### CATIONES INTERCAMBIABLES (Ca, Mg, K Cmol/kg)

Clase	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Potasio (K)
Muy Baja	< 0.5	< 0.5	< 0.2
Baja	0.5 - 1.0	0.5 - 1.5	0.2 - 0.3
Medio	1.0 - 10	1.5 - 3.0	0.3 - 0.6
Alto	> 10	> 3.0	> 0.6

### SATURACIÓN DE BASES CAMBIABLES

Calificativo	Saturación de Bases (%)	Efectos
Baja	< 35	Suelo muy ácido. Asumir para una corrección lenta.
Medio	35 - 80	Suelo medio. Su reacción dependerá de la CIC.
Alto	> 80	Suelo neutro a alcalino. Suelo saturado de bases.

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMA/NAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002)



Finalizado digitalmente por:  
GABRIELA HERNÁNDEZ  
Módulo: FAU 2020/2024  
Actividad: Tercer al autor del documento  
Fecha: 18/10/2024 10:44:10 AM

### RECOMENDACIONES

Código de Muestra	Cultivo a Instalar	Cantidades de Nutriente Kg/Ha			Cantidades en Tn/Ha	
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CAL	ESTIERCOL
SU3088-BI-24	Aitafia	40	80	65	—	—

#### PLAN DE FERTILIZACIÓN QUÍMICA

Primera Fertilización Kg/Ha - Siembra	
Urea	
Fosfato Diamónico	
Sulfato de Potasio	

Programa de Fertilización	Siembra	Aporque
N		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
K <sub>2</sub> O		

Segunda Fertilización Kg/Ha - Aporque	
Urea	

Fuente	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Azufre
Urea				

#### PLAN DE ABONO ORGÁNICO

Abonamiento Kg/Ha - Siembra	

#### COMENTARIOS:

---



Formado digitalmente por:  
CAROLINA FLORES HERRERA  
Módulo: FAL 2011/20094 por  
Módulo: Soy el mejor del  
Buenos días  
Fecha: 18/10/2023 12:44:26-0000



## Análisis de suelo final



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 200



### INFORME DE ENSAYO LABSAF BAÑOS DEL INCA N° 050844-25 / SU / BI



#### I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : PN PASTOS Y FORRAJES  
 Propietario / Productor : PN PASTOS Y FORRAJES  
 Dirección del cliente : AV. LA MOLINA NRO. 1981 LIMA - LIMA - LA MOLINA  
 Solicitado por : CUENTE  
 Muestreado por : CUENTE  
 Referencia del muestreo : RESERVADO POR EL CLIENTE  
 Procedencia de muestra(s) (\*\*\*): EEA BAÑOS DEL INCA - BAÑOS DEL INCA - CAJAMARCA  
 Fecha(s) de muestreo (\*\*\*\*): 2025-04-02  
 Fecha de recepción de muestra(s): 2025-04-02  
 Lugar de ensayo : LABSAF BAÑOS DEL INCA  
 Fecha(s) de análisis : Del 2025-04-03 al 2025-04-30  
 Cotización del servicio : 112-25-BI  
 Fecha de emisión : 2025-05-05

#### II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6		
Código de Laboratorio	SU0633-BI-25	SU0634-BI-25	SU0635-BI-25	SU0636-BI-25	SU0637-BI-25	SU0638-BI-25		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo (""')	2025-04-02	2025-04-02	2025-04-02	2025-04-02	2025-04-02	2025-04-02		
Hora de Inicio de Muestreo (h) (""')	11:00	11:10	11:20	11:30	11:40	11:50		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (""')	01-AGP350	02-AGP450	03-ANDINA06	04-SUPERSONIC	05-MCAPA569	06-CUP101		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	unid. pH	0,1	7,7	7,7	7,9	8	7,9	7,9
Conductividad Eléctrica	mS/m	1,0	5,7	5,8	6,89	8,4	7,4	7,2
Carbonato De Calcio Equivalente	%	0,5	1,7	1,3	1,9171	3,4	1,9	1,5
Materia Orgánica	%	0,1	2,4	2,2	2,9	3,1	1,6	2,9
Fósforo Disponible	mg/kg	0,5	9,0	11,7	13,5	18,3	12,4	11,3
Textura	-	-	-	-	-	-	-	-
Arena	%	-	47	46	44	48	48	44
Arcilla	%	-	31	36	34	36	32	38
Limo	%	-	21	17	21	15	19	17
Clase Textural	-	-	Franco Arcillo Arenoso	Arcillo Arenoso	Franco Arcilloso	Arcillo Arenoso	Franco Arcillo Arenoso	Franco Arcilloso



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliaves  
 Acreditado con la Norma  
 NTP-ISO/IEC 17025:2017  
 LABSAF Baños del Inca  
 Dirección: Jr. Wiracocha s/n Los Baños del Inca-Cajamarca  
 Email: labsafbañosdelinca@inia.gob.pe

F-46 / Ver.06  
 www.inia.gob.pe

**INFORME DE ENSAYO**  
**LABSAF BAÑOS DEL INCA**  
**N° 050844-25 / SU / BI**



ITEM	7	8				
Código de Laboratorio	SU0638-BI-25	SU0640-BI-25	-	-	-	-
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	-	-	-	-
Fecha de Muestreo ("")	2025-04-02	2025-04-02	-	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h) ("")	12:00	12:10	-	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente ("")	07-ALFAMASTER	08-ALFAPLUS	-	-	-	-
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
pH	unit. pH	0,1	8,0	7,8	-	-
Conductividad Eléctrica	mS/m	1,0	6,8	9,1	-	-
Carbonato De Calcio Equivalente	%	0,5	4,3	3,0	-	-
Materia Orgánica	%	0,1	2,9	3,4	-	-
Fósforo Disponible	mg/kg	0,5	10,1	16,8	-	-
<b>Textura</b>						
Arena	%		42	48	-	-
Arcilla	%		36	32	-	-
Limo	%		21	19	-	-
Clase Textural			Franco Arcilloso	Franco Arcillo Arenoso	-	-

**III. METODOLOGÍA DE ENSAYO**

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA Method 9045 D Rev. 4 2004 Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994 / Cor 1:1996, 1994 Soil quality-- Determination of the specific electrical conductivity
Acidez y Aluminio Intercambiable	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 Segunda Sección (31 de Diciembre 2002), ítem 7.3.25, AS-33 2002 Determinación de Acidez y Aluminio Intercambiable (AS-33 método de Cloruro de Potasio).
Carbonato De Calcio Equivalente	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 Segunda Sección (31 de Diciembre 2002), ítem 7.3.25, AS-29 2002 Determinación de los carbonatos de calcio equivalente (AS-29 Método de neutralización ácida).
Materia Orgánica	NOM-025-RECNAT-2000 2da Sección, 2002, ítem 7.1.7 AS-07 2002 Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black)
Fósforo Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 Segunda Sección (31 de Diciembre 2002), ítem 7.1.10, AS-10 2002 Determinación de fósforo aprovechable para suelos neutros y alcalinos (AS-10 Método de Olsen y colaboradores).
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 Segunda Sección (31 de Diciembre 2002), ítem 7.1.9, AS-09 2002 Determinación de la textura del suelo (AS-09 Método de Bouyoucos).



**INFORME DE ENSAYO**  
**LABSAF BAÑOS DEL INCA**  
**N° 050844-25 / SU / BI**



**IV. CONSIDERACIONES**

- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C.
- Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C.

(\*\*\*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

**V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO**

- El presente informe de ensayo ha sido autorizado por: Marieta Cervantes Peralta - Responsable del LABSAF - BAÑOS DEL INCA



Firmado digitalmente por:  
CABRERA HOYOS Hector  
Antonia FAU 20131360994 soft  
Motivo: Soy el autor del  
documento  
Fecha: 05/05/2025 08:11:32-0900

Firma

**FIN DE INFORME DE ENSAYO**



Instituto Nacional de Innovación Agraria

## INFORME DE ENSAYO

### LABSAF BAÑOS DEL INCA

N° 050844-25NA / SU / BI



#### I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente:	PN PASTOS Y FORRAJES
Propietario / Productor:	PN PASTOS Y FORRAJES
Dirección del cliente:	AV. LA MOLINA NRO. 1981 LIMA - LIMA - LA MOLINA
Solicitado por:	CLIENTE
Muestreado por:	CLIENTE
Referencia del muestreo:	RESERVADO POR EL CLIENTE
Procedencia de muestra(s) (***):	EEA BAÑOS DEL INCA - BAÑOS DEL INCA - CAJAMARCA
Fecha(s) de muestreo (***):	2025-04-02
Fecha de recepción de muestra(s):	2025-04-02
Lugar de ensayo:	LABSAF BAÑOS DEL INCA
Fecha(s) de análisis:	Del 2025-04-03 al 2025-04-30
Cotización del servicio:	112-25-BI
Fecha de emisión:	2025-05-05

#### II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	SU0633-BI-25	SU0634-BI-25	SU0635-BI-25	SU0636-BI-25	SU0637-BI-25	SU0638-BI-25
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de Muestreo (***)	2025-04-02	2025-04-02	2025-04-02	2025-04-02	2025-04-02	2025-04-02
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)	11:00	11:10	11:20	11:30	11:40	11:50
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)	01-AGP350	02-AGP450	03-ANDINA06	04-SUPERSONIC	05-MOAPA569	06-CLUP101
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
Potasio Disponible	mg/kg	0,05	134,87	105,96	154,89	146,96

ITEM	7	8				
Código de Laboratorio	SU0639-BI-25	SU0640-BI-25	-	-	-	-
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	-	-	-	-
Fecha de Muestreo (***)	2025-04-02	2025-04-02	-	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)	12:00	12:10	-	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)	07-ALFAMASTER	08-ALFAPLUS	-	-	-	-
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
Potasio Disponible	mg/kg	0,05	145,98	152,99	-	-

#### III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Potasio Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECHT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002), ítem 7.1.12, AS-12 / EPA 6010 D, Revision 5, 2018, Validado (modificado y aplicado fuera del alcance) 2023 Determinación de potasio disponible en suelos con saturación de ácido de amonio TR, R11 7.2 / Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliare  
Acreditado con la Norma  
NTP-ISO/IEC 17025:2017  
LABSAF (Nombre)  
Dirección: (Dirección del laboratorio)  
Email: (correo de contacto del laboratorio)



Instituto Nacional de Innovación Agraria

**INFORME DE ENSAYO**  
**LABSAF BAÑOS DEL INCA**  
**N° 050844-25NA / SU / BI**



**IV. CONSIDERACIONES**

- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron.
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C.
- Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C.

(\*\*) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INIACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

**V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO**

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Mariela Cervantes Peraza - Responsable del LABSAF - BAÑOS DEL INCA



Firmado digitalmente por:  
CABRERA HOYOS Hector  
Antonia FAU 20131380904 soft  
Activo: Soy el autor del  
documento  
Fecha: 05/05/2025 08:11:39-0500

\_\_\_\_\_  
FIN DE INFORME DE ENSAYO



Página 5 de 5

Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliareos  
Acreditado con la Norma  
NTP-ISO/IEC 17025:2017  
LABSAF (Nombre)  
Dirección: (Dirección del laboratorio)  
Email: (correo de contacto del laboratorio)

F-45 / Ver.05  
[www.inia.gob.pe](http://www.inia.gob.pe)