

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS:

**Fertilización con fósforo y azufre en el rendimiento de alfalfa
(*Medicago sativa* L.), Canaán, 2750 msnm, Ayacucho 2023**

Para optar el título profesional de:

INGENIERA AGRÓNOMA

PRESENTADO POR:

Bach. Lizbeth TORRES HUICHO

ASESOR:

Ing. Dimas Alberto QUINTANILLA MELGAR

AYACUCHO - PERÚ

2024

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor

Con profundo cariño a mis padres Glicerio y Marcelina, por su sacrificio y confianza depositada en mi persona.

A mis queridos hermanos que día a día me apoyaron
Angélica, Teodoro, Marisol,
Gladis, Nivia y Edgar

A mis cuñados y sobrinos que con un granito de arena también aportaron para poder culminar el trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga mi Alma Mater por haberme acogido en sus aulas durante mi formación profesional y a todos los docentes de la Escuela Profesional de Agronomía por haber contribuido eficazmente con sus conocimientos y experiencias en mi formación profesional y como persona.

Con profunda gratitud, expreso mis sinceros agradecimientos al Ing. Dimas A. Quintanilla Melgar, gestor y asesor del presente trabajo de investigación, quien dedicó su valioso tiempo para orientar y brindarme sus experiencias y conocimientos, desde el inicio hasta la culminación del presente trabajo.

Al MSc. Alex Tineo Bermúdez, por sus oportunas y acertadas orientaciones para la culminación del presente trabajo.

Al Mtro. Rodolfo Alca Mendoza y al Ing. Eduardo Robles García, quienes desinteresadamente dedicaron su tiempo para contribuir sus experiencias en el presente trabajo.

También agradezco a mis amigos y compañeros por su apoyo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPÍTULO I.....	4
1. MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. La alfalfa, generalidades.....	6
1.2.1. Origen y distribución geográfica.....	7
1.2.2. Cultivo de alfalfa en el Perú.....	7
1.2.3. Taxonomía de alfalfa.....	8
1.2.4. Valor ecológico de la alfalfa.....	8
1.2.5. Requerimientos edafoclimáticos.....	9
1.2.6. Requerimiento hídrico.....	10
1.2.7. Consideraciones para manejo agronómico de alfalfa.....	12
1.2.8. Manejo de alfalfa para pastoreo.....	14
1.2.9. Fenología de alfalfa.....	16
1.3. Rol del fósforo y azufre en la alfalfata.....	17
1.3.1. Fósforo.....	17

1.3.1.1. Absorción y transporte de fósforo.....	17
1.3.1.2. Esencialidad del fósforo como nutriente.....	17
1.3.1.3. Fósforo en alfalfa.....	19
1.3.1.4. Superfosfato triple (SFT).....	19
1.3.2. Azufre (S).....	21
1.3.2.1. Dinámica de absorción y asimilación de azufre.....	21
1.3.2.2. El azufre en la agricultura.....	22
1.3.2.3. Síntomas de deficiencia de azufre en plantas.....	22
1.3.2.4. Azufre en el cultivo de alfalfa.....	23
CAPÍTULO II.....	25
MATERIALES Y METODOLOGÍA	25
2.1. Localización.....	25
2.1.1. Ubicación política.....	25
2.1.2. Ubicación geográfica.....	25
2.1.3. ubicación ecológica	25
2.2. Condiciones climáticas	27
2.3. Antecedentes del terreno experimental	29
2.3.1. Características fisicoquímicas del suelo.....	27
2.4. Procedimiento metodológico.....	28
2.4.1. Material biológico.....	29
2.4.2. Diseño experimental	30
2.4.3. Análisis estadístico	29
2.4.4. Tratamientos	29
2.4.5. Materiales y equipos utilizados	32

2.5. Instalación y conducción del experimento.....	33
2.5.1. Preparación del terreno.....	33
2.5.2. Siembra.....	33
2.5.3. Fertilización.....	33
2.5.4. Riego.....	34
2.5.5. Control de arvenses	34
2.5.6. Control fitosanitario.....	34
2.6. Evaluación de los factores de productividad	35
2.6.1. Fases fenológicas de establecimiento.....	35
2.6.2. Altura de planta	35
2.6.3. Rendimiento de forraje verde	35
2.6.4. Rendimiento de materia seca.....	35
2.6.5. Frecuencia de corte por año.....	36
CAPÍTULO III	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
3.1. Fenología de la planta	37
3.1.1. Fases fenológicas de establecimiento	37
3.2. Altura de la planta.....	38
3.3. Forraje verde	40
3.4. Materia seca	432
3.5. Frecuencia de corte del cultivo de alfalfa	48
CONCLUSIONES.....	51
RECOMENDACIONES	50
REFERENCIAS	51

ANEXOS	60
--------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Estados fenológicos de leguminosas.	18
Tabla 1.2. Rango de concentraciones críticas de nutrientes para tejido vegetal de alfalfa (solo para las hojas del tercio superior de la planta, con un brote al 10 % de floración).	18
Tabla 1.3. Cantidad de fósforo absorbido por varios cultivos.	18
Tabla 1.4. Características de superfosfato triple.....	21
Tabla 1.5. Condiciones que limitan la disponibilidad de P y S, su movilidad en el suelo y causas comunes de pérdida de nutrientes disponibles en los sistemas de producción.....	24
Tabla 2.1. Balance hídrico según las condiciones climáticas correspondientes al C. E. Canaán, según los datos de estación de INIA-CANAÁN.	27
Tabla 2.2. Resultados de análisis del suelo experimental.....	28
Tabla 2.3. Combinación de los tratamientos para este trabajo de investigación, en condiciones de Canaán, 2750 msnm, Ayacucho.	30
Tabla 2.4. Características del diseño experimental DCR	31
Tabla 2.5. Cálculos para la dosificación de los fertilizantes para cada tratamiento	34
Tabla 3.1. Análisis de variancia de la altura de la planta de alfalfa en los diferentes cortes, niveles de azufre y niveles de fósforo, Canaán 2750 msnm.....	38
Tabla 3.2. Análisis de variancia del rendimiento de forraje verde de alfalfa en los diferentes cortes, niveles de azufre y niveles de fósforo, Canaán 2750 msnm.	40
Tabla 3.3. Análisis de variancia del rendimiento de forraje en materia seca de alfalfa en los diferentes cortes, niveles de azufre y niveles de fósforo, Canaán 2750 msnm.	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Evolución de la concentración de los componentes de alfalfa en función de su estado de madurez	15
Figura 1.2. Evolución de la concentración de materia seca, digestibilidad de alfalfa en función de su estado de madurez	15
Figura 2.1. Mapa de ubicación del Centro Experimental Canaán, realizado en ArcGIS 10.8 a partir de las cartas nacionales de MINEDU.	26
Figura 2.2. Climograma del Centro Experimental Canaán	28
Figura 2.3. Esquematación y dimensiones de las unidades experimentales.....	32
Figura 3.1. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de los efectos simples en la altura de la planta de alfalfa, en la combinación de azufre y fósforo en promedio de los diferentes cortes, Canaán 2750 msnm.	35
Figura 3.2. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) del efecto principal del rendimiento del forraje verde de alfalfa en distintos cortes, en la combinación de azufre y fósforo, Canaán 2750 msnm.	37
Figura 3.3. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de los efectos principales de azufre y fósforo en el rendimiento de forraje verde de alfalfa en distintos cortes, Canaán 2750 msnm.....	39
Figura 3.4. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de los efectos principales de azufre y fósforo en rendimiento de forraje verde de alfalfa en distintos cortes, Canaán 2750 msnm.....	45
Figura 3.5. Rendimiento acumulado de forraje verde por año.....	47
Figura 3.6. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) del efecto principal del rendimiento de materia seca de alfalfa en distintos cortes, Canaán 2750 msnm.....	45
Figura 3.7. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de los efectos principales de fertilización azufre y fósforo en el rendimiento de materia seca de alfalfa en distintos cortes, Canaán 2750 msnm.....	47
Figura 3.8. Frecuencia de corte del cultivo de alfalfa en 1 año y 51 días de manejo, Canaán 2750 msnm.	47

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos de campo de las evaluaciones para las 5 variables evaluadas	61
Anexo 2. Reporte de análisis del suelo.....	64
Anexo 3. Panel fotográfico del proceso de elaboración de la tesis	65

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en los terrenos del Centro Experimental Canaán a 2750 msnm, Ayacucho; con el objetivo de evaluar la influencia de fertilización con fósforo y azufre en el rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.), se evaluaron tres variables cuantitativas de respuesta a la fertilización (altura de planta, rendimiento de forraje verde y materia seca) para los niveles de fósforo (0 y 220 kg ha⁻¹), niveles de azufre (0 y 100 kg ha⁻¹) y el nivel de (P220 y 100S kg ha⁻¹). Para el análisis de interpretación de los diferentes cortes, se utilizó el Diseño de Parcelas Divididas en 4 tratamientos con 3 repeticiones y 12 subparcelas experimentales. El resultado en altura de planta fue mayor con 90.88 cm para la fertilización (220 kg ha⁻¹ P + 100 kg/ha⁻¹). La respuesta a los niveles de fertilización con sólo fósforo, fue 19,090.38 kg ha⁻¹ y 4,186.90 kg ha⁻¹ de forraje verde y materia seca por corte. Los resultados para los niveles de fertilización con sólo azufre, tuvieron valores de 19,449.90 kg ha⁻¹ y 4,272.25 kg ha⁻¹ en forraje verde y materia seca por corte. En la interacción fósforo y azufre (P220 y S100 kg ha⁻¹) en el rendimiento acumulado de biomasa fresca fue de 159 528 t ha año⁻¹ con 16.97% de incremento con respecto al testigo. Se concluye, la respuesta a los niveles más altos de fertilización, se obtiene mayor producción en el rendimiento como forraje verde, materia seca y altura de la planta.

Palabras clave: alfalfa, rendimiento, forrajero, fósforo, azufre.

INTRODUCCIÓN

La alfalfa (*Medicago sativa L.*) es una leguminosa herbácea perenne con un sistema de raíces robustas que prospera en ambientes áridos y semiáridos de suelos sueltos, como cultivo de cobertura ayuda a prevenir la erosión y mejorar los suelos (Delgado et al., 2015). Una característica agronómica o ecológica importante de las leguminosas es su capacidad para entrar en una relación simbiótica con las bacterias del suelo, fijando nitrógeno atmosférico, porque los rizobios y las leguminosas en interacciones simbióticas son responsables del 80% de la fijación biológica de nitrógeno en la agricultura (Martínez, 2015). Su producción a nivel mundial se cultivan en más de 80 países con una área cultivada de 30 a 35 millones de hectáreas según (Wang et al., 2023).

Según los reportes, La producción agrícola de alfalfa peruana en 2017 fue de 6.503.620 toneladas, cifra mayor a la producción del año 2011 (6.398.200 toneladas), pero menor al año 2013 (6.986.800 toneladas). En 2017, la superficie cosechada fue de 172.667 hectáreas, unas 3.000 hectáreas más que el año anterior. Las principales provincias con mayor producción en 2017 fueron: Arequipa (2,549,972 toneladas), Puno (1,199,799 toneladas), Moquegua (473,404 toneladas), Lima (382,210 toneladas), Tacna (252,399 toneladas), La Libertad (221,682 toneladas), Cajamarca (167,048 toneladas), Huancavelica (145,235 toneladas), Ica (141,381 toneladas), Cusco (136.832 toneladas), Apurímac (132,589 toneladas). En la sierra este cultivo representa el 21.3% de unidades agropecuarias (Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), 2018).

La falta de recursos forrajeros en calidad y cantidad en los sistemas de crianza en la sierra, influyen negativamente en la producción ganadera de esta región, por lo que se considera un problema la escases de pastos en los sistemas de pastoreo. Un deficiente manejo de los pastos genera bajos rendimientos en la producción forrajera, disminuyendo la calidad nutritiva, capacidad de carga animal, por tanto, es necesario una buena elección de variedades de especies cultivables en valles interandinos. Los bajos niveles de producción de la alfalfa en los valles interandinos de la región Ayacucho y del país se debe a las deficiencias de fósforo y azufre en los suelos (Sulca, 2015). La alfalfa es el principal recurso dentro las pasturas cultivadas ante altas demandas de forraje para los sistemas de producción bovina de leche. Sin embargo, una de las limitaciones en la producción de alfalfa es la baja calidad de suelo, escasa disponibilidad

de agua para riego, el manejo deficiente del cultivo, el cultivar debe ser adecuadamente elegido buscando la mayor producción de materia seca y calidad para una máxima producción ganadera, que en la actualidad son los productos que generan los mayores ingresos de los productores en los valles interandinos (Centeno, 2011).

Llahuilla, (2016), en un estudio realizado en el cultivo de alfalfa, indica que la fertilización azufrada incrementa los rendimientos de forraje fresco y seco; así mismo, para los tratamientos con incorporación de fósforo se obtuvo los mayores rendimientos acumulados en forraje fresco y seco. Por otro lado, Vivas et al. (2016), desarrollaron un estudio, logrando resultados muy favorables con la aplicación de fósforo y azufre en el cultivo de alfalfa. Por lo tanto, mencionan que este cultivo respondió de forma significativa a la fertilización con P, S y P+S, obteniendo un incremento de la materia seca por sobre el testigo sin fertilizar. Por otro lado, según Gallego (2017) señala que la fertilización fosforada y azufrada, además de aumentar el rendimiento forrajero del cultivo de alfalfa, mejora su calidad, representada mediante el porcentaje de proteína bruta.

Es necesario hacer evaluaciones de producción forrajera con fertilización de fósforo, azufre en cultivares nuevos como la variedad de Alfamaster con dormancia 10, mediante riego por goteo superficial, a fin de determinar la producción de materia seca como respuesta a la fertilización, para poder transferir los resultados a nuestros productores y/o ganaderos de la región. Por tal razón, en el presente estudio se plantea el uso de la fertilización fosforada y de azufre en sistema de riego por goteo, a fin de reducir la demanda de agua por inundación, para mejorar el piso forrajero con el cultivo de alfalfa en la región de Ayacucho.

Objetivo general

Determinar la influencia de la fertilización con fósforo y azufre en el rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.), Canaán, 2750 m.s.n.m., Ayacucho, 2023.

Objetivos específicos son:

Evaluar la influencia de la fertilización con fósforo en el rendimiento forrajero de alfalfa (*Medicago sativa* L.).

Evaluar la influencia de la fertilización con azufre en el rendimiento forrajero de alfalfa (*Medicago sativa* L.).

Evaluar la interacción de la fertilización con fósforo y azufre en el rendimiento forrajero de alfalfa (*Medicago sativa* L.).

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

En un trabajo realizado por Gallego (2017), al probar el “Efectos de la fertilización con P y S sobre la producción y calidad de alfalfa (*Medicago sativa* L.) irrigada y el estado orgánico del suelo en el valle inferior del Río Negro”, que tuvo por objetivo evaluar la producción de materia seca del cultivo de alfalfa en respuesta a la fertilización fosforada y azufrada en suelos de textura fina bajo condiciones de riego, durante varios ciclos de producción. Se empleó un diseño de Bloques (n = 4) Completos Randomizados, con 10 tratamientos, factorial con cinco dosis de fósforo por dos dosis de azufre, con un total de 40 unidades experimentales. En conclusión, determinaron que a partir del 2º ciclo el cultivo de alfalfa respondió a las aplicaciones de fósforo + azufre. La máxima producción acumulada se presentó en los tratamientos con altas dosis de los nutrientes aplicados. Así mismo indica, la calidad del forraje (porcentaje de proteína bruta) aumentó en los cortes para la estación de primavera y otoño con diferentes dosis de P (con y sin aplicación de S).

Bouray et al. (2020), en el trabajo de investigación titulado: “Impactos del fosfoyeso, fertilizante soluble y enmienda con cal de suelos ácidos sobre la biodisponibilidad de fósforo y azufre bajo alfalfa (*Medicago sativa*)”, tuvo por objetivo investigar la respuesta de la alfalfa a la aplicación de fosfoyeso (PG), cal y fertilizante soluble P+S (PS) a dos suelos. Realizaron en diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 4×2×2 con 4 dosis de PG o PS por separado, dos suelos y dos dosis de cal (0 y 2 t ha⁻¹). Usaron cuatro repeticiones para cada nivel de tratamiento, dando un total de 112 macetas. Los datos se analizaron al final del experimento y se sometieron a análisis de varianza (ANOVA). En conclusión, los rendimientos máximos y la absorción de P y S se obtuvieron bajo PG 9 t ha⁻¹ combinado con cal. El Al intercambiable disminuyó en ambos suelos bajo 1 ha⁻¹ de PG en comparación con el control. La aplicación de fosfoyeso en suelos ácidos mostró efectos positivos en la disponibilidad de P del suelo, la absorción de P y S y, en consecuencia, en la producción de biomasa de alfalfa.

Llahuilla (2016), realizó una investigación titulada: “Aplicación de azufre vía foliar y fósforo al suelo sobre rendimiento del cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) var. California-55 en zona árida”, con el objetivo de evaluar los niveles de la fertilización foliar azufrada sobre cultivar instalado de alfalfa con 0 y 100 UF de fósforo al suelo en 5 cortes, sobre el contenido de proteína en hojas y tallos en alfalfa y su mejor rentabilidad neta. Se utilizó el Diseño de bloques completos al azar (DBCA) con arreglo factorial 4 x 2 (cuatro niveles de azufre y dos niveles de fósforo) con 3 bloques haciendo un total de 24 unidades experimentales, los resultados fueron comparados mediante el análisis de varianza (ANVA). Como resultado, obtuvo que la fertilización azufrada vía foliar incrementa los rendimientos de forraje fresco y seco; para los tratamientos sin incorporación de fósforo al suelo obtuvo un rendimiento acumulado al quinto corte en forraje fresco con el P00S6 (sin incorporación de fósforo ni azufre) de 104.57 t ha⁻¹ y en forraje seco de 26.42 t ha⁻¹; para los tratamientos con incorporación de fósforo se obtuvo los mayores rendimientos acumulados en forraje fresco y seco al quinto corte con el P10S6 (100 UF de P₂O₅ y 6 kg de azufre) de 120.19 y 31.14 t ha⁻¹ respectivamente

Vivas et al. (2016), desarrollaron un estudio que lleva por título: “Fertilización con fósforo y azufre en dos variedades de alfalfa sobre un suelo deficiente de San Cristóbal, Santa Fe”, tuvo por objetivo evaluar la producción de forraje de dos variedades de alfalfa fertilizadas con P y S, separados y combinados, para un sitio con bajos niveles de P y sin antecedentes de fertilización. Se utilizó un diseño de parcelas divididas en bloques completos al azar con tres repeticiones. La gran parcela fueron las Variedades (Supermonarca INTA-Produsem y GAPP 969+) y como subparcelas los tratamientos: Testigo, P40 (40 kg ha⁻¹), S40 (40 kg ha⁻¹) y P40+S40. Se logró los siguientes resultados: a) las dos variedades mencionadas respondieron de forma similar y significativa a la fertilización con P, S y P+S; b) el incremento de materia seca con P fue de 5167 kg ha⁻¹ (19%), con S de 5902 kg (21.7%) y con la combinación P+S de 8054 kg ha⁻¹ (29.7%) por sobre el testigo sin fertilizar; y c) la respuesta al factor P fue significativa en 10 ocasiones, la del S en 11 y la combinación P+S en 14 de los 19 cortes.

Ibarlucea et al. (2021), realizaron una investigación titulada: “Respuesta a fósforo y azufre en alfalfa en un suelo con larga historia agrícola”, con el objetivo de cuantificar, durante 3 años, la respuesta a la fertilización con P y S en la producción de materia seca de una pastura pura de alfalfa sin latencia invernal de alto potencial de producción, implantada en un suelo Argiudol con degradación físico-química. El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con 3 repeticiones y 4 tratamientos (T1: testigo, T2: 200 kg ha⁻¹ sulfato de calcio, T3: 200

kg sulfato de calcio+ 200 kg superfosfato triple de calcio y T4: 200 kg sulfato de calcio+ fósforo, 200 kg superfosfato triple de calcio + 1000 kg dolomita). En conclusión, se obtuvo una interacción entre corte y tratamiento. En el 92% de los cortes no se detectaron diferencias significativas por la adición de S (T2-T1), mientras que en el 72% de los cortes la aplicación de fósforo aumentó significativamente la producción de MS ha⁻¹. Esta observó desde el segundo corte, y a lo largo de los tres años la respuesta osciló entre 32 y 70%. Por otra parte, se observaron incrementos significativos por la adición de 1500 kg dolomita ha⁻¹ en 3 de los 29 cortes (T4- T3).

1.2. La alfalfa, generalidades

La alfalfa (*Medicago sativa* L.), son plantas forrajeras comunes y uno de los más importantes del mundo para la alimentación del ganado (Tong et al., 2023), es una especie multipropósito de gran valor económico (Biswas et al., 2023); este cultivo es una leguminosa forrajera perenne de crecimiento erguido, raíces pivotantes (obtiene hasta varios metros de profundidad si el perfil del suelo lo permite) y flores azul-violeta (amarillo-verde o, a veces, púrpura que pueden ayudar a determinar su origen geográfico). Sus raíces forman nódulos formados por una bacteria simbiótica (*Sinorhizobium meliloti*) que aporta a la planta nitrógeno atmosférico, previamente convertido en nitrógeno amoniacal, a cambio de agua y nutrientes. Según algunas estimaciones, estas bacterias pueden ayudar a formar hasta el 75 % de la proteína cruda de la alfalfa. Por todo ello, no es necesario el aporte de fertilizantes nitrogenados en forma de minerales o foliar (Delgado et al., 2015). En conclusión, las leguminosas desempeñan un doble papel fundamental en los ecosistemas de pastizales de pastoreo; proporcionando aportes de nitrógeno y piensos de alta calidad para el ganado en pastoreo (Bouray et al., 2020).

Se cultiva en los valles del país, que tienen climas subtropicales, templados o áridos. Es importante por su potencial productivo y valor nutricional, así como su utilización como forraje verde, heno, ensilaje, etc.; por lo tanto, se ha dedicado mucho esfuerzo a la investigación de su genética (Delgado et al., 2015; Biswas et al., 2023). La alfalfa posee buena calidad nutricional y producción de biomasa, se adapta ampliamente a las diversas condiciones climáticas del valle de los Andes, produciendo mayores rendimientos principalmente en lugares fríos; también minimiza la escorrentía y la erosión del suelo. No obstante, la productividad y su valor nutricional se ve influenciado principalmente en suelos salinos y ácidos (Rojas et al., 2017). La productividad de biomasa se incrementan cuando se realiza mezclas forrajeras, de esta forma brinda nutrición equilibrada a los ganados (Liu et al., 2022).

Según Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019), la alfalfa pertenece a la familia de las leguminosas. Este cultivo es utilizado como forraje. Su ciclo de vida o persistencia puede ser de hasta doce años dependiendo de la variedad utilizada, así como del clima. Produce densos racimos de pequeñas flores de color púrpura. Sus raíces suelen ser profundas, llegando hasta los 4.5 m, por lo que la planta es especialmente resistente a la sequía.

La productividad de cada cultivo está determinada por una combinación de elementos de manejo climático, edáfico y agrotécnico que interactúan con los rasgos genéticos y fisiológicos de la planta. Es económicamente viable durante al menos seis años y hasta veinticinco años en condiciones ideales (Lara & Jurado, 2014).

1.2.1. Origen y distribución geográfica

La alfalfa fue introducida en Sudamérica por los portugueses y españoles en el siglo XVI desde Irán y Asia Menor. Con la asistencia de misioneros españoles, llegó a Perú, México y Estados Unidos en 1870. Los medos fueron los primeros en cultivarlo, de ahí el nombre científico *Medicago sativa*, que significa "cultivado por los medos". La alfalfa llegó a Grecia aproximadamente en 490 a. C., según los antiguos historiadores romanos Plinio y Estrabón. 490 a. C., Posteriormente fue transportado a Italia y otros países europeos, incluida España, incluida España. Los primeros exploradores españoles la trajeron desde este país a Centro y Sudamérica. Los persas llevaron la alfalfa a Grecia y de allí a Italia en el siglo IV a.C. Los árabes extendieron su cultivo por el norte de África hasta España, y posteriormente se extendió por toda Europa. El conquistador mexicano Hernán Cortés en 1521 y el conquistador peruano Francisco Pizarro en 1530 intercambiaron semillas de alfalfa y otras plantas con los indígenas a cambio de oro (Flores, 2015).

1.2.2 Cultivo de alfalfa en el Perú

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018), la producción agropecuaria de alfalfa en Perú en el año 2017 fue de 6 503 620 toneladas, siendo superior a la producción en el 2011 (6 398 200 t), pero inferior al año 2013, donde se observó un aumento en la producción de este cultivo (6 986 800 t). La superficie cosechada en el 2017 fue de 172 667 hectáreas, mostrando un aumento aproximado de 3 000 hectáreas con respecto al año anterior. Los principales departamentos con mayor producción en el año 2017 fueron: Arequipa (con una producción de 2 549 972 t), Puno (1 199 799 t), Moquegua (473 404 t), Lima (382 210 t), Tacna (252 399 t), Áncash (235 422 t), Ayacucho (228 123 t), La Libertad (221 682 t),

Cajamarca (167 048 t), Huancavelica (145 235 t), Ica (141 381 t), Cusco (136 832 t), Apurímac (132 589 t) y Junín (122 317 t). Por otro lado, en la sierra, el cultivo de alfalfa representa el 21,3 % de las unidades agropecuarias.

1.2.3. Taxonomía

La clasificación taxonómica del cultivo de alfalfa es de la siguiente manera:

Reino	: Plantae
Subreino	: Tracheobionta
Súper división	: Spermatophyta
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Subclase	: Rosidae
Orden	: Fabales
Familia	: Leguminosae
Subfamilia	: Papilionoideae
Tribu	: Trifolieae
Género	: Medicago
Especie	: <i>Medicago sativa</i> L.

Fuente: Martínez, (2015).

1.2.4. Valor ecológico de la alfalfa

Cultivo perenne con un sistema radicular robusto que puede prosperar en ambientes secos y semiáridos, actúa como cultivo de cobertura y ayuda a evitar la erosión y la desertificación. La profunda penetración de las raíces, en cambio, favorece la participación de materia orgánica y nitrógeno; asimismo, se ha demostrado que el cultivo de alfalfa ayuda a formar los agregados del suelo (Chen et al., 2023). Este cultivo aporta materia seca (en el cultivo de alfalfa quedan en el suelo hasta 10,000 kg de materia seca por hectárea, y lentamente se liberan 208 kg de nitrógeno en forma orgánica) en la recuperación de calidad del suelo; asimismo, permite restablecer la fertilidad del suelo y

evitar la desertificación. De esta manera, cultivar esta especie ayuda a aliviar las crisis sociales y económicas de la agricultura tradicional, que ha resultado en el abandono de tierras de cultivos marginales y erosionables. Cultivos como la alfalfa protegen la tierra y al mismo tiempo proporcionan pastos asequibles para el ganado (Delgado et al., 2015).

Una característica agronómica o ecológica importante de las leguminosas es su capacidad para formar relaciones simbióticas con las bacterias del suelo, a través de las cuales se lleva a cabo el proceso de fijación de nitrógeno, porque los rizobios y las leguminosas en interacción simbiótica representan el 80% de la fijación biológica de nitrógeno en la agricultura. De esta manera, la alfalfa tiene una relación simbiótica con *Ensifer meliloti* y es un cultivo de rotación esencial que da estructura y aporte de nitrógeno al suelo debido a su adaptabilidad (Martínez, 2015). Gracias a esta característica, las leguminosas como la alfalfa adquieren nuevas capacidades adaptativas en el ambiente (Safronova et al., 2021), de la misma forma, mediante siembras en mezclas forrajeras, incrementan el uso de recursos naturales como el agua, radiación solar, disminución de uso de fertilizantes (Liu et al., 2022).

1.2.5. Requerimientos edafoclimáticos

La alfalfa crece en una amplia gama de climas, desde inviernos extremadamente fríos hasta veranos calurosos; sin embargo, se adapta mejor a áreas secas con baja humedad relativa en condiciones de riego. Es resistente a la sequía y puede crecer en climas cálidos y húmedos, pero los ataques de plagas y enfermedades disminuyen la calidad. Por consecuencia, la alfalfa prospera en regiones templadas, cálidas y secas (Odorizzi, 2015).

La adaptabilidad del cultivo de *Medicago sativa*, va desde el nivel del mar hasta los 4000 m.s.n.m.; en la sierra, el mejor clima está entre los 1500 y 3200 m.s.n.m., se considera una precipitación media de 600 - 700 mm, anuales de lluvias bien repartidas. Sin embargo, en el cultivo de la alfalfa, la latitud y altitud no están directamente asociados a su potencial productivo (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2019).

La alfalfa crece mejor cuando el pH es neutro, pero puede soportar una ligera alcalinidad, pero no una acidez fuerte (Flores, 2015). El pH del suelo que no limita su productividad, oscila entre 6.5 y 7.5; sin embargo, deben evitarse valores por debajo de 5.8 o por encima de 8.5, ya que inhiben la absorción de nutrientes (Lara & Jurado, 2014).

La salinidad es otro factor que influye en la productividad de la alfalfa, ya que la conductividad por encima de 2 dS/m afecta en el rendimiento, mientras que 7 a 8 dS/m limitan

la productividad en un 50%. Niveles de pH tan altos tienen un impacto negativo en la disponibilidad de los componentes necesarios para el desarrollo de los cultivos. Además, requiere suelo profundo y bien drenado para un buen desarrollo de su sistema de raíces (Lara & Jurado, 2014).

La alfalfa cultivada en climas fríos tiende a producir forraje de mayor calidad en comparación con la alfalfa cultivada en períodos más cálidos, así como, cuando todos los cultivos están igualmente libres de malezas y en la misma etapa de madurez. El invierno es la mejor condición ambiental para el cultivo de la alfalfa, ya que la temperatura promedio durante estos meses oscila entre 19 y 21 °C. Se ha demostrado que la máxima movilización y transferencia de carbohidratos a los brotes y raíces ocurre cuando las plantas se cultivan en un rango de temperatura de 21 °C de día y 8 °C de noche, con una disminución a temperaturas más bajas (12/2 °C) y más aún a altas (34/25 °C), debido a que el metabolismo decrece en climas fríos y la tasa de respiración aumenta en climas cálidos, ya que la tasa de absorción neta de CO₂ aumenta con la temperatura (Quiroga, 2013).

Del total de la luz que recibe la planta, solo 1 a 3% se fija en actividades fotosintéticas, dando como resultado una baja eficiencia. El cultivo necesita un fotoperiodo conveniente de 500 a 600 horas luz/corte. La hora del día en que se corta también influye en la calidad del forraje. Las plantas utilizan la respiración para convertir azúcares y almidones en energía. La respiración después del corte reduce la calidad del forraje y solo puede detenerse secando de inmediato. Por lo tanto, el mejor momento para cortar la alfalfa es en la mañana para acelerar el secado y capturar azúcares y almidón para obtener heno de mayor calidad (Undersander et al., 2011).

1.2.6. Requerimiento hídrico

La alfalfa requiere el suministro hídrico de forma fraccionada, ya que sus necesidades varían a lo largo del ciclo productivo. La humedad, son suficientes de 600 a 800 mm anuales de lluvias bien repartidas. El aporte de agua en caso de riego por inundación es de 1000 m³ ha⁻¹. En riego por aspersión será de 880 m³ ha⁻¹. El riego inadecuado limita el rendimiento de la alfalfa más a menudo que cualquier otro factor de manejo en las áreas semiáridas. El agua para el crecimiento puede provenir del agua almacenada en el suelo, del riego y de la lluvia. El agua almacenada en el suelo puede ser crucial para altos rendimientos debido a las bajas tasas de infiltración de agua en suelos pesados (Undersander et al., 2011).

1.2.7. Consideraciones para manejo agronómico de alfalfa

Siembra. Para una buena preparación del lecho se requiere un barbecho profundo (30 a 40 cm) y una o dos pasadas de rastra (dependiendo de la estructura del suelo y del número y fuerza de los terrones creados por el arado). Para evitar desigual dispersión de semillas, se deben eliminar los terrones grandes. La siguiente etapa es nivelar el suelo, la operación excelente en esta etapa promueve la distribución adecuada del agua de riego y elimina el estancamiento y el arrastre de semillas y nutrientes. La alfalfa requiere subsolado porque las raíces son profundas, lo que les permite penetrar con facilidad. De igual forma, se pueden utilizar fertilizantes y aditivos para intercalar la labranza (Lara y Jurado, 2014).

Elección de semillas. Para cada cultivo, la calidad genética y física de la semilla utilizada es fundamental, especialmente si el destino es el pastoreo a largo plazo. La calidad física a menudo está determinada únicamente por el grado de contaminación, malezas y material inerte; pero el tamaño de la semilla, la germinación y la presencia de semillas duras son características que impactan la velocidad de emergencia y la uniformidad de las plántulas. Las cualidades de la variedad determinan la calidad genética, los cuales influirán en la productividad agrícola, estacionalidad y persistencia. Dada la gran cantidad de cultivares de alfalfa en el mercado, la identificación correcta del cultivar debe ser un factor determinante en la selección de lotes de semillas para la siembra (Cancio, 2016).

Inoculación de Rhizobium. Las bacterias forman nódulos en las raíces de la alfalfa, donde fijan el nitrógeno y lo ponen a disposición de la planta. Los suelos contienen bacterias Rhizobium de cultivos anteriores de alfalfa, no todos los campos tienen suficientes bacterias Rhizobium. Para garantizar la presencia de las bacterias necesarias, se recomienda comprar semillas preinoculadas y tratar las semillas con inóculo comercial disponible en los distribuidores de semillas. Estos tratamientos con inoculantes a menudo también contienen fungicida, que protege contra enfermedades que reducen la emergencia de las plántulas y matan las plántulas jóvenes. Para tratar la semilla por cuenta propia, el inoculante debe ser almacenado en un lugar fresco antes y después de la compra; aplicar con un compuesto adhesivo para unir el Rhizobia a la semilla, y mezcle bien el inóculo y la semilla antes de plantar (Undersander et al., 2011).

Siembra. Según el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 2013), la densidad de siembra (cantidad de semilla/ha) varía entre 15 a 20 kg ha⁻¹ para siembras al voleo

y distribución manual (la forma más común en la provincia). Se necesitan entre 70 a 150 plantas establecidas por m² para alcanzar los máximos rendimientos y ofrecer buena competencia a las malezas.

La semilla debe cubrirse con suficiente tierra para mantenerla húmeda durante la germinación y permitir que las semillas garanticen una plántula sana y vigoroso. Las profundidades de siembra óptimas varían según el tipo de suelo, 0.7 a 1.5 cm de profundidad en suelos de textura media y pesada y de 1.5 a 2.7 cm de profundidad en suelos arenosos. Cuando la humedad del suelo es adecuada, se pueden emplear siembras menos profundas, sin embargo, en suelos más secos se deben utilizar siembras más profundas (Undersander et al., 2011). La siembra se puede realizar de forma manual (al voleo), o mecanizada mediante sembradora de grano fino con un cajón alfalfero o bien con vibrocultivador equipado con las mismas cajas; permitiendo hileras separadas entre 17 y 20 cm, según la técnica utilizada (Cancio, 2016).

Fertilización y encalado. La fertilidad y el drenaje son dos factores para obtener excelentes rendimientos, tener en cuenta y comprender elementos críticos como las cualidades físicas y químicas del suelo, el rendimiento proyectado de materia seca y la concentración de nutrientes del forraje. Diversos estudios muestran que por cada tonelada de materia seca producida se extraen aproximadamente 38 kg de nitrógeno, 3.0 kg de fósforo y 41 kg de potasio. La alfalfa, por su parte, pertenece a la familia de las leguminosas y tiene la capacidad de fijar nitrógeno en el aire, la fertilización con nitrógeno generalmente no se aplica; en caso sea necesario la aplicación, bastará con una aplicación inicial de 40 a 50 kg de nitrógeno por hectárea, luego de hacer el tratamiento de la semilla con bacterias nitrificantes (Lara & Jurado, 2014).

Undersander et al. (2011), indica que el encalado es importante que influye en la fertilidad del suelo, restableciendo la disponibilidad de nutrientes; y como consecuencia, obtenemos cosechas de calidad de alfalfa. Los beneficios de encalar la alfalfa incluyen:

Mayor actividad de las bacterias *Rhizobium* fijadoras de nitrógeno.

Calcio y magnesio son añadidos.

Mejor estructura y labranza del suelo.

Mayor disponibilidad de fósforo y molibdeno.

Disminución de la toxicidad de manganeso, hierro y aluminio.

Control de arvenses. Las malezas disminuyen la productividad del forraje, la calidad de los fardos, el rendimiento de semillas y la persistencia del cultivo de alfalfa. El control de malezas requiere la integración de prácticas de manejo, en campos con malezas, el pastoreo seguido de cortes limpios y el uso de pesticidas combinado con un rápido desarrollo de los pastos suele ser una combinación beneficiosa (Cancio, 2016).

Control de plagas y enfermedades. Varias las enfermedades pueden matar las plántulas, reducir los rendimientos y acortar la longevidad de los rodales de alfalfa. La aparición y gravedad de las enfermedades están determinadas por factores ambientales, el tipo de suelo y el manejo del cultivo. Existen pocas medidas de tratamiento rentables, pero saber qué enfermedades están presentes podría ayudarle a elegir cultivares resistentes para futuras plantaciones (Undersander et al., 2011).

Díaz (2020) indica que es importante resaltar que las diferentes estrategias para manejar racionalmente situaciones con plagas y enfermedades, se basan en:

Identificar correctamente las plagas y enfermedades presentes.

Examinar los indicios de su existencia lo antes posible (a veces es más fácil detectar el síntoma que examinar directamente detectar insecto).

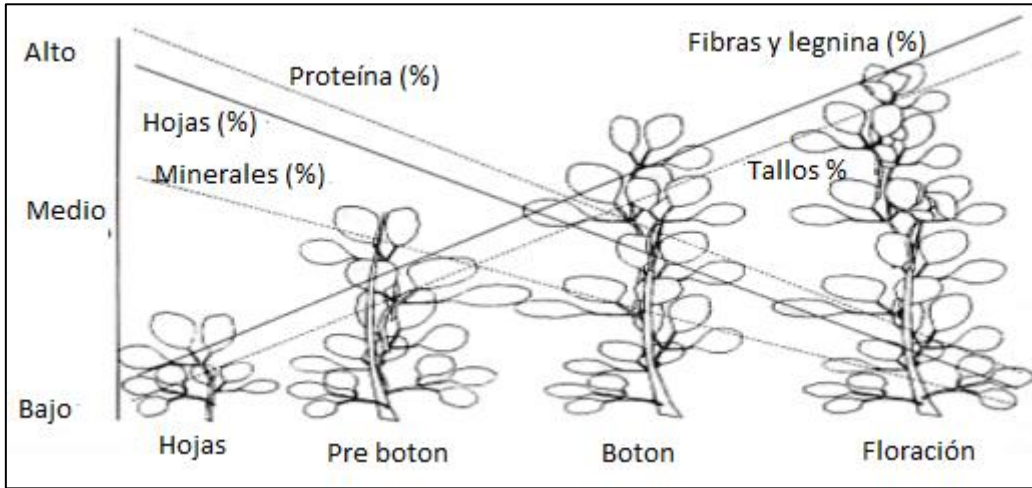
Para desarrollar esfuerzos, comprenda cuándo es probable que actúe un insecto específico en el cultivo y bajo qué condiciones ambientales.

1.2.8. Manejo de alfalfa para pastoreo

Para un buen manejo de este forraje es necesario conocer los caracteres de su desarrollo y crecimiento, comportamiento de sus mecanismos de reserva en raíces y corona radicular, esto permite para su adecuado manejo y mejor aprovechamiento en el tiempo. La corona se encuentra en la parte superior de la raíz, en la misma estructura con muchas yemas del cual se forma los rebrotes muy vigorosos. Este cultivo almacena en corona y raíces reservas de energía como producto de la fotosíntesis, el cual es almacenado cuando la planta está en la etapa reproductiva. El momento adecuado a la defoliación por pastoreo o corte se considera cuando la planta esté en inicio de la floración, además en este estado la alfalfa posee altas concentraciones de nutrientes (Rebulfo, 2005). Generalmente muchos autores recomiendan el pastoreo o corte de la alfalfa se realiza al 10% de floración, en zonas altas donde la floración se retarda un indicador de corte son los brotes basales.

Figura 1

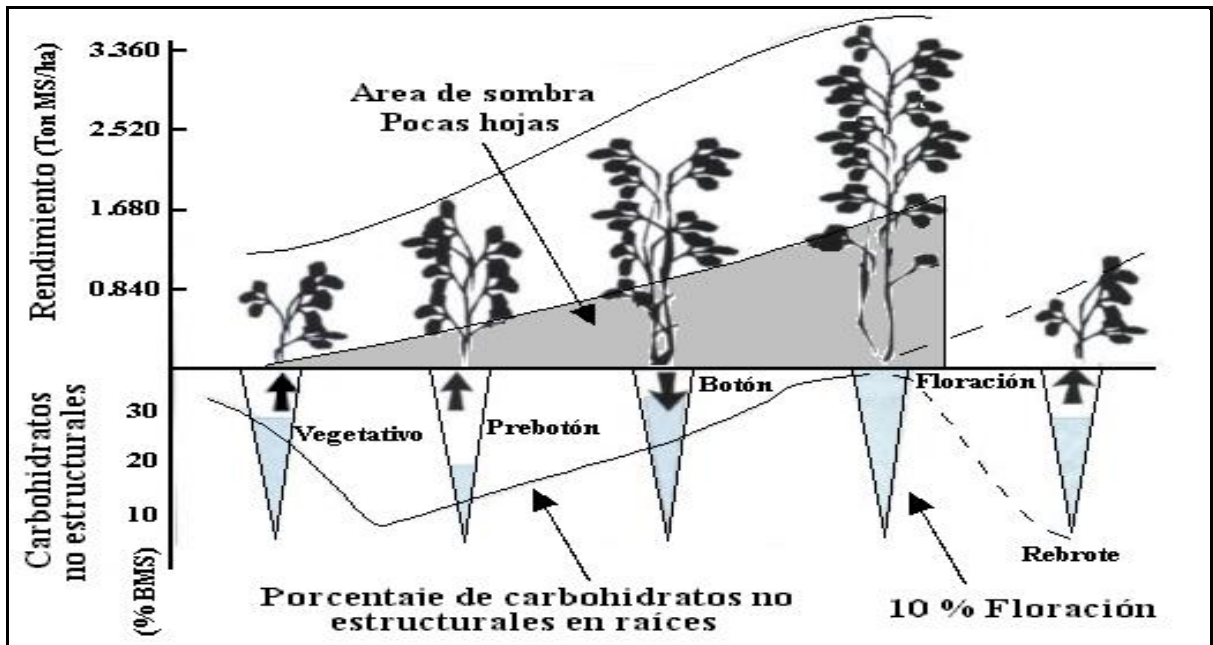
Evolución de la concentración de los componentes de alfalfa en función de su estado de madurez.



Nota. Adaptado de Blaser (1986).

Figura 2

Almacenamiento de reservas con respecto al estado fenológico de la alfalfa.



Nota. Adaptado de Almacenamiento de reserva de Blaser, (1986).

1.2.9. Fenología de la alfalfa

El estudio fenológico describe las etapas y eventos de cambios morfológicos que ocurre en el ciclo de vida de las plantas, en estos cambios influye el piso ecológico y factores ambientales (Yzarra, et al., 2012, p. 9).

La fenología estudia los fenómenos biológicos con cambios de aparición y desaparición de órganos vegetales que se da en el proceso de crecimiento y desarrollo de la planta expresada en el tiempo (Melgarejo, Florez, 2007). El estado fenológico de la planta es un factor muy importante que debemos tener en cuenta para el momento de corte y así poder producir forraje en cantidad y calidad por mayor tiempo, los cortes en momentos adecuados conllevan a un efecto acumulado de mayor número de cortes y mayor permanencia del cultivo, generando mayor economía del productor (Marten et al., 1988).

Según menciona Delgado (2015), los estados fenológicos de alfalfa se describe de la siguiente manera, etapa vegetativa y reproductiva, cada etapa con varios eventos de cambios fenológicos.

Emergencia. Fecha en la que los cotiledones aparecen por primera vez sobre la superficie terrestre (germinación epigea). Este evento se presenta de 4 a 5 días después de la siembra. La fase de aparición de las hojas trifoliadas, ramificación y elongación del tallo solo se nota en la etapa vegetativa, luego viene la etapa reproductiva.

Botón floral. En este estado aparecen las primeras botones florales.

Floración. Aparecen las primeras flores.

Maduración. Se registra la fecha de corte en la alfalfa para uso alimentario; si el objetivo es la generación de semillas, la madurez fisiológica está indicada por el oscurecimiento de las vainas.

Tabla 1.1*Estados fenológicos de la alfalfa*

Estados fenológicos	características
Rebrote	Aparición de la primera hasta quinta o sexta hoja trifoliar.
Inicio de elongación	Desde el alargamiento de las primeras yemas de la corona hasta elongación de los primeros tallos.
Botones florales	Cuando el 1/3 de los tallos presentan botones o primarios florales.
Inicio de floración	Cuando 30% de los botones florales presentan pétalos abiertos.
Plena floración	Cuando el 80% de los botones florales presentan pétalos abiertos.
Formación de vainas	Cuando el 1/3 de las inflorescencias presentan los pétalos secos con desprendimiento de las mínimas.
Llenado de vainas	Cuando el 1/3 de las inflorescencias de la parte inferior muestra vainas o caracoles de color pardo.
Grano lechoso de semilla	Cuando el 1/3 de las inflorescencias presentan semillas con grano lechoso.
Grano pastoso de la semilla	Cuando el 80% de las inflorescencias presentan semillas con grano pastoso.
semillero	Cuando el 1/3 de las inflorescencias presentan semillas maduras.

Fuente: Durand et al (2008)

1.3. Rol del fósforo y azufre en la producción de alfalfa

1.3.1. Fósforo

Procede solo de la descomposición de la roca madre, representa aproximadamente el 0.1% de la corteza terrestre, gran mayor parte de fósforo no es aprovechable debido a su insolubilidad, se estima que solo el 0.1 a 1ppm expresado en forma de P_2O_5 es aprovechable en el suelo. En suelos ácidos, el hierro y aluminio precipitan al P y mientras en suelos de pH altos (alcalinos) precipitan con calcio (Navarro & Navarro, 2003).

Las leguminosas requieren alrededor de un 50 por ciento más de P que las gramíneas para una fijación óptima de N, una producción saludable y una longevidad de la plantación, aunque la cantidad de P eliminada por tonelada es aproximadamente la misma para la alfalfa y la gramínea. La cantidad adicional de P requerida por las leguminosas sobre las gramíneas aumenta a medida que disminuye el nivel de P del suelo. Es más probable que el forraje responda a P adicional cuando los niveles del suelo son bajos. No se pierde en las aguas subterráneas ni en la atmósfera de la misma manera que el nitrógeno, una sola aplicación grande

de P puede proporcionar cultivos durante varios años, incluso en suelos calcáreos, esto permite a los productores aumentar los niveles de fósforo del suelo (Olson y Jones, 2015). La alfalfa extrae cantidades variables de nutrientes para su crecimiento y desarrollo de acuerdo a los niveles de producción, los cuales son absorbidos en distintas formas y proporciones, de manera que exista un equilibrio entre ellos. La interrelación entre nutrientes se manifiesta cuando el exceso o deficiencia de uno de ellos limita o condiciona la utilización de otros por la planta.

1.3.1.1. Absorción y transporte de fósforo. La planta absorbe a través de los pelos de la raíz y la capa exterior de células de la punta de la raíz. Las plantas absorben el P principalmente en forma de ion ortofosfato primario ($H_2PO_4^-$), pero también en forma de ion fosfato secundario (HPO_4^{2-}), donde la absorción de esta última aumenta con el incremento del pH. Una vez en las raíces, el P puede seguir almacenándose en esta zona o puede transportarse a la parte superior de la planta. A través de diversas reacciones químicas, el P se incorpora a compuestos orgánicos como ácidos nucleicos (ADN y ARN), fosfoproteínas, fosfolípidos, enzimas y compuestos de fosfato ricos en energía como el trifosfato de adenosina (ATF). El P se mueve en las plantas como iones ortofosfato y como P presente en los compuestos orgánicos formados. De esta forma, el P se traslada a otras partes de la planta donde estará disponible para reacciones posteriores (Pérez, 2017).

Tabla 1.2.

Rango de concentraciones críticas de nutrientes para tejido vegetal de alfalfa (solo para las hojas del tercio superior de la planta, con un brote al 10 % de floración).

Elemento (unidades)	Rango de concentración de nutrientes
Fósforo (P)	0.25-0.70
Azufre (S)	2.00-3.50

Nota. Olson y Jones (2015).

1.3.1.2. Esencialidad del fósforo como nutriente. El fósforo es necesario para la productividad, calidad y longevidad de la alfalfa. El cultivo requiere una cantidad importante de fosfato. El P no puede ser reemplazado por otros nutrientes y es esencial para la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento y transferencia de energía, la división y el crecimiento celular y otras funciones de las plantas. El P es indispensable para completar su ciclo de producción

habitual. También acelera el desarrollo y crecimiento de las raíces. El P aumenta la calidad del forraje y es necesario para el desarrollo de las semillas; también juega un papel en la transmisión de rasgos genéticos de una generación a la siguiente (Munera y Meza, 2014). Generalmente, las leguminosas tienen alta demanda de fósforo en su nutrición, así como poseen distintas estrategias de movilización fisiológica de este elemento (Hu et al., 2023).

Según Munera y Meza (2014), las funciones del fósforo se mencionan a continuación:

- El P ayuda a las raíces y a las plántulas a desarrollarse rápidamente.
- Permite soportar inviernos rigurosos
- Aumenta la eficiencia del uso del agua.
- Acelera la madurez, lo cual es importante para la cosecha y para la calidad del cultivo.
- Contribuye a aumentar la resistencia a las enfermedades en algunas plantas.
- Es indispensable para la transferencia de energía en células vivas, y en la fotosíntesis de las plantas. Entre muchas otras virtudes.

Tabla 1.3.

Cantidad de extracción de fósforo por diferentes cultivos.

Cultivo	Rendimiento (toneladas)	Absorción de P ₂ O ₅ en todo el cultivo (kg)
Alfalfa	18	134
Café	2.1	12
Frijol	2	15
Maíz	10	102
Algodón (fibra)	1.1	57
Maní	4.5	45
Arroz	7.8	67
Soya	4.0	65
Caña de azúcar	112	112
Tomates	90	97
Trigo	4.0	46

Nota. Munera y Meza (2014).

1.3.1.3. El fósforo en alfalfa. Según Toniutti y Fornasero (2020), al evaluar el efecto de la inoculación con *Ensifer meliloti* (rizobio) y la fertilización con 0, 20 y 40 kg/ha de fósforo sobre la nodulación y productividad de una pastura de alfalfa. La inoculación y la aplicación de dosis crecientes de fósforo aumentaron el número de nódulos, biomasa nodular y la producción del forraje de las plantas. Por lo tanto, la adición de la cepa de rizobio utilizada como inoculante y la fertilización fosfatada constituyen una estrategia favorable para incrementar la producción de alfalfa, siendo indispensable la fertilización fosforada.

Por otro lado, Montemayor et al. (2012), realizaron un estudio con el objetivo de evaluar la producción de materia seca (MS) y la eficiencia y consumo del agua en el cultivo de alfalfa con cuatro dosis de fósforo (P) inyectados a través del sistema de riego subsuperficial. Las inyecciones de fósforo aplicadas después de cada corte incrementan la producción de materia seca de forraje hasta 36% más con respecto a la no aplicación de este elemento. Con los modelos de producción de materia seca, estimaron las tasas de producción de 77 a 116 kg/ha/día dependiendo de las unidades de fósforo aplicadas.

Quiñonez et al. (2008), realizaron una investigación con el objetivo de evaluar el efecto de la fertilización con P y S sobre la producción de materia seca de alfalfa durante 2 años. Esta investigación se dispuso en un diseño de Bloques Completos Randomizado, con cuatro repeticiones y cuatro tratamientos (T0: sin fertilizante, T1: 200 kg ha⁻¹ de superfosfato triple, T3: 140 kg ha⁻¹ de Sulfato de calcio y T2: T3 + T1). Como resultado, determinaron que hubo diferencias significativas entre tratamientos con un comportamiento distinto entre el primer y segundo año. En el primero, el tratamiento T2 incrementó significativamente la producción de materia seca; en el segundo, T1 y T2 la aumentaron significativamente. La producción total materia seca de los dos años fue incrementada significativamente con T1 y T2.

1.3.1.4. Superfosfato triple de calcio (SFT). Este fertilizante contiene entre 43 y 46% de P₂O₅ soluble en agua, hoy en día gradualmente a desplazado al superfosfato simple en muchos países del mundo. Este fertilizante puede mezclarse con otras fuentes como: sulfato de potasio, cloruro de potasio y urea de liberación controlada, etc. (Navarro y Navarro, 2014). El (SFT) Es el fertilizante fosfatado de mayor concentración disponible, con 44% a 48% de P₂O₅ y 40% a 45% de P₂O₅ soluble en agua. Posee compatibilidad limitada en mezcla con Urea Granulada.

Tabla 1.4.

Características de superfosfato triple de calcio

Características	Valores
Fósforo soluble en agua (% P ₂ O ₅)	42.8
Fósforo disponible (%P ₂ O ₅)	48.1
Fósforo total (%P ₂ O ₅)	51.5%
Calcio total (%CaO)	2.9
Azufre (%CaSO ₄)	1.0
% humedad	-.-

Nota. (Navarro & Navarro, 2014).

1.3.2. Azufre (S)

El azufre es uno de los elementos esenciales para la nutrición de las plantas, el azufre es uno de ellos. Este es uno de los elementos más abundantes en la Tierra y se encuentra en el suelo en dos formas: orgánica e inorgánica (Cánepa y Trémols, 2015).

El azufre forma parte de algunos aminoácidos, cofactores metálicos, coenzimas y metabolitos secundarios. Tanto en leguminosas como en no leguminosas, la falta de azufre reduce el crecimiento de las plantas, la fotosíntesis y la producción de semillas. En las leguminosas noduladas, el suministro de azufre está relacionado positivamente con la fijación simbiótica de nitrógeno (FSN) y la falta de azufre provoca tres efectos principales adicionales: disminución de la nodulación, inhibición de FSN y ralentización del metabolismo de los nódulos. Estos efectos se deben al deterioro de la biosíntesis y actividad de la nitrogenasa, la acumulación de aminoácidos ricos en nitrógeno y la disminución de la hemoglobina, ferredoxina, ATP y glucosa en los nódulos (Becaña et al., 2018).

1.3.2.1. Dinámica de absorción y asimilación de azufre. La absorción y asimilación de azufre por parte de las plantas implica cuatro pasos: absorción, mineralización, oxidación y reducción. Bacterias especializadas mineralizan los restos de plantas y restos de animales en el suelo; este proceso produce azufre inorgánico en forma de proteínas, péptidos y otras moléculas que se

despolimerizan para crear aminoácidos, liberando SH₂ y sulfuro de dimetilo en condiciones anaeróbicas. La absorción de sulfato por las raíces es un proceso metabólico ayudado por proteínas de transporte. También interviene un grupo de microorganismos del suelo, entre ellos especies bacterianas del género Thiobacillus, que adquieren energía mediante la oxidación aeróbica de elementos inorgánicos. En este caso, el S se convierte en dióxido de azufre y el sulfuro, de hidrógeno de la mineralización de restos de plantas y animales en la superficie del suelo, se convierte en sulfato (SO₄=). El proceso de oxidación también produce sustancias químicas adicionales como H₂SO₄, y ocasionalmente se emplea para reducir el pH de suelos alcalinos. Luego, este sulfato (forma soluble de azufre) se incorpora a las plantas a través del proceso de reducción de la asimilación de azufre en los cloroplastos, que depende completamente de la luz (Cánepa y Trémols, 2015).

1.3.2.2. El azufre en la agricultura. El azufre es necesario para la fijación de N por las leguminosas, el uso óptimo de N en las no leguminosas y la producción de proteínas. Por lo tanto, una mala nutrición S puede conducir a bajos rendimientos, contenido de proteína del forraje y digestibilidad. Debido a que S ayuda a convertir el nitrato en proteína, las adiciones de S pueden ayudar a disminuir las concentraciones de nitrato en el forraje. El estado del S de la planta se evalúa mejor analizando el tejido vegetal u observando los síntomas de déficit de nutrientes. Dado que tanto S como N son necesarios para producir proteína, la relación N:S también es un indicador potencial del estado de S de la planta, pero solo si N es suficiente. Las gramíneas pueden ser deficientes en S en una relación N:S mayor que 15:1, mientras que la alfalfa es deficiente en S en proporciones N:S superiores a 17:1 (Olson y Jones, 2015).

1.3.2.3. Síntomas de deficiencia de azufre en plantas. La escasez de azufre es poco común porque las plantas lo toman de la atmósfera. Los síntomas de su insuficiencia son sencillos de identificar: Plantas con coloración amarillenta uniforme o clorosis, maduración tardía, fotosíntesis reducida y fijación de nitrógeno reducida. La maduración se retrasa, la fotosíntesis se ralentiza, niveles bajos de clorofila y las actividades metabólicas se alteran cuando el contenido de azufre es bajo. Esta forma de estrés promueve un retraso en el crecimiento de las plantas, lo que resulta en debilidad estructural y resultados cortos e insatisfactorios. Otras implicaciones de privación incluyen el crecimiento prematuro de las yemas laterales, la maduración tardía de los cultivos y la mala calidad del alimento. Como resultado, este elemento es fundamental para el crecimiento y la productividad de los cultivos (Cánepa y Trémols, 2015).

1.3.2.4. Azufre en el cultivo de alfalfa. Divito y Sadras (2014) quienes realizaron un estudio que tuvo por objetivo estudiar el efecto de la disponibilidad de P, K y S en el crecimiento de las leguminosas y en la FBN. En conclusión, mediante el análisis determinaron que la deficiencia de P, K y S reduce el crecimiento y número de nódulos en mayor medida que el crecimiento de la biomasa aérea, permitiendo clarificar algunas controversias referidas al efecto del P sobre el número de nódulos. Además, fue posible determinar que la actividad de los nódulos disminuye en mayor medida que la biomasa aérea y la masa de nódulos, lo que indica que se producen descensos en la productividad de los nódulos.

Vivas et al. (2010) estudiaron los efectos simples de la fertilización con fósforo, azufre y calcio y sus interacciones, sobre la producción de alfalfa. Se encontró un efecto independiente del P, S y Ca sobre la producción de alfalfa; de manera que, el S presentó las diferencias más notables registrando aumentos del 11% hasta el 31% por sobre los correspondientes testigos y con respuesta lineal significativa. Por lo que, para producir alfalfa es indefectible la fertilización con P y S.

La acidez del suelo con nivel de pH (demasiado) alto en el suelo o sustrato, lo que significa que la planta tiene que poner más esfuerzo en la absorción del azufre. Una concentración de calcio (demasiada) alta en el suelo o el sustrato, lo que provoca una obstrucción para la ingesta de azufre, mayor absorción ocurre a partir de un pH 6 como se puede observar en la figura siguiente.

Figura 3

Disponibilidad de nutrientes para las plantas de acuerdo a su pH.

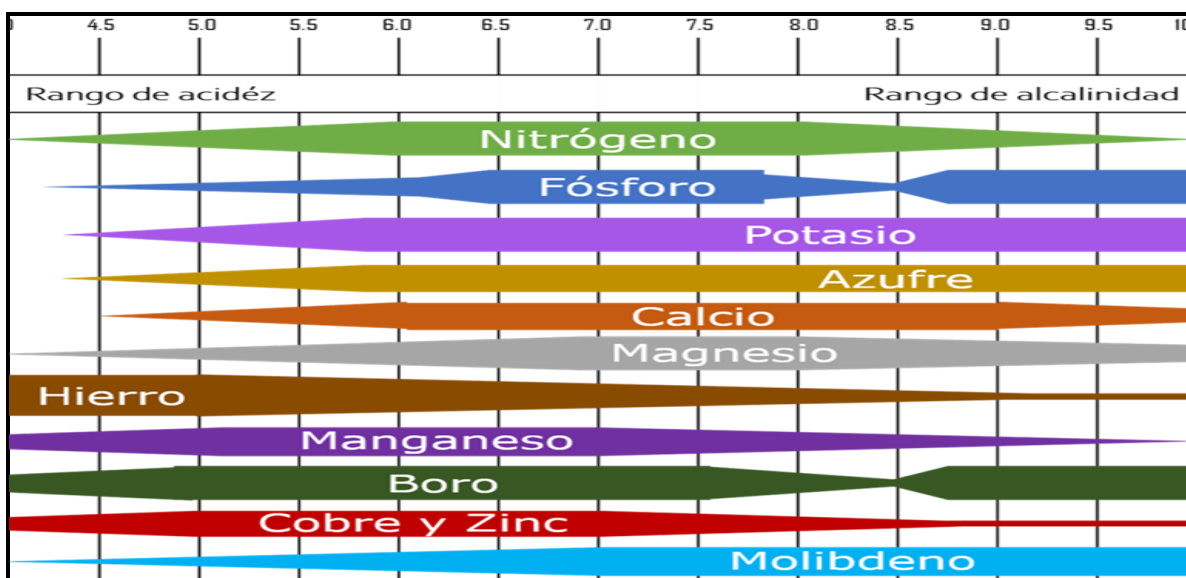


Tabla 1.5.

Condiciones que limitan la disponibilidad de P y S, su movilidad en el suelo y causas comunes de pérdida de nutrientes disponibles en los sistemas de producción.

Nutriente	Condiciones limitantes	Movilidad en el suelo	Causas de la pérdida de nutrientes
Fósforo (P)	Suelos fríos, secos, erosionados, arenosos, altos en calcio pH < 6 o pH > 7.5	Inmóvil	Erosión, unión con calcio, aluminio o hierro.
Azufre (S)	Suelos fríos, gruesos, ácidos, bajos en materia orgánica, suelos erosionados.	Móvil	Lixiviación, unión al calcio.

Nota. Olson y Jones (2015).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Ubicación del estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en el Centro Experimental Canaán, Escuela Profesional de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, 2750 m.s.n.m.

2.1.1 Ubicación política

Departamento : Ayacucho
Provincia : Huamanga
Distrito : Andrés Avelino Cáceres Dorregaray
Localidad : Canaán

2.1.2 Ubicación geográfica

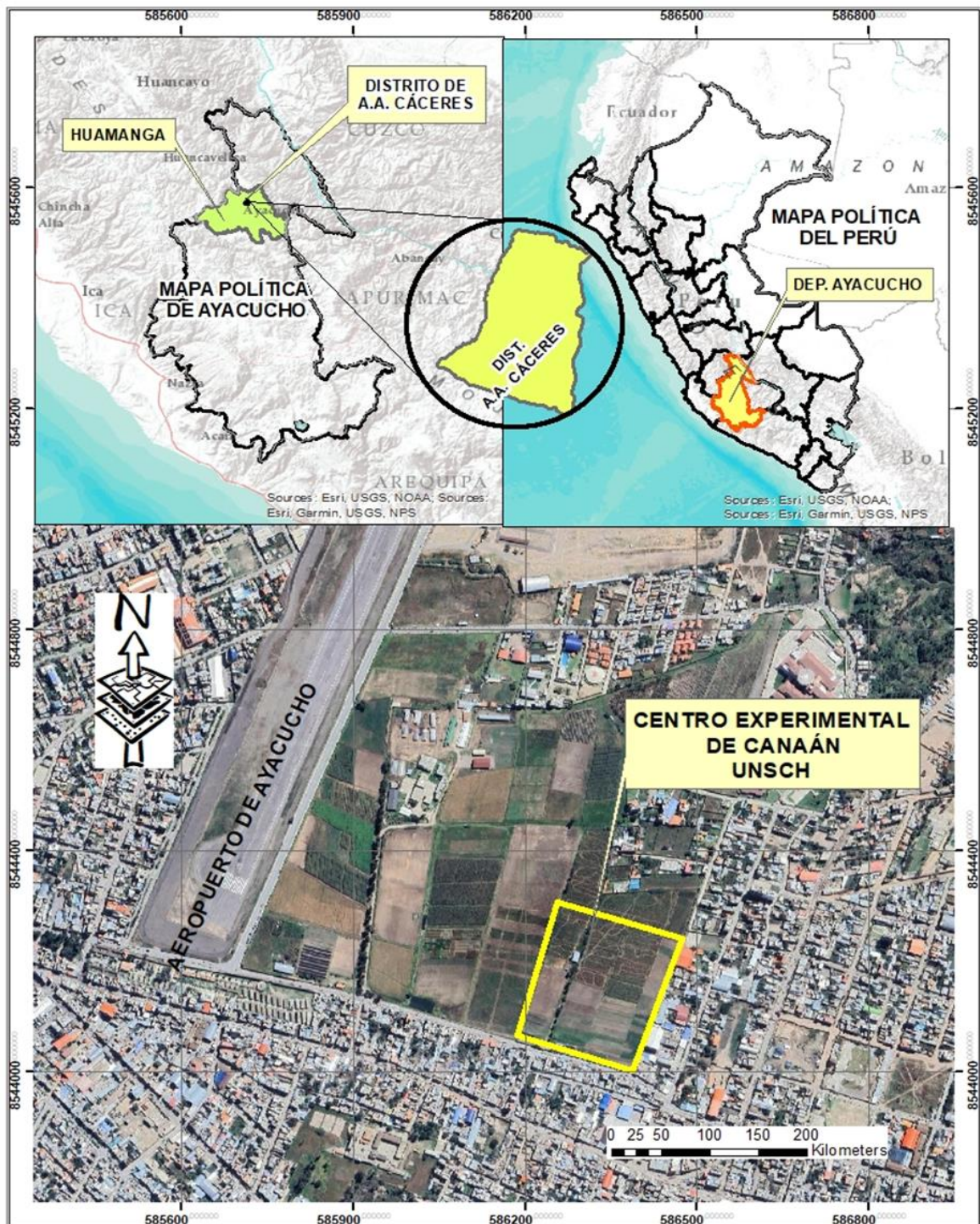
Latitud : 13° 9'20.85"S
Longitud : 74° 13'12.72"O
Altitud : 2750 m.s.n.m.
Región natural : Región quechua

2.1.3 Ubicación ecológica

Según la clasificación de zonas de vida por Holdridge, el Centro Experimental Canaán está ubicado dentro de la zona de vida estepa espinoso – Montano Bajo Subtropical (ee-MBS), que se ubica entre 2000 a 3100 msnm. La mayor concentración de cultivos se encuentra en esta zona.

Figura 2.1.

Mapa de ubicación de Centro experimental de Canaán, realizado en ArcGIS 10.8 a partir de las cartas nacionales de MINEDU.



2.2 Condiciones climáticas

La precipitación acumulada anual en el Centro Experimental Canaán es de 553 mm, sin embargo, el déficit de precipitación se presenta desde el mes de julio al mes de noviembre; la temperatura máxima promedio es de 23.9 °C y la temperatura mínima mensual promedio es de 6.6 °C. En el mes de julio, los registros se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2.1.

Balance hídrico según las condiciones climáticas correspondientes al C. E. Canaán, según los datos de estación de INIA-CANAÁN.

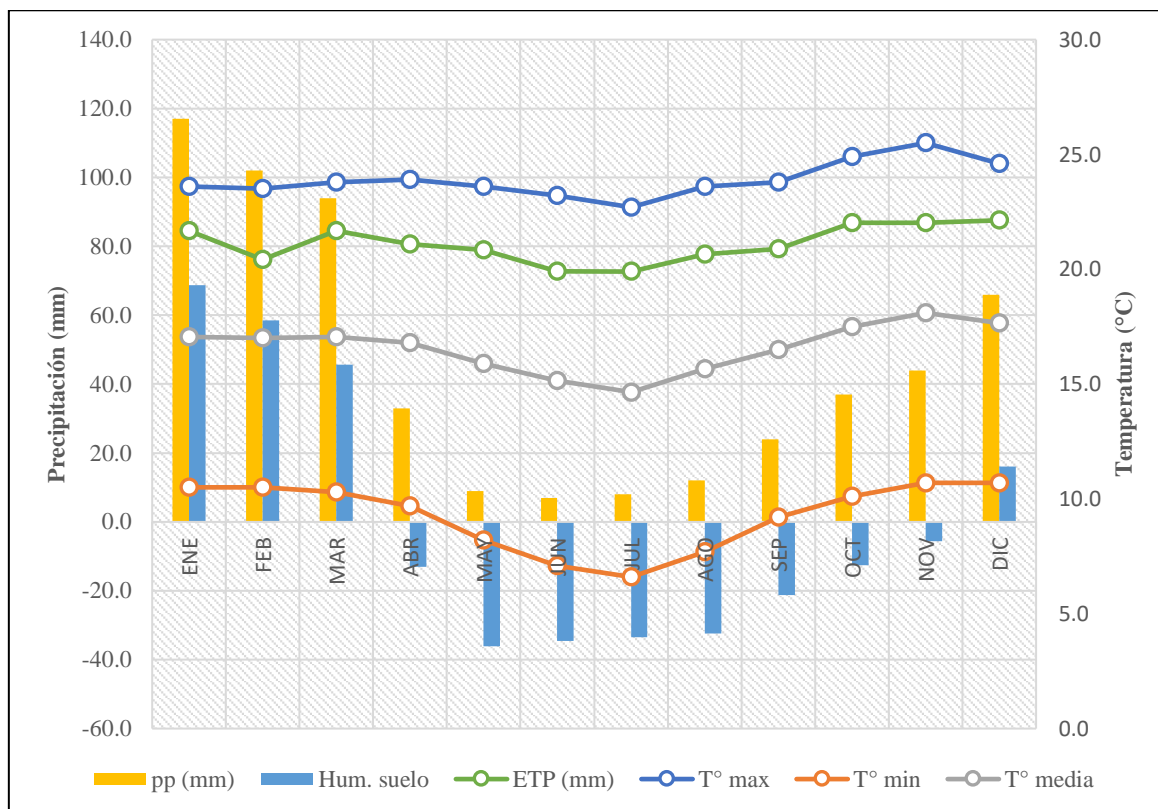
ESTACIÓN : INIA-CANAÁN		DISTRITO : AYACUCHO		ALTITUD : 2735 msnm									
		PROVINCIA : HUAMANGA		LATITUD : 13° 10' 00.06" S									
		DEPARTAMENTO : AYACUCHO		LONGITUD : 74° 12' 22.92" W									
DESCRIPCIÓN	UNID	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Días		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
T° max. Media mensual	°C	23.6	23.5	23.8	23.9	23.6	23.2	22.7	23.6	23.8	24.9	25.5	24.6
T° min. Media mensual	°C	10.5	10.5	10.3	9.7	8.2	7.1	6.6	7.7	9.2	10.1	10.7	10.7
T° media mensual	°C	17.1	17.0	17.1	16.8	15.9	15.2	14.7	15.7	16.5	17.5	18.1	17.7
Factor de multiplicacion		4.96	4.48	4.96	4.80	4.96	4.80	4.96	4.96	4.80	4.96	4.80	4.96
ETP	mm	84.57	76.16	84.57	80.64	78.86	72.72	72.66	77.62	79.20	86.80	86.88	87.54
Precipitación	mm	117.0	102.0	94.0	33.0	9.0	7.0	8.0	12.0	24.0	37.0	44.0	66.0
ETP ajustado	mm	48.30	43.50	48.30	46.06	45.04	41.53	41.50	44.33	45.23	49.58	49.62	50.00
Humedad del suelo	mm	68.70	58.50	45.70	-13.06	-36.04	-34.53	-33.50	-32.33	-21.23	-12.58	-5.62	16.00
Exceso	mm	68.70	58.50	45.70									16.00
Déficit	mm				-13.1	-36.04	-34.53	-33.5	-32.3	-21.2	-12.58	-5.62	

Nota. Los datos meteorológicos corresponden al promedio de los años 2022 y 2023.

En la Figura 1.2 se muestra el climograma referente al centro experimental de Canaán, UNSCH. En la que se observa que los picos más altos de temperatura se alcanzan en los meses de octubre (24.9 °C) y noviembre (25.5°C), mientras los picos más bajos se muestran en los meses de junio (6.6 °C). La precipitación más alta se alcanza en el mes de enero (117.0 mm) y la mínima en el mes de junio (7.0 mm).

Figura 2.2.

Climograma del Centro Experimental Canaán



Nota. Climograma construido a partir de la Tabla 2.1.

2.3 Antecedentes del terreno experimental

El historial del terreno experimental antes de la instalación del trabajo de investigación en campo anterior estuvo ocupado por el cultivo de papa campaña chica, luego avena. Dicho terreno presenta una pendiente ligera de 1 – 3 %, por lo cual se considera terreno llano.

2.3.1. Características fisicoquímicas del suelo

Según los reportes del laboratorio de suelos del PIPG, la materia orgánica está considerada de contenido medio (2.82%), fósforo 33.2 ppm alto y potasio 67.6 ppm bajo, Textura franco arcilloso arenoso (Arena = 51.7%, limo = 21.9% y arcilla = 26.4%). Según el cálculo del porcentaje de saturación del sodio intercambiable (PSI) el reporte es de 1.74% (suelo normal). El suelo tiene origen volcánico con una capa en su perfil de 30 a 35 cm debajo presenta capas carbonatadas, el pH del suelo es cercano a la neutralidad de 7.84, apto para la instalación de alfalfa.

Tabla 2.2.*Resultados de análisis del suelo experimental*

Descripción	Valores	Unidad	Interpretación
pH	7.84	-.-	Ligeramente alcalino
C.E.	0.73	dS/m	Normal
CO ₃ ⁼	0.0	%	Normal
MO	2.82	%	Medio
P	33.2	ppm	Muy alto
K	67.6	ppm	Bajo
CICe	16.11	Cmol(+)/kg	Medio
Nt	0.14	%	Medio
Textura	-.-	-.-	Franco arcilloso arenoso
<u>Cationes cambiables</u>			
Ca ⁺⁺	11.4	Cmol(+)/kg	Alto
Mg ⁺⁺	4.08	Cmol(+)/kg	Alto
K ⁺	0.35	Cmol(+)/kg	Medio
Na ⁺	0.28	Cmol(+)/kg	Bajo

Nota. Análisis realizado en Laboratorio de suelos y análisis foliar, Programa de Investigación en Pastos y Ganadería UNSCH.

2.4 Procedimiento metodológico

2.4.1 Material biológico

Se utilizó semillas certificada de alfalfa de una variedad nueva Alfamaster con dormancia 10 el cual fue adquirido de la tienda agropecuaria en la ciudad de Huamanga.

2.4.2 Diseño experimental

Este trabajo de investigación se instaló utilizando el Diseño Completo al Azar (DCA) factorial de 2P x 2S (P: fósforo y S: azufre), con 4 tratamientos, 3 repeticiones y un total de 12 unidades experimentales (parcelas). La unidad experimental (UE) estuvo conformada por una parcela de 90 m² delimitada.

Para el análisis de interpretación de los diferentes cortes se utilizó el Diseño de Parcelas Divididas correspondiéndole a los diferentes niveles de fertilización, la ubicación en parcelas grandes y los diferentes cortes en las sub - parcelas.

Modelo aditivo lineal (diseño parcelas divididas)

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \alpha_i + \epsilon(\alpha)_{ik} + \delta_j + \alpha\delta_{(ij)} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Observación en la unidad experimental

μ = Efecto medio, parámetro

β_k = Efecto del k-ésimo bloque, parámetro

α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor α , Variedades (parcelas)

$\epsilon(\alpha)_{ik}$ = Error del i-ésimo nivel del factor α , perteneciente al k-ésimo bloque, Parcelas.

δ_j = Efecto de j-ésimo nivel del factor δ , Cortes (sub-parcelas)

$\alpha\delta_{(ij)}$ = Efecto de la interacción, Variedades x Cortes

ϵ_{ijk} = Error experimental de la sub parcela

2.4.2 Análisis estadístico

Los resultados cuantitativos se procesaron mediante Análisis de Variancia (ANVA, $\alpha=0.05$), la prueba de comparación de medias Tukey (0,05), correlación de todos los variables evaluados. Todo análisis se realizó mediante el InfoStat y Excel para gráficos.

2.4.3 Tratamientos

Para el presente estudio, los tratamientos que se utilizó fueron dos elementos importantes: Fósforo y Azufre en alfalfa variedad Alfamaster sometida a un riego presurizado por goteo

superficial. Para suministrar el P y S se utilizó fuentes de superfosfato triple de calcio (0N -46 P₂O₅ - 0K₂O - 21CaO) y flor de azufre (100 kg ha⁻¹).

Tabla 2.3.

Combinación de los tratamientos para este trabajo de investigación, en condiciones de Canaán, 2750 msnm, Ayacucho.

Tratamientos	Código	Descripción
T1	T	(0 kg/ha SFTca) x (0 kg/ha Flor de azufre)
T2	P	(220 kg/ha SFTca) x (0 kg/ha Flor de azufre)
T3	S	(0 kg/ha SFTca) x (100 kg/ha Flor de azufre)
T4	PS	(220 kg/ha SFTca) x (100 kg/ha Flor de azufre)

Nota. SFTca: superfosfato triple de calcio, T: testigo, P: fósforo solo, S: azufre solo y PS. fósforo + azufre

Tabla 2.4.

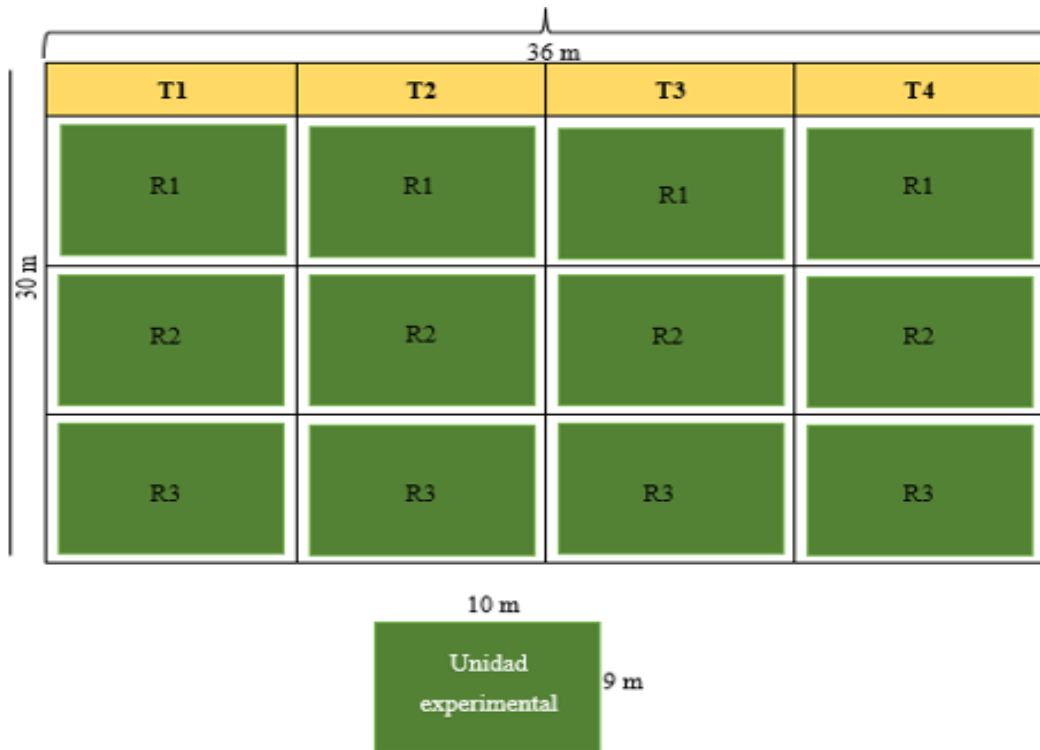
Características del diseño experimental DCR

Descripción	Unidad	Medida
Ancho de UE	m	9.0
Largo de la UE	m	10.0
Área de la UE	m ³	90.0
Ancho del camino	m	0.40
Número total de UE	Unidades	12.0
Área total del diseño	m ³	1 080
Cantidad total de semilla empleada	kg	2.7
Cantidad de semilla empleada por UE	g	225

En la Figura 1.3 se muestra el esquema del diseño experimental y la aleatorización de los tratamientos.

Figura 2.3.

Esquematación y dimensiones de las unidades experimentales



2.4.4. Materiales y equipos utilizados

Lampas

Estufa

Flexómetro

Mantas

Bolsas de papel

Hoz (segadera)

Cintas de riego

Cuaderno de campo

Cámara fotográfica

Rastrillo.

Semillas

Fertilizantes.

2.5 Instalación y conducción del experimento

2.5.1 Preparación del terreno

Aradura. La roturación del terreno se realizó utilizando un tractor agrícola. Esto permitió remover el suelo a una profundidad de 30 a 35 cm esta actividad permite darle soltura al suelo, facilitando la infiltración y drenaje del agua, la circulación del aire, permite también una mejor implantación del sistema radicular del cultivo.

Mullido y nivelación del terreno. Consistió en mullir o pulverizar y nivelar la capa superficial del suelo, logrando la uniformidad superficial y en cuanto a la profundidad de siembra, esta actividad se realizó en forma manual con ayuda de herramienta (pico y rastrillo).

Marcación del campo. Se realizó el marcado del campo experimental de acuerdo al diseño estadístico y croquis establecido previamente. Se delimitó el terreno en bloques, calles y los bordes con la ayuda de winchas, cordeles, yeso y estacas.

2.5.2 Siembra

La siembra se realizó en forma directa a chorro continuo en surcos con distanciamiento de 20 cm entre líneas. Esta labor se llevó a cabo en el campo experimental ya preparado. Al final de la distribución, la semilla fue enterrada uniformemente. La densidad de siembra fue de 15 kg ha⁻¹ con semillas de la variedad Alfamaster. El tapado de las semillas se realizó con ramas enterrando la semilla al doble de su tamaño. La siembra se realizó el 15 de setiembre del 2022.

2.5.3 Fertilización

La fertilización se realizó antes de la siembra, lo cual consistió en aplicar en forma de chorro continuo en los surcos preparados. La dosificación para cada tratamiento se detalla a continuación en la Tabla 2.5, donde los cálculos se realizaron en base del área de cada unidad experimental, 90 m². Los fertilizantes se aplicaron una sola vez durante la siembra luego fueron tapados con una capa delgada del suelo a fin de evitar el contacto directo con la semilla.

Tabla 2.5.

Cálculos para la dosificación de los fertilizantes para cada tratamiento

Tratamientos	Fertilizantes (kg ha ⁻¹)		Fertilizantes (kg/UE)		Total (kg/UE)
	SFTca	Flor de azufre	SFTca	Flor de azufre	
T1	0	0	0.00	0.00	0.00
T2	220	0	1.98	0.00	1.98
T3	0	100	0.00	0.90	0.90
T4	220	100	1.98	0.90	2.88

2.5.4. Riego

El riego empleado fue por goteo superficial. Una vez terminada la siembra se regó todas las parcelas. Esta actividad se realizó con una frecuencia de riego 2 a 3 veces por semana en el proceso de implantación del cultivo, evitando la saturación del suelo, una vez implantada el cultivo se estableció una frecuencia de riego semanal en épocas de estiaje.

2.5.5. Control de arvenses

El control de malezas se realizó a una semana de su instalación en forma mecánica con pico pequeño en los espacios de los surcos, los siguientes controles se realizaron después del corte de acuerdo a su persistencia de las malezas, las más persistentes fueron el *Pennisetum clandestinum* (kikuyo) por el borde de las parcelas y *Bidens pilosa* (sillcao) y otros, evitando la competencia en absorción de agua, nutrientes, radiación solar, quedando el campo libre de malezas que facilitó el corte.

2.5.6. Control fitosanitario

Esta actividad de manejo en control fitosanitario no se realizó, en la época lluviosa se observó la presencia de algunas enfermedades con poca incidencia, no se aplicaron ningún tipo de productos químicos ni naturales.

2.6. Evaluación de los factores de productividad

2.6.1. Fases fenológicas de establecimiento

Después de haber realizado la siembra, riego, se inició con las observaciones de campo, registros de emergencia, registro de eventos de cambios fenológicos en la etapa vegetativa, aparición de botón floral, inicio de floración en la etapa reproductiva del cultivo considerando el tiempo transcurrido en cada evento (número de días transcurridos), estos registros involucran los cambios de eventos y tiempo de ocurrencia hasta el primer corte, luego del primer corte los ciclos de los eventos son cortos.

2.6.2. Altura de planta

Se midió el tamaño de las plantas por cada unidad experimental con la ayuda de un flexómetro. Esta medida se realizó tomando una altura referencial de aproximadamente 4 a 5 cm de altura del suelo hasta la mayoría de las yemas apicales de los tallos de la planta, dicha medición se realizó en varios puntos al azar en la misma hilera o línea, sin estirar el tallo. Esta actividad se realizó previo al corte.

2.6.3. Rendimiento de forraje verde

Para la estimación del rendimiento forrajero en biomasa fresca (kg ha^{-1}), los cortes se realizaron en forma aleatoria en cada unidad experimental con tres replicas en cada una de ellas se tomó muestra por metro lineal, cada muestra se identificó con etiquetas respectivas, estas muestras tomadas de inmediato se llevaron al laboratorio del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería, para el control de los pesos respectivos de forraje verde, luego se estimó el rendimiento por hectárea.

2.6.4. Rendimiento de materia seca

Para obtener el rendimiento en materia seca (MS) en kg ha^{-1} , se utilizó las muestras que sirvieron para estimar materia verde. Se tomó una muestra representativa y se procedió a picar los tallos y las hojas en partículas pequeñas. Luego se pesó 100 g de forraje fresco picado por cada unidad experimental, y fueron colocadas en bolsas de papel. Estos fueron llevados a la estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un tiempo de 24 horas hasta obtener un peso constante, seguidamente se procedió a tomar los pesos en una balanza analítica.

2.6.5. Frecuencia de cortes por año

Los cortes se realizaron cuando el estado fenológico de la alfalfa estuvo en el 10% de floración, tomando en consideración la recomendación de muchos autores para el corte o pastoreo del cultivo de alfalfa, coincidiendo en este caso con la presencia de rebrotes basales a una altura de 4 a 5 cm sobre el nivel del suelo. Los cortes fueron registrados durante el periodo de evaluación del trabajo que duro un tiempo de 416 días de evaluación (1 año y 2 meses).

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

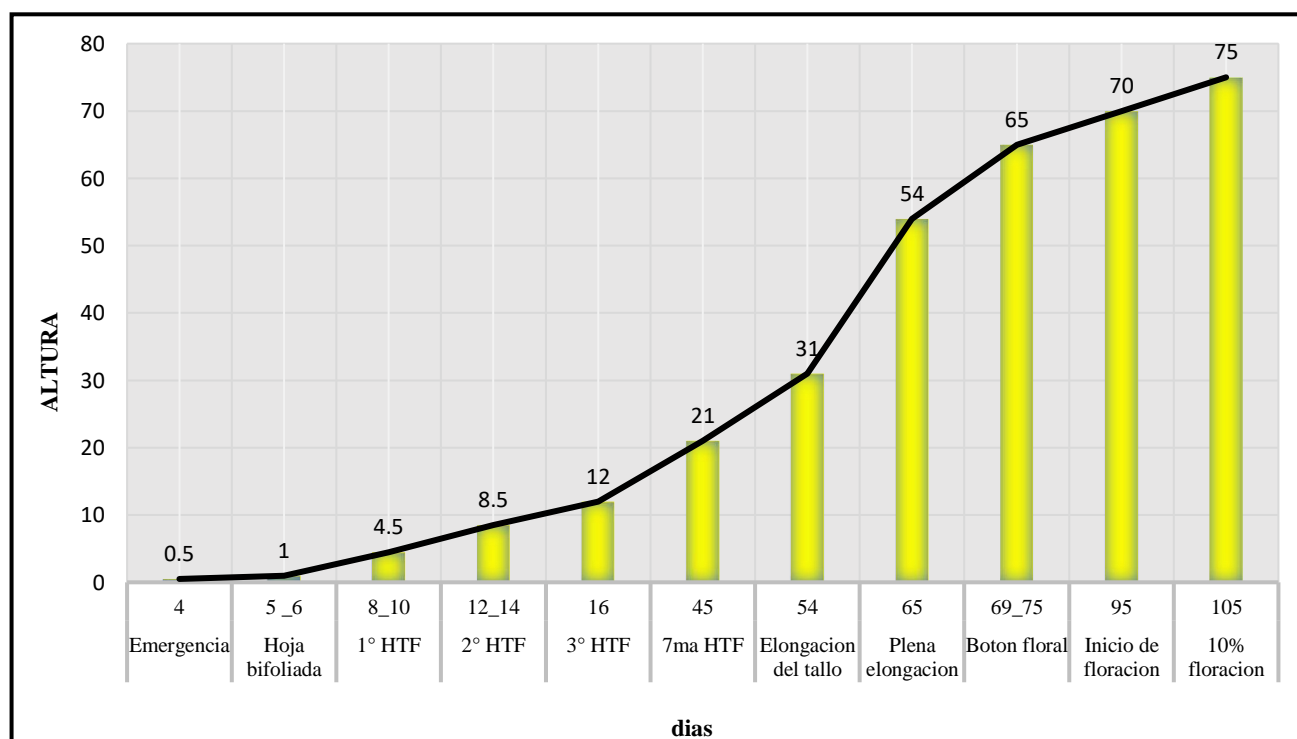
3.1 Fenología de la planta

3.1.1. Fases fenológicas desde la emergencia al primer corte

Se evaluó las fases de cambios fenológicos de las plantas en la fase de establecimiento, desde su emergencia hasta el primer corte al 10% de floración, para el presente estudio presento un tiempo transcurrido de 105 días desde la emergencia al primer corte pasando por varios eventos fenológicos, como se indica en la figura 3.1, la curva de crecimiento muestra la tendencia clásica sigmoidea, según transcurre el tiempo en su proceso de implantación se dan las etapas vegetativa y reproductiva y sus cambios morfológicos.

Figura 3.1.

Fases fenológicas de establecimiento según transcurre los días hasta el corte, Canaán 2750 msnm



Según la figura 3.1, observamos las fases fenológicas en el proceso de establecimiento del cultivo de alfalfa hasta el primer corte, (crecimiento y desarrollo), observamos que a los 4 días fue la emergencia con una altura de 0.5 cm, a los 5-6 días se observa la hoja bifoliada con una altura de 1 cm el periodo de aparición de las hojas trifoliadas tuvo un periodo desde 8 a 45 días hasta la aparición de la séptima hoja trifoliada respectivamente, la fase de botón floral tuvo un periodo de tiempo transcurrido desde la emergencia de 69 a 75 días, a los 95 días se aprecia el inicio de floración, hasta alcanzar el 10% de floración transcurrió 105 días, para cada fase se tomó las alturas correspondientes figura 3.1, realizando el primer corte. María Bombillane (2014) reporta sobre la aparición de hojas trifoliadas en el tiempo (dds) durante el periodo comprendido entre los 10 y 55 días de la siembra; Ponbosa (2016) al evaluar las etapas fenológicas del cultivo de Alfalfa (*Medicago sativa*) var. Morada paisana fue que en la etapa inicial duró 21 días, 58 días en la etapa de desarrollo, 55 días en la etapa intermedia. Dando como resultado que el desarrollo de la planta hasta su primer corte transcurrió 134 días, el periodo de tiempo es mucho mayor con respecto al tiempo transcurrido en el presente trabajo, se podría atribuir a la variedad, la influencia del piso ecológico realizado a 2950 msnm.

3.2. Altura de la planta

Tabla 3.1.

Análisis de variancia de la altura de la planta de alfalfa en los diferentes cortes, niveles de azufre y niveles de fósforo, Canaán 2750 msnm.

F. Variación	G. L	S.C	C.M	Fc	Pr > Fc
Corte	7	885.16	126.45	28.70	<0.0001 **
Error (a)	16	70.50	4.41	1.17	0.3396
Azufre	1	1372.59	1372.59	208.83	<0.0001 **
Corte*azufre	7	254.49	36.36	5.53	0.0022**
Error(b)	16	105.17	6.57	1.75	0.0875
Fósforo	1	481.51	481.51	128.05	<0.0001 **
Corte*Fósforo	7	32.24	4.61	1.22	0.3183ns
Fósforo*azufre	1	123.76	123.76	32.91	<0.0001 **
Corte*fósforo*azufre	7	137.66	19.67	5.23	0.0005 **
Error (c)	32	120.33	3.76		
Total	95	3583.41			

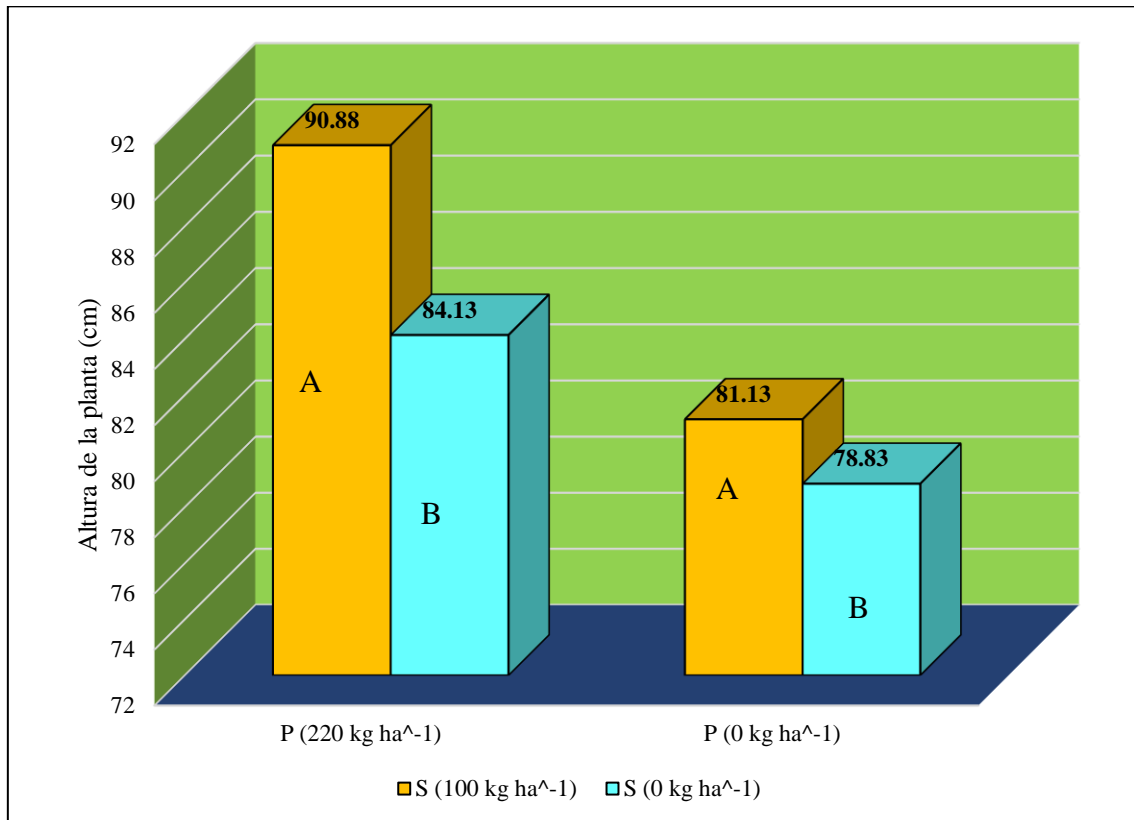
C. V (%): 2.32

Según el análisis de varianza da la Tabla 3.1, resultaron altamente significativas las fuentes de variación de interés (azufre, fósforo) y la interacción de estos factores (fósforo y azufre) fue los alcanzaron mayor altura de planta. Esto significa que existe una respuesta

favorable y positiva a la aplicación de los niveles de azufre y fósforo. Para altura de la planta, se encontró coeficiente de variación 2.32%, lo cual indica alta precisión y confiabilidad de los resultados. Dado que existe mejor respuesta por la interacción de fósforo y azufre, esto nos permite realizar estudio de comparación de medias en función de los efectos simples en la altura promedio de la planta en los cortes.

Figura 3.2.

Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de los efectos simples en la altura de la planta de alfalfa, en la combinación de azufre y fósforo en promedio de los diferentes cortes, Canaán 2750 msnm.



Según la comparación de medias de los efectos simples se encontró diferencia en promedio de altura de planta 90.88 cm con niveles más altos 100 y 220 kg ha⁻¹ de azufre y fósforo, respectivamente; este resultado es superior estadísticamente respecto al efecto de los niveles más bajos. El tratamiento sin fertilización reporta una altura promedio inferior a (78.83 cm) en comparación a los otros tratamientos que recibieron uno de los fertilizantes.

En este trabajo de investigación se encontró una altura promedio de 90.88 cm con la combinación de fertilizantes fósforo y azufre, (220 kg ha⁻¹ y 100 kg ha⁻¹) respectivamente, lo cual es muy superior a los reportes de Cayetano (2022), quien reportó altura diferenciada (55 cm) a los 90 días después de la siembra. El fósforo aplicado fue 35 kg ha⁻¹ para 3 variedades de

alfalfa (Moapa 69, CUF 101, SW 8210). Al respecto Al-Kahtani et al., (2017), al probar los efectos de los niveles de fertilización fosforado (0, 300 y 600 kg ha⁻¹) en cultivo de alfalfa, variedad hassawi, donde también incluyeron polinización por los insectos (abeja). Reportaron altura máxima de 85.33 cm con el nivel más alto de fósforo, sin embargo, no tuvo diferencia estadística respecto a los demás niveles. Wang et al. (2006), menciona que las aplicaciones de S en niveles de 0, 20 y 40 mg, aumentaron significativamente la altura de la planta, el diámetro basal del tallo, la concentración de clorofila de las hojas jóvenes, la longitud de las raíces y el área de superficie de las raíces en comparación con los controles.

3.3. Forraje verde

Tabla 3.2.

Análisis de variancia del rendimiento de forraje verde de alfalfa en los diferentes cortes, niveles de azufre y niveles de fósforo, Canaán 2750 msnm.

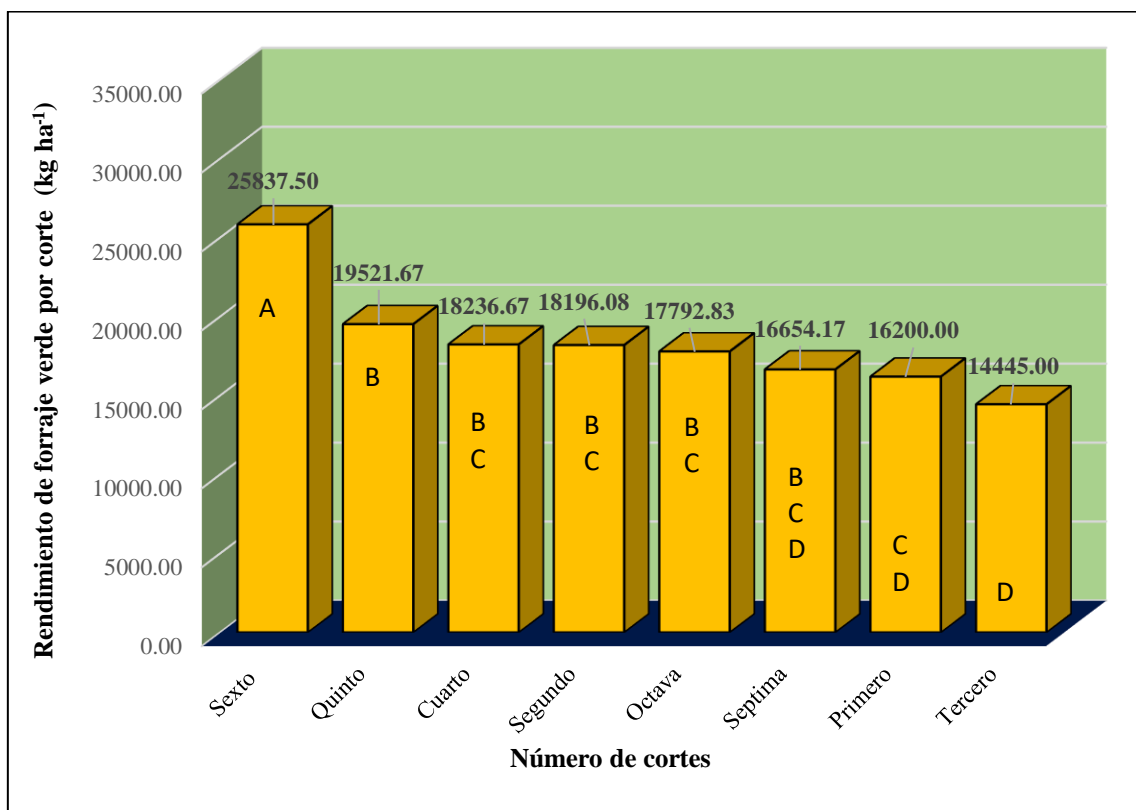
F. Variación	G. L	S.C	C.M	Fc	Pr > Fc
Corte	7	966347087.41	138049583.92	27.01	<0.0001 **
Error (a)	16	81770567.33	5110660.46	0.51	0.9228
Azufre	1	113933373.84	113933373.84	19.71	0.0004 **
Corte*azufre	7	59876714.91	8553816.42	1.48	0.2433ns
Error(b)	16	92492885.00	5780805.31	0.58	0.8781
Fosforo	1	51142341.26	51142341.26	5.10	0.0309 *
Corte*Fósforo	7	103752418.82	14821774.12	1.48	0.2101ns
Fósforo-azufre	1	5471672.51	5471672.51	0.55	0.4654ns
Corte*fósforo*azufre	7	112956319.24	16136617.03	1.61	0.1684ns
Error (c)	32	320789183.67	10024661.99		
Total	95	1908532563.99			

C. V (%): 17.24

Según el análisis de varianza del rendimiento de forraje verde de alfalfa como se indica en la Tabla 3.2, se observa alta significación estadística en los efectos principales de los diferentes cortes, para los niveles de azufre y niveles de fósforo. Resultado que permite en el estudio las diferencias de respuesta a los factores en estudio. El coeficiente de variación (17.24%) muestra una regular precisión para esta variable, explicado por la existencia de una fuerte interacción con el medio ambiente, para los niveles de fertilización fósforo – azufre los efectos principales en los diferentes cortes resultan ser significativo.

Figura 3.3.

Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) del efecto principal del rendimiento del forraje verde de alfalfa en distintos cortes, en la combinación de azufre y fósforo, Canaán 2750 msnm.



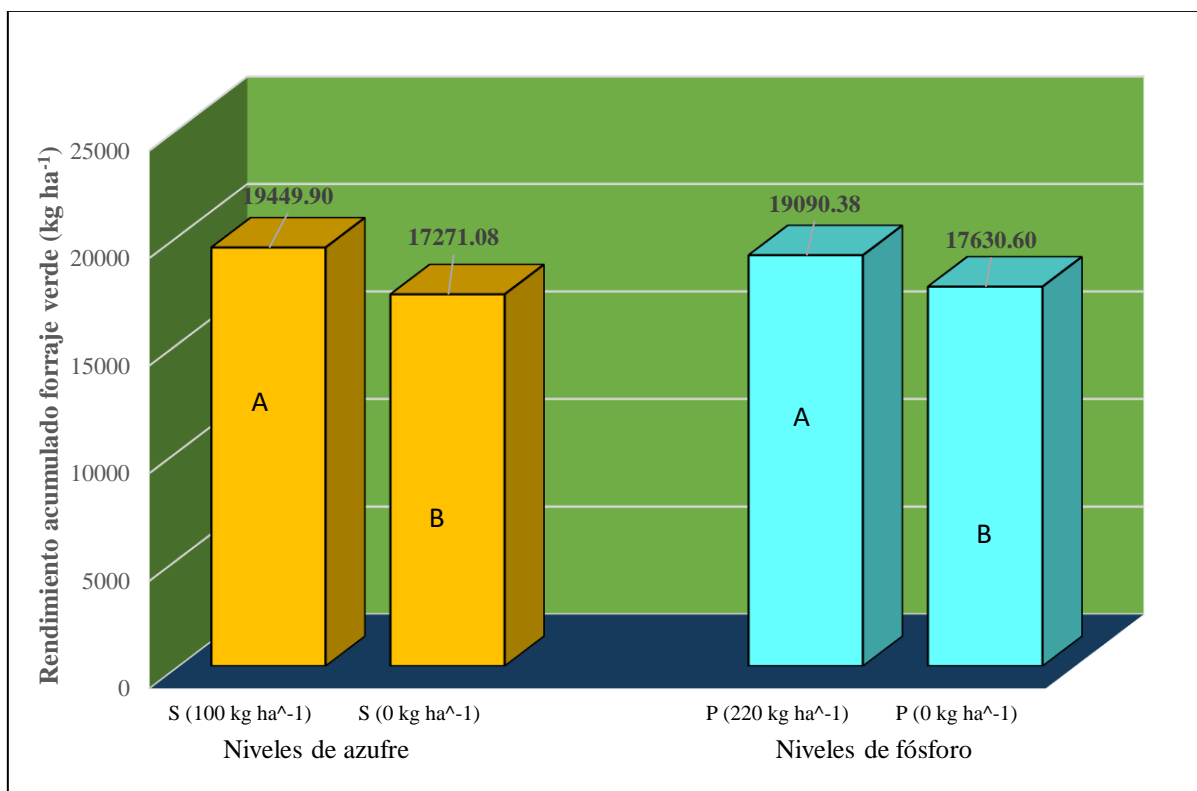
Según la comparación de medias (Tukey) de la Figura 3.3, en el sexto corte se encontró rendimiento promedio superior en forraje verde (25,837.50 kg ha⁻¹) estadísticamente significativo; mientras, en el resto de los cortes los rendimientos fueron no diferenciados para la estadística, por lo cual observamos solamente diferencias numéricas; cuyos valores varían en el rango de 14,445.00 y 19,521.67 kg ha⁻¹. El rendimiento muestra una tendencia de incremento según transcurre el número de corte, logrando alcanzar el mayor rendimiento al sexto corte.

En presente trabajo de investigación se encontraron rendimiento acumulado en 146,883.92 kg ha⁻¹ en 8 cortes, el periodo de evaluación fue en 419 días, lo cual equivale a 146.88 t ha⁻¹ de producción en un año. Asimismo, se encontró el rendimiento promedio por corte en 18,360.49 kg ha⁻¹. Estos reportes son relativamente inferiores a los reportes de Cayetano (2022), quien mediante trabajo de investigación del efecto de fertilización fosforado de 35 kg ha⁻¹ reportó 150,390 kg ha⁻¹ de forraje verde acumulado por año y evaluado en 6 cortes; con rendimiento promedio de 25,065 kg ha⁻¹ por corte. La densidad de plantas fue 557 unidades por metro cuadrado. Por otra parte, Al-Kahtani et al., (2017), realizando investigación de los

efectos de niveles de fertilización fosforado (0, 300 y 600 kg ha⁻¹) en cultivo de alfalfa variedad hassawi, donde también incluyeron polinización por los insectos (abeja); reportaron incremento del rendimiento del forraje, asimismo, demostraron incremento de la producción de las semillas a diferencias del testigo.

Figura 3.4.

Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de los efectos principales de azufre y fósforo en el rendimiento de forraje verde de alfalfa en distintos cortes, Canaán 2750 msnm.



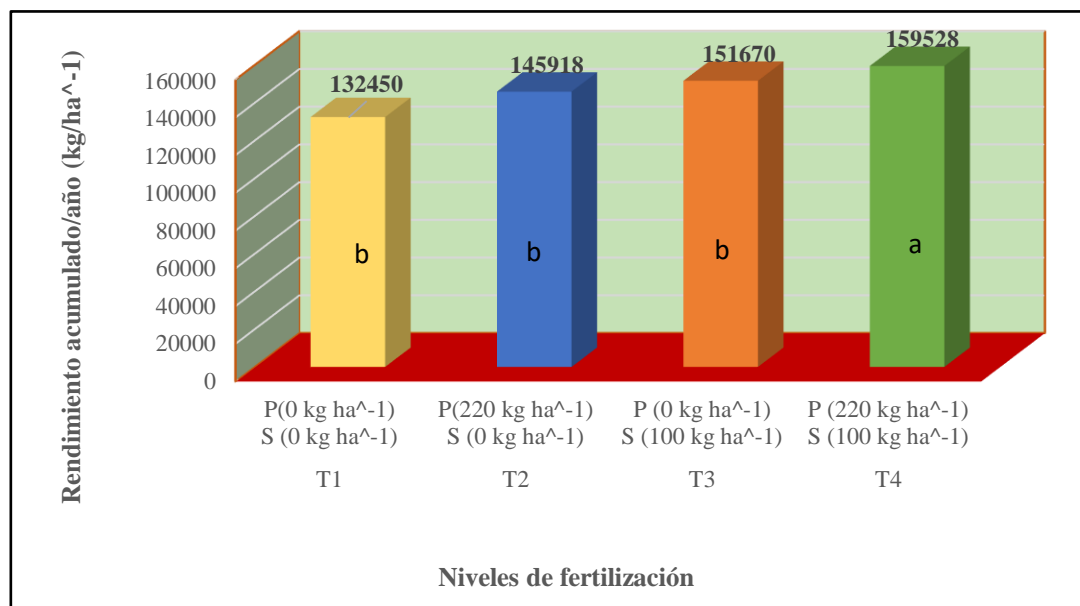
En la Figura 3.4, según el efecto principal de los diferentes niveles de fósforo y azufre en el rendimiento de forraje verde, se observa que los mayores niveles tienen una mejor respuesta diferenciada en el rendimiento. Con 100 kg ha⁻¹ de azufre se obtuvo rendimiento en forraje verde en 19,449.90 kg ha⁻¹ en promedio de los diferentes cortes y el promedio del nivel de fósforo; asimismo se obtiene con el fósforo en su máximo nivel de 220 kg ha⁻¹ un rendimiento promedio en forraje verde en 19,090.38 kg ha⁻¹ en promedio de los diferentes cortes del nivel de azufre.

Türk et al. (2018), mediante un estudio realizado en los efectos de fertilización fosforado (0, 40, 80 y 120 kg ha⁻¹) en el rendimiento y calidad de alfalfa; reportaron que las aplicaciones

de fósforo aumentaron el rendimiento de heno, el rendimiento de PB (proteína bruta). El mayor rendimiento de heno se obtuvo con dosis de 90 y 120 kg ha⁻¹ de P; mientras que los valores más bajos se obtuvieron en el tratamiento control. Al finalizar la investigación recomendaron una dosis de fósforo de 120 kg ha⁻¹ para un alto rendimiento y calidad de forraje en alfalfa, no indica el tipo de suelo. Por otra parte, Berg et al. (2007) concluyeron que el rendimiento anual de forraje aumentó con la adición de P y K. En contraste, hubo mayores densidades de población de plantas en las parcelas que recibieron fertilización con K, pero no con P. Los mayores rendimientos de forraje se encontraron en parcelas con mayores densidades de población de plantas, aunque el análisis de regresión finalmente mostró una correlación positiva entre el rendimiento de forraje y los brotes. Una mayor masa de brotes se correlacionó consistentemente con un mejor rendimiento de forraje en parcelas fertilizadas con P y K, según el análisis de regresión y ruta.

Figura 3.5.

Rendimiento acumulado de forraje verde con los cuatro tratamientos, Canaán 2750 msnm.



En la figura 3.5 se muestra el rendimiento acumulado de forraje verde en ocho cortes por año de alfalfa variedad Alfamaster. La fertilización combinada con P (220 kg ha⁻¹) + S (100 kg ha⁻¹) del T4 muestra mayor respuesta en la producción acumulada de forraje verde ($P < 0.05$) con respecto a los otros niveles de fertilización (con y sin P y S), el T4 tuvo una mejor respuesta en la producción de biomasa verde.

3.4. Materia seca

Tabla 3.3.

Análisis de variancia del rendimiento de forraje en materia seca de alfalfa en los diferentes cortes, niveles de azufre y niveles de fósforo, Canaán 2750 msnm.

F. Variación	G. L	S.C	C.M	Fc	Pr > Fc
Corte	7	48882780.99	6983254.43	26.24	<0.0001 **
Error (a)	16	4258324.00	266145.25	0.51	0.9210
Azufre	1	7735593.76	7735593.76	26.81	0.0001**
Corte*azufre	7	4838244.49	691177.78	2.40	0.0701ns
Error(b)	16	4616432.00	288527.00	0.56	0.8931
Fósforo	1	3783013.01	3783013.01	7.29	0.0110 *
Corte*Fósforo	7	5571922.91	795988.99	1.53	0.1915ns
Fósforo-azufre	1	1126016.76	1126016.76	2.17	0.1505ns
corte*fósforo*azufre	7	7320195.49	1045742.21	2.02	0.0838ns
Error (c)	32	16606357.33	518948.67		
total	95	104738880.74			

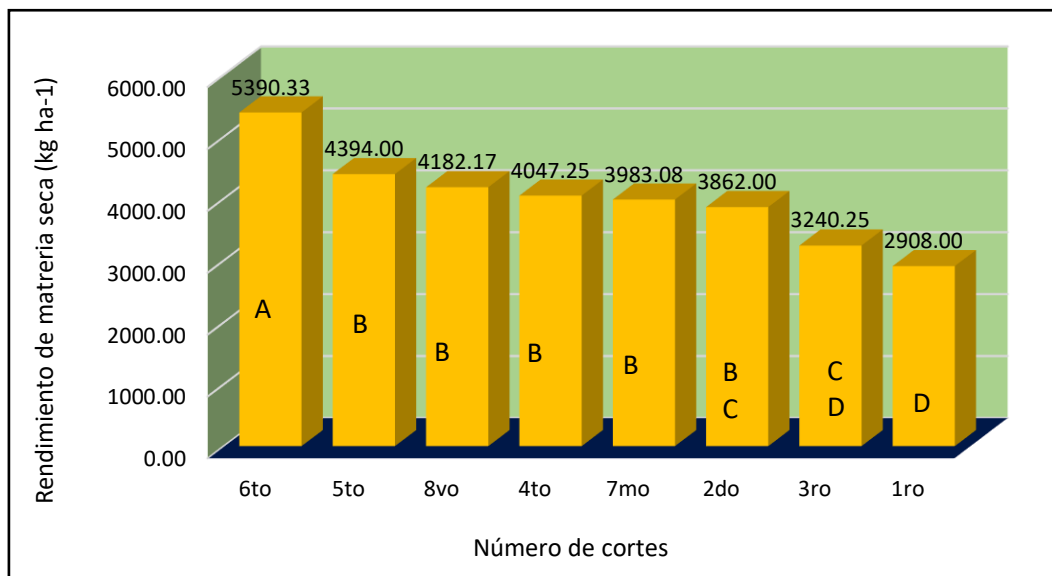
C. V (%): 18.06

El análisis de variancia del rendimiento de forraje en materia seca de la Tabla 3.3, se observa significación estadística en los efectos principales de los diferentes cortes, niveles de azufre y niveles de fósforo. Resultado que permite el estudio ver en forma independiente de los factores en estudio. El coeficiente de variación (18.06%) muestra una variación relativa para esta variable, explicado por la existencia de una fuerte interacción con el medio ambiente.

A diferencia de los reportes significativos en fósforo y azufre encontrados en este trabajo, Hu et al. (2023) menciona sobre el requerimiento relativamente alto en P en las leguminosas; asimismo, el suministro de P no tuvo efecto sobre los rendimientos de alfalfa y trébol rojo, lo que indica una alta reposición de P en el suelo y una alta movilización activa de P por las leguminosas. Más que el suministro de P, los efectos agronómicos beneficiosos de los fertilizantes orgánicos, en particular el compost elaborado a partir de residuos biológicos, estaban relacionados con la calidad del suelo.

Figura 3.6.

Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) del efecto principal del rendimiento de forraje en materia seca de alfalfa en distintos cortes, en promedio de azufre y fósforo, Canaán 2750 msnm.



Nota. El número de cortes corresponden a 416 días de evaluación (1 año con 51 días), los intervalos de corte se muestran en Anexo 1.

En la comparación de medias (Tukey) del rendimiento de forraje en materia seca para los diferentes cortes de alfalfa (Figura 3.6), existe superioridad estadística en el sexto corte con un valor de 5,390.33 kg ha⁻¹; mientras, en los siguientes cortes existe una uniformidad estadística en el rendimiento de materia seca a excepción del tercer corte y primer corte que llegaron a un rendimiento menor en 3,240.25 y 2,908.0 kg ha⁻¹.

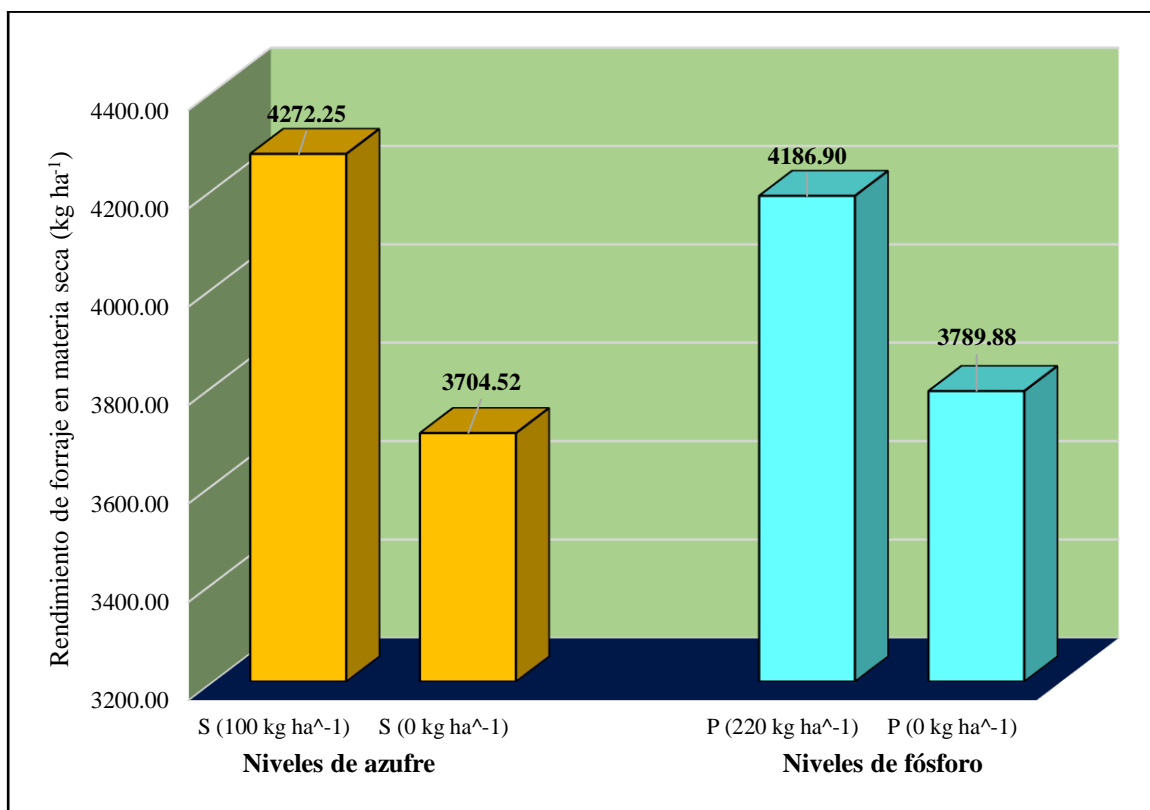
Durante la evaluación del trabajo se alcanzó realizar 8 cortes en total, en un periodo de 416 días desde su instalación, los resultados obtenidos según el efecto de fósforo se muestran superiores a los reportes de Marino y Echeverría (2018), quienes mediante un trabajo para evaluar el efecto de fertilización fosforado en cultivo de alfalfa, encontraron rendimiento anual en el primer año de 2,240.0 kg ha⁻¹ de materia seca con nivel de abonamiento 100 kg ha⁻¹ de P. Los cortes realizaron a una altura de 2.5 cm del suelo, 4 cosechas por año durante el 10% de la floración en un suelo con 5ppm de P disponible. Resultados muy inferiores al presente trabajo, podría atribuirse al menor número de cortes y el piso ecológico. En este trabajo de investigación se encontraron rendimiento acumulado de materia seca 32,007.08 kg ha⁻¹ en 8 cortes en periodo de 416 días de evaluación, lo cual equivale a 27,882.06 kg ha⁻¹ de rendimiento aculado en un año. Asimismo, se encontró el rendimiento promedio por corte de 3,485.26 kg ha⁻¹. Estos

resultados se muestran relativamente similares a los reportes de Cayetano (2022), quien mediante trabajo de investigación del efecto de fertilización fosforado de 35 kg ha⁻¹ reportó 24.922 t ha⁻¹ de forraje en materia seca acumulado por año y evaluado en 6 cortes; con rendimiento promedio de 4.154 t ha⁻¹ por corte. La densidad de plantas fue 557 unidades por metro cuadrado. Por otro lado, Toniutti y Fornasero (2020) evaluaron fertilización fosforado de 0, 20 y 40 kg ha⁻¹, asimismo, incluyeron la inoculación de rizobios *Ensifer meliloti*. Reportaron que para los tratamientos con mayor cantidad de fertilizante a los 120, 180 y 240 días después de la siembra, la técnica de inoculación incrementó la producción de materia seca entre un 23 y un 58%. Una buena forma de aumentar el rendimiento de alfalfa fue agregar la cepa de rizobio que se usó como inoculante y fertilizar con fosfatos. Concluyeron que el número de nódulos, biomasa nodular y materia seca (MS) de las plantas aumentó con la aplicación de dosis crecientes de fertilizante fosfatado.

Llahiulla (2016) indica, que al adicionar fósforo al suelo se obtuvo un rendimiento acumulado de 104.57 t ha⁻¹ en forraje fresco con el testigo (sin agregar fósforo ni azufre) y 26.42 t ha⁻¹ en forraje seco al quinto corte. Los tratamientos que incluyeron incorporación de fósforo tuvieron los mayores rendimientos acumulados tanto en forraje fresco como seco en el quinto corte (100 kg de P₂O₅ y 6 kg de azufre por hectárea) con 120.19 y 31.14 t ha⁻¹, respectivamente. El tratamiento con mayor contenido de proteína, 27.76%, fue el que tuvo aplicación foliar de 100 kg y 6 kg ha⁻¹ de azufre. Gallego et al. (2023), encontraron que la fertilización combinada de P+S tuvo diferentes efectos en los ciclos y en los distintos cortes de cada ciclo a través de investigaciones de fertilización con P y S (0, 20, 40, 80 y 160 kg ha⁻¹ de P; 0 y 24 kg ha⁻¹ de S). Con un promedio de 22,5 t MS ha⁻¹, no se observaron diferencias para C1 (primer corte). En el C3 (tercer corte) solo los tratamientos con 160 kg ha⁻¹ de P y sin S, produjeron diferencias en comparación con el testigo (12.7 t ha⁻¹).

Figura 3.7.

Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de los efectos principales de azufre y fósforo en el rendimiento de materia seca de alfalfa en distintos cortes, Canaán 2750 msnm.



Según la comparación de media de los efectos principales de los diferentes niveles de fósforo y azufre (Figura 3.7), se observa que los mayores niveles tienen una mejor respuesta en el rendimiento de materia seca; donde, con azufre de 100 kg ha⁻¹ se logró obtener un rendimiento de forraje en materia seca de 4,272.25 kg ha⁻¹ en promedio de los diferentes cortes y el nivel de fósforo; asimismo, se obtiene con el fósforo en su máximo nivel (220 kg ha⁻¹) un rendimiento promedio en forraje de materia seca un valor de 4,186.90 kg ha⁻¹ en promedio de los diferentes cortes y el promedio del nivel de azufre.

Según Türk et al. (2018), quienes mediante un estudio realizado en los efectos de fertilización fosforado (0, 40, 80 y 120 kg ha⁻¹) en el rendimiento y calidad de alfalfa; reportaron que las aplicaciones de fósforo aumentaron el rendimiento de heno, el mayor rendimiento de materia seca se obtuvo con dosis de 90 y 120 kg ha⁻¹ de P, mientras que el menor rendimiento de MS se obtuvo con dosis de 40 kg ha⁻¹ de P. Según He et al. (2017) menciona que los suelos alcalinos no son muy favorables para cultivo de alfalfa, por lo que a través de una investigación

de fertilización fosforado en este cultivo, corroboraron que el P no alteró al pH del suelo. Asimismo, indican que se incrementó la elongación de raíces, vigor de los brotes y desarrollo general; todo esto influyeron en el rendimiento del forraje. Por otra parte, Lissbrant et al. (2009) mencionan que el aumento del rendimiento de forraje (MS) y el valor nutricional resultaron de la fertilización con P, particularmente K. La proteína cruda o bruta (PB), fue una excepción, aumentando ligeramente con 25 kg ha⁻¹ de aplicación de P en lugar de ninguna aplicación de P (control). El valor nutricional del forraje se correlacionó positivamente con la edad del rodal, pero el rendimiento del forraje se correlacionó negativamente. Macolino et al. (2013) reportaron que la aplicación de P no tuvo efecto sobre el rendimiento de materia seca y no interactuó con K para determinar la productividad, según los resultados, mientras que K tuvo un efecto favorable sobre el rendimiento. No obstante, los resultados del análisis del suelo indicaron que incluso con altas dosis de fertilizante, la alfalfa tiene una alta tasa de absorción de K.

Gallego et al. (2023) luego de una evaluación de la fertilización con azufre y fósforo, todos los tratamientos resultaron en una respuesta positiva en la producción de forraje, con un promedio de materia seca de 21.4 t ha⁻¹, con una diferencia de 11% respecto al control, basado en el efecto independiente de P. Mientras Wang et al. (2003), en su trabajo de investigación menciona que las plantas con suministro de S mostraron un área foliar significativamente mayor y un peso seco de hojas, brotes y raíces más pesado por maceta que los controles. Los niveles utilizados de S fueron 0, 20 y 40 ppm, la dosis más alta influyeron de manera positiva. Darapuneni et al. (2024) demostraron que las aplicaciones de sulfato de potasa y potasio (160 kg ha⁻¹), produjeron mayores rendimientos, incluso la proteína bruta, Fe y S tisular fue más alto. Asimismo, sulfato-S y nitrato-N residual del suelo fueron también más altos. En el estudio se observó una correlación positiva entre la abundancia de azufre y la disponibilidad de nitrógeno en la producción de alfalfa.

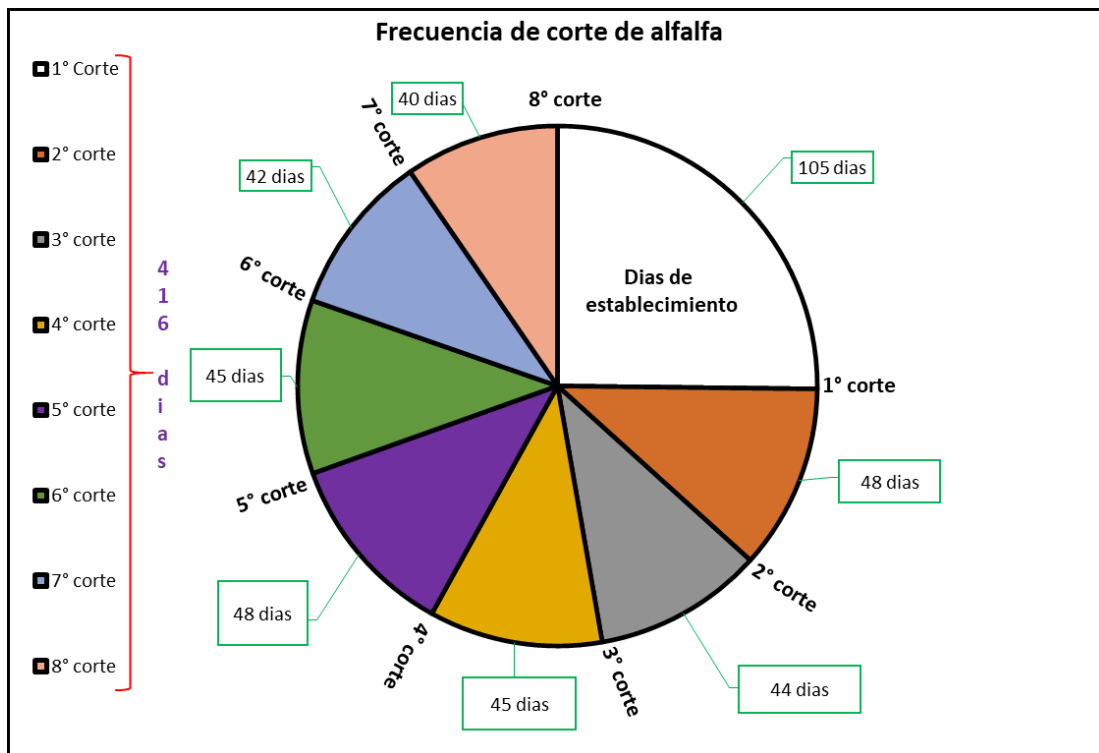
3.5. Frecuencia de corte del cultivo de alfalfa evaluados en un año

La frecuencia de corte esta referida al intervalo de tiempo de un primer corte al siguiente corte, se logró evaluar durante el experimento ocho cortes en un tiempo transcurrido de 356 días, después de su establecimiento al primer corte. La frecuencia de corte se relaciona con la precocidad del cultivo, se ha observado un brote y desarrollo muy precoz en esta variedad de Alfamaster, al respecto Santaria (2024) reporta ocho cortes por año en la misma variedad y condiciones ecológicas similares al presente trabajo, otros autores reportan haber obtenido de 6 a 7 cortes por año en otras variedades de alfalfa y diferentes pisos ecológicos. Noli et al (2004)

reporta siete cortes durante el año a razón de intervalos de tiempo de 30 a 35 entre corte a corte para otras variedades (T1 = Alfalfa bella campagnola, T2 = Alfalfa victoria, T3 = Alfalfa Iside tipo moapa, T4 = Alfalfa California 52) resultando estos reportes inferiores a los resultados del presente trabajo en número de cortes por año.

Figura 3.8.

Frecuencia de corte del cultivo de alfalfa en 1 año y 51 días de manejo, Canaán 2750 msnm



Nota. La frecuencia de cortes corresponde a 416 días de evaluación (1 año con 51 días), los intervalos de corte se muestran en Anexo

De acuerdo a la figura 3.8, observamos la frecuencia de cortes realizados durante 416 días desde la siembra; el primer corte se realizó después de los 104 días de haber sembrado el 27 de diciembre del 2022 y concluye el octavo corte el 05 de noviembre del 2023 (Anexo 1) los cortes se efectuaron cuando las plantas mostraron un crecimiento adecuado en 10% de floración, el segundo corte se realizó a los 48 días y así evaluando los siguientes cortes en un promedio de 40 a 45 días de intervalo de corte a corte.

Cabe mencionar que se realizaron 8 cortes en un año de evaluación en plena producción, el primer corte se realizó a los 104 días, en este periodo se evaluó los estados de cambio fenológico en el proceso de establecimiento de la planta como se indica en la figura (3.1).

Según (Amendola et al., 2005). La frecuencia de corte de la alfalfa en Mexicali es alta, normalmente se realizan de 9 a 11 cortes por año para pisos más bajos, lo cual explica: i) la alta calidad del forraje y ii) la baja persistencia de la población de plantas ante ello debido a cortes precoces, estos resultados son relativamente superior a la frecuencia de corte del presente trabajo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Como respuesta a los niveles de fertilización con fósforo en el rendimiento forrajero de alfalfa variedad Almaster, se encontraron valores de 19,090.38 kg ha⁻¹ en forraje verde y 4,186.90 kg ha⁻¹ en materia seca, lo que significa un 10% más en rendimiento con respecto al tratamiento 1 testigo, obteniendo un rendimiento en forraje verde de 17,271.08 kg ha⁻¹ y materia seca de 3,789.88 kg ha⁻¹, valores promedios de los 8 cortes para el nivel de fósforo de 220 kg ha⁻¹ con SFTca.
2. Como respuesta a los niveles de fertilización solo con azufre en el rendimiento forrajero de alfalfa variedad Alfamaster se encontraron valores de 19,449.90 kg ha⁻¹ en forraje verde y 4,272.25 kg ha⁻¹ en materia seca, encementándose un incremento en 11.2% con respecto al tratamiento 1 testigo, que se encontró un rendimiento en forraje verde de 17,271.08 kg ha⁻¹ y 3,704.52 kg ha⁻¹, en promedio de los 8 cortes con nivel de azufre de 100 kg ha⁻¹ de flor de azufre.
3. Los resultados indican claramente, que la fertilización combinada de P y S, tuvo mayor respuesta en la producción acumulado en forraje verde con 159,528 kg ha⁻¹ año, frente al testigo que acumuló en 132,450 kg FV ha⁻¹ significa un incremento en 16.97% en la producción de forraje verde al utilizar estas dos fuentes de fertilización.

Recomendaciones

1. Utilizar fertilización de 220 kg ha⁻¹ de superfosfato triple de calcio y 100 kg ha⁻¹ de flor de azufre porque influyeron de manera positiva en el rendimiento de alfalfa en forraje verde y en materia seca, en condiciones climáticas similares al Centro Experimental Canaán.
2. Realizar la réplica de este trabajo de investigación en otras condiciones edafoclimáticas, y otras variedades de alfalfa con la finalidad de contrastar los resultados encontrados en este trabajo de investigación.
3. Utilizar diferentes niveles de fósforo y azufre, con la finalidad de encontrar los niveles más apropiados en el rendimiento de alfalfa.

REFERENCIAS

- Al-Kahtani, S. N., Taha, E. K. A., & Al-Abdulsalam, M. (2017). Alfalfa (*Medicago sativa* L.) seed yield in relation to phosphorus fertilization and honeybee pollination. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(5), 1051–1055. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.009>
- Becaña, M., Wienkoop, S., y Matamoros, M. (2018). Sulfur Transport and Metabolism in Legume Root Nodules. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01434>
- Berg, W. K., Cunningham, S. M., Brouder, S. M., Joern, B. C., Johnson, K. D., Santini, J. B., & Volenec, J. J. (2007). The long-term impact of phosphorus and potassium fertilization on alfalfa yield and yield components. *Crop Science*, 47(5), 2198-2209. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci2006.09.0576>
- Bouray, M., Moir, J., Condrón, L., y Lehto, N. (2020). Impacts of Phosphogypsum, Soluble Fertilizer and Lime Amendment of Acid Soils on the Bioavailability of Phosphorus and Sulphur under Lucerne (*Medicago sativa*). *Plants*, 9(8), 883. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/plants9070883>
- Biswas, M. K., Patil, A., & Sunkad, G. (2023). Enhancing Legume Cultivars through Agronomy, Breeding, and Genetics. *Agronomy*, 13(4), 1–6. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041035>
- Blaser, R. E. (1986). *Forage-Animal Management Systems - Blaser*. Faculty & Staff Scholarship. https://researchrepository.wvu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4190&context=faculty_publications
- Cancio, H. (2016). *Cultivo de alfalfa*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_cultivo-de-alfalfa_0.pdf
- Cayetano, A. M. (2022). *Efecto de la fertilización fosfatada en el establecimiento y producción de tres variedades de alfalfa* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://45.231.83.156/bitstream/handle/20.500.12996/5890/cayetano-manzo-alma-betzabe.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Chen, G., Fan, W., Yin, W., Fan, Z., Wan, S., Zhai, Y., & Zhang, X. (2023). Soil Aggregates Are Governed by Spacing Configurations in Alfalfa-Jujube Tree Intercropping Systems. *Agronomy*, *13*(1), 1–15. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010264>
- Cánepa, Y., y Trémols, A. (2015). Importancia del azufre en la agricultura. *Cuba Tabaco*, *16*(1).
- Centeno, A. (2011). Productividad de la alfalfa y elección de cultivares. *Producción Animal*. <https://www.produccion-animal.com.ar>
- Delgado, I., Nuñez, E., Muñoz, F., y Andueza, D. (2015). Cómo maximizar el cultivo de la alfalfa. *Vida Rural*. https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/3138/1/2015_293.pdf
- Díaz, A. (2020). *Factores implicados en la Calidad del forrajede Alfalfa: Medicago sativa* [Tesina, Universidad Autónoma de Puebla]. Puebla. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/11222>
- Divito, G., y Sadras, V. (2014). ¿Cómo afectan el fósforo, el potasio y el azufre al crecimiento de las leguminosas y la fijación biológica de nitrógeno? Un meta-análisis. <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2014/06/2.pdf>
- Darapuneni, M. K., Lauriault, L. M., Martinez, G. K., Djaman, K., Lombard, K. A., & Dodla, S. K. (2024). Potassium and Sulfur Fertilizer Sources Influence Alfalfa Yield and Nutritive Value and Residual Soil Characteristics in an Arid, Moderately Low-Potassium Soil. *Agronomy*, *14*(1). <https://doi.org/10.3390/agronomy14010117>
- Delgado, D. (2015). La alfalfa (*Medicago sativa*): origen, manejo de producción. *Conexagro*, *5*, 27–43. <https://revista.jdc.edu.co/index.php/conexagro/article/view/520>
- Flores, D. (2015). La alfalfa (*Medicago sativa*): Origen, manejo y producción. *Conexión Agropecuaria JDC*, *5*(1), 27-43. <https://revista.jdc.edu.co/index.php/conexagro/article/view/520>
- Gallego, J. (2017). *Efectos de la fertilización con P y S sobre la producción y calidad de alfalfa (Medicago sativa L.) irrigada y el estado orgánico del suelo en el valle inferior del Río Negro* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Sur]. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/3593>

- Gallego, J. J., Migliarina, A. M., Landriscini, María Rosa, Camina, R., Barbarossa, R., Miñón, D., & Zubillaga, M. F. (2023). Efecto de la fertilización fosforada y azufrada sobre la producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en condiciones de riego en el noreste patagónico. Unrn.edu.ar. <http://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/10323>
- He, H., Peng, Q., Wang, X., Fan, C., Pang, J., Lambers, H., & Zhang, X. (2017). Growth, morphological and physiological responses of alfalfa (*Medicago sativa*) to phosphorus supply in two alkaline soils. *Plant and Soil*, 416(1–2), 565–584. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3242-9>
- Hu, Y., Dehmer, K. J., Willner, E., & Eichler-Löbermann, B. (2023). Specific and Intraspecific P Efficiency of Small-Grain Legumes as Affected by Long-Term P Management. *Agronomy*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/agronomy13030900>
- Ibarlucea, J., Magnano, L., y Salvagiotti, F. (2021). *Respuesta a fósforo y azufre en alfalfa en un suelo con larga historia agrícola*. EEA Oliveros, INTA.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2018). *Compendio Estadístico Perú: Agrario*.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA]. (2013). *Cultivo de Alfalfa: Siembra*. Hoja informativa para el sector agropecuario. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-hi19alfalfasiembra_4_.pdf
- Lara, C., y Jurado, P. (2014). *Paquete tecnológico para producir alfalfa en el estado de Chihuahua*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. <https://www.producechihuahua.org/paqs/PT-0010Alfalfa.pdf>
- Llahuilla, O. (2016). *Aplicación de azufre vía foliar y fósforo al suelo sobre rendimiento del cultivo de alfalfa (Medicago sativa L.) var. California-55 en zona árida* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Arequipa, Perú. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3178/AGllcuon.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Liu, X., Tahir, M., Li, C., Chen, C., Xin, Y., Zhang, G., Cheng, M., & Yan, Y. (2022). Mixture of Alfalfa, Orchardgrass, and Tall Fescue Produces Greater Biomass Yield in Southwest China. *Agronomy*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/agronomy12102425>

- Lissbrant, S., Stratton, S., Cunningham, S. M., Brouder, S. M., & Volenec, J. J. (2009). Impact of long-term phosphorus and potassium fertilization on alfalfa nutritive value–yield relationships. *Crop science*, *49*(3), 1116-1124. <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci2008.06.0333>
- Macolino, S., Lauriault, L. M., Rimi, F., & Ziliotto, U. (2013). Phosphorus and potassium fertilizer effects on alfalfa and soil in a non-limited soil. *Agronomy Journal*, *105*(6), 1613-1618. <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj2013.0054>
- Martínez, R. (2015). *Medicago sativa: mejora de la productividad y nuevos aspectos de su valor nutritivo y funcional* [Tesis doctoral, Universidad de Granada]. Granada, España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=57554>
- Marino, M. A., & Echeverría, H. E. (2018). Diagnóstico de requerimiento de fósforo para alfalfa (*Medicago sativa* L.) en argiudoles. *AgriScientia*, *1*(35), 11. <http://www.scielo.org.ar/pdf/agrisc/v35n1/v35n1a02.pdf>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2019). *Línea base de la alfalfa con fines de bioseguridad en el Perú*. https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2020/02/estudio_lb_alfalfa.pdf
- Montemayor, J., Woo, J., Munguía, J., Román, A., Segura, M., Yescas, P., & Frías, E. (2012). Producción de alfalfa (*Medicago Sativa* L.) cultivada con riego sub-superficial y diferentes niveles de fósforo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *3*(7), 1321-1332. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263124457003>
- Munera, G., y Meza, D. (2014). *El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal*. Universidad Tecnológica de Pereira. <https://hdl.handle.net/11059/5248>
- Navarro, S. B., & Navarro, G. G. (2003). *Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal* (2nd ed.). Aedos, S. A. https://drive.google.com/file/d/15_LTXtuIWiClZRAom1X2vVBIWDLxF1sJ/view
- Navarro, G. G., & Navarro, G. S. (2014). *Fertilizantes. Química y acción*. Ediciones Mundi-Prensa.

- Odorizzi, A. (2015). *Parámetros genéticos, rendimiento y calidad forrajera en alfalfas extremadamente sin reposo con expresión variable del carácter multifoliolado obtenidas por selección fenotípica recurrente* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Córdoba]. Córdoba, Argentina. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1834>
- Olson, K., y Jones, C. (2015). *Soil Nutrient Management for Forages: Phosphorus, potassium, sulfur and micronutrients*. Montana State University. <https://animalrangeextension.montana.edu/forage/soilnutrient-phosphorus.html>
- Pérez, F. (2017). *Nutrición Vegetal*. Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa, Perú. <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3201/000026082L.pdf>
- Quiñonez, A., Romero, L., Dalla, L., Longoni, M., y Colombo, S. (2008). Fertilización fosforada y azufrada en alfalfa. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias*, 7(1-2), 75-80. <https://doi.org/https://doi.org/10.14409/fa.v7i1/2.1330>
- Quiroga, H. (2013). Tasa de acumulación de materia seca de alfalfa en respuesta a variables climatológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(4), 503-516. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v4n4/v4n4a2.pdf>
- Rojas, A., Torres, N., Joaquín, S., Hernández, A., Maldonado, M., y Sánchez, P. (2017). Componentes del rendimiento en variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Agrociencia*, 51(7), 697-708. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n7/1405-3195-agro-51-07-00697-en.pdf>
- Rebulfo, M. (2005). *Alfalfa: Principios de manejo del pastoreo* (pp. 3–5). Revista INIA. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_alfalfa/42-manejo.pdf
- Sulca, A. (2015). *Producción en forraje de cinco variedades de alfalfa (Medicago sativa), Ticllas a 2395 msnm - Ayacucho* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Ayacucho, Perú. http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/3122/1/TESIS%20AG1198_Sul.pdf
- Safronova, V., Sazanova, A., Kuznetsova, I., Belimov, A., Guro, P., Karlov, D., Yuzikhin, O., Chirak, E., Verkhozina, A., Afonin, A., Andronov, E., & Tikhonovich, I. (2021). Increasing the legume–rhizobia symbiotic efficiency due to the synergy between

- commercial strains and strains isolated from relict symbiotic systems. *Agronomy*, *11*(7). <https://doi.org/10.3390/agronomy11071398>
- Toniutti, M., y Fornasero, L. (2020). Efecto de la inoculación con rizobios y la fertilización fosfatada sobre la nodulación y producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en el centro de Santa Fe (Argentina). *Agriscientia*, *37*(2), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.31047/1668.298x.v37.n2.24067>
- Tong, Z., Wang, L., Wang, Y., Li, X., & He, F. (2023). Effects on Soil Bacterial Organisms in an Alfalfa Monocropping System after Corn Insertion and Nitrogen Fertilization. *Agronomy*, *13*(1). <https://doi.org/10.3390/agronomy13010253>
- Türk, M., Alagöz, M. y Bıçakçı, E. (septiembre de 2018). Effects of phosphorus fertilization on alfalfa forage yield and quality (*Medicago sativa* L.). En *VI. Congreso Internacional Multidisciplinario de Eurasia* (págs. 329-331). <https://acortar.link/ZMUad4>
- Toniutti, M. A., & Fornasero, L. V. (2020). Effect of rhizobia inoculation and phosphate fertilization on the nodulation and production of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in the center of santa fe (argentina) . *agriscientia* *37* (2): 1-10. *AgriScientia*, *37*(2), 1–10. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v37.n2.24067>
- Undersander, D., Cosgrove, D., Cullen, E., Grau, C., Rice, M., Renz, M., Sheaffer, C., Shewmaker, G., & Sulc, M. (2011). Alfalfa Management Guide. <https://www.agronomy.org/files/publications/alfalfa-management-guide.pdf>
- Vivas, H., Romero, L., y Ibarlucea, J. (2016). Fertilización con fósforo y azufre en dos variedades de alfalfa sobre un suelo deficiente de San Cristóbal, Santa Fe. *Simposio de Fertilidad 2015*.
- Vivas, H., Vera, N., y Quaino, Ó. (2010). Fósforo, azufre y calcio y sus relaciones para aumentar la producción de alfalfa. *Revista Fertilizar*.
- Wang, Y., Sun, Z., Wang, Q., Xie, J., & Yu, L. (2023). Winter Survival, Yield and Yield Components of Alfalfa as Affected by Phosphorus Supply in Two Alkaline Soils. *Agronomy*, *13*(6), 1565. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061565>
- Wang, Y. F., Wang, S. P., Cui, X. Y., Chen, Z. Z., Schnug, E., & S. Haneklau. (2003). Effects of sulphur supply on the morphology of shoots and roots of alfalfa (*Medicago sativa*

L.). *Grass and Forage Science*, 58(2), 160–167. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.2003.00366.x>

Marten, G.C., Buxton D.R. and Barnes R.F. 1988. Feeding Value (Forage Quality). In: Hanson, A., D. K. Barnes, and R. Hill (ed.). *Alfalfa and Alfalfa Improvement*. ASA. Madison. WI, USA. p.463-491.

ANEXOS

Anexo 1. Datos de campo de las evaluaciones para las 5 variables evaluadas

a). Fases fenológicas de establecimiento

FENOLOGIA	DIAS	ALTURA	
Emergencia	4	0.5	0.5
Hoja bifoliada	5_6	1	1
1° HTF	8_10	4.5	4.5
2° HTF	12_14	8.5	8.5
3° HTF	16	12	12
7ma HTF	45	21	21
Elongacion del tallo	54	31	31
Plena elongacion	65	54	54
Boton floral	69_75	65	65
Inicio de floracion	95	70	70
10% floracion	105	75	75

b). Altura de la planta

Parametro en altura de planta promedio (cm)										
Tratamiento	sub parcela	Instalacion	1° Corte	2° corte	3° corte	4° corte	5° corte	6° corte	7° corte	8° corte
T1 P(0 kg) S(0 kg)	R1		70	82	86	78	84	83	79	76
	R2		73	79	82	81	78	78	80	79
	R3		67	80	84	80	80	78	82	73
	Promedio		70.0	80.3	84.0	79.7	80.7	79.7	80.3	76.0
T2 P(220 kg) S(0 kg)	R1		78	82	82	79	85	83	86	80
	R2		74	80	81	81	80	79	83	83
	R3		75	82	84	83	80	81	84	80
	Promedio		75.5	81.2	82.3	81.1	81.7	81	84.4	81.0
T3 S(100 kg) P(0 kg)	R1		78	86	83	84	85	85	87	95
	R2		76	88	81	85	80	83	86	90
	R3		80	83	81	87	80	81	83	92
	Promedio		78.0	85.6	81.7	85.2	81.7	83	85.2	92.3
T4 P(220 kg) S(100 kg)	R1		79	89	92	93	90	90	94	96
	R2		82	92	90	88	89	93	96	93
	R3		80	91	92	91	95	95	94	97
	Promedio		80.2	90.7	91.3	90.6	91.3	92.7	94.8	95.3
Fecha		15/09/2022	27/12/2022	14/02/2023	30/03/2023	15/05/2023	1/07/2023	15/08/2023	26/09/2023	5/11/2023
Dias al corte			104	48	44	45	48	45	42	40

c). Forraje verde

Parametro de rendimiento de forraje verde.										
Tratamiento	sub parcela	Instalacion	1° Corte	2° corte	3° corte	4° corte	5° corte	6° corte	7° corte	8° corte
T1 P(0 kg) S(0 kg)	R1		15 600	16569	10940	16630	16490	23440	9979.35	16770
	R2		15 000	16515	12640	14660	18320	26180	6066.26	13390
	R3		15300	17850	14200	20370	22940	20010	24630	12860
	Promedio		15300	16978	12593	17220	19250	23210	13559	14340
T2 P(220 kg) S(0 kg)	R1		15960	18021	16750	16990	21710	32350	15531.31	14031.3
	R2		15540	18300	12340	18440	22860	31350	20380	18182
	R3		15300	17418	13840	14930	14930	23750	12823.71	16025.71
	Promedio		15600	17913	14310	16787	19833	29150	16245	16080
T3 S(100 kg) P(0 kg)	R1		18450	18480	15130	18480	21320	23390	21780	15100
	R2		16350	22880	14320	22880	23100	25570	19480	15030
	R3		14700	17100	16060	16890	18410	26530	18530	15050
	Promedio		16500	19487	15170	19417	20943	25163	19930	15060
T4 P(220 kg) S(100 kg)	R1		17370	17940	14080	21290	20050	25320	16560	25384
	R2		17430	18830	14580	18830	22610	26640	16880	26464
	R3		17400	18450	18460	18450	17610	25520	17210	25227
	Promedio		17400	18407	15707	19523	20090	25827	16883	25692
Fecha		15/09/2022	27/12/2022	14/02/2023	30/03/2023	15/05/2023	1/07/2023	15/08/2023	26/09/2023	5/11/2023

d). Materia seca

Parametro de rendimiento de materia seca										
Tratamiento	sub parcela	Instalacion	1° Corte	2° corte	3° corte	4° corte	5° corte	6° corte	7° corte	8° corte
T1 P(0 kg) S(0 kg)	R1		2982.4	3396.6	2275.5	3525.6	3462.9	4688.0	2317.4	3823.6
	R2		2972.7	3385.6	2629.1	3107.9	3847.2	5236.0	1408.7	3052.9
	R3		2754.0	3659.3	2953.6	4318.4	4817.4	4002.0	5719.6	2932.1
	Promedio		2903.0	3480.5	2619.4	3650.6	4042.5	4642.0	3148.6	3269.5
T2 P(220 kg) S(0 kg)	R1		2904.7	3784.4	3685.0	3822.8	4949.9	7117.0	3727.5	3255.3
	R2		2828.3	3843.0	2714.8	4149.0	5212.1	6897.0	4891.2	4218.2
	R3		2784.6	3657.8	3044.8	3359.3	3404.0	5225.0	3077.7	3718.0
	Promedio		2839.2	3761.7	3148.2	3777.0	4522.0	6413.0	3898.8	3730.5
T3 S(100 kg) P(0 kg)	R1		3376.4	4028.6	3328.6	4158.0	4903.6	4937.9	5178.8	3624.0
	R2		2992.1	4987.8	3150.4	5148.0	5313.0	5398.1	4631.9	3607.2
	R3		2690.1	3727.8	3533.2	3800.3	4234.3	5600.8	4406.0	3612.0
	Promedio		3019.5	4248.1	3337.4	4368.8	4817.0	5312.3	4738.9	3614.4
T4 P(220 kg) S(100 kg)	R1		3335.0	3857.1	3097.6	4790.3	4611.5	5092.1	4066.4	6041.4
	R2		3346.6	4048.5	3207.6	4236.8	5200.3	5357.6	4145.0	6298.4
	R3		3340.8	3966.8	4061.2	4151.3	4050.3	5132.4	4226.0	6004.0
	Promedio		3340.8	3957.4	3455.5	4392.8	4620.7	5194.0	4145.8	6114.6
Fecha		15/09/2022	28/12/2022	23/02/2023	1/04/2023	15/05/2023	1/08/2023	19/08/2023	1/10/2023	8/11/2023

e). Frecuencia de corte

Fecha	15/09/2022	27/12/2022	14/02/2023	30/03/2023	15/05/2023	1/07/2023	15/08/2023	26/09/2023	5/11/2023	20/12/2023
Dias al corte		104	48	44	45	48	45	42	40	44

Anexo 2. Reporte de análisis del suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 PROGRAMA DE INVESTIGACION EN PASTOS Y GANADERIA
LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR
 Jr. Abraham Valdelomar N° 249 – Telf. 315936 966942996
 Ayacucho – Perú
 "Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

Región : Ayacucho HR. 0149
 Provincia : Huamanga
 Distrito : Andrés A. Cáceres Dorregaray
 Localidad : C. E. Canaán
 Proyecto : "Tesis"
 Solicitante : Lizbeth Torres Huicho

ANALISIS DE CARACTERIZACION

Muestra	Análisis mecánico (%)			Clase Textural	pH (H ₂ O) 1:2.5	C. E. (dS/m.) 1:1	CaCO ₃ (%)	M.O. (%)	Nt (%)	Elementos Disp. (ppm)		Cationes cambiabiles (Cmol(+)/Kg)						C. I. C. (Cmol(+)/Kg)
	Arena	Limo	Arcilla							P	K	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H ⁺	
01	51.7	21.9	26.4	Fr-Ar-Ao	7.84	0.73	0.0	2.82	0.14	33.2	67.6	11.4	4.08	0.35	0.28	0.0	0.0	28.0
Humedad (%)				4.16														
Densidad aparente(g.cm ⁻³)				1.067														

Ayacucho, 28 de Abril del 2022.

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS
 PLANTA, AGUAS Y FERTILIZANTES
 RESPONSABLE

 Juan B. Girón Molina
 C.I.P. 77120

Ao: Arenoso; AoFr: Arena franca; FrAo: Franco arenosos; Fr: Franco; FrL: Franco limoso; L: Limoso; FrArAo: Franco arcillo arenoso; FrAr: Franco arcilloso; FrAr: Franco arcillosos; FrArL: Franco arcillo limoso; ArAo: Arcillo arenoso; ArL: Arcillo limoso; Ar: Arcilloso

Anexo 3.

Panel fotográfico del proceso de elaboración de la tesis

a). Terreno libre para la instalación de alfalfa.



b). Terreno preparado listo para sembrar



c). Terreno con sembrío de alfalfa en surcos



d). Plantas en proceso de implantación 2 semanas después de la siembra



e). Midiendo la altura de planta con el flexómetro a los 43 días.



f). Muestras cortadas al 10% de floración.





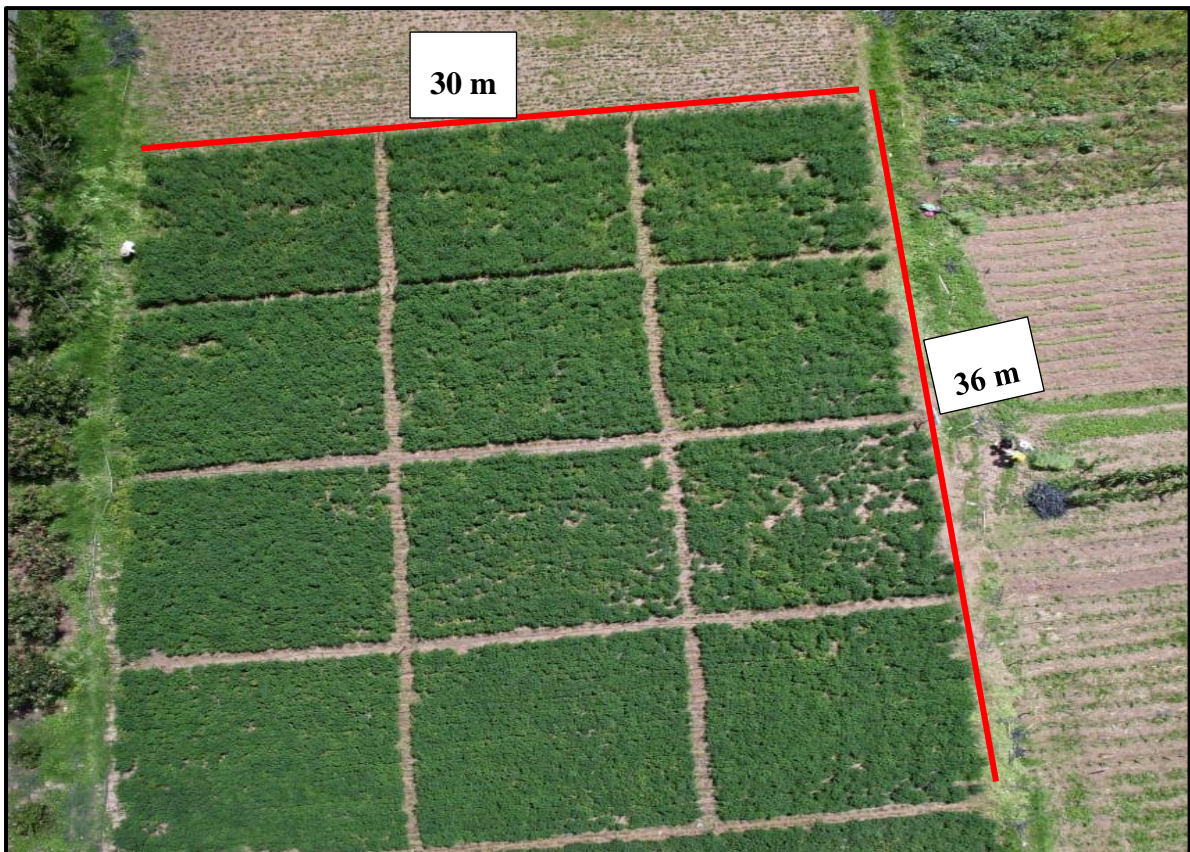
d). Pesado de las muestras 100 gramos en cada bolsa de papel de cada tratamiento con sus 3 repeticiones respectivos.



d). Muestras ya listas para introducir a la estufa a 60°.



e). Fotos de la parcela completa tomadas desde la parte aérea.





ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Bach. LIZBETH TORRES HUICHO

R.D. N° 273-2024-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho a los veinticinco días del mes de octubre del año dos mil veinticuatro, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Mg. Alex Lázaro Tineo Bermúdez Decano (e) de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por Mg. Alex Lázaro Tineo Bermúdez, Ing. Dimas Alberto Quintanilla Melgar como asesor, Ing. Eduardo Robles García y Mtro. Rodolfo Alca Mendoza; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Fertilización con fósforo y azufre en el rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.), Canaán, 2750 msnm, Ayacucho 2023**, para obtener el Título Profesional de Ingeniera Agrónoma presentado por la Bachiller **LIZBETH TORRES HUICHO**.

El señor Decano (e) previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invito a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Mg. Alex Lázaro Tineo Bermúdez	15	15	16	15
Ing. Dimas Alberto Quintanilla Melgar	15	15	15	15
Ing. Eduardo Robles García	15	15	15	15
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza	16	14	15	15
PROMEDIO GENERAL				15

Acto seguido se invita al sustentante y publico en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.



Mg. Alex Lázaro Tineo Bermúdez
Presidente



Ing. Dimas Alberto Quintanilla Melgar
Asesor



Ing. Eduardo Robles García
Jurado



Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Jurado



Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe coordinador responsable de la valoración y verificación de originalidad de los trabajos de investigación y de tesis de la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, designado mediante la RCF N° 005-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo de tesis titulado;

Fertilización con fósforo y azufre en el rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.), Canaán, 2750 msnm, Ayacucho 2023

Autor : Lizbeth Torres Huicho

Asesor : Dimas Alberto Quintanilla Melgar

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, y RCU N° 1530-2023-UNSCH-CU, emitiendo un resultado de **veintidos (22 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2621140131

Ayacucho, 21 de marzo de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias
Dr. Yuri Gálvez Gestari
Coordinador de la Facultad 2

Fertilización con fósforo y azufre en el rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.), Canaán, 2750 msnm, Ayacucho 2023

por Lizbeth Torres Huicho

Fecha de entrega: 21-mar-2025 11:06a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2621140131

Nombre del archivo: 1_borrador_de_tesis_ok_-_liz_1_1_1_.docx (20.06M)

Total de palabras: 16591

Total de caracteres: 88897

Fertilización con fósforo y azufre en el rendimiento de alfalfa (Medicago sativa L.), Canaán, 2750 msnm, Ayacucho 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%	20%	2%	10%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	4%
2	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	agroempresario.com Fuente de Internet	1%
6	fertilizar.org.ar Fuente de Internet	1%
7	docplayer.es Fuente de Internet	1%
8	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
9	www.scielo.org.ar Fuente de Internet	1%
10	1library.co Fuente de Internet	1%
11	repositoriodigital.uns.edu.ar Fuente de Internet	1%

12	repositorio.utp.edu.co Fuente de Internet	1 %
13	doczz.es Fuente de Internet	1 %
14	repositorioinstitucional.buap.mx Fuente de Internet	1 %
15	repositorioubasibsi.uba.ar Fuente de Internet	1 %
16	Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA Trabajo del estudiante	<1 %
17	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
18	www.fundacionciab.com Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	faz.ujed.mx Fuente de Internet	<1 %
21	dspace.utb.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
22	repository.unad.edu.co Fuente de Internet	<1 %
23	www.buenastareas.com Fuente de Internet	<1 %
24	ica.mxl.uabc.mx Fuente de Internet	<1 %
25	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

26

bdu.siu.edu.ar

Fuente de Internet

<1 %

27

Alberto Gilmer Arias Arredondo, Juancarlos Alejandro Cruz Luis, César Enrique Pantoja Aliaga, Felipe Yali Rupay et al. "Rendimiento forrajero y valor nutritivo de dos variedades de Avena sativa (Criolla y Mantaro-15), en la sierra central del Perú", Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 2021

Publicación

<1 %

28

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1 %

29

vdocuments.com.br

Fuente de Internet

<1 %

30

www.engormix.com

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo