

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE ZOOTECNIA



**“EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA EN EL
ESTABLECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE TRES VARIEDADES DE
ALFALFA”**

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERO ZOOTECNISTA

ALMA BETSABÉ CAYETANO MANZO














LIMA – PERÚ

2022

Document Information

Analyzed document	Final TESIS VarieAlf x P_Cayetano, Alma.pdf (D169774256)
Submitted	6/5/2023 5:16:00 PM
Submitted by	Enrique Ricardo Flores Mariazza
Submitter email	efm@lamolina.edu.pe
Similarity	2%
Analysis address	efm.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2020/02/estudio_lb_alfalfa.pdf Fetched: 6/5/2023 5:17:00 PM		2
SA	TESIS JOSE ROBERTO QUISPE PACCO.pdf Document TESIS JOSE ROBERTO QUISPE PACCO.pdf (D110781955)		1
SA	TESIS_Valladares_Felipe.docx Document TESIS_Valladares_Felipe.docx (D79282574)		1
SA	TESIS_BORRADOR FINAL KLEIBER ALVA..docx Document TESIS_BORRADOR FINAL KLEIBER ALVA..docx (D111114367)		3
W	URL: https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-11.pdf Fetched: 6/5/2023 5:18:00 PM		1
SA	FINAL - TESIS - DECSY GUALINGA (1).pdf Document FINAL - TESIS - DECSY GUALINGA (1).pdf (D159370677)		1
SA	tesis para urkund.pdf Document tesis para urkund.pdf (D158816330)		3
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / Tesis Doctoral Javier JOCH_13_04_22 con visto bueno .pdf Document Tesis Doctoral Javier JOCH_13_04_22 con visto bueno_.pdf (D137488505) Submitted by: emellisho@lamolina.edu.pe Receiver: emellisho.unalm@analysis.arkund.com		2
SA	TESIS JOSUE CORREGIDA AL 16 Marzo COMPLETA.docx Document TESIS JOSUE CORREGIDA AL 16 Marzo COMPLETA.docx (D13634824)		2
W	URL: https://www.extension.purdue.edu/extmedia/ay/ay-331-w.pdf Fetched: 6/5/2023 5:17:00 PM		2
SA	Timaná, N. 2014. Alfalfa.-primera corrección final.docx Document Timaná,_N._2014._Alfalfa.-primera corrección final.docx (D11329540)		2
W	URL: http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/646/1/Rocha_2016_TG.pdf Fetched: 6/3/2022 10:27:04 PM		1
W	URL: https://www.producechihuahua.org/paqs/PT-0010Alfalfa.pdf Fetched: 7/20/2020 9:42:53 PM		1

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE ZOOTECNIA

**“EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA EN EL
ESTABLECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE TRES
VARIETADES DE ALFALFA”**

Presentado por:

ALMA BETSABÉ CAYETANO MANZO

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO ZOOTECNISTA

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Ph.D. Julio César Alegre Orihuela

PRESIDENTE

Ph.D. Mariano Gonzalo Echevarría Rojas

MIEMBRO

Ph.D. Javier Arturo Ñaupari Vásquez

MIEMBRO

Ph.D. Enrique Flores Mariazza

ASESOR

DEDICATORIA

A mis amados padres y hermana, por apoyarme en seguir mi vocación y ser mi soporte en cada paso.

A mis queridas Bonnie y Bella que siempre estarán en mi corazón.

AGRADECIMIENTO

Mi especial y sincero agradecimiento hacia el Dr. Enrique Flores Mariazza por el rol que tuvo como mi asesor y mentor. Más que la asistencia en los aspectos prácticos, técnicos y teóricos de mi investigación, valoro su dedicación, interés y la confianza al brindarme esta oportunidad. Sus consejos y formación han sido invaluable y sé que me acompañarán durante mi crecimiento como profesional y persona.

Al Sr. Agustín Cancho quien fue mi guía y consejero durante el manejo experimental en campo, recordaré todas sus historias y conocimientos que compartió conmigo e hicieron esta etapa muy amena. Al Sr. Reynaldo por su dedicación, carisma y gran ayuda, a ambos les estoy muy agradecida por haberme brindado su apoyo inclusive en los momentos más difíciles durante la pandemia.

A mis compañeros del Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales con quienes comparto gratos recuerdos.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	13
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Origen e introducción al Perú	3
2.2 Características generales.....	3
2.2.1 Clasificación	3
2.2.2 Organografía de la alfalfa.....	4
2.2.3 Germinación y emergencia	5
2.2.4 Crecimiento de las plántulas y establecimiento	6
2.2.5 Estadios de madurez y calidad nutricional	7
2.3 Mecanismos de adaptación.....	9
2.3.1 Acumulación de reservas	9
2.3.2 Grado de reposo invernal	10
2.3.3 Fijación biológica de nitrógeno	11
2.4 Requerimientos Ambientales.....	15
2.4.1 Suelo.....	15
2.4.2 Agua.....	16
2.4.3 Radiación, fotoperiodo y temperatura	16
2.4.4 Nutrientes.....	17
2.5 Manejo del cultivo de alfalfa	19
2.5.1 Elección de variedad	19
2.5.2 Preparación del terreno	22
2.5.3 Época de siembra	23
2.5.4 Dosis de siembra	23
2.5.5 Fertilización	23

2.5.6	Siembra	25
2.6	Dinámica del fósforo	25
2.6.2	Dinámica del fósforo en el suelo	25
2.6.4	Consumo y utilización del fósforo	27
2.7	Plagas de la alfalfa (Alarcón, 2008; Pioneer, 2019)	27
2.7.2	Insectos defoliadores	27
2.7.3	Insectos chupadores	28
a)	Pulgón verde	28
b)	Pulgón negro	28
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1	Área de estudio	30
3.2	Tratamientos experimentales	32
3.3	Variables evaluadas	33
3.3.1	Fase 1: Establecimiento y crecimiento	33
3.3.2	Fase 2: Producción de forraje	35
3.4	Diseño experimental	36
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1	Fase 1: Establecimiento y crecimiento	37
4.1.1	Respuesta a la fertilización fosforada	37
4.1.2	Respuesta de las variedades de alfalfa	41
4.1.3	Respuesta de la interacción variedades de alfalfa por la dosis de fósforo	44
4.2	Fase 2: Producción de forraje	46
4.2.1	Respuesta a la fertilización fosforada	46
4.2.2	Respuesta de la variedad de alfalfa	49
4.2.3	Respuesta de la interacción variedades de alfalfa por dosis de fósforo	52
V.	CONCLUSIONES	53
VI.	RECOMENDACIONES	54

VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
VIII. ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Estadíos de madurez de la alfalfa.....	7
Tabla 2.	Porcentaje de extracción de agua según la profundidad de la raíz.....	15
Tabla 3.	Requerimiento nutricional de un cultivo de alfalfa	17
Tabla 4.	Porcentaje de plantas resistentes según la clasificación de resistencia a plagas.....	21
Tabla 5.	Categorías de resistencia y su denominación según el porcentaje de plantas resistentes a plagas y enfermedades.....	21
Tabla 6.	Sorteo de tratamientos del experimento	34
Tabla 7.	Efecto de la fertilización fosforada en el comportamiento agronómico de la alfalfa (<i>Medicago sativa</i>) durante el periodo de establecimiento y crecimiento (90 días)	39
Tabla 8.	Respuesta agronómica de tres variedades de alfalfa (<i>Medicago sativa</i>) durante el periodo de establecimiento y crecimiento (90 días)	42
Tabla 9.	Comportamiento productivo de la alfalfa (<i>Medicago sativa</i>) bajo efecto de la fertilización fosforada durante el periodo de producción forrajera (6 cortes)	48
Tabla 10.	Respuesta productiva de tres variedades de alfalfa (<i>Medicago sativa</i>) durante el periodo de producción forrajera.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Emergencia y crecimiento de la plántula de alfalfa	6
Figura 2.	Relación entre calidad de forraje y fenología	8
Figura 3.	Relación entre contenido de carbohidratos en raíces y contenido de materia seca en el ciclo productivo de la alfalfa	9
Figura 4.	(a) Nódulos activos donde se aprecia su pigmentación rojiza y (b) nódulos inactivos sin pigmentación	13
Figura 5.	Preparación del campo experimental.....	33
Figura 6.	Evidencia de ataque por <i>Empoasca</i> sp. Manchas amarillas en forma de “V” en el ápice de hojas de alfalfa	44
Figura 7.	Interacción variedad de alfalfa por dosis de fósforo en la fase de establecimiento: a) densidad de plantas (plantas/m ²); b) relación hoja/tallo; c) índice de macollamiento (macollos/planta); d) altura (cm); e) biomasa aérea (gr); f) longitud de raíz (cm) y g) peso de raíz	46
Figura 8.	Interacción dosis de fósforo por variedad en la fase de producción: a) rendimiento (TnMS/ha); b) rendimiento acumulado (TnMS/ha); c) Tasa de crecimiento (kgMS/ha/día); d) altura (cm) y e) relación hoja/tallo	53

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Análisis de caracterización del suelo.....	65
Anexo 2.	Fichas técnicas de variedades de alfalfa	66
Anexo 3.	Prueba de viabilidad de semilla.....	69
Anexo 4.	Prueba de germinación de semilla.....	72
Anexo 5.	Prueba de conteo de Rhizobium.....	74
Anexo 6.	Resumen de Análisis de varianza (ANOVA).....	77

- 6.1 ANOVA densidad de plantas
- 6.2 ANOVA biomasa aérea
- 6.3 ANOVA peso raíz
- 6.4 ANOVA longitud de raíz
- 6.5 ANOVA índice de macollamiento
- 6.6 ANOVA altura
- 6.7 ANOVA relación hoja/tallo
- 6.8 ANOVA rendimiento
- 6.9 ANOVA rendimiento acumulado
- 6.10 ANOVA tasa de crecimiento
- 6.11 ANOVA altura
- 6.12 ANOVA relación hoja/tallo
- 6.13 ANOVA biomasa aérea

RESUMEN

El principal problema que aqueja a los productores de alfalfa en el Perú es el bajo rendimiento y persistencia de este cultivo causado principalmente por el poco acceso a semillas de calidad y desconocimiento en la selección de la variedad, la incorrecta fertilización o ausencia de esta y la escasez de agua. Con el fin de examinar el rol de la fertilización fosforada en el establecimiento y producción de alfalfa en la costa del Perú, el objetivo de este estudio fue estimar el efecto fertilización fosforada en la estructura vegetal, calidad y rendimiento productivo del cultivo de alfalfa, evaluar la adaptación de tres variedades de alfalfa no dormantes introducidas (Moapa 69, CUF 101 y SW 8210) a las condiciones de la costa peruana e identificar el efecto de la interacción de ambos factores en la fase de establecimiento y producción forrajera de la alfalfa. Los tratamientos fueron las combinaciones factoriales de tres variedades de alfalfa (Moapa 69, SW 8210 y CUF 101) y dos niveles de fósforo (0 kg/ha y 35 kg/ha) en un diseño completo al azar con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron la densidad de plantas, índice de macollamiento, altura, longitud de raíz, relación hoja/tallo, peso de biomasa aérea y peso de raíz en la etapa de establecimiento y rendimiento, rendimiento acumulado, tasa de crecimiento, altura, biomasa aérea y relación hoja/tallo en la etapa productiva. La fertilización fosforada favoreció ($p < 0.05$) la supervivencia de las plántulas y su desarrollo tras la siembra mientras que en la etapa productiva incrementó el rendimiento forrajero de la alfalfa. Durante la etapa de establecimiento, las variedades SW8210 y CUF101 exhibieron los valores más altos ($p < 0.05$) de altura y densidad de plantas mientras que la Moapa 69 tuvo el mejor valor ($p < 0.05$) de relación hoja/tallo e índice de macollamiento. En la etapa de productiva las variedades Moapa 69 y SW8210 resultaron superiores a CUF 101 en términos de rendimiento (kgMS/ha y kgMS/ha/día). Los patrones respuesta a la fertilización fosforada fueron similares por lo que la interacción de los factores variedad de alfalfa y dosis de fósforo no fue significativa durante el desarrollo del estudio.

Palabras clave: alfalfa, variedad, fertilización, fósforo.

ABSTRACT

The main problem that concerns alfalfa growers in Peru is the low yield and persistence reach by this crop due to the restricted access to quality seeds, the ignorance about alfalfa variety selection, an incorrect fertilization method or its absence, and water scarcity or drought. In order to solve this problem, the purpose of this research was to evaluate the adaptation of three alfalfa varieties as an alternative to local varieties and to estimate the effect of phosphorous fertilization in plant structure, quality and crop yield during stand establishment and production phases. The evaluated group treatments were the factorial combination of three alfalfa varieties (Moapa 69, SW 8210 and CUF 101) and two phosphorus levels (0 kg/ha y 35 kg/ha) in a completely randomized design with three repetitions. The variables evaluated in this study were as follows: plant density, stem/plant, height, root length, leaf:stem ratio, aboveground biomass, and root weight during stand establishment phase and yield, accumulated yield, growth rate, height, aboveground biomass and leaf:stem ratio during production phase. The fertilization with phosphorus enhanced ($p < 0.05$) seedlings survival and its development after sowing and during production phase the alfalfa yield was increased. For the first 90 days, the varieties SW8210 and CUF101 showed the highest values ($p < 0.05$) for height and density and Moapa 69 had the best leaf/stem ratio score and stem/plant number. In the production stage, Moapa 69 and SW8210 show higher values than CUF101 in terms of plant yield (kg DM ha^{-1} and $\text{kg DM ha}^{-1}\text{day}^{-1}$). The response patterns to phosphorus fertilization were similar, so the interaction between alfalfa variety and phosphorus dose was not significant over the course of the study.

Keywords: alfalfa, variety, fertilization, phosphorus.

I. INTRODUCCIÓN

La alfalfa (*Medicago sativa*) es conocida como la reina de las forrajeras a nivel mundial debido a que es un alimento de alta calidad para la producción ganadera (Second Alfalfa Congress, 2018). Además de su excelente calidad forrajera, la fama de este cultivo se debe a su alto rendimiento productivo y a su adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales (Basigalup y Rossanigo, 2007). La alfalfa tiene un gran valor económico por ser la base de la producción de industrias como la textil, lácteos, carne, etc. También cumple un rol ecológico al evitar la erosión de suelos, ser hábitat para cientos de especies de herbívoros y predadores, así como de insectos y ser eficiente en el uso del agua (Putnam, *et al.*, 2001).

En el Perú, la alfalfa fue introducida principalmente en la costa y es utilizada como principal insumo para la alimentación del ganado lechero en las cuencas lecheras de Cajamarca, Arequipa y Lima. En el año 2019 se generó una producción de 6,848,87 toneladas superando al de otras especies forrajeras. Su distribución territorial alcanzó un área total de 172 mil ha de superficie de siembra, superando al de otros pastos cultivados como la avena forrajera, trébol, ryegrass, etc., y su producción está concentrada en los departamentos de Arequipa y Puno principalmente. Este cultivo exige un alto requerimiento de agua, lo que junto a su producción (t), la convierte en uno de los cultivos a nivel nacional con mayor huella hídrica. (Rospigliosi, J., 2017; MINAGRI, 2019; ANA, MINAGRI y WWF, 2015; MINAM, 2019).

Para alcanzar niveles óptimos de rendimiento y calidad y generar un retorno económico favorable, se debe considerar la elección de una variedad adecuada. Linneaus definió en 1751 a una variedad como “una planta que fue modificada a partir de alteraciones accidentales del ambiente y se distingue por caracteres morfológicos y fisiológicos permanentes”. De esta manera, se producen muchas variedades de alfalfa que se adaptan a condiciones específicas de un medio y a un propósito de producción determinado. Los factores decisivos en la elección de una variedad son el grado de reposo invernal, potencial

productivo, resistencia a plagas, persistencia, calidad de forraje y disponibilidad/precio (Putnam, et al., 2007). En el Perú, dentro de las variedades locales más sembradas se tiene a Alta Sierra, San Pedro, Monsefú y Lecherita; sin embargo, en los últimos años se introdujeron variedades foráneas en su mayoría de EE.UU (51.4%) especialmente de las variedades CUF 101, Moapa 69 y California; y de Chile (36.15%) la variedad AGP (SUNAT, 2016; MINAM, 2019). Se sabe que existe una baja provisión y disponibilidad de semillas de calidad donde el precio de la semilla importada puede llegar a superar en 5 veces a la semilla local, así mismo, los productores indican que otro problema es el no conocer la variedad que están sembrando, ya que esta es recomendada por el vendedor local quien no tiene la capacitación ni conoce las necesidades del productor (MINAM, 2019).

La producción de alfalfa requiere grandes cantidades de nutrientes que deben ser aportados por el suelo y repuestos mediante la fertilización para asegurar la sostenibilidad del cultivo. El fósforo es un macronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de la alfalfa debido a que constituye los componentes celulares (ácidos nucleicos, fosfolípidos y ATP) necesarios en diversas rutas metabólicas. Además, interviene en la fijación biológica de nitrógeno atmosférico y promueve una mayor nodulación, otorga mayor resistencia a enfermedades e incrementa el desarrollo radicular (Rhykerd y Overdahl, 1982; Layon y Griffith, 1988; Montesano, 2008). Sin embargo, según una encuesta realizada por el MINAM (2019) la mayor parte de los productores de alfalfa en el Perú decide fertilizar con abono orgánico, solo un 29.8% de ellos utiliza fertilizantes químicos y el 12% restante no realiza ningún tipo de abonamiento del cultivo. La falta de un buen aporte nutricional puede ser una de las causas del bajo rendimiento y persistencia de la alfalfa que sufren los productores de estas zonas.

A fin de mejorar la producción y persistencia en estas zonas de importancia para el cultivo de alfalfa en el Perú, este estudio tiene como objetivos evaluar la adaptación de tres variedades de alfalfa introducidas (Moapa 69, CUF 101 y SW 8210) como alternativa de cultivo a las variedades nacionales disponibles en el mercado y estimar el efecto de la fertilización fosforada en la estructura vegetal, calidad y rendimiento del cultivo de alfalfa.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen e introducción al Perú

El nombre “alfalfa” proviene de una palabra arábica que significa “el mejor forraje”. La alfalfa probablemente se originó en Persia, área ahora comprendida por los actuales países de Turquía, Siria, Iraq, Irán, Afganistán, Pakistán (Asia Central). Luego fue introducida a Europa occidental por los romanos tras la invasión de este territorio. Años más tarde, los españoles se encargaron de introducir este forraje a México en 1519 y Perú en 1532 tras la conquista de estos países y a partir de estos se propagó a Chile y Argentina en los años 1600 y a Uruguay en 1776 (Bolton, 1962).

2.2 Características generales

2.2.1 Clasificación

(USDA, 2020)

Reino:	Plantae
Sub-reino:	Tracheobionta
Superdivision:	Spermatophyta
Division:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Rosidae
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae
Género:	Medicago
Especie:	Medicago sativa

2.2.2 Organografía de la alfalfa

a) Semilla

La semilla de la alfalfa generalmente posee forma de riñón y presenta una diferente gama de coloraciones que van desde el amarillo, verde olivo e incluso tonalidades de marrón. Las partes de la semilla comprenden: el funículo, el tegumento, el embrión y el albumen. El funículo es la estructura que mantiene la semilla unida al fruto y que luego se desprende dejando una cicatriz en la cubierta de la semilla llamada hilio. El tegumento es la capa externa que cubre y protege al embrión de la semilla. El embrión está constituido por la radícula (raíz), el hipocótilo (el área de la radícula justo debajo de los cotiledones), el epicótilo (tallo) y los dos cotiledones (hojas) que almacenan la mayor de la reserva energética para el desarrollo del embrión. Finalmente, el albumen, en el caso de la alfalfa, se encuentra reducido y tiene como función facilitar la germinación (Rodríguez, 2007; Undersander, et al. 2011).

b) Raíz

La raíz de la alfalfa es robusta y profunda, pudiendo llegar hasta los 2 o 5 metros en sólo 2 a 4 años de vida. Las alfalfas no dormantes (GRI 8-11) generalmente presentan raíces pivotantes poco ramificadas, las alfalfas de moderada dormancia (GRI 4-7) suelen presentar un alto número de raíces secundarias y las alfalfas de marcada dormancia (GRI 1-3) presentan raíces de tipo rizomatosas o rastreras (Rodríguez, 2007).

c) Tallo y corona

El tallo primario es cuadrado en su sección transversal y usualmente de consistencia maciza. Posee crecimiento primario (longitudinal) y secundario que da origen a un eje leñoso el cual formará parte de la corona. La corona es el conjunto de la parte basal de tallos nuevos y viejos ubicados entre la parte aérea y la raíz. En la planta adulta, formará parte de la porción perenne de los tallos. Tiene como principal función el ser la estructura almacenadora de sustancias de reserva y sede de yemas a partir de las cuales se producirán los nuevos rebrotes de la planta (Paredes, 2013; Rodríguez y Spada, 2007).

d) Hoja

La primera hoja de la plántula de alfalfa es unifoliada y de forma orbicular, mientras que las demás son trifoliadas (tres folíolos peciolulados) de forma oblonga u obovada. Con respecto al número de folíolos, lo más habitual es encontrar una hoja trifoliada; sin embargo, se puede hallar hojas tetrafoliadas, pentafoliadas e inclusive de más folíolos (Rodríguez, 2007).

e) Flor

La forma de la inflorescencia de la alfalfa es de racimo simple. La corola es de forma papilionada (forma de mariposa) y está formada por cinco pétalos de distintas formas: el estandarte (el pétalo más grande), las alas (ubicados a ambos lados del estandarte) y la quilla (formada por dos pétalos fusionados ubicados más internamente). El color de las flores es generalmente de color púrpura variando en su tonalidad (violeta claro a violeta oscuro). También pueden existir flores con otros colores como blancas, amarillas, azuladas y variegadas (Burkart, 1952; Del Pozo, 1977; Rodríguez, 2007).

2.2.3 Germinación y emergencia

La semilla de alfalfa germina tras haber absorbido un 125 por ciento de su peso en agua, ya que el hinchamiento generado provoca la ruptura de la cubierta de la semilla. Este proceso inicia a partir de las 24 o 48 horas luego se la siembra bajo condiciones favorables. La germinación puede ocurrir a temperaturas por sobre los 2°C; sin embargo, la temperatura óptima se encuentra entre los 18°C a 25°C o inclusive hasta los 29°C (Undersander, 2011; Mueller, 2005).

Una vez que la cubierta de la semilla está rota, la radícula emerge a través de esta cerca del hilio y continua su elongación con dirección hacia el suelo. El hipocótilo que es la porción más cercana a la semilla, forma un gancho el cual se asoma sobre el suelo arrastrando los cotiledones junto a la cubierta de la semilla. Una vez la plántula sobresale del suelo y queda expuesto a la luz se endereza (Undersander, 2011)

2.2.4 Crecimiento de las plántulas y establecimiento

La fase de establecimiento comprende el periodo entre la emergencia de las plántulas y el primer corte. Una vez que los cotiledones salen a la superficie se abren siendo la primera porción visible de la planta de alfalfa, pero estos poseen una limitada actividad fotosintética por lo que pronto agotan sus reservas energéticas, se tornan marrón y mueren. Por otro lado, el epicótilo posee una región meristemática por donde crecerá la primera hoja monofoliada, luego esta región seguirá creciendo y adicionando hojas trifoliadas (tres folíolos por hoja) o multifoliadas en sitios alternados del tallo en desarrollo. Cuando la plántula ya tiene dos hojas trifoliadas (además de la monofoliada) es capaz de producir su propia energía a través de la fotosíntesis.

Durante el inicio del desarrollo de las plántulas se prefiere una temperatura entre 20°C a 30°C, pero a medida que este continua una temperatura entre 15.5°C a 24°C es preferible (Undersander, 2011). La región apical de la radícula continúa creciendo profundo en el suelo mientras que el hipocótilo y la región superior de la radícula se ensanchan y contraen verticalmente formando lo que será la corona. Luego de cuatro semanas después de la germinación, los pelos radiculares de las raíces son infectados por las bacterias *Rhizobium meliloti* y como consecuencia se desarrollan nódulos en los que ocurre la fijación biológica de nitrógeno. Solo el cinco por ciento de los pelos radiculares son infectados y además solo el treinta por ciento de estas infecciones serán exitosas, es decir, formarán nódulos sin importar la cantidad de *Rhizobium* presente (Undersander, 2011).

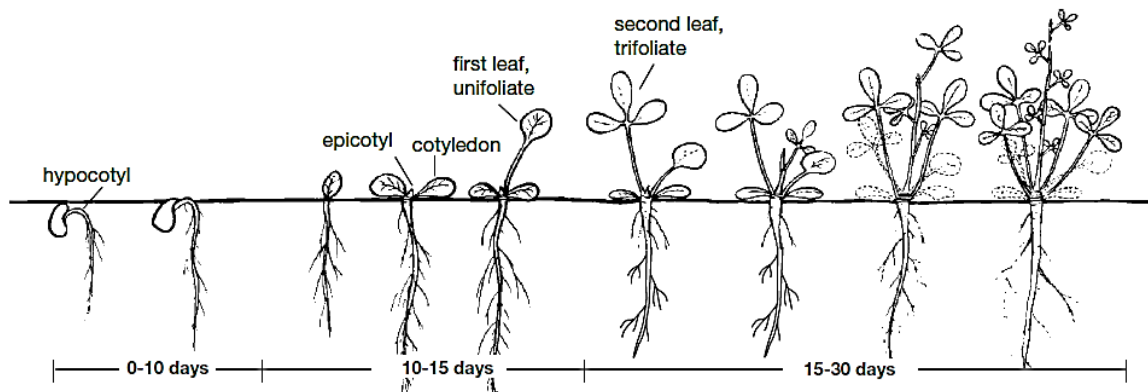


Figura 1: Emergencia y crecimiento de la plántula de alfalfa

FUENTE: Dodds and Meyer, 1984

2.2.5 Estadíos de madurez y calidad nutricional

El estado de madurez del cultivo, debe ser el principal indicador del momento adecuado para el pastoreo o corte de la alfalfa. Esto sumado a un buen sistema de pastoreo, como el rotativo de baja intensidad seguido de varios días de descanso, permitirá asegurar la calidad del forraje y la sostenibilidad del cultivo (Rebuffo, 2005). Los diferentes estadios de madurez son definidos según la presencia o ausencia de los órganos vegetales y la cantidad en la que se presentan. Así, Yzarra y López (2011) dividen los estadíos de la alfalfa en 4 etapas:

1. Emergencia: Aparecen los cotiledones sobre la superficie del suelo.
2. Botón floral: Aparecen los primeros botones florales.
3. Floración: Aparece la primera flor.
4. Maduración: Oscurecimiento de las vainas

Por otra parte, Kalu y Fick (1981) describieron un método basado en la altura de tallos, las características fenológicas y la presencia o ausencia de distintos órganos en los tallos para categorizar y definir 10 estadios de madurez en la alfalfa

Tabla 1: Estadíos de madurez de la alfalfa

Estado de madurez	Denominación	Definición morfológica
0	Vegetativo temprano	Ausencia de yemas y hojas axilares, tallos < 15 cm
1	Vegetativo medio	Presencia de primeras hojas originadas de yemas axilares, tallos de 16 a 30 cm
2	Vegetativo tardío	Presencia de ramificaciones axilares, tallos > 30 cm
3	Botón floral temprano	1 a 2 nudos con botones florales
4	Botón floral	Más de 3 nudos con botones florales
5	Floración temprana	1 nudo con una flora abierta
6	Floración tardía	Más de 2 nudos con una flor abierta
7	Fructificación temprana	1 a 3 nudos con vainas verdes
8	Fructificación tardía	Más de 4 nudos con vainas verdes
9	Vainas maduras	Nudos con vainas marrones

FUENTE: Adaptado de Kalu y Flick (1981)

Es importante señalar que, si bien se usa la altura de los tallos como indicador para definir los estados vegetativos, debe emplearse con el suficiente criterio para no caer en errores groseros de valoración, ya que el crecimiento de los tallos está influenciado por diversos factores externos como la luz, el viento y la densidad de plantas. (Rodríguez, 2007; Watari, R. 2014).

La clave para determinar la calidad forrajera está en considerar el estado fenológico en el que se encuentra la planta de alfalfa. Un forraje de calidad presenta un alto contenido proteico y una buena digestibilidad, es decir, un bajo contenido de fibra. Ambos factores están relacionado al estado fenológico de la planta, debido a que mientras la planta se desarrolla, el porcentaje proteico disminuye y el porcentaje de fibra aumenta. En conclusión, la calidad nutricional del forraje está inversamente relacionada con el estado de madurez de la planta (Sanderson y Wedin ,1989; Kalu y Fick, 1981; Nuñez et al., 2013).

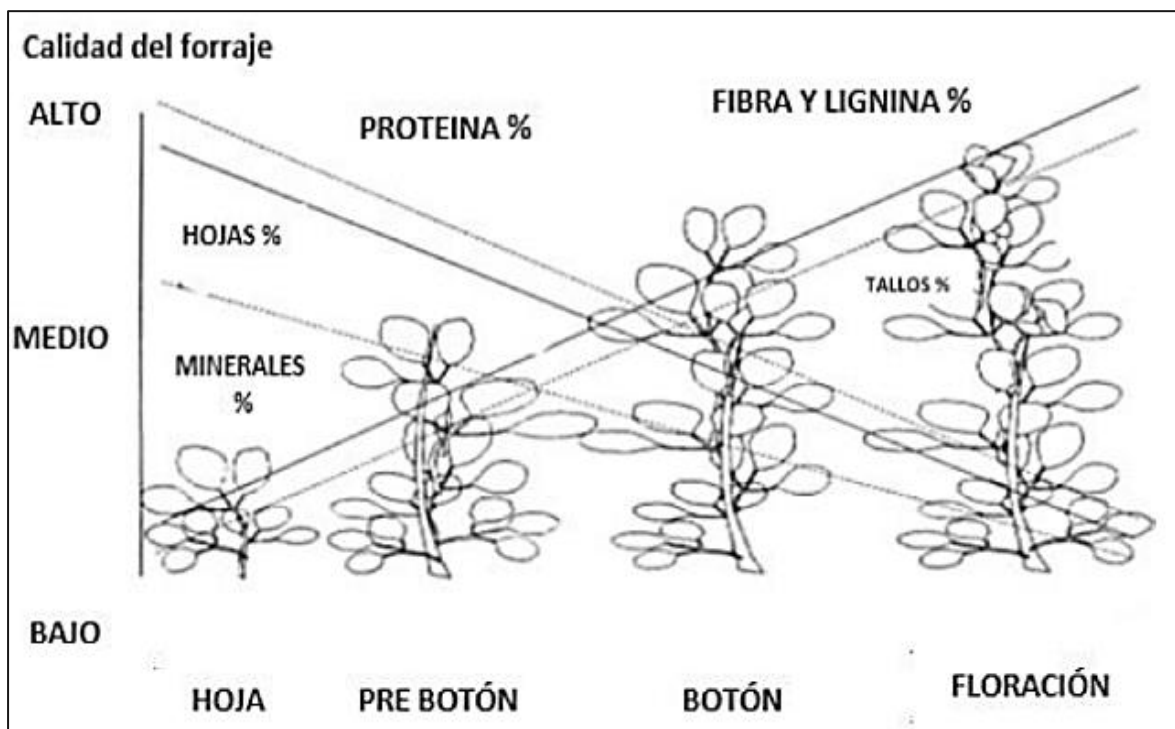


Figura 2: Relación entre calidad de forraje y fenología

FUENTE: Blazer (1986)

Una forma práctica de estimar la calidad nutritiva del forraje es mediante la relación hojas/tallos. Se sabe que las hojas presentan mayor contenido proteico y menor contenido de fibra que los tallos, por lo que lo ideal es encontrar una mayor presencia de hojas que tallos (Popovic et al., 2001; Rincón et al., 2008).

2.3 Mecanismos de adaptación

2.3.1 Acumulación de reservas

a) Carbohidratos no estructurales

Las reservas están principalmente constituidas por almidón y azúcares que son usados por la planta para producir nuevos crecimientos vegetativos (ej: rebrote basal) y también como fuente de energía para otros procesos fisiológicos. Los periodos de almacenamiento y consumo de estos carbohidratos son cíclicos y son alterados por variaciones en luz y temperatura, así como el uso que se le da al forraje (Basigalup, 2007).

El ciclo inicia con el nuevo crecimiento de material vegetativo tras el corte o pastoreo. Este proceso requiere de energía la cual es sustraída de las reservas. Las hojas remanentes se convierten en la principal fuente de carbohidratos destinados para el desarrollo de los brotes de las yemas axilares, y la raíz y corona pasarán a ser la principal fuente para el crecimiento de los brotes de las yemas de la corona. Con el transcurrir del tiempo, los contenidos de almidón y azúcares van disminuyendo debido a pérdidas por respiración de la planta y el desarrollo de los brotes, hasta que la planta alcanza una altura aproximada de 20 cm (Correa y Salgado, 2013; Macdowall y Faris, 1990).

En este estado la cantidad de carbohidratos provenientes de la fotosíntesis es la suficiente para satisfacer las necesidades energéticas del crecimiento y desarrollo de la planta. Los excedentes de carbohidratos son llevados principalmente a la raíz y el resto a la corona para ser almacenados como reserva de energía, llegando a su máximo nivel cuando la planta alcanza el 10% de floración. Con la aparición de los nuevos rebrotes, las reservas disminuyen gradualmente iniciándose un nuevo ciclo de producción (Cangiano, 2007; Reynolds y Smith, 1962; Smith, 1972; Ueno y Smith, 1970).

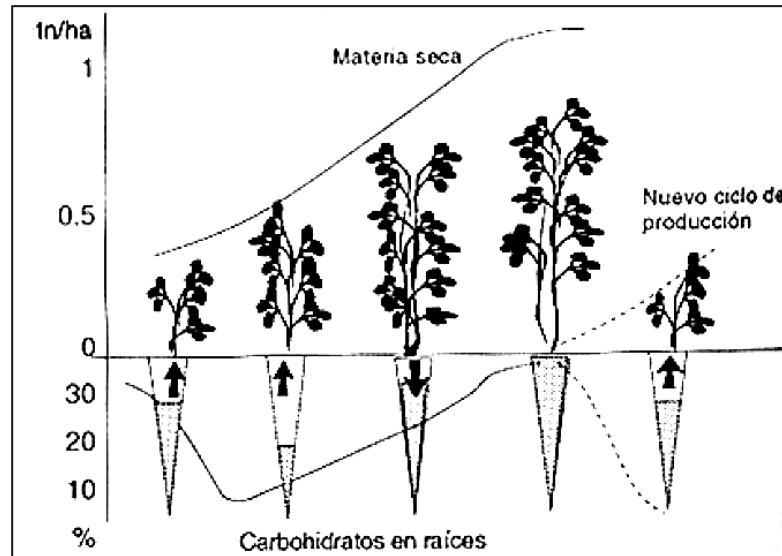


Figura 3: Relación entre contenido de carbohidratos en raíces y contenido de materia seca en el ciclo productivo de la alfalfa

FUENTE: Blazer (1986)

b) Sustancias nitrogenadas

Así como se acumulan carbohidratos no estructurales en raíz y corona, las sustancias nitrogenadas también forman parte de estas reservas. Su principal función es otorgar a la planta tolerancia a las bajas temperaturas y participar en algunos procesos relacionados con el rebrote. La fuente de este nitrógeno proviene en su mayoría de la fijación simbiótica entre las bacterias *Rhizobium meliloti* y la raíz de la leguminosa.

Luego del corte, el nivel de nitrógeno acumulado en las raíces y corona disminuye ya que de este depende el disparo del crecimiento de los nuevos brotes de las yemas de la corona. Más adelante, el nitrógeno fijado en los nódulos pasará a ser la principal fuente de nitrógeno para la planta (Cangiano, 2007)

2.3.2 Grado de reposo invernal

El grado de reposo invernal, o también conocido como dormancia, es el estado en el que la planta pausa su crecimiento y desarrollo como estrategia para sobrevivir frente a condiciones adversas como bajas temperaturas regulada por factores genéticos y ambientales (Poole et al., 2003; Soppe y Bentsink 2016). El GRI se clasifica según INASE (Instituto Nacional de Semillas de Argentina) en una escala que va desde 1 (reposo invernal extremadamente largo) a 11 (extremadamente sin reposo invernal), donde un cultivo que presenta reposo (1 a 3)

detiene su crecimiento a medida que se acortan las horas de luz al día y disminuye la temperatura, mientras que, un cultivo sin reposo (8 a 11) se ve menos influenciado por la duración del fotoperiodo y continúa creciendo en tanto las temperaturas superen los 5°C (Poole et al., 2003; Spada, 2007).

Esto determina la adaptación a ciertas áreas ecológicas, la producción total de forraje y la distribución estacional de las diferentes variedades de alfalfa. Las variedades con reposo invernal muestran tallos cortos y postrados en otoño, no son afectadas por las heladas en invierno y durante el verano sus rebrotes presentan bajas tasas de elongación. Mientras que las variedades sin reposo crecen durante todo el año, presentan tallos más erectos y mayores tasas de crecimiento durante primavera y verano, pero son dañadas cuando la temperatura es inferior a -1°C (Spada, 2007).

La resistencia a las heladas que poseen las variedades con reposo estaría relacionada con la composición de los carbohidratos de reserva. Estos presentan mayor concentración de oligosacáridos (sacarosa y rafinosa) en la corona aumentando sus niveles en otoño y la concentración de estos oligosacáridos brinda mayor resistencia a las heladas que el almidón. Así mismo, la concentración de compuestos nitrogenados también se relaciona con la resistencia a las heladas, ya que las variedades con reposo presentan mayor concentración de compuestos nitrogenados en la corona y raíz en otoño a diferencia de las variedades sin reposo (Haagenson, D. et al, 2003; Spada, 2007).

2.3.3 Fijación biológica de nitrógeno

a) Descripción

La alfalfa como toda leguminosa tiene la capacidad de formar una relación simbiótica con bacterias conocidas como *Rhizobium*, en donde la bacteria obtiene energía a partir de la planta y a su vez esta recibe compuestos nitrogenados para su crecimiento. Las plantas extraen el nitrógeno del suelo a través de sus raíces en forma de iones de amonio (NH^4) y nitrato (NO_3^-). Para este proceso se requiere convertir el nitrógeno molecular (N_2) disponible en la atmósfera mediante la acción de la enzima nitrogenasa la cual se encuentra en las bacterias fijadoras de nitrógeno (*Rhizobium*). Estas bacterias pueden vivir libremente en el suelo o ser inoculadas directamente a la semilla

y según la especie son específicas para un determinado tipo de leguminosa. En el caso de la alfalfa, la especie de bacteria fijadora con la que se asocia es la *Rhizobium meliloti* (Gemell, G. y McDonald, W., 2017; Paredes, 2013).

b) Formación del nódulo

La alfalfa libera compuestos flavonoides al suelo que causan que las bacterias *Rhizobium* colonicen la rizósfera y se adhieran a los pelos radicales, estimulando la expresión de sus genes de nodulación. Estos genes son los responsables de la formación de señales extracelulares específicas del huésped conocidos como factores de nodulación. Los factores de nodulación son lipo-quitoooligosacáridos, moléculas secretadas por las bacterias para iniciar la interacción simbiótica con las plantas induciendo el rizado de los pelos radiculares. Las bacterias ingresan a la raíz vía un hilo de infección desde los pelos radiculares hacia las células de la corteza radicular. El hilo de infección es una estructura derivada de la planta que se origina a partir de la invaginación de la membrana plasmática acompañado de una pared celular. Las células de la corteza formarán el nódulo donde las bacterias son finalmente endocitadas y se encuentran listas para iniciar la diferenciación a bacteroides fijadores de nitrógeno (Lerouge, P., 1994; Pellock, et al., 2000; Sprent J. y Sprent, P., 1990; Stougaard, 2000).

Las bacterias se benefician consumiendo los productos de la fotosíntesis de la planta huésped (carbohidratos), mientras que la alfalfa aprovecha el nitrógeno fijado por el *Rhizobium* cuya capacidad fijadora es de un promedio de 200 kg de nitrógeno por hectárea al año (Audesirk *et al*, 2005; Paredes, 2013).

c) Relación simbiótica con *Rhizobium meliloti*

Las bacterias *Rhizobium meliloti* se encargan de convertir el nitrógeno atmosférico a una forma aprovechable para la planta mediante la ayuda de la enzima nitrogenasa. Esta enzima cataliza el nitrógeno (N_2) generando amoniaco (NH_3) que es rápidamente protonado a amonio (NH_4^+). Luego el amonio, al ser inhibidor de la síntesis de nitrogenasa, es asimilado en el citosol de las células infectadas en forma de ácido glutámico por acción de la enzima glutamina sintetasa. En esta reacción se forma la

glutamina que luego es exportada desde los nódulos hacia el resto de la planta vía xilema para su provecho (Mayz, 1997).

La enzima nitrogenasa se inactiva irreversiblemente ante la presencia de oxígeno por lo que para su protección se produce leghemoglobina que controla la concentración de oxígeno en el citoplasma de las células infectadas de los nódulos. Su síntesis inicia justo después de la formación del nódulo y antes de la síntesis de nitrogenasa (Singh S. y Varma A., 2017).

La leghemoglobina es de color rojo-rosa por lo que un indicador de un nódulo activo que se encuentre fijando nitrógeno es el color rojizo en su interior. Los nódulos jóvenes son de color blanco o gris y a medida que crecen se tornan rosas o rojizos indicando que el proceso de fijación de nitrógeno ha iniciado. Los nódulos efectivos son generalmente más largos en tamaño, de color rojizo en el interior y se ubican cerca de la corona de la planta. Por otro lado, cuando estos nódulos ya maduros se tornan verde indica que el nódulo está obsoleto o que envejeció debido al estrés, la leghemoglobina se descompuso perdiendo así la capacidad de fijar nitrógeno eficientemente. Los nódulos ineficientes son pequeños, de color blanco o gris y se ubican por todo el sistema radicular. Algunos presentan una pequeña cantidad de pigmento lo que les permite fijar nitrógeno parcialmente. Esto puede ser resultado de una deficiente nutrición de la planta (especialmente de fósforo y potasio), estrés hídrico, cepa de

Rhizobium ineficiente, entre otros (Gemell, G. y McDonald, W., 2017; Lindermann, W. and Glover, C., 2015).

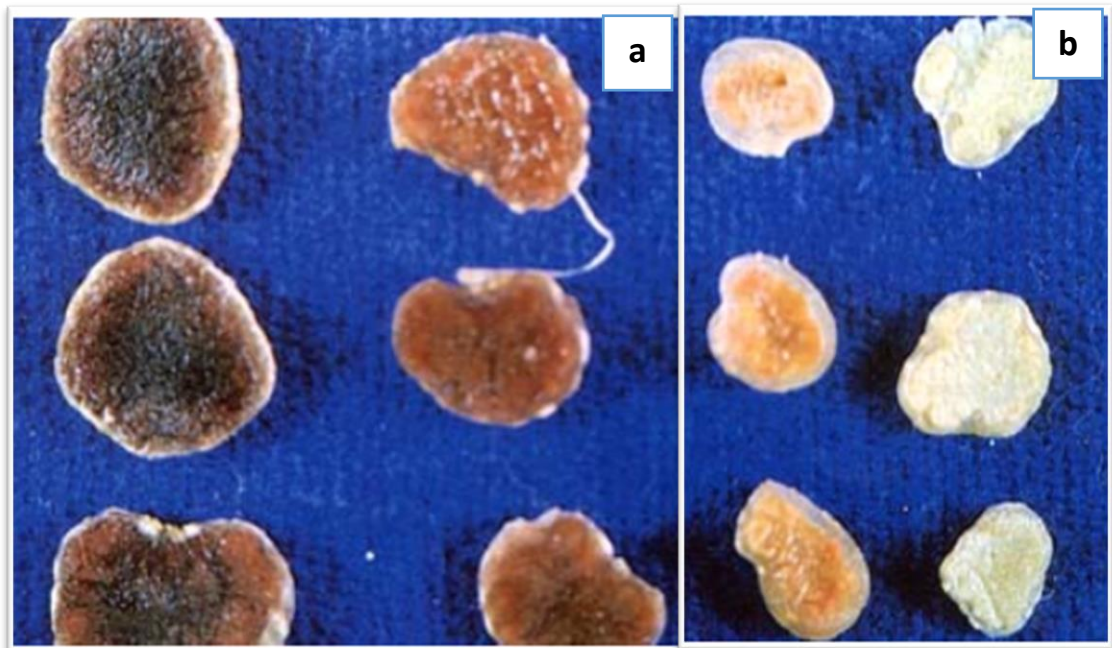


Figura 4: (a) Nódulos activos donde se aprecia su pigmentación rojiza y (b) nódulos inactivos sin pigmentación

FUENTE: Gemell, G. y McDonald, W. (2017)

d) Factores que afectan la fijación de nitrógeno

Entre los factores ambientales y de manejo que afectan la fijación de nitrógeno tenemos (tomado de Montañez, A. 2000; Gemell, G. y McDonald, W., 2017):

- Temperatura y humedad
Tiene un efecto en la supervivencia de las bacterias Rhizobium en el suelo y su capacidad para nodular y fijar nitrógeno. Las altas temperaturas matan a estas bacterias.
- Fertilización de nitrógeno
Generalmente la incorporación de nitrógeno retrasa o inhibe la nodulación y fijación de nitrógeno.
- Insecticidas
Los insecticidas no tienen efecto adverso en la nodulación si no son aplicados directamente a la semilla.

- Suelos ácidos

Los suelos ácidos afectan tanto al cultivo como a la fijación de nitrógeno debido a sus bajas concentraciones de fósforo y calcio y altos niveles de aluminio y manganeso.

- Fertilizantes

El superfosfato y derivados son fertilizantes muy ácidos y tóxicos para las bacterias *Rhizobium* si se encuentran en contacto directo.

- Labranza

Limitar la labranza puede estimular la demanda de nitrógeno, así como su fijación, ya que se reducen las tasas de mineralización y nitrificación.

2.4 Requerimientos Ambientales

La alfalfa es un cultivo perenne que mantiene una alta tasa fotosintética para una gran variedad de climas, su rango óptimo de temperatura es de entre 20 a 30°C, pero puede tolerar climas extremos con temperaturas que oscilan entre 16°C durante el día y descienden hasta bajo cero en la noche (Cangiano, 2007; Clavijo y Cadena, 2011; Probst, 2008). Puede adaptarse en diversos lugares hasta los 3000 m.s.n.m siendo el rango óptimo de entre los 1500 a 2500 m.s.n.m. por brindar condiciones climáticas más favorables (León, 2002).

2.4.1 Suelo

La alfalfa requiere de suelos con un buen drenaje para una producción óptima ya que los suelos que retienen mucha humedad son propicios para el desarrollo de enfermedades que afectarían de gravedad a las plántulas e incluso a las plantas ya establecidas. Por esto mismo, se prefiere que el terreno de siembra este nivelado con el fin de evitar estancamientos de agua. Los suelos deben ser profundos (mayor a 1 metro) y bien aireados con un pH cercano al neutro (6.5 a 7.5). La alfalfa presenta raíces muy profundas que logran superar los 6 metros, por lo que un suelo profundo aporta mayor capacidad de retención de agua permitiendo que la alfalfa sea tolerante a las sequías (Undersander, et al. 2011)

2.4.2 Agua

Este cultivo requiere una alta demanda hídrica en especial al tratarse de variedades nuevas con mayores potenciales de producción debido a que posee una extensa temporada de crecimiento, un sistema radicular profundo y una densa vegetación. Es resistente a la sequía, pero muy sensible al exceso de riego, ya que ahoga las raíces pudiendo generar la muerte de la planta, además de brindar las condiciones para la proliferación de patógenos. La frecuencia irrigación y la cantidad de agua a usar dependen de la cantidad de agua almacenada en el suelo. A pesar de la gran longitud de la raíz principal, las raíces que son más activas al momento de absorber el agua se encuentran cerca de la superficie del suelo donde normalmente el 100% del agua es extraída de los primeros 1 a 2 metros de profundidad de suelo (Bauder, 1978; FAO, 2020).

Tabla 2: Porcentaje de extracción de agua según la profundidad de la raíz

Profundidad de la raíz (m)	Porcentaje del total de agua extraído
0 – 0.5	40 %
0.5 – 1	30 %
1 – 1.5	20 %
1.5 - 2	10 %

FUENTE: Adaptado de Bauder (1978)

2.4.3 Radiación, fotoperiodo y temperatura

Los pigmentos fotosintéticos absorben aproximadamente un 50% de las longitudes de onda de la radiación solar. A esta fracción de radiación solar absorbida se le conoce como radiación fotosintéticamente activa (RFA). Pero, el cultivo genera materia seca a partir de una fracción de esta RFA que se conoce como fracción interceptada (f). Así el cálculo de la radiación requerida o radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFA_i) para la producción de forraje es:

$$RFA_i = f * RFA$$

La RFA_i es la radiación disponible que la planta puede utilizar para generar forraje, pero esta depende de la eficiencia en su uso, por lo que se calcula la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) de la siguiente manera:

$$EUR \text{ (g/MJ)} = \text{Materia seca producida (g/m}^2\text{)} / RFA_i \text{ (MJ/m}^2\text{)}$$

La eficiencia del uso de radiación varía a lo largo del año como consecuencia de la variación de la temperatura. Es así que aumenta en primavera y verano cuando las temperaturas son favorables (mayor a 20°C) y disminuyen en otoño e invierno. La alfalfa es una especie de días largos, es decir, florece más rápidamente con fotoperiodos largos (más horas de luz al día) durante las estaciones de primavera y verano; mientras que, en las estaciones de días cortos, como otoño e invierno, requiere de mayores sumas térmicas para alcanzar el momento de floración y por ende el corte. Los días largos (mayores a 12 horas) favorecen el crecimiento de la biomasa aérea mientras que los días cortos promueven el crecimiento de la raíz (Collino *et al.*, 2007; Mueller, S., 2005).

La temperatura afecta el área foliar posibilitando su máximo tamaño a temperaturas cercanas a 20-25 °C, mientras que cuando la temperatura disminuye el área foliar también disminuye gradualmente y esto se intensifica a temperaturas mayores del rango óptimo. Esto explica parcialmente por qué la alfalfa produce menos durante la estación de verano, aunque se considera que el estrés hídrico es el principal factor que afecta la producción de forraje. La tasa de crecimiento está afectada por la temperatura y el fotoperiodo. Durante el año, se alcanza el máximo crecimiento en primavera y principio de verano, periodo en el que el fotoperiodo es mayor, mientras que a mediados de verano en adelante empieza a disminuir debido al acortamiento de las horas de luz al día (Cangiano, 2007).

2.4.4 Nutrientes

Además de los factores ambientales como temperatura, radiación solar que son vitales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, la disponibilidad de nutrientes también condiciona el potencial productivo y la persistencia del cultivo de alfalfa. La alfalfa necesita una alta demanda de algunos nutrientes a comparación de otros cultivos. Hay 18 nutrientes esenciales para el crecimiento de la alfalfa los cuales se clasifican según su concentración en la planta en (Ottman, 2010):

- Nutrientes estructurales: Carbono, Hidrógeno y Oxígeno
- Macronutrientes: Nitrógeno, Fósforo y Potasio
- Nutrientes secundarios: Calcio, Magnesio y Azufre
- Micronutrientes: Hierro, Manganeso, Boro, Zinc, Cobre, Molibdeno, Cloro, Níquel y Cobalto

La producción de una tonelada de materia seca requiere la extracción de los nutrientes en las siguientes proporciones (Tabla 3 y Tabla 4):

Tabla 3: Requerimiento nutricional de un cultivo de alfalfa

Nutriente	Kg/tn MS		
	Layon y Griffith (1998)	García (1999)	Undersander (2011)
Nitrógeno	28.0	27.8	
Fósforo	2.8	3.0	2.72
Potasio	22.0	30.5	21.8
Azufre	3.8	2.5	2.72
Calcio	12.0	12.5	13.6
Magnesio	3.0	2.3	2.72
Boro			00.4

La deficiencia de estos nutrientes muestra síntomas visibles, sin embargo; no se debe depender solo de estos para afirmar la falta de algún nutriente, ya que generalmente cuando los síntomas aparecen es porque ya se generó una pérdida importante en la producción. Además, muchas afecciones parecidas son ocasionadas por las condiciones del medio ambiente, enfermedades, ataque de plagas, crecimiento radicular restringido, mas no por el contenido nutricional del suelo. A continuación, se describen los síntomas de deficiencia de los nutrientes más relevantes (Alarcón, 2008; Undersander, 2011):

- Nitrógeno: La deficiencia de nitrógeno se presenta con una coloración verde clara a amarilla en las hojas y un crecimiento delgado de las plantas, en la etapa inicial se observa un color rosa en el peciolo su causa principal es una pobre nodulación.
- Fósforo: Los síntomas de la deficiencia del fósforo no están definidos. La raíz presenta una coloración ligeramente café y reducido crecimiento, también se puede ver la coloración verde azulada de las hojas, los folíolos suelen doblarse y los tallos y partes bajas pueden presentar coloración rojiza o púrpura.
- Potasio: Se aprecian puntos blancos alrededor del borde de las hojas iniciando en las hojas inferiores. En casos extremos las hojas se vuelven amarillas y mueren. Otro tipo de lesiones visibles son las manchas grises en los márgenes de las hojas viejas, las cuales luego se tornan rosas y mueren. Sus síntomas pueden confundirse con el de la plaga *Empoasca fabae*.
- Calcio: En plantas jóvenes los peciolos se doblan y colapsan, las hojas desarrollan una necrosis marginal que inicia en la punta y es de color verde azulado, después se torna blanco grisáceo. Hay un crecimiento radicular disparejo.
- Azufre: Es frecuente en suelos arenosos con poca materia orgánica y mucho drenaje. Sus síntomas son similares a los de la deficiencia de nitrógeno. Las hojas y venas presentan color verde claro y tienen un crecimiento débil. Generalmente se aprecia estos síntomas en las hojas jóvenes a diferencia de la deficiencia de nitrógeno, cuyos síntomas se observan en las hojas inferiores.
- Boro: Las hojas se vuelven amarillentas, acortamiento del crecimiento del tallo principal. La coloración amarilla de las hojas luego se torna rojiza o púrpura entre las venas, usualmente se confunde con el ataque de *Empoasca fabae*.

2.5 Manejo del cultivo de alfalfa

2.5.4 Elección de variedad

Una variedad de alfalfa consiste en una población de individuos genéticamente diversos que han sido seleccionados por algún rasgo mejorado como producción, reposo invernal, calidad de forraje y resistencia de enfermedades y plagas (Putnam, 2007). La alfalfa es un cultivo perenne por lo que la decisión sobre la variedad a implantar repercute por varios años. Los

criterios a considerar para la elección adecuada de una variedad deben basarse en los siguientes aspectos (Putnam, 2007; Undersander, 2011):

a) Potencial productivo

Comparar variedades nuevas disponibles en el mercado, ya que se espera que una variedad nueva presente una mejor producción. El performance productivo de estas varía según la región por influencia del clima y del tipo del suelo por lo que se debe escoger una que se haya desarrollado en zonas con condiciones parecidas a la zona donde se quiere sembrar.

b) Dormancia

La dormancia se define y cuantifica como el grado de crecimiento durante el otoño, está regido por la genética de las plantas y muestra la respuesta fisiológica de la planta a las bajas temperaturas y la disminución de las horas de luz al día. Las condiciones ambientales, la experiencia y el objetivo de producción determinan la elección de una variedad óptima. Mientras se tiende a elegir variedades no dormantes (8-11) porque alcanzan altos rendimientos, debe tenerse en cuenta que esto solo se da bajo las condiciones ambientales adecuadas, es decir, en una región estas variedades podrían alcanzar menor rendimiento y ser menos persistentes que otras variedades más dormantes. Por otro lado, también se debe considerar la calidad de forraje ya que las variedades no dormantes presentan menor calidad de forraje que las variedades dormantes. Las variedades dormantes y semi dormantes son preferibles para áreas de inviernos fríos como en los valles intermontañas.

c) Resistencia a plagas y enfermedades

Hoy en día se desarrollan nuevas variedades que presentan resistencias a diversos tipos de insectos, nematodos y enfermedades. La clave para la elección adecuada de una variedad según su resistencia está en identificar las enfermedades, nematodos e insectos más significantes de la región de interés. Debe entenderse que este rasgo mejorado está presente en cierta frecuencia dentro de la población, es decir, dentro de una variedad de alfalfa que es altamente resistente a cierto insecto pueden encontrarse plantas que son susceptibles a este mismo insecto. Es así que se tiene una clasificación

sobre el porcentaje de plantas resistentes y la denominación correspondiente (Tabla 4 y Tabla 5):

Tabla 4. Porcentaje de plantas resistentes según la clasificación de resistencia a plagas

Categoría	Porcentaje
Altamente resistente	>50%
Resistente	35-50%
Moderadamente resistente	20-35%
Baja resistencia	5-20%
Susceptible	<5%

FUENTE: Adaptado de Putnam (2007)

Tabla 5. Categorías de resistencia y su denominación según el porcentaje de plantas resistentes a plagas y enfermedades

Categoría	Porcentaje
Altamente resistente	>51%
Resistente	31-50%
Moderadamente resistente	15-30%
Baja resistencia	6-14%
Susceptible	<5%

FUENTE: NAAIC, Standard Test (Spada, 2007)

d) Persistencia

La persistencia depende principalmente en el reposo invernal y la resistencia a las enfermedades por lo que se puede usar esta información para estimar la persistencia. Se prefiere seleccionar cultivos que tenga una vida productiva de 4 a 5 años que aquellos con una de 7 a 8 años, ya que un cultivo joven de alfalfa produce más y con el pasar de los años su rendimiento disminuye.

e) Calidad de forraje

Evaluar las nuevas variedades de alfalfa contra la que usualmente se siembra y hacer una comparación basado en la digestibilidad, ingesta y calidad de forraje en relación a la relación hoja/tallo.

f) Propósito de uso

Es diferente cultivar alfalfa con el propósito de producir heno que alfalfa para pastorear. En el caso de la producción de heno, se prioriza la persistencia del cultivo sobre el rendimiento, mientras que cuando se cultiva en sistemas de rotación de 4 años o con el fin de aumentar el contenido de nitrógeno en el suelo para ser aprovechado por un siguiente cultivo se prefieren variedades con altos rendimientos.

2.5.2 Preparación del terreno

La preparación adecuada de la cama de siembra para el establecimiento es importante porque así se busca reducir futuros problemas con malezas, enfermedades, controlar la eficiencia del uso del agua; lo que daría como resultado una mayor producción y persistencia del cultivo (Mueller, S., 2005).

Durante este proceso se busca dar las condiciones químicas y físicas adecuadas al suelo. La alfalfa requiere de suelos con una profundidad mínima de 1 a 2 metros, bien aireado, no salinos y con un pH cercano al neutro (6,5 a 7,5). La textura de suelo debe ser liviana e intermedia, evitando los suelos arcillosos y arcillo limosos ya que al no permitir un buen drenaje y ocasionan la asfixia y muerte de las plantas de alfalfa (Basigalup, 2007; Morales, M., 2013).

El campo debe estar nivelado para permitir el flujo de agua uniforme sobre la superficie de siembra y así evitar estancamientos o zonas sin riego lo cual afectaría la producción del cultivo (Basigalup y Rossanigo, 2007).

Finalmente, la superficie de la cama de siembra debe ser lo más fina posible para permitir la penetración de equipos de siembra o rastrillos para definir los surcos y además permitir luego

cubrir la semilla. Sin embargo, no se busca un exceso de labranza ya que generaría costras tras el riego o fuertes lluvias. Así mismo, debe ser lo suficientemente firme para asegurar el contacto de la semilla con el suelo y así esta sea capaz de absorber la humedad. Una manera práctica de medir la firmeza del suelo es evitar que la profundidad que deja una huella al pisar sobre la cama no sea mayor a 1-1.5 cm (Mueller S., 2005).

2.5.3 Época de siembra

Principalmente se procura sembrar en dos épocas ya sea a inicios de primavera u otoño. Cada época presenta sus ventajas y desventajas que deben ser tomadas en consideración para la elaboración de planes de mitigación y control. Por ejemplo, en primavera se aprovecha la temperatura óptima para la germinación y rápido crecimiento de las plantas, pero la principal desventaja está en que la competencia con las malezas será mayor al igual que el ataque de enfermedades y plagas. Mientras que en otoño la temperatura no es la óptima pero la competencia con las malezas se reduce considerablemente. La alfalfa tiene una implantación lenta por lo que las malezas con un crecimiento más rápido podrían ser un problema grave a considerar ya que compiten por luz, agua y nutrientes y de no ser controladas pueden afectar el vigor de las plántulas e incluso reducir la densidad de plantas al punto de ser necesario una resiembra (Mueller, S., 2005; Olivo, S. 2020; Soto, P., 1983).

2.5.4 Dosis de siembra

La dosis de siembra recomendada es de 25 - 30 kg/ha cuando se tienen semillas certificadas con un porcentaje de germinación de 98% y la siembra se realiza al voleo o por distribución manual, mientras que, si se decide realizarla por surcos, la dosis de semillas se reduce. También se toma en consideración la forma de riego, ya que al hacerlo por gravedad ocasionaría una posible pérdida por arrastre, por lo que se recomienda aumentar la dosis en estos casos.

2.5.5 Fertilización

a) Nitrógeno

La mayor parte de los requerimientos de nitrógeno son aportados por la interacción simbiótica con las bacterias *Rhizobium meliloti*. Estas bacterias pueden encontrarse

viviendo libremente en el suelo, pero aun así se recomienda utilizar semillas inoculadas para evitar problemas posteriormente. La incorporación de nitrógeno durante la implantación genera toxicidad disminuyendo la densidad de plantas, la capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico en inclusive reduciendo la posterior producción de forraje. Por otro lado, su incorporación en pasturas en producción ha demostrado inducir una mayor tasa inicial de producción de forraje. Una planta necesita del nitrógeno puesto que este es el principal constituyente de las proteínas, así mismo, contribuye al crecimiento del área foliar, eficiencia del uso de la radiación solar y calidad del forraje. La deficiencia de este elemento ocasiona que las hojas inferiores se tornen de un color verde pálido o amarillento, luego la planta detiene su crecimiento generando una pérdida en la producción (Rotondaro, R.; Zorita, M. 2007).

b) Fósforo

El fósforo es el segundo elemento limitante para la producción después del nitrógeno y se recomienda que se encuentre a una concentración no menor a 25 ppm para la producción de alfalfa. Dentro de sus funciones principales, resaltan su efecto en el rápido desarrollo radicular lo que es importante durante la etapa de establecimiento, la formación de nódulos y su intervención en la fijación biológica de nitrógeno atmosférico a través de la enzima nitrogenasa (Basigalup y Rossanigo, 2007; Paredes, 2013; Layon y Griffith, 1988).

El fósforo se desplaza lentamente a través del suelo y no se pierde por lixiviación ni por volatilización. Tras la siembra, la planta solo aprovechará de forma inmediata el 10 al 30 % del fósforo aplicado, luego el resto será consumido a lo largo del ciclo productivo. La fuente de fósforo debe ser considerada al momento de la fertilización ya que en suelos alcalinos no se recomienda utilizar fuentes con baja solubilidad, mientras que, en suelos neutros o ligeramente ácidos no existe restricciones. Si se aplica fosfato diamónico (18% de nitrógeno y 46% de fósforo), el amonio favorecerá la disponibilidad y asimilación del fósforo por la planta ya que reduce la fijación del fósforo al suelo. El superfosfato triple (0% de nitrógeno y 46% de fósforo) tiene una alta solubilidad en agua, de esta manera se aseguraría una respuesta rápida tras la fertilización (Salguero. J, 2018; Zorita, M. 2007).

La deficiencia de fósforo es difícil de reconocer, generalmente se manifiesta con la reducción del crecimiento tanto primario como secundario y una coloración oscura en las hojas (Lissbrant, S. et al, 2009).

c) Potasio

El potasio presenta un bajo requerimiento durante la implantación, pero cuando se incrementa el crecimiento y producción de las plantas de alfalfa su demanda aumenta. Este elemento participa en la activación de enzimas, la síntesis y degradación de carbohidratos, la síntesis de proteínas, estimulación del rebrote y en la apertura y cierre de los estomas, así mismo, es un elemento clave para lograr un máximo rendimiento y calidad de forraje. Los síntomas de deficiencia aparecen como puntos cloróticos en los márgenes de las hojas, especialmente en hojas viejas debido a que ante la escasez la alfalfa transporta el potasio desde las hojas viejas hacia las más jóvenes (Lissbrant, S. et al, 2009; Salguero. J, 2018).

2.5.6 Siembra

La profundidad a la cual se siembra la semilla no debe ser mayor a 2 centímetros, ya que podría ocasionar que las plántulas no emerjan o reducir su vigor. Las formas más comunes de siembra son al voleo o por surcos. Cuando se realiza al voleo manual debe procurarse la uniformidad en la distribución de las semillas para evitar suelo desnudo y la erosión, por otro lado, cuando se realiza por surcos se recomienda que la distancia entre hileras sea de 0.30 metros para permitir un mejor control de malezas y otras actividades donde se requiera el ingreso de personal al campo como durante la aplicación de insecticidas. Tras depositar la semilla en el suelo se procede a cubrirla ligeramente.

2.6 Dinámica del fósforo

2.6.2 Dinámica del fósforo en el suelo

El fósforo se encuentra en el suelo de forma inorgánica y orgánica. El fósforo inorgánico es la forma inmediatamente más disponible para la planta, comprende compuestos minerales como apatitas, strengita o variscitas y otros fosfatos asociados con calcio, hierro y aluminio. Mientras que el fósforo orgánico está presente en formas estables como fosfatos de inositol

y fosfonatos y formas activas como diesteres ortofosfatos, monoesteres fosfato lábiles y polifosfatos orgánicos (Shen, *et al.* 2011).

La dinámica del fósforo inorgánico varía según el pH del suelo. En suelos ácidos es retenido principalmente por los óxidos e hidróxidos de Al/Fe como también por minerales de la arcilla. Estos compuestos presentan largas áreas superficiales específicas por lo que disponen de un gran número de sitios de absorción. Cuando el fósforo es retenido o absorbido por los óxidos de Al/Fe este ya no estará disponible para la planta. En suelos neutros a calcáreos, el fósforo puede precipitar con Ca formando fosfato dicalcio que puede ser absorbidos por las plantas, pero si éste forma complejos más estables como octocalcio o hidroxiapatita estará menos disponible para ser absorbido por las plantas a un pH alcalino. (Shen, *et al.* 2011).

El fósforo orgánico puede ser liberado del suelo mediante procesos de mineralización realizados por microorganismos del suelo o las raíces de la planta por medio de la secreción de enzimas fosfatasas (Shen, *et al.* 2011).

2.6.3 Dinámica del fósforo en la rizósfera

La rizósfera es la zona crítica de interacción entre suelo, planta y microorganismos en donde, a través de las raíces, la planta puede modificar el ambiente de la rizósfera por medio de la exudación de mucílagos, ácidos orgánicos, fosfatasas y algunas sustancias de señalización específica. En el caso del fósforo, este puede ser consumido y agotado rápidamente quedando disponible solo fuera de la rizósfera generando una gradiente de concentración en una dirección radial lejos de la superficie de la raíz. Incluso cuando el contenido de fósforo excede los requerimientos de la planta su disponibilidad puede estar restringida debido a su baja solubilidad, baja movilidad y alta fijación a la matriz del suelo por lo que la planta tiene como alternativa dos procesos claves para conseguir fósforo: disponibilidad espacial y adquisición de fósforo mediante cambios en la arquitectura de la raíz, así como por asociación micorriza y biodisponibilidad y adquisición de fósforo mediante procesos químicos y biológicos de la rizósfera (Shen, *et al.* 2011; Schachtman, *et al.* 1998).

La raíz realiza cambios químicos y biológicos en la rizósfera para mejorar la disponibilidad de fósforo, por ejemplo, por medio de la liberación de protones que acidifican la rizósfera descendiendo su pH en 2 a 3 unidades y así permitir la disolución del P del suelo, exudación de carboxilatos para movilizar el poco fósforo disponible mediante quelación e intercambio de ligando y secreción de fitasas o fosfatasa para movilizar el fósforo orgánico mediante reacciones de hidrólisis (Shen, et al. 2011).

2.6.4 Consumo y utilización del fósforo

El consumo de P es un problema para las plantas debido a que su requerimiento por este elemento es alto; sin embargo, la concentración de P en la solución del suelo es baja. Las raíces absorben el fósforo como H_2PO_4^- en suelos ácidos y HPO_4^{2-} en suelos alcalinos. Este proceso se realiza por transporte activo a través de la membrana plasmática de las células epidérmicas y corticales de la raíz y es mediado por canales Pi/H^+ de alta afinidad. La mayor parte del fósforo tomado es conducido hacia el xilema y después transportado hacia los brotes (Shen, et al. 2011; Schachtman, et al. 1998).

2.7 Plagas de la alfalfa (Alarcón, 2008; Pioneer, 2019)

2.7.2 Insectos defoliadores

a) Mosca minadora

Nombre científico: *Liryomyza spp.*

Apariencia: Las moscas son pequeñas de color negro opaco.

Daño: Las larvas se alimentan de las hojas dejando un patrón o mina.

b) Gusano soldado

Nombre científico: *Spodoptera spp.*

Apariencia: Los adultos son polillas de color café y las larvas son de color verde olivo.

Daño: Las larvas consumen la hoja a excepción de las venas dándole una apariencia de esqueletizadas.

c) Gusano soldado de la alfalfa

Nombre científico: *Colias spp.*

Apariencia: Los adultos son mariposas de color amarillo brillante y la larva es de color verde con una franja blanca lateral.

Daño: Las larvas consumen la hoja en su totalidad.

d) Gorgojo de la alfalfa

Nombre científico: *Hypera prostica*, *Hypera brunneipennis*

Apariencia: De color café grisáceo o casi negro, con pelos grises cortos. Miden de 3 a 6 mm de largo con un pico que mide la mitad del largo del tórax aprox.

Daño: Las larvas se alimentan de las hojas y generalmente abundan durante el rebrote de la alfalfa.

2.7.3 Insectos chupadores

a) Pulgón verde

Nombre científico: *Acyrtosiphon pisum*

Apariencia: Este pulgón es verde con alas, antenas, cornículos.

Daño: Se alimenta a través de su aparato bucal succionador de la savia y a su vez segregan un líquido pegajoso conocido como melaza. Las hojas se tornan amarillentas y caen. Prefieren alimentarse del tallo que de las hojas.

b) Pulgón negro

Nombre científico: *Aphis fabae*

Apariencia: Este pulgón es negro de aspecto globoso.

Daño: Se alimenta a través de su aparato bucal succionador de la savia y a su vez segregan un líquido pegajoso conocido como melaza. De esta forma extraen nutrientes de la planta y alteran el balance hormonal debilitando a la planta y llegando al extremo de marchitarla.

c) Chicharritas de la alfalfa

Nombre científico: *Empoasca fabae*

Apariencia: Los adultos son de muy pequeños de color amarillento o verde lima con forma de cuña y alados. Estos vuelan o saltan al ser perturbados .

Daño: Los adultos y ninfas succionan la savia de las hojas y tallos de la alfalfa, el follaje se torna amarillo con forma de “V” en la punta de las hojas y de ser prolongado el ataque presenta tonalidades rojizas o café disminuyendo así la calidad del forraje y el rendimiento. Una vez que es evidente el daño causado por esta plaga ya no se puede corregir.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

El estudio se realiza en el campo experimental del Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales (LEUP) de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina ubicado en el este de Lima Metropolitana a 237 msnm. El suelo tiene una textura franco arenosa y el sistema de riego utilizado en los campos agrícolas es el riego por gravedad con el agua proveniente del Río Rímac.

La temperatura media anual de Lima Metropolitana oscila entre 18,6°C y 19,8°C. En verano se alcanza una temperatura máxima promedio de 26°C a 29°C y mínima de 17,1°C a 20,5°C; mientras que en invierno se espera una temperatura máxima promedio de 18,5°C y 22,5°C y mínima de 10,7°C a 15,4°C. Por otro lado, la radiación solar es mayor hacia el este de la ciudad (ej.: La Molina) alcanzando valores de hasta 6 kWh/m² (Atlas Ambiental de Lima, 2008).

Como primer paso para la preparación del terreno donde se sembró el cultivo de alfalfa se realizó un arado y rastrado con tractor. Luego se trazaron con tiza blanca los límites de las parcelas con áreas de 3 x 10 m (30 m²) en el terreno con una separación de 0.80 m de distancia, así como, el trazo de los canales respectivos a cada parcela. En total se diseñaron 18 parcelas distribuidas en 3 filas o repeticiones de 6 parcelas cada una, sumando un área total de 540 m². Una vez delimitadas las parcelas, se niveló la superficie de cada una para mantener el riego uniforme en toda la superficie.

Una muestra de suelo fue colectada para realizar el análisis de caracterización del suelo y conocer la concentración de fósforo (Anexo 1). Con ayuda de un rastrillo se trazaron surcos con 0.30 m de separación entre ellos teniendo un total 9 surcos por parcela. La siembra se realizó con una dosis de 30 kg/ha equivalente a 90 gr de semilla por parcela que fueron

dispersadas por chorro continuo manual en 10 gr por surco. Por otro lado, la fertilización se realizó al momento de la siembra utilizando como fuente de fósforo el fosfato diamónico (DPA) con una dosis de 35 kg/ha para las 9 parcelas que reciben este tratamiento.

Cabe resaltar que a pesar de contar cantidades de fósforo en el suelo superiores al rango óptimo para la alfalfa (>25 ppm), no todo este fósforo está disponible para ser asimilado por la planta debido a procesos de adsorción, precipitación o conversión a la forma orgánica que ocurren en el suelo, generando así su poca movilidad y alta fijación (Sanzano, s.f; Schachtman, 1998).

En este caso, por las características presentes en el análisis de suelo, tratamos con un suelo de pH superior a 7 cuando se sabe que el rango óptimo en el cual el fósforo se encuentra a mayor concentración dentro de la solución del suelo, es decir es asimilable, es entre 6.5 a 7 (Engelstand y Terman, 1980). Otra característica importante es que es un suelo moderadamente calcáreo por el porcentaje de CaCO₃ (2-5%) indicando así la posibilidad de que el fósforo precipite formando fosfato de calcio el cual es poco soluble (Fixen y Grove, 1990). Como consecuencia se consideró realizar la fertilización con fósforo como se indica a continuación:

$$\text{Req. Fósforo} = (\text{Extraído}_{\text{alfalfa}} - \text{Diponible}_{\text{suelo}}) / \text{eficiencia}$$

Donde:

$$\text{Extraído} = \text{Rendimiento}_{\text{alfalfa}} (\text{kg/ha}) \times \text{Contenido de P} (\%)$$

$$= 25,000 \times 0.0037$$

$$= \mathbf{92.5 \text{ kg/ha}}$$

$$\text{Disponibile} = \text{Área de cultivo} (\text{m}^2) \times \text{Profundidad} (\text{m}) \times \text{Densidad suelo} (\text{kg/m}^3) \times \text{Concentración de P} (\text{g/kg}) \times \text{Disponibilidad real P} (\%)$$

$$= 10,000 \times 0.30 \times 1.35 \times 0.0396 \times 0.4$$

$$= \mathbf{64.15 \text{ kg/ha}}$$

$$\text{Req. Fósforo} = (92.5 - 64.15) / 0.9$$

$$= \mathbf{31.5 \text{ kg/ha}} \text{ de P} < > \text{ En esta investigación se aplicó 35kg/ha}$$

Las semillas de alfalfa utilizadas fueron adquiridas de la empresa Alabama SAC, se seleccionaron las variedades americanas importadas CUF 101, MOAPA 69 y SW 8210 cuyo grado de reposo invernal (dormancia) es 9, 8 y 8 respectivamente. Para el análisis de la calidad de las semillas se realizó un ensayo de viabilidad (%) y germinación (%) por cada variedad. Los porcentajes de viabilidad para este estudio apenas se acercaron al valor mínimo aceptable o no lo superaron indicando cierto grado de deterioro en la calidad y el mismo caso fue observado con la prueba de germinación (Anexo 3 y 4).



Figura 5: Preparación del campo experimental

3.2 Tratamientos experimentales

En este estudio se evaluó el efecto de dos factores: variedad de alfalfa (Moapa 69, SW 8210 y CUF 101) y nivel de fósforo (0 kg/ha y 35 kg/ha); que resultaron en una combinación

factorial de seis tratamientos sorteados al azar en tres bloques de parcelas según se muestra en la Tabla 6:

Tabla 6: Sorteo de tratamientos del experimento

T6 SW8210 + P35	T5 SW8210 + P0	T4 CUF101 + P35	T2 MOAPA + P35	T1 MOAPA + P0	T3 CUF101 + P0
T3 CUF101 + P0	T4 CUF101 + P35	T6 SW8210 + P35	T2 MOAPA + P35	T1 MOAPA + P0	T5 SW8210 + P0
T2 MOAPA + P35	T6 SW8210 + P35	T5 SW8210 + P0	T3 CUF101 + P0	T4 CUF101 + P35	T1 MOAPA + P0

3.3 Variables evaluadas

El ensayo se desarrolló en dos fases, la primera que comprendió la etapa de establecimiento y crecimiento desde la siembra hasta los 90 días y la segunda, la etapa de producción forrajera que inició tras el primer corte hasta la sexta cosecha. Los cortes fueron realizados en base a la altura del rebrote (5cm).

3.3.1 Fase 1: Establecimiento y crecimiento

a) Densidad de plantas (plantas/m²)

Una vez emergieron las plántulas en las parcelas, se colocaron diez cuadrantes de 0.25 x 0.25 cm en un esquema de muestreo sistemático estratificado donde los estratos son resultado de dividir la parcela en cinco secciones. El muestreo se realizó a los 30, 60 y 90 días y el número promedio de plantas por cuadrante se usó para determinar la densidad.

b) Altura (cm)

La altura fue medida en 10 plantas seleccionadas al azar por parcela, dos por cada uno de los 5 estratos descritos anteriormente. La altura de la planta fue medida

desde la corona hasta la última hoja sin estirar la planta. Esta medición se realizó tres veces durante este periodo con un intervalo de 30 días entre muestreo (día 30,60 y 90).

c) Índice de macollamiento (macollos/planta)

Para la evaluación de este parámetro un total de 10 plantas por parcela fueron cuidadosamente extraídas al azar. Se contabilizó el número de macollos por planta a los 30, 60 y 90 días después de la siembra.

d) Longitud de raíz (cm)

Las plantas extraídas fueron divididas en hoja, tallo y raíz y fueron secadas en la estufa a una temperatura de 65°C por 48 horas. Se midió la longitud de estas raíces principales o pivotantes de las diez plantas extraídas por cada parcela.

e) Relación hoja/tallo (g)

De la misma muestra de plantas extraídas de las parcelas fueron separadas en hojas (estípula, peciolo y limbo) y tallos que luego fueron secadas en una estufa a 65°C durante 48 horas. Finalmente se pesaron en una balanza analítica para determinar la relación de ambos pesos en base a la materia seca.

f) Peso biomasa aérea (g)

Para este parámetro fueron utilizados los mismos pesos de las hojas y los tallos tras ser secados en la estufa a una temperatura de 65°C por 48 horas en el procedimiento anterior. El peso seco de la biomasa aérea corresponde a la suma de las hojas y el tallo de las 10 muestras de plantas extraídas de cada parcela.

g) Peso raíz (g)

Las plantas extraídas fueron divididas en hoja, tallo y raíz y fueron secadas en la estufa a una temperatura de 65°C por 48 horas. Las raíces de las 10 plantas extraídas por parcela fueron pesadas en una balanza analítica. Es te procedimiento fue realizado a los 30, 60 y 90 días después de la siembra.

3.3.2 Fase 2: Producción de forraje

a) Rendimiento por corte (TnMS/ha)

La muestra de alfalfa fue cortada de los diez cuadrantes instalados al inicio del ensayo y se calculó el peso fresco. Luego, de estas muestras colectadas se separó una submuestra de 200 gramos que fue secada en una estufa a 65°C por 48 horas para obtener el peso seco y estimar así el porcentaje de materia seca.

b) Rendimiento acumulado (TnMS/ha)

Es el resultado de la suma de los rendimientos por corte de un total de seis cortes en cuadrantes de 0.25 x 0.25 cm en un esquema de muestreo sistemático estratificado donde los estratos son resultado de dividir la parcela en cinco secciones.

c) Tasa absoluta de crecimiento (kgMS/ha/día)

Este parámetro que mide incremento diario de materia seca en kilogramos fue calculado al dividir el rendimiento por corte entre el número de días que transcurrieron desde el corte anterior, es decir, los días que duró la campaña entre corte y corte.

d) Altura al corte (cm)

La altura fue medida a lo largo de dos hileras en 10 plantas a razón de 5 plantas por hilera seleccionadas al azar e identificadas con banderines, desde la corona hasta la última hoja sin estirar la planta. Esta medición se realizó antes del corte.

e) Relación hoja/tallo

Se seleccionaron 20 tallos de la muestra cortada de los cuadrantes por parcela. Las plantas fueron separadas en hojas (estípula, peciolo y limbo) y tallos para luego ser secadas en una estufa a 65°C durante 48 horas. Finalmente se pesaron en una balanza analítica para determinar la relación de ambos pesos en base a la materia seca.

3.4 Diseño experimental

El diseño experimental fue un diseño completamente al azar con arreglo factorial y tres bloques donde se tiene como factor A a la variedad de alfalfa (Moapa 69, CUF 101 y SW 8210) y como factor B al nivel de fósforo (0 y 35 kg/ha).

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + a_j + b_k + ab_{jk} + e_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ijk} : Es la ijk -ésima observación en el i -ésimo bloque que contiene el j -ésimo nivel del factor A y el k -ésimo nivel del factor B.
- μ : Es la media general
- β_i : Es el efecto del bloque
- a_j : Es el efecto de las variedades
- b_k : Es el efecto de las dosis de fertilización fosfatada
- ab_{jk} : Es la interacción del efecto de las variedades con el efecto de las dosis de fertilización
- e_{ijk} : Es el error aleatorio

Los resultados obtenidos en la investigación realizada fueron registrados en una hoja de cálculo en Excel Office 2016, luego se realizaron las pruebas estadísticas mediante el programa SAS 9 software program. La comparación de medias se realizó según Duncan's Multiple Range.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Fase 1: Establecimiento y crecimiento

4.1.1 Respuesta a la fertilización fosforada

a) Densidad de plantas (plantas/m²)

El número de plantas por metro cuadrado fue mayor ($p < 0.05$) en los tratamientos fosforados en un 16.17% con respecto a los tratamientos control (Tabla 9), lo que sugiere que la fertilización con fósforo favorece la supervivencia de las plántulas durante el establecimiento de la alfalfa. Los resultados reportados por autores como Nelson, J. (1992) y Jung y Smith (1959) concuerdan que la fertilización con fósforo es esencial en la supervivencia de las plantas y persistencia; sin embargo, otros autores obtuvieron resultados contrarios y aseguraron que la fertilización fosforada más bien reducía la densidad de plantas en alfalfa debido a que esta podría favorecer la competencia entre plantas por luz, agua y nutrientes provocando la eliminación de aquellas plantas pequeñas y menos vigorosas de la población genéticamente heterogénea que comprende una variedad de alfalfa (Berg, W. et al., 2005).

La densidad óptima a los 100 días es de unas 700 a 800 plantas por metro cuadrado, pero en la práctica se acepta una cantidad menor de alrededor de 250 - 350 plantas por metro cuadrado a los 90 - 120 días de siembra como un indicador de una eficiente implantación (Olivo, S. 2020; Zingoni, M. 2009). En este estudio el número de plantas es mayor a lo recomendado debido a que se usó una dosis de siembra de 30 kg/ha a comparación de una dosis de 20 - 25 kg/ha que sugieren algunos autores, como consecuencia del bajo porcentaje de viabilidad y germinación que se obtuvo en los ensayos de semilla, además del sistema de riego empleado (por gravedad).

El incrementar la dosis de siembra no garantiza una mayor producción al primer corte, debido a que provocará un incremento en la competencia intraespecífica entre las

plántulas generando una reducción a lo largo del periodo de establecimiento (Mueller, S. 2005). Como se observó en un ensayo realizado por el INTA Manfredi, donde se comparó cuatro densidades de siembra (280, 400, 500 y 700 plantas/m²) durante un periodo de 120 días, el número de plantas por metro cuadrado disminuyó rápidamente cuando se sembró a mayor densidad, mientras que a una densidad recomendada de 280 plantas por metro cuadrado se mantuvo más estable. La producción del primer corte fue mayor cuando no se aumentó la densidad de siembra (Olivo, 2020).

Tabla 7: Efecto de la fertilización fosforada en el comportamiento agronómico de la alfalfa (*Medicago sativa*) durante el periodo de establecimiento y crecimiento (90 días)

Variables	Dosis de fertilización con P				Prob.
	P0	E.E	P35	E.E	
Densidad (plantas/m ²)	480.00 ^b	±39.849	557.60 ^a	±35.652	0.003
Relación hoja/ tallo	2.040	±0.926	2.082	±0.611	0.530
Índice macollamiento (macollos/planta)	1.808 ^b	±0.061	2.031 ^a	±0.077	0.015
Altura (cm)	24.696 ^b	±0.926	26.851 ^a	±0.611	0.019
Longitud de raíz (cm)	22.001	±0.666	22.299	±0.524	0.728
Peso raíz (g)	4.238 ^b	±0.274	5.324 ^a	±0.260	0.005
Peso biomasa aérea (g)	16.190 ^b	±0.958	18.890 ^a	±1.434	0.046

b) Relación hoja/tallo

La relación hoja/tallo no presentó una diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los tratamientos control y los fertilizados con fósforo durante el periodo de establecimiento y crecimiento. Los valores obtenidos al final de esta fase fueron de 2.08 y 2.04 para los tratamientos fertilizados y no fertilizados respectivamente.

c) Índice de macollamiento

El efecto del fósforo sobre el índice de macollamiento fue significativo ($p < 0.05$) durante la fase establecimiento y crecimiento (Tabla 9), y el incremento comparativo entre los tratamientos no fertilizados y fertilizados con fósforo fue de un 12.33% por planta. En su estudio sobre la influencia del fósforo y potasio en la producción de alfalfa y sus componentes, Berg, W. et al (2005) indica que la fertilización con fósforo no tuvo influencia en el número de macollos por planta en los primeros tres años del cultivo de alfalfa.

d) Altura

La adición de fósforo favoreció la altura de las plantas ($p < 0.05$) durante la fase establecimiento y crecimiento donde se vio un aumento del 8.7% en aquellos tratamientos que fueron fertilizados con fósforo. La altura de la planta es un parámetro importante usado para medir la habilidad que tiene una planta de competir por luz y por su correlación con otros indicadores productivos como la fracción de masa foliar por área, nitrógeno foliar por área y área de canopia (Falster & Westoby, 2003). Así mismo, la altura está relacionada con la densidad de la población y con la tasa metabólica (Enquist *et al.*, 1998). Es en esta última es donde el fósforo es determinante ya que cumple un papel importante en la regulación de las rutas metabólicas por ser componente de moléculas clave como ATP, ácidos nucleicos y fosfolípidos por lo que lo convierte en el segundo factor limitante (después del N) del crecimiento de la planta (Schachtman, D. *et al.*, 1998; Shen, *et al.*, 2011).

e) Longitud de raíz

La longitud de raíz no presentó una respuesta significativa tras la fertilización con fósforo ($p > 0.05$) alcanzando valores de 22 cm aproximadamente durante el periodo de establecimiento y crecimiento (90 días). Oñate (2020), reportó valores de entre 5 a 6 cm a los 30 días para tres dosis de fósforo (0, 50, 100 y 150 kg/ha) donde al igual que en este estudio no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. La aplicación de fertilizante fosfatada estimula generalmente un mayor crecimiento de la biomasa aérea más que de las raíces (Miller, 1958). Es común observar un incremento en la ramificación, elongación y número de pelos radiculares en plantas que sufren deficiencia de fósforo por lo que la arquitectura de la raíz juega un papel importante

en la absorción del fósforo ya que a mayor el rango de alcance que obtenga la raíz, mayor el área de superficie de absorción (Shen et al., 2011).

f) Peso de biomasa aérea

La fertilización fosforada influyó favorablemente ($p < 0.05$) en el peso de la biomasa aérea (hojas y tallos) obteniendo valores de 18.89 g a comparación de los tratamientos control en los que se alcanzó un peso de 16.19 g (Tabla 9) lo que significó un incremento del 16.68% a causa de la fertilización. La mayor parte del fósforo absorbido por la planta es transportada por el xilema hacia los brotes (biomasa aérea) donde dentro de las células vegetales será componente de los ácidos nucleicos, membranas lipídicas e intermediarios del metabolismo (Shen, J. 2011).

g) Peso de raíz

El aumento del peso de la raíz es consecuencia del desarrollo para el almacenamiento de sustancias de reserva de energía principalmente carbohidratos y sustancias nitrogenadas, llegando a su máximo nivel cuando la planta alcanza el 10% de floración (Cangiano, 2007; Reynolds y Smith, 1962; Ueno y Smith, 1970). La aplicación del fósforo favoreció el desarrollo radicular ($p < 0.05$) durante el periodo de establecimiento y crecimiento alcanzando valores promedio de 5.32 g en los tratamientos fosforados y 4.24 g en los tratamientos control, es decir, un incremento del 25.47% tras la fertilización con fósforo. La deficiencia de este elemento reduce el crecimiento de la raíz principal y más bien favorece el crecimiento y densidad de los pelos radiculares, así como de las raíces secundarias (López-Bucio et al., 2003; Desnos, 2008).

Se observó que el prolongar los días de establecimiento a 90 días favoreció el desarrollo radicular lo que es importante durante la etapa de establecimiento para garantizar la persistencia del cultivo.

4.1.2 Respuesta de las variedades de alfalfa

a) Densidad de plantas (plantas/m²)

Las variedades SW 8210 y CUF 101 presentaron una mayor densidad de plantas que la variedad Moapa 69 ($p < 0.05$) durante los primeros 90 días (Tabla 8). Esta última presenta un número de plantas por metro cuadrado inferior en un 48.30% y 37.33% con respecto a las variedades SW 8210 y CUF 101 respectivamente. Estos resultados tienen relación con las pruebas de viabilidad y germinación que se realizaron previo a la siembra donde la Moapa 69 también presentó los menores valores, esto explicaría que más que un rasgo característico de la variedad de alfalfa este déficit estaría relacionado a la calidad de la semilla. El porcentaje de viabilidad mínimo aceptable no debe ser inferior a 85% para asegurar una mayor longevidad del cultivo (FAO, 2014). Además, se sabe que la viabilidad de semillas almacenadas disminuye con los años, bajo condiciones favorables de almacenamiento. La semilla de alfalfa tiene un periodo de conservación promedio de 2 a 5 años en el caso de tratarse de semillas crudas, mientras que en el caso de semillas peletizadas es recomendable usarlas dentro del primer año ya que el proceso de peletización reduce la longevidad de la semilla (Johnny's Selected Seeds, 2017).

Tabla 8. Respuesta agronómica de tres variedades de alfalfa (*Medicago sativa*) durante el periodo de establecimiento y crecimiento (90 días).

Variables	Variedades de alfalfa			Prob.
	Moapa 69	CUF 101	SW 8210	
Densidad (plantas/m ²)	403.600 ^b	554.267 ^a	598.533 ^a	<0.0001
Relación hoja/ tallo	2.238 ^a	1.993 ^b	1.952 ^b	0.001
Índice macollamiento	2.073 ^a	1.768 ^b	1.917 ^{ab}	0.027
Altura (cm)	23.698 ^b	26.262 ^a	27.360 ^a	0.009
Longitud de raíz (cm)	23.212	22.295	20.943	0.131
Peso raíz (g)	4.697	4.665	4.982	0.667

Peso biomasa aérea (g)	17.688	17.225	17.707	0.932
------------------------	--------	--------	--------	-------

b) Relación hoja/tallo

La variedad Moapa 69 presentó la relación hoja/tallo más alta ($p < 0.05$) durante el primer y segundo mes con un valor promedio de 2.92 y 2.0 respectivamente a comparación de las variedades SW 8210 (2.59 y 1.68) y CUF 101 (2.38 y 1.71). Los resultados muestran como la relación hoja/tallo va disminuyendo periódicamente hacia el final del establecimiento, es decir, el incremento del peso de los tallos es mayor que el de las hojas, por lo que la calidad del forraje se reduce. Esto se debe a que a medida que la planta alcanza la maduración el contenido de lignina en los tallos aumenta provocando una reducción en su digestibilidad en un 30 a 40 %. Las hojas aportan 2 a 3 veces más proteína que los tallos, de ahí radica la importancia en cosechar cuando la relación hoja/tallo sea la más adecuada sin sacrificar la producción y este punto de intersección se da cuando el cultivo alcanza el 10% de floración. (Miller, D. 2019).

Cuando la planta de alfalfa se encuentra en un estado vegetativo o pre-botón floral alcanza la relación hoja/tallo más alta de 1.5 aproximadamente, mientras se acerca al estado de floración temprana este disminuye a 1 y finalmente desciende a 0.6 aprox. cuando alcanza la maduración (Miller, D., 2020).

c) Índice de macollamiento (macollos/planta)

La variedad Moapa 69 presentó un mayor número de macollos que la variedad CUF 101 ($p < 0.05$) y la variedad SW 8210 mostró un comportamiento similar con ambas variedades (Tabla 8). El mejoramiento genético atribuye el aumento en el número de macollos entre variedades, es decir, es una característica propia de cada variedad de acuerdo a su propósito de producción (Oñate, W. 2020). Por otro lado, se sugiere que este factor no influye en la producción forrajera ya que también se ve un incremento en el número de macollos cuando la población de plantas desciende (Berg, et al., 2005). Es decir, la alfalfa tiene la capacidad de ajustar el número de macollos según la densidad y competencia entre plantas existentes (Oñate, 2020) lo que explicaría el mayor número de macollos que se observó en la variedad Moapa 69 la cual

presentaba la menor densidad de plantas a comparación de las otras variedades en este estudio.

d) Altura (cm)

Las variedades SW 8210 y CUF 101 alcanzaron una altura similar promedio de 26 a 27 cm que fueron superiores ($p < 0.05$) a la variedad Moapa 69 durante este primer periodo (Tabla 8). Oñate (2020), reportó valores de entre 53 a 55 cm de altura las variedades Abunda verde, CUF 101 y SW 8210 a los 110 días después de la siembra. Los bajos valores reportados en este estudio pueden ser causa del ataque de la plaga chicharrita (*Empoasca spp.*) conocida por atacar los cultivos al alimentarse de la savia y reducir la elongación del tallo, desarrollo de la raíz y atrofia de las hojas. La saliva que inyectan al alimentarse contiene una toxina que causa el crecimiento anormal de las células e interfiere con el transporte de fluidos y nutrientes a las hojas. La infestación por chicharrita es fácilmente reconocida porque dejan una especie de quemadura en la hoja, la cual inicia con un patrón amarillo en forma de “V” en la punta de las mismas (Ministry of Agriculture, food and rural affairs, 2021).



Figura 6. Evidencia de ataque por *Empoasca sp.* Manchas amarillas en forma de “V” en el ápice de hojas de alfalfa. Fuente propia

e) Longitud de raíz (cm)

La longitud de raíz de las variedades de alfalfa Moapa 69, CUF 101 y SW 8210 no presentaron diferencias significativas durante el periodo de establecimiento ($p > 0.05$) alcanzando valores de 23.12, 22.30 y 20.94 cm respectivamente. Oñate, W.

(2020) reportó resultados similares sin diferencias significativas entre variedades (Abunda verde, SW 8210 y CUF 101) a los 110 días con valores de 17 a 18 cm.

f) Peso biomasa aérea (gr)

El peso de la biomasa aérea (hojas y tallos) no varió entre las tres variedades (Tabla 8) que alcanzaron un valor de 1.72 a 1.78 g por planta durante el periodo de establecimiento y crecimiento (90 días). Los factores que influyen en el incremento del peso de la biomasa aérea son la genética de la planta, el medio ambiente y el manejo del cultivo. Un cultivo con mayor biomasa resulta del rápido inicio de la aparición de los rebrotes de la corona tras el corte y a una alta capacidad de elongación por lo que aquellas variedades que alcancen una mayor altura tendrán mayor biomasa aérea y como consecuencia mayor producción forrajera (Berg, W. 2005).

g) Peso raíz (gr)

Al evaluar el peso de la raíz en las tres variedades de alfalfa no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$). Las variedades alcanzaron valores de 0.47 a 0.50 g por raíz durante el periodo de establecimiento y crecimiento (90 días).

4.1.3 Respuesta de la interacción variedades de alfalfa por la dosis de fósforo

Los resultados experimentales no registraron diferencias significativas ($p > 0.05$) para la interacción variedades de alfalfa (Moapa 69, CUF 101 y SW 8210) por la dosis de fertilización fosforada (0 y 35 kg/ha) en ninguna de las variables evaluadas (Figura 7).

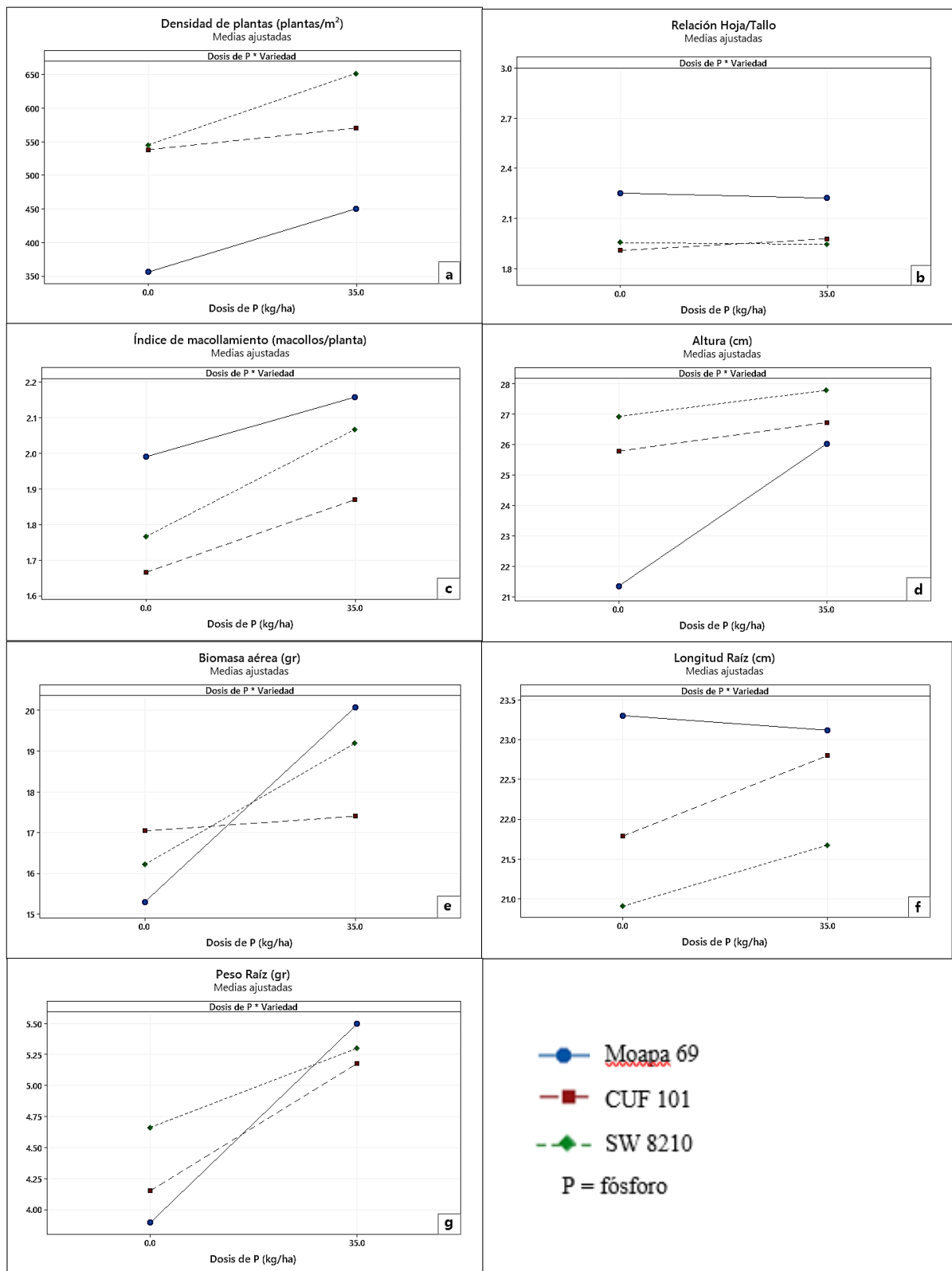


Figura 7. Interacción variedad de alfalfa por dosis de fósforo en la fase de establecimiento: a) densidad de plantas (plantas/m²); b) relación hoja/tallo; c) índice de macollamiento (macollos/planta); d) altura (cm); e) biomasa aérea (g); f) longitud de raíz (cm) y g) peso de raíz (g).

4.2 Fase 2: Producción de forraje

4.2.1 Respuesta a la fertilización fosforada

a) Rendimiento por corte

Los tratamientos fertilizados con fósforo alcanzaron valores de 4.15 TnMS/ha que difirieron significativamente ($p < 0.05$) con los tratamientos control que registraron valores de 3.58 TnMS/ha obteniendo un incremento de 15.92% en el rendimiento (Tabla 9). Es así que se puede sugerir que el aporte químico de fósforo aumenta el rendimiento por corte en la alfalfa, inclusive a un suelo que ya contenía niveles óptimos de este elemento ($P > 25$ ppm). Esto debido a que a pesar que el contenido de fósforo exceda los requerimientos de la planta, su disponibilidad puede estar restringida debido a su baja solubilidad, baja movilidad y alta fijación a la matriz del suelo (Shen, J. 2011).

Otros estudios relacionados al tema también hallaron resultados similares, Vivas et al. (2015) evaluó la producción forrajera de dos variedades de alfalfa fertilizadas con fósforo y azufre, separadas y combinadas, y concluyó que la aplicación de fósforo (40 kg/ha) incrementó el rendimiento de materia seca en un 19.0% con respecto a los tratamientos sin fertilizar. Así mismo, Oñate W. (2020) reportó un aumento del 16.96% de materia seca producida por corte tras la fertilización con P (100 kg/ha) con respecto a los tratamientos control.

Los componentes del rendimiento forrajero, es decir, aquellos parámetros que están relacionados con el aumento en el rendimiento son el número de plantas por área, número de macollos por planta y peso de biomasa aérea. Berg, W. (2005), evaluó el efecto de la fertilización con fósforo (super fosfato triple), además de potasio, en cada uno de estos componentes. Con respecto al fósforo, este tuvo un efecto negativo en la densidad de plantas reduciendo la población de plantas de alfalfa, por otro lado, su fertilización no tuvo efecto en el número de macollos por planta, pero si favoreció el incremento del peso de la biomasa aérea. Finalmente concluyó que el peso de los tallos y hojas (biomasa aérea) tuvo un efecto más directo en el rendimiento de la alfalfa que los otros componentes y además es influenciado positivamente por la fertilización con fósforo.

En este estudio, aunque no se evidencia diferencia significativa, el peso de la biomasa aérea fue mayor en los tratamientos fertilizados lo que pudo favorecer el rendimiento por corte de alfalfa. Este efecto puede ser explicado debido a que las plantas que reciben P como fertilizante inician el crecimiento del nuevo rebrote de manera más rápida que aquellas plantas que no recibieron tratamiento alguno ya que se genera un incremento en la movilización de nutrientes entre las raíces y los brotes de crecimiento activo resultando en una mayor biomasa (Li et al., 1997).

Tabla 9. Comportamiento productivo de la alfalfa (*Medicago sativa*) bajo efecto de la fertilización fosforada durante el periodo de producción forrajera (6 cortes)

Variables	Dosis de fertilización con P				Prob.
	P0	E.E	P35	E.E	
Rendimiento por corte (TnMS/ha)	3.581 ^b	±0.115	4.154 ^a	±0.153	<0.0001
Rendimiento acumulado (TnMS/ha)	21.486 ^b	±0.688	24.922 ^a	±0.918	<0.0001
Tasa de crecimiento (kgMS/ha/día)	108.938 ^b	±3.601	126.560 ^a	±4.853	<0.0001
Altura (cm)	63.203 ^b	±1.816	67.902 ^a	±1.413	0.005
Peso biomasa aérea (g)	24.90	±0.688	27.00	±0.918	0.074
Relación hoja/tallo	1.021	±0.0408	0.989	±0.0231	0.382

b) Rendimiento acumulado

El rendimiento acumulado de los 6 cortes que inició en el mes de marzo hasta octubre indica que hubo un incremento del 16% en aquellos tratamientos que fueron fertilizados ($p < 0.05$) con respecto a los tratamientos control en la fase de producción.

c) Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento es la producción de materia seca diaria de un cultivo y es generada por la incidencia de luz sobre la planta, la cantidad de luz absorbida por las hojas y la eficiencia del uso de esta energía para la producción de biomasa (Wilson J.W., 1981). El fósforo tuvo un efecto positivo ($p < 0.05$) al incrementar en un 15.99% la conversión de radiación solar a materia seca en aquellos tratamientos fertilizados con un valor promedio de 126.56 kgMS/ha al día, mientras que en los tratamientos control se generó una producción diaria de 108.94 kgMS/ha durante la fase de producción forrajera que comprendió los meses de marzo hasta octubre.

d) Altura

El análisis de varianza de altura al corte indicó que hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$) donde se alcanzó un tamaño promedio de 67.9 cm cuando se fertilizó con fósforo, mientras que la altura de las plantas en las parcelas no fertilizadas alcanzó una altura de 63.20 cm durante la fase de producción forrajera.

e) Peso biomasa aérea

La fertilización fosforada no mostró tener efecto en el peso de la biomasa aérea (hojas y tallos) en el periodo de producción forrajera, obteniendo valores promedio de 27.00 g (por 20 tallos con hojas) en los tratamientos fertilizados a comparación del resto de tratamientos en los que se alcanzó un peso de 24.90 g por muestra con una diferencia del 8.43% (Tabla 9). A diferencia de estos resultados, Berg, W. (2005) reportó un incremento significativo del promedio del 5% cuando se fertilizó con una dosis de 75 kg/ha de fósforo. Además, sugiere que el peso de la biomasa aérea es el componente del rendimiento que más contribuye al aumento de la producción de forraje, más que la densidad de plantas o el índice de macollamiento.

f) Relación hoja/tallo

Al evaluar la relación hoja/tallo en las variedades de alfalfa bajo el efecto de la fertilización fosforada se encontró que no hay diferencias significativas ($p > 0.05$)

entre los diferentes tratamientos reportándose valores entre 0.99 y 1.02 durante el periodo de producción forrajera.

4.2.2 Respuesta de la variedad de alfalfa

a) Rendimiento por corte

Al evaluar la producción de materia seca en las tres variedades de alfalfa (Moapa 69, CUF 101 y SW 8210), se encontró que la variedad de alfalfa Moapa 69 produjo una cantidad promedio de 4.025 TnMS/ha por corte, siendo superior ($p < 0.05$) que la variedad CUF 101 que produjo 3.715 TnMS/ha por corte. Mientras que la variedad SW 8210 tuvo un rendimiento de 3.86 TnMS/ha que fue estadísticamente similar con ambas variedades (Tabla 12).

Los componentes de la producción de forraje son: número de macollos/m², número de macollos por planta, altura de la planta (cm) y peso de biomasa aérea (gr). Algunos autores han estudiado la relación de estos componentes con la producción de materia seca para así determinar el más influyente, unos sugieren que el peso de la biomasa aérea determina el potencial forrajero (Berg, et al. 2005) mientras que otros indican que el factor con más influencia fue el número de macollos/m² (Hamd-Alla et al. 2013). Estos componentes son altamente influenciados por factores genéticos y ambientales, las variedades Moapa 69 y SW 8210 fueron las que presentaron mayor peso de biomasa aérea (no significativa) y mayor número de macollos por metro cuadrado en la fase 1 con respecto a la CUF 101.

Tabla 10. Respuesta productiva de tres variedades de alfalfa (*Medicago sativa*) durante el periodo de producción forrajera.

Variables	Variedades de alfalfa			Prob.
	Moapa 69	CUF 101	SW 8210	
Rendimiento (TnMS/ha)	4.025 ^a	3.715 ^b	3.863 ^{ab}	0.025
Rendimiento Acumulado (TnMS/ha)	24.15 ^a	22.30 ^b	23.17 ^{ab}	0.025
Tasa de Crecimiento (kgMS/ha/día)	122.22 ^a	113.03 ^b	118.01 ^{ab}	0.031
Altura (cm)	65.94	66.85	63.87	0.217
Biomasa aérea (g)	27.41	24.68	25.76	0.153
Relación Hoja/Tallo	1.00	0.96	1.05	0.171

b) Rendimiento acumulado

La variedad Moapa 69 alcanzó el mayor rendimiento acumulado que la variedad CUF 101 tras 6 cortes con valores de 24.15 TnMS/ha y 22.30 TnMS/ha respectivamente siendo superior en un 8.30% en total. Mientras que la variedad SW 8210 no mostró diferencias significativas con ninguna de las variedades con una producción de 23.17 TnMS/ha (Tabla 12). Según los datos de producción forrajera sugeridos, la variedad Moapa 69 tiene un rendimiento aproximado de 16 a 24 TnMS/ha al año al igual que la variedad CUF 101 y la variedad SW 8210 de 24 a 36 TnMS/ha al año (Alabama S.A).

Considerando que solo se evaluó 6 cortes de los 8 sugeridos al año, se sugiere que dado el caso de una evaluación anual, los rendimientos acumulados alcanzarían valores aproximados de 32.2, 29.7 y 30.9 TnMS/ha al año para Moapa 69, CUF 101 y SW 8210 respectivamente. Estos resultados muestran que el potencial forrajero de cada variedad fue alcanzado en este experimento bajo las condiciones ambientales de Lima.

c) Tasa de crecimiento

El análisis de varianza reveló que la variedad que presentó una mayor producción de materia seca al día fue Moapa 69 con 122.22 kgMS/ha/día, no siendo significativamente diferente a SW 8210 con una tasa de crecimiento de 118.01 kgMS/ha/día, pero si estadísticamente superior a CUF 101 que produjo 113.03 kgMS/ha/día en promedio durante los 6 cortes del experimento. Esto significa que la variedad Moapa 69 mostró una mayor capacidad productiva bajo las condiciones de este medio en un 8.13% más que la variedad CUF 101.

d) Altura

La altura al momento del corte no presentó diferencias significativas para las variedades de alfalfa Moapa 69, CUF 101 y SW 8210 con valores promedio de 65.94, 66.85 y 63.87 respectivamente.

e) Peso biomasa aérea

El peso de la biomasa aérea (hojas y tallos) no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las tres variedades de alfalfa con valores promedio de entre 24 a 27 g por muestra. El incremento de la biomasa aérea está relacionado principalmente con dos mecanismos: una rápida iniciación del crecimiento de los nuevos brotes desde las coronas después del corte y una alta tasa de elongación tras el inicio del crecimiento, este último tiene influencia de la genética de la variedad, por lo que se espera que aquellas variedades con altas tasas de elongación tengan mayor peso de biomasa aérea y un mayor rendimiento forrajero (Volenec, 1985; en Berg, 2005).

f) Relación hoja/tallo

La relación hoja/tallo no tuvo diferencia significativa entre las tres variedades de alfalfa (Moapa 69, CUF 101 y SW8210) durante la fase de producción forrajera, alcanzando valores promedio de entre 0.96 a 1.05 (Tabla 12).

4.2.3 Respuesta de la interacción variedades de alfalfa por dosis de fósforo

El análisis estadístico no mostró diferencias significativas en ninguna de las variables evaluadas para la interacción dosis de fósforo (0 o 35 kg/ha) y variedad de alfalfa (Moapa 69, CUF 101 y SW 8210) lo que significa que el uso de fertilizante afectó de la misma manera a las tres variedades de alfalfa (Figura 7).

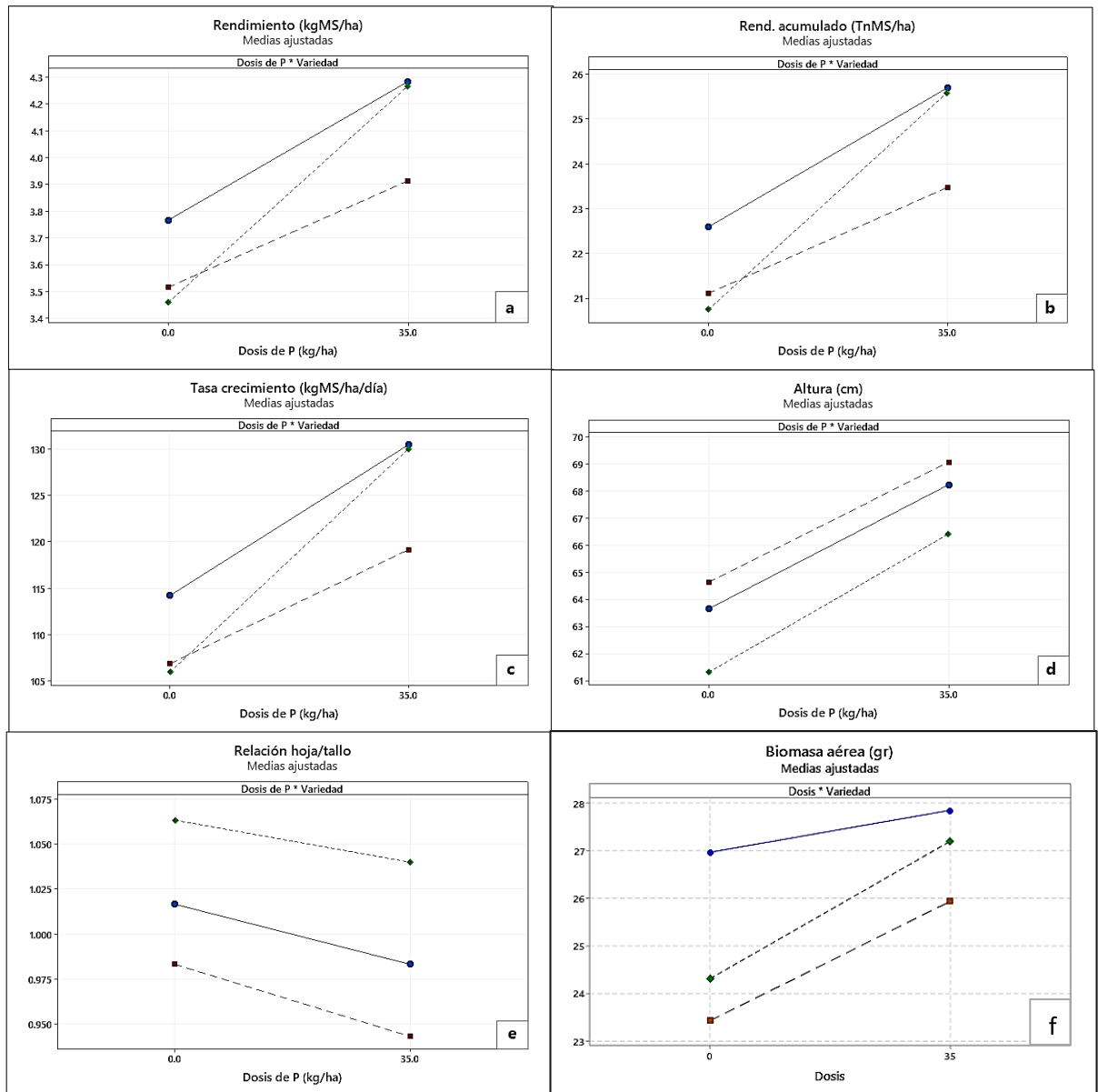


Figura 8. Interacción dosis de fósforo por variedad en la fase de producción: a) rendimiento (TnMS/ha); b) rendimiento acumulado (TnMS/ha); c) Tasa de crecimiento (kgMS/ha/día); d) altura (cm), e) relación hoja/tallo y f) biomasa aérea (gr).

—●— Moapa 69
-■- CUF 101
-◆- SW 8210
 P = fósforo

V. CONCLUSIONES

1. La fertilización fosforada favoreció la supervivencia de plántulas, un mayor desarrollo de macollos por planta, mayor crecimiento e incremento de peso de biomasa aérea y raíz durante el periodo de crecimiento y establecimiento. En la fase de producción, la fertilización con fósforo tuvo un impacto positivo en el rendimiento de forraje (corte y campaña), ganancia de materia seca al día y altura.
2. Las variedades SW 8210 y CUF 101 tuvieron los valores más altos en número de plantas por área y altura, mientras que la Moapa 69 presentó mayor relación hoja/tallo y número de macollos durante el periodo de establecimiento y crecimiento. Durante el periodo de producción forrajera, las variedades Moapa 69 y SW8210 tuvieron un mayor rendimiento (corte y campaña) y producción de materia seca al día.
3. Los patrones respuesta a la fertilización fosforada fueron similares por lo que la interacción de los factores variable de alfalfa y dosis de fósforo no fue significativa. Las tres variedades de alfalfa (Moapa 69, CUF 101 y SW 8210) incrementaron sus valores en las diferentes variables estudiadas durante las etapas de establecimiento y producción forrajera cuando el nivel de fósforo se incrementó.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer la correcta fertilización de los suelos (dosis necesaria) para cumplir con los requerimientos nutricionales que permitan la supervivencia de las plántulas de alfalfa durante la etapa de establecimiento y lograr un mayor rendimiento por corte, rendimiento acumulado y tasa de crecimiento durante la campaña productiva de alfalfa.
2. Las tres variedades de alfalfa estudiadas lograron desarrollarse plenamente durante la etapa de establecimiento adaptándose a las condiciones del medio y alcanzaron valores productivos óptimos, por lo que es recomendable cultivar cualquiera de estas tres variedades en la región de Lima y similares, manteniendo el campo libre de malezas y plagas.
3. Continuar realizando investigaciones similares con otras variedades de alfalfa modernas y evaluar otras fuentes de elementos importantes requeridos por la alfalfa como el potasio, azufre y boro; su interacción con el fósforo y el impacto en el desarrollo de las plántulas y en el rendimiento de la campaña productiva.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, B.; Espinosa, E.; Galicia, M.; Espinosa, O. (2008). Manual de Plagas y Enfermedades de la Alfalfa (*Medicago sativa* L.) (1° ed.) Fundación Hidalgo Produce A.C. México. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/308929400_MANUAL_DE_PLAGAS_Y_ENFERMEDADES_DE_LA_ALFALFA_Medicago_sativa_L
- ANA, MINAGRI y WWF. (2015). Huella Hídrica del Perú. Sector Pecuario. Pag 25. En: http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/huella_hidrica_final.pdf
- Association of Official Seed Analysts (AOSA). (2005). Tetrazolium Testing Handbook. Disponible:http://gsem.weebly.com/uploads/9/3/5/1/9351412/tetrazolium_testing_handbook__2001-2005_-_part_ii.pdf
- Atlas Ambiental de Lima (2008). Disponible en: <http://geoserver.itc.nl/lima/start/start.html>.
- Audesirk, G.; Audesirk, T.; Byers, B. (2005). Biology Life on Earth, 7th ed. Pearson Prentice Hall, Plant Anatomy and Nutrient Transport (p. 479). USA.
- Basigalup, D. & Rossanigo, R. (2007). Panorama actual de la alfalfa en la Argentina. INTA (Ed). El cultivo de la alfalfa en la Argentina. Capítulo 1.(p. 15-19). Argentina.
- Bauder, J. (1978). Irrigating Alfalfa: Some Guidelines. Montana State Univesity Extension, Water Quality Program, USA. En: <https://waterquality.montana.edu/farm-ranch/irrigation/alfalfa/guidelines.html>
- Berg, W; Cunningham, S.; Brouder, S.; Joern, B.; Johnson, K.; Santini, J. and Volenec, J. (2005). Influence of Phosphorus and Potassium on Alfalfa Yield and Yield components. Crop Sci. 45:297-304
- Blazer, R.E. (1986) Forage Animal Management System.Virginia State Univ. Citado por Romero, N.A. y otros en La Alfalfa en la Argentina. INTA

- Bolton, J.L. (1962). Alfalfa. Leonard Hill Books Ltd, London. Interscience Publishers Inc, New York.
- Burkart, A. (1952). Las Leguminosas Argentinas, silvestres y cultivadas (2° ed.). ACME Agency: Ciencias Biológicas y Agronómicas (Ed). Buenos Aires, Argentina.
- Cangiano, C. (2007). Crecimiento y manejo de la defoliación. Basigalup, D. INTA (Ed). El cultivo de la alfalfa en la Argentina Cap. 12 (p. 247-271). Buenos Aires, Argentina.
- Clavijo, E. y Cadena, P. (2011). Producción y calidad nutricional de la alfalfa (*Medicago sativa*) sembrada en dos ambientes diferentes y cosechada en distintos estadios fenológicos. (Tesis de maestría, Universidad de la Salle). Recuperada de <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/6272/T13.11%20C576p.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Collino D., De Luca M. y Dardanelli J. (2007). Uso del agua y la radiación para producción de forraje. En: Basigalup, D. H. (ed). El cultivo de la alfalfa en la Argentina. Ediciones INTA. pp. 50-53-59-60.
- Correa, R. y Salgado, D. (2013). Manejo del pastoreo en alfalfa. Revista de divulgación técnica, agrícola y agroindustrial 39: 5p.
- Del Pozo Ibañez, M. (1977). La Alfalfa, su cultivo y aprovechamiento (2da ed.). Ediciones Mundi- Prensa. Madrid, España.
- Desnos, T. (2008). Root branching responses to phosphate and nitrate. *Curr Opin Plant Biol* 11: 82–87.
- Engelstad, O. and Terman, G. (1980). Agronomic effectiveness of phosphate fertilizer. The Role of Phosphorus in Agriculture. ASA-CSSA-SSSA. Pp 311-332.
- Enquist, Brian & Brown, James & West, GB. (1998). Allometric scaling of plant energetics and population density. *Nature*. 395. 163-165.
- Falster, Daniel & Westoby, Mark. (2003). Plant height and evolutionary games. *Trends in Ecology & Evolution*. 18. 337-343. 10.1016/S0169-5347(03)00061-2.

- Fixen, P and Groven, J. (1990). Testing soils for phosphorus. In Westerman R. Ed. Soil testing and plant analysis. Thrid edition. SSSA Book series. Pp 141-180.
- García, F.; Rufo M. y Daverede, I. (1999). Fertilización de pasturas y verdeos. INPOFOS. Informaciones Agronómicas de Cono Sur 1: 2-11.
- Gemell, G. and McDonald, W. (2017). Inoculating and pelleting pasture legume seed. Primefact 1537, 4th edition. Australia. 10 pp.
- FAO. (2020). Alfalfa, Land & Water, Food and Agriculture Organization of the United Nations. En: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/alfalfa/en/>
- FAO. (2014). Genebank Standards for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Rev. ed. Rome.
- França Neto, J.B. & Krzyzanowski, F.C. (2009). Seed vigor tests; general procedures - Tetrazolium vigor test. In: Seed vigor testing handbook. (R.Z. Baalbaki et al. Eds.). AOSA. Ithaca, USA. p.227
- Haagenson, D.; Cunningam, S. and Volence, J. (2003). Root physiology of less fall dormant, winter hardy alfalfa selections. Crop Sci. 43: 1441-1447. Citado por: Spada, M. (2007).
- Johnny's Selected Seeds. (2017). Seed Storage Guide. 5 pp. Disponible: <https://www.johnnyseeds.com/on/demandware.static/-/Library-Sites-JSSSharedLibrary/default/dw913ac4d0/assets/information/seed-storage-guide.pdf>
- Hamd-Alla, Wael ; Bakheit, Bahy; Abo-Elwafa, A and El-Nahrawy, M. (2013). Evaluate of some varieties of alfalfa for forage yield and its components under the New Valley conditions. Journal of Alimentary Processes and Technologies, 19(4). 413-418. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/331560034_Evaluate_of_some_varieties_of_alfalfa_for_forage_yield_and_its_components_under_the_New_Valley_conditions
- Kalu, B. & Fick, G. (1981). Quantifying morphological development of alfalfa for studies of herbage quality. Crop Sci. 21(2): 267-271. ISSN: 0011-183X

- Lanyon, L. and Griffith, W. (1988). Nutrition and Fertilizer Use. In. Alfalfa and Alfalfa improvement. ASA-CSSA-SSA, Madison, Wisconsin. Agronomy Monograph 29. 333-372.
- León, R. (2002). Pastos y Forrajes, producción y manejo. Editorial Científica A.A. Quito-Ecuador pp. 79-80.
- Lerouge P. (1994). Symbiotic host-specificity between leguminous plants and rhizobia is determined by substituted and acylated glucosamine oligosaccharide signals. *Glycobiology*, 4(2):127-34. <https://doi.org/10.1093/glycob/4.2.127>
- Li, R., J.J. Volenec, B.C. Joern, and S.M. Cunningham (1997). Potassium and nitrogen effects on carbohydrate and protein in alfalfa roots. *J. Plant Nutr.* 20:511–529.
- Lindermann, W. and Glover, C. (2015). Nitrogen fixation by legumes. Guide A 129, New Mexico State University. En: https://aces.nmsu.edu/pubs/_a/A129.pdf
- Lissbrant, S.; Kess Berg, W.; Volenec, J.; Brouder, S.; Joern, B.; Cunningham, S. and Johnson, K. (2009). Phosphorus and Potassium fertilization of alfalfa. Purdue Extension publication AY-331-W. En. <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/ay/ay-331-w.pdf>
- López-Bucio, J.; Cruz, A.; Herrera, L. (2003). The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Current Opinion in Plant Biology*. 6:280-287. Disponible en: <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2016/08/Lopez-Bucio-et-al-2003.pdf>
- Maddowall, F. & Faris, M. (1990). Utilization of carbon and nitrogenous reserves of alfalfa roots in supporting N₂ fixation and shoot regrowth. *Plant and soil* 127: 231-236.
- Mayz-Figueroa, J. (1997). Simbiosis Leguminosas/Rizobia. Ediciones del Instituto de Investigaciones Agropecuarias IIAPUDO. Universidad de Oriente. Núcleo de Monagas. Maturín. Venezuela. 113p.
- Miller, D. (2020). Improving Alfalfa's Leaf to Stem ratio and its Impact on Forage Quality and Fiber Digestibility. Alforex Seeds. Disponible: <https://www.alforexseeds.com/alfalfa-leaf-to-stem-ratio/>
- Miller, D. (2019). "Progressive forage," in Proceedings of the Second World Alfalfa Conference - Argentina, Jerome, ID.

Miller, E. (1958). Plant physiology. 2d. ed. McGraw-Hill Book Co. New York. 121- 174 p.

MINAGRI (2019). Series de Estadísticas de Producción Agrícola (SEPA), Perfil productivo y competitivo de los principales cultivos del sector. En: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiOWU5NDRkYzUtNzRjZi00NzM5LWEzMDItYzExZjg4Njg2ZWQ0IiwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9>

MINAM. (2019). Línea de base de la alfalfa con fines de bioseguridad en el Perú. Dirección General de Diversidad Biológica. 45p. Lima. En: https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2020/02/estudio_lb_alfalfa.pdf

Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. (2021). Potato Leafhopper in Alfalfa. Ontario, Canada. En: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/potatoleafhopper.htm>

Montañez, A. (2000). Overview and Case studies on Biological Nitrogen Fixation: Perspectives and Limitations. FAO. En: http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/scpi/SCPI_Compedium/Overview_and_Case_studies_on_Biological_Nitrogen_Fixation.pdf

Montesano, A. (2008). Fertilización de pasturas de alfalfa con fósforo. Documentos de la estación experimental agropecuaria, INTA Marco Juárez. Argentina

Morales, M. (2013). Cultivo de alfalfa: Siembra. Producción Agropecuaria N°19, INTA. Argentina. En: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-hi19alfalfasiembra__4_.pdf

Mueller, S. (2005). Considerations for successful alfalfa stand establishment in the Central San Joaquin Valley. California Alfalfa and Forage Symposium, 12-14 December, University of California, Davis. USA. En: <https://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/proceedings/2005/05-263.pdf>

Núñez, G.; Payán, J.; Peña, A.; Ruíz, O.; Arzola, C. (2013). Evaluación de la calidad nutricional y producción de leche de diferentes forrajes a través del modelo CPM. Revista AGROFAZ 13 (3):17-23.

- Olivo, S. (2020). Seminario alfalfa de precisión – INTA. Disponible: https://www.youtube.com/watch?v=k_Un7KaA_ac&t=3916s
- Oñate Viteri, W., & Flores Mariazza, E. (2019). Efecto de la fertilización fosfatada en la fenología de tres variedades de alfalfas (*Medicago sativa* L.). *Ciencia Digital*, 3(3), 178-194. Disponible: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.622>
- Ottman, M. (2010). Alfalfa Nutrient requirements, deficiency symptoms and fertilizer application. Proceedings, California Alfalfa & Forage Symposium, En: <http://alfalfa.ucdavis.edu>
- Paredes, M. C. (2013). Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas [en línea]. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/fijacion-biologica-nitrogeno-leguminosas.pdf>
- Pellock, B.; Cheng, H.; and Walker, G. (2000). Alfalfa root nodule invasion efficiency is dependent on *Sinorhizobium meliloti* polysaccharides. *J Bacteriol*; 182(15):4310-4318. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC101948/>
- Pioneer. (2019). Potato Leafhopper in Alfalfa. En: https://www.pioneer.com/us/agronomy/potato_leafhopper_in_alfalfa_cropfocus.html
- Poole, G.; Putnam, D. and Orloff, S. (2003). Considerations in choosing an alfalfa variety. Proceedings 33^o California Alfalfa and Forage Symposium, pp. 191-200. En: <https://alfalfa.ucdavis.edu>
- Popovic, S.; Cupic, T.; Grljusic, S.; Stejepanovic, M. y Tucak, M. (2001). Protein and fiber contents in alfalfa leaves and stems. Zaragoza: CIHEAM, Options Méditerranéennes: Serie A. Séminaires Méditerranéennes; n.45. pág.215-218.
- Probst, T. (2008). Harvest Frequency and cultivar effects on yield, quality, and regrowth rate among new alfalfa cultivars. (Tesis de maestría de University of Kentucky). Disponible:https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1531&context=gradschool_theses

- Putnam, D.; Russelle M.P.; Orloff, S. et al. (2001). Alfalfa, Wildlife, and the Environment: the importance and benefits of alfalfa in the 21st Century. California Alfalfa and Forage Association.
- Putnam, D.; Orloff, S.B.; Teuber, L. (2007). Choosing an alfalfa variety. IN (C.G. Summers and D.H. Putnam, eds.), Irrigated alfalfa management for Mediterranean and Desert zones. Chapter 5. Oakland: University of California Agriculture and Natural Resources Publication 8291. En: https://alfalfa.ucdavis.edu/irrigatedAlfalfa/pdfs/UCAlfalfa8291Variety_free.pdf
- Rebuffo M. 2005. Alfalfa: principios de manejo del pastoreo. Revista INIA 5. 9pp. En: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_alfalfa/42-manejo.pdf
- Reynolds, J. & Smith, D. (1962). Trend of carbohydrates reserves in alfalfa, smooth brome grass, and timothy grown under various cutting schedules. Crop Science 2: 333-336.
- Rincón, A.; Ligarreto, G. y Garay, E. (2008). Producción de forraje en los pastos *Brachiaria decumbens* cv. Amargo y *Brachiaria brizantha* cv. Toledo, sometidos a tres frecuencias y a dos intensidades de defoliación en condiciones del Piedemonte Llanero Colombiano. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 61(1):4336-4346.
- Rhykerd, C.L., and C.J. Overdahl. (1982). Nutrition and fertilizer use. In Hanson, C.H. (ed) Alfalfa Science and Technology. Agronomy Monograph 15, pp. 437-468. Am. Soc. Agron., Madison, WI.
- Rodríguez, N. & Spada, M. (2007). Morfología de la alfalfa. Basigalup, D. INTA (Ed). El cultivo de la alfalfa en la Argentina (p. 29-36). Buenos Aires, Argentina.
- Rospigliosi, J. (2017). Estudio de la Ganadería Lechera en el Perú. Análisis de su Estructura, Dinámica y Propuestas de Desarrollo. Ministerio de Agricultura y Riego, Viceministerio de Políticas Agrarias, Dirección General de Políticas Agrarias-DGPA. Lima, Perú.
- Rotondaro, R. (SSFF). Manejo y nutrición de la alfalfa. 2da parte. ACA Nutrición de Cultivos. En:

<http://portal.acabase.com.ar/suelofertil/Articulos%20de%20Inters/VARIOS/Alfalfa%20-%20Manejo%20y%20nutrici%C3%B3n%20da%20parte.pdf>

Salguero, J. (2018). Fertilización de la alfalfa. Boletín informativo para el sector Agropecuario de CORFO Chubut, N°77. (p. 17-24.)

Sanderson, M. and Wedin, W. (1989). Phenological stage and herbage quality relationships in temperate grasses and legumes. *Agronomy Journal*. 81: 864-869. doi:10.2134/agronj1989.00021962008100060005x

Sanzano, A. (s.f). El fósforo del suelo. Química del suelo – El fósforo, Cátedra de Edafología Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Nacional de Tucumán. Argentina. Disponible en: <https://www.edafologia.org/descargas/>

Schachtman, D.; Reid, R. and Ayling, S. (1998). Phosphorus uptake by plants. From soil to cell. *Plant Physiology* 116. 447-453. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.116.2.447>. En: <http://www.plantphysiol.org/content/116/2/447>

Second World Alfalfa Congress. (2018). Proceedings of the Second World Alfalfa Congress, Global Interaction for Alfalfa Innovation, Preface. Edited by Basigalup, D.; Spada, M.; Odorizzi, A. y Arolfo, V. INTA EEA Manfredi, Córdoba, Argentina.

Shen, J.; Yuan, L.; Zhang, J; Li, H.; Bai, Z.; Chen, X.; Zhang, W. and Zhang, F. (2011). Phosphorus dynamics. From soil to plant. *Plant Physiology* 156(3),997-1005. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.111.175232>. En: <http://www.plantphysiol.org/content/156/3/997>

Singh S., Varma A. (2017) Structure, Function, and Estimation of Leghemoglobin. In: Hansen A., Choudhary D., Agrawal P., Varma A. (eds) *Rhizobium Biology and Biotechnology*. Soil Biology, vol 50. Springer, Cham ISBN : 978-3-319-64981-8

Smith, D. (1972). Cutting schedules and maintaining pure stands. C.H. Hanson (ed) *Alfalfa Science and Technology*. ASA, Agronomy 15. Madison, WI, Ch 22, pp. 481-496.

Soppe, W. and Bentsink, L. (2016). Dormancy in plants. En: eds. John Willey & Sons, Ltd: Chichester. DOI: 10.1002/9780470015902.a0002045.pub2

- Soto, P. (1983). Alfalfa. Recomendaciones para su establecimiento en la zona centro sur de riego. Investigación y Progreso Agropecuario Quilamapu. En: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/31400>
- Spada, M. (2007). Evaluaciones de cultivares y panorama varietal. Basigalup, D. INTA (Ed). El cultivo de la alfalfa en la Argentina (p. 131-148). Buenos Aires, Argentina.
- Sprent, J. and Sprent, P. (1990). Nitrogen fixing organisms, pure and applied aspects. London: Chapman and Hall. Viii 2556 pp. ISBN 0 412 34690 7.
- Stougaard, J. (2000). Regulators and Regulation of Legume Root Nodule Development. Plant Physiology, 124(2): 531-540. Disponible en: <https://academic.oup.com/plphys/article/124/2/531/6098804>
- SUNAT. Operatividad Aduanera. (2016). En: <https://www.sunat.gob.pe/operatividadaduanera/>
- Ueno, M. & Smith, D. (1970). Growth and carbohydrate changes in the root wood and bark of different sized alfalfa plants during regrowth after cutting. Crop Science. 10:396-399.
- Undersander, D.; Cosgrove, D.; Cullen, E. et al. (2011). Alfalfa Management Guide. USA <https://www.agronomy.org/files/publications/alfalfa-management-guide.pdf>
- USDA. (2020). Natural Resources Conservation Service. Plant Database-Classification. En: <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=MESA>
- Vivas, H.; Romero, L. y Ibarlucea, J. (2015). Fertilización con fósforo y azufre en dos variedades de alfalfa sobre un suelo deficiente de San Cristobal, Santa Fe. Poster presentado en Simposio Fertilidad 2015.
- Volenc, J.J. (1985). Leaf area expansion and shoot elongation of diverse alfalfa germplasms. Crop Sci. 25:822-827.
- Watari, R., Nagashima, H., & Hirose, T. (2014). Stem extension and mechanical stability of *Xanthium canadense* grown in an open or in a dense stand. Annals of Botany, 114(1), 179-190. En: <http://www.jstor.org/stable/43579567>

- Wilson, J. W. (1981). Analysis of Growth, Photosynthesis and Light Interception for Single Plants and Stands. *Annals of Botany*, 48(4), 507–512.
<http://www.jstor.org/stable/42754080>
- Yzarra, W. y López, F. (2011). Manual de Observaciones Fenológicas. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi), Ministerio de Agricultura. Perú. pág. 14. En: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-11.pdf>
- Zingoni, M. (2009). La densidad de siembra, una asignatura pendiente. Boletín TodoAgro. Argentina. Disponible: <http://www.todoagro.com.ar/noticias/nota.asp?nid=12076#>
- Zorita, (2007). Fertilización y encalado en alfalfa. Basigalup, D. INTA (Ed). El cultivo de la alfalfa en la Argentina (Cap. 11 227-243). Buenos Aires, Argentina.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Caracterización de suelos inicial y final

Análisis de caracterización de suelos del Campo experimental – LEUP. análisis de suelo de rutina realizado por el Laboratorio de Suelo y Agua de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

pH	C.E ds/m	CaCO ₃ %	M.O %	P ppm	K ppm	Análisis mecánico			Clase textural
						Arena	Limo	Arcilla	
8.07	1.66	4.27	1.48	39.57	189	57	22	21	Fr. Ar. A

a) Análisis de suelo - Inicial

b) Análisis de suelo - Final

Número de muestra	Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Clase Textural
Lab								
111	P-0	8.05	0.55	4.67	0.69	34.5	146	Fr. Ar. A.
112	P-35	8.13	0.46	5.25	1.24	34.8	152	Fr. Ar. A.

Anexo 2. Fichas técnicas de variedades de alfalfa

Anexo 2.1 Alfalfa sw8210



FICHA TECNICA
PASTOS CULTIVADOS
N° 002-ALABAMA
VENTAS



1. ALFALFA SW 8210 (*Medicago sativa*)

- Origen: **USA (SW SEED COMPANY).**
- Dormancia: 8.
- Tratamiento: **CERTIFICADA Y DESINFECTADA. INOCULADA Y PELETIZADA EN LUGAR DE ORIGEN (USA).**
- Porcentaje de Germinación: mayor a 85 %
- Porcentaje de Pureza: igual o mayor a 99%
- Adaptación: Desde 0 a 3,600 m.s.n.m.
- Densidad de siembra: 25 kg/ha.
- Con Certificación de no Transgénico (no OMG)
- Establecimiento: a partir de los 90 días, con intervalos de corte desde los 30 a 35 días.
- Características: Variedad de alta producción, muy rústica, soportabilidad a altas y bajas temperaturas.
De comportamiento precoz y rápida recuperación después del corte o pastoreo. Contiene de 24 a 27% de proteína.
Tiene múltiples resistencias (MPR) a enfermedades, insectos y nematodos como Fusarium, Verticillium, Roya, Nemátodos de la raíz y tallo, Phitophtora, Mancha del asfalto, Oidium y Antracnosis.
- Duración de pradera: 7 a 10 años, dependiendo del manejo y fertilización.
- Uso: Corte y/o pastoreo. Heno y ensilaje
- Producción estimada de forraje: 8 a 10 cortes al año, con un rendimiento estimado de 120 a 180 TM de forraje verde/Ha/año.

Anexo 2.2 Alfalfa moapa 69



FICHA TECNICA
PASTOS CULTIVADOS
N° 006-ALABAMA
VENTAS



1. ALFALFA MOAPA 69 (Medicago sativa).

- Origen: **USA**.
- Dormancia: 8.
- Tratamiento: **CERTIFICADA Y DESINFECTADA. INOCULADA Y PELETIZADA EN LUGAR DE ORIGEN (USA)**.
- Porcentaje de Germinación: mayor a 85 %
- Porcentaje de Pureza: igual o mayor a 99%
- Adaptación: Desde 1000 a 3,500 m.s.n.m.
- Densidad de siembra: 25 kg/ha.
- Con Certificación de no Transgénico (no OMG)
- Establecimiento: a partir de los 100 días, con intervalos de corte desde los 35 a 45 días.
- Características: Variedad trifoliada de alta producción, rústica, rápida recuperación después del corte y resistente a condiciones extremas.
Contiene de 20 a 24 % de proteína.
- Duración de pradera: 6 años, dependiendo del manejo y fertilización.
- Uso: Corte y/o pastoreo. Heno y ensilaje.
- Producción estimada de forraje: 6 a 8 cortes al año, con un rendimiento estimado de 80 a 120 TM de forraje verde/Ha/año

Anexo 2.3 Alfalfa cuf101



FICHA TECNICA
PASTOS CULTIVADOS
N° 007-ALABAMA
VENTAS



b

1. ALFALFA CUF 101 (Medicago sativa).

- Origen: **USA**.
- Dormancia: 9.
- Tratamiento: **CERTIFICADA Y DESINFECTADA. INOCULADA Y PELETIZADA EN LUGAR DE ORIGEN (USA)**.
- Porcentaje de Germinación: mayor a 85 %
- Porcentaje de Pureza: igual o mayor a 99%
- Adaptación: Desde 2000 a 3,500 m.s.n.m.
- Densidad de siembra: 25 kg/ha.
- Con Certificación de no Transgénico (no OMG)
- Establecimiento: a partir de los 90 a 100 días, con intervalos de corte desde los 35 a 45 días.
- Características: Variedad trifoliada de alta producción, rústica, rápida recuperación después del corte y resistente a condiciones extremas. Moderada resistencia la pulgón. Contiene de 20 a 24 % de proteína.
- Duración de pradera: 6 años, dependiendo del manejo y fertilización.
- Uso: Corte y/o pastoreo. Heno y ensilaje.
- Producción estimada de forraje: 6 a 8 cortes al año, con un rendimiento estimado de 80 a 120 TM de forraje verde/Ha/año.

Anexo 3. Prueba de viabilidad de semilla

Esta prueba consiste en la tinción de semillas con una solución de cloruro 2,3,5-trifenil tetrazolio (TTC) y agua. Se seleccionaron 56 semillas de cada variedad para ser procesadas. De acuerdo con la Asociación Oficial de Análisis en Semilla (AOSA), la alfalfa pertenece a la familia Fabaceae II para la cual existe un procedimiento específico dividido en tres etapas (AOSA, 2005):

1. Pre-condicionamiento

Consiste en embeber las semillas entre dos papeles toalla húmedos y dejarlo reposar durante toda la noche a una temperatura de 20-25°C.

2. Preparación y tinción

Las semillas de alfalfa no necesitan un corte para poder apreciar la tinción. Estas son luego sumergidas en la solución tetrazolio (concentración 1%) durante 12 horas a una temperatura de 30-35°C.

3. Evaluación

En esta etapa es necesario remover la cubierta externa para poder visualizar la tinción. Los criterios de evaluación son los siguientes:

Viabile	No viable
<ul style="list-style-type: none">- Embrión totalmente teñido, turgente y sin fracturas.- Embrión teñido, aunque es aceptable un ligero daño en la radícula (ligeramente oscura).- Es aceptable la presencia de pequeños puntos sin teñir o puntos intensamente teñidos en la periferia del hipocótilo y cotiledones.	<ul style="list-style-type: none">- Embrión no teñido, flácido.- Radícula no teñida, deteriorada o fracturada por encima de la punta del tejido conductivo central.- Daño en el embrión.

El ensayo de tinción con tetrazolio permite diferenciar aquellas semillas que se encuentren vivas de las muertas mostrando indirectamente la actividad respiratoria

de las enzimas deshidrogenasa en los tejidos de la semilla. Cuando se sumerge una semilla en la solución incolora de 2,3,5-trifenil tetrazolio cloruro (TTC) este penetra en los tejidos en donde se reduce formando trifenilformazan. Esta forma reducida se aprecia a simple vista por su color rojo carmín, además es insoluble en agua, estable y no difusible (Franca-Neto y Krzyzanowski, 2009).

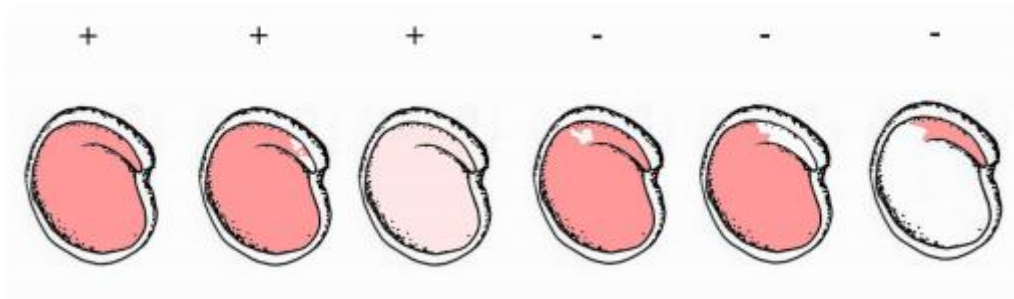


Figura. Evaluación de la tinción de la semilla de alfalfa (Fabaceae II), donde (+) indica una semilla es viable y (-) una semilla no viable



Pre-condicionamiento



Preparación y tinción



Preparación y tinción

Semilla no viable



Semilla viable



Resultados

VARIEDAD	TOTAL(%)
Moapa 69	73.21
SW8210	85.71
CUF101	82.14

Anexo 4. Prueba de germinación de semillas

Para este ensayo se utilizaron 100 semillas que fueron dispuestas en 10 filas de 10 semillas cada una sobre cuatro papeles absorbentes. A continuación, se cubrieron con otros cuatro papeles toalla, se enrolló y humedeció todo el paquete con agua destilada. Cada paquete fue colocado dentro de una caja plástica cerrada y almacenado en una cámara bioclimática modelo KBWF 7200 de la marca BINDER a una temperatura constante de 25°C durante un periodo de 10 días. En total se evaluó cuatro repeticiones de 100 semillas por cada variedad de alfalfa. El conteo de las plántulas se realizó al tercer, séptimo y décimo día de prueba.



Semillas de alfalfa



Disposición de Semillas de alfalfa (10x10)



Humedecimiento con agua destilada



Empaquetamiento



Semillas en cámara bioclimática



Revisión



Conteo plántulas normales



Plántulas anormales

Resultados

VARIEDAD	TOTAL(%)
Moapa 69	72.5
SW8210	84.75
CUF101	81.5

Anexo 5. Prueba de conteo de Rhizobium

5.1 Conteo SW8210



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 2002061- LMT

SOLICITANTE : ALMA CAYETANO MANZO

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : SEMILLA DE ALFALFA
2002061) SW8210

PROCEDENCIA : ALABAMA S. A.
TIPO DE ENVASE : Bolsa de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 10 g. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE VENCIMIENTO : 2020 - 02 - 06
FECHA DE RECEPCIÓN : 2020 - 02 - 06
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2020 - 02 - 06
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2020 - 02 - 18

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 2002061
¹ Recuento de <i>Rhizobium</i> sp.	18 x 10 ²

Métodos:

¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

5.2 Conteo CUF 101



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 2002062- LMT

SOLICITANTE : ALMA CAYETANO MANZO

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : SEMILLA DE ALFALFA
2002062) CUF101

PROCEDENCIA : ALABAMA S. A.
TIPO DE ENVASE : Bolsa de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 10 g. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE VENCIMIENTO : 2020 - 02 - 06
FECHA DE RECEPCIÓN : 2020 - 02 - 06
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2020 - 02 - 06
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2020 - 02 - 18

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 2002062
¹ Recuento de <i>Rhizobium sp.</i>	14 x 10 ²

Métodos:

¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acriba.

5.3 Conteo Moapa69



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 2002063- LMT

SOLICITANTE : ALMA CAYETANO MANZO

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : SEMILLA DE ALFALFA
2002063) MOAPA69

PROCEDENCIA : ALABAMA S. A.
TIPO DE ENVASE : Bolsa de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 10 g. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE VENCIMIENTO : 2020 - 02 - 06
FECHA DE RECEPCIÓN : 2020 - 02 - 06
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2020 - 02 - 06
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2020 - 02 - 18

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 2002063
¹ Recuento de <i>Rhizobium sp.</i>	27 x 10 ²

Métodos:

¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Anexo 6. Pruebas de Análisis de Varianza de las etapas de establecimiento y producción

6.1. ANOVA densidad de plantas

Análisis de varianza

Variable	R ²	CV	Raíz CME	Media
Biomasa aérea	0.9224	8.1975	42.5289	518.800

F.V	GL	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	57709.013	28854.507	15.953	0.0008
Variedad	2	125317.973	62658.987	34.643	<0.0001
Dosis	1	27097.920	27097.920	14.982	0.0031
Var*Dosis	2	4736.853	2368.427	1.3095	0.3125
Error	10	18087.040	1808.704		

Prueba de Duncan (P < 0.05)

Variedad	Medias	N	E.E	
SW 8210	598.533	6	±36.447	A
CUF 101	554.267	6	±27.115	A
Moapa 69	403.600	6	±39.040	B

Dosis	Medias	N	E.E	
P35	557.600	9	±35.652	A
P0	480.000	9	±39.849	B

P = fósforo

6.2 ANOVA biomasa aérea

Análisis de varianza

Variable	R ²	CV	Raíz CME	Media
Biomasa aérea	0.744467	14.32155	2.512000	17.54000

F.V	GL	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	135.364	67.682	10.73	0.0032
Variedad	2	0.894	0.447	0.07	0.9321
Dosis	1	32.805	32.805	5.20	0.0458
Var*Dosis	2	14.776	7.388	1.17	0.3492
Error	10	63.101	6.310		

Prueba de Duncan (P < 0.05)

Variedad	Medias	N	E.E	
SW 8210	17.707	6	±1.489	A
Moapa 69	17.688	6	±1.685	A
CUF 101	17.225	6	±1.773	A

Dosis	Medias	N	E.E	
P35	18.890	9	±1.434	A
P0	16.190	9	±0.958	B

P = fósforo

6.3 ANOVA peso raíz

Análisis de varianza

Variable	R ²	CV	Raíz CME	Media
Peso de raíz	0.722270	13.76400	0.658072	4.781111

F.V	GL	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	4.878	2.439	5.632	0.0230
Variedad	2	0.365	0.183	0.421	0.6672
Dosis	1	5.314	5.314	12.270	0.0057
Var*Dosis	2	0.705	0.353	0.814	0.4704
Error	10	4.331	0.433		

Prueba de Duncan (P < 0.05)

Variedad	Medias	N	E.E	
SW 8210	4.982	6	±0.293	A
Moapa 69	4.697	6	±0.526	A
CUF 101	4.665	6	±0.381	A

Dosis	Medias	N	E.E	
P35	5.324	9	±0.260	A
P0	4.238	9	±0.274	B

P = fósforo

6.4 ANOVA longitud raíz

Análisis de varianza

Variable	R ²	CV	Raíz CME	Media
Long. raíz	0.402241	7.967061	1.764704	22.15000

F.V	GL	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	3.743	1.872	0.60	0.5669
Variedad	2	15.625	7.813	2.51	0.1309
Dosis	1	0.399	0.399	0.13	0.7278
Var*Dosis	2	1.188	0.594	0.19	0.8293
Error	10	31.142	3.114		

Prueba de Duncan (P < 0.05)

Variedad	Medias	N	E.E	
Moapa 69	23.212	6	±0.788	A
CUF 101	22.295	6	±0.660	A
SW8210	20.943	6	±0.398	A

Dosis	Medias	N	E.E	
P35	22.299	9	±0.524	A
P0	22.001	9	±0.666	A

P = fósforo

6.5 ANOVA índice de macollamiento

Análisis de varianza

Variable	R ²	CV	Raíz CME	Media
Ind.macollo	0.713266	8.439120	0.161984	1.919444

F.V	GL	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	0.135	0.067	2.57	0.1257
Variedad	2	0.279	0.114	5.32	0.0267
Dosis	1	0.224	0.224	8.55	0.0152
Var*Dosis	2	0.014	0.007	0.27	0.7679
Error	10	0.262	0.026		

Prueba de Duncan (P < 0.05)

Variedad	Medias	N	E.E		
Moapa 69	2.073	6	±0.102	A	
SW 8210	1.917	6	±0.072	A	B
CUF 101	1.768	6	±0.075		B

Dosis	Medias	N	E.E	
P35	2.031	9	±0.077	A
P0	1.808	9	±0.061	B

P = fósforo

6.6 ANOVA altura

Análisis de varianza

Variable	R ²	CV	Raíz CME	Media
Altura	0.755969	6.344152	1.635099	25.77333

F.V	GL	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	5.389	2.694	1.01	0.3993
Variedad	2	42.370	21.185	7.92	0.0087
Dosis	1	20.909	20.909	7.82	0.0189
Var*Dosis	2	14.155	7.078	2.65	0.1195
Error	10	26.736	2.674		

Prueba de Duncan (P < 0.05)

Variedad	Medias	N	E.E	
SW 8210	27.360	6	±0.640	A
CUF 101	26.262	6	±0.349	A
Moapa 69	23.698	6	±1.307	B

Dosis	Medias	N	E.E	
P35	26.851	9	±0.611	A
P0	24.696	9	±0.926	B

P = fósforo

6.7 ANOVA relación hoja:tallo

Análisis de varianza

Variable	R ²	CV	Raíz CME	Media
Hoja/tallo	0.709529	6.675740	0.137594	2.061111

F.V	GL	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	0.131	0.066	3.47	0.0717
Variedad	2	0.288	0.144	7.60	0.0098
Dosis	1	0.008	0.008	0.42	0.5298
Var*Dosis	2	0.035	0.018	0.93	0.4268
Error	10	0.189	0.019		

Prueba de Duncan (P < 0.05)

Variedad	Medias	N	E.E	
Moapa 69	2.238	6	±0.066	A
CUF 101	1.993	6	±0.054	B
SW 8210	1.952	6	±0.070	B

Dosis	Medias	N	E.E	
P35	2.082	9	±0.611	A
P0	2.040	9	±0.926	A

P = fósforo

6.8 ANOVA Rendimiento por corte

Análisis de varianza

Variable	R ²	CV	Raíz CME	Media
Rendimiento	0.936157	4.197610	0.162354	3.867778

F.V	GL	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	1.964	0.982	37.258	<0.0001
Variedad	2	0.288	0.144	5.472	0.0248
Dosis	1	1.479	1.479	56.118	<0.0001
Var*Dosis	2	0.133	0.067	2.529	0.1292
Error	10	0.264	0.026		

Prueba de Duncan (P < 0.05)

Variedad	Medias	N	E.E		
Moapa 69	4.025	6	±0.206	A	
SW 8210	3.863	6	±0.236	A	B
CUF 101	3.715	6	±0.172		B

Dosis	Medias	N	E.E	
P35	4.154	9	±0.153	A
P0	3.581	9	±0.115	B

P = fósforo

6.9 ANOVA Rendimiento acumulado

Análisis de varianza

Variable	R ²	CV	Raíz CME	Media
Rend.acum	0.936725	4.168838	0.967333	23.20389

F.V	GL	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	70.237	35.119	37.53	<0.0001
Variedad	2	10.277	5.138	5.49	0.0246
Dosis	1	53.148	53.148	56.80	<0.0001
Var*Dosis	2	4.863	2.431	2.60	0.1234
Error	10	9.357	0.936		

Prueba de Duncan (P < 0.05)

Variedad	Medias	N	E.E		
Moapa 69	24.145	6	±1.238	A	
SW 8210	23.172	6	±1.416	A	B
CUF 101	22.295	6	±1.025		B

Dosis	Medias	N	E.E	
P35	24.922	9	±0.918	A
P0	21.486	9	±0.688	B

P = fósforo

6.10 ANOVA tasa de crecimiento

Análisis de varianza

Variable	R ²	CV	Raíz CME	Media
Tasa Crec.	0.936919	4.280244	5.039939	117.7489

F.V	GL	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	2014.401	1007.201	39.65	<0.0001
Variedad	2	253.966	126.983	5.00	0.0313
Dosis	1	1397.442	1397.442	55.02	<0.0001
Var*Dosis	2	106.885	53.443	2.10	0.1727
Error	10	254.010	25.401		

Prueba de Duncan (P < 0.05)

Variedad	Medias	N	E.E		
Moapa 69	122.215	6	±6.693	A	
SW 8210	118.007	6	±7.318	A	B
CUF 101	113.025	6	±5.235		B

Dosis	Medias	N	E.E	
P35	126.560	9	±4.853	A
P0	108.938	9	±3.601	B

P = fósforo

6.11 ANOVA Altura

Análisis de varianza

Variable	R ²	CV	Raíz CME	Media
Tasa Crec.	0.836554	4.274728	2.802203	65.55278

F.V	GL	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	274.121	137.061	17.45	0.0005
Variedad	2	28.044	14.022	1.79	0.2172
Dosis	1	99.358	99.358	12.65	0.0052
Var*Dosis	2	0.379	0.189	0.02	0.9762
Error	10	78.523	7.852		

Prueba de Duncan (P < 0.05)

Variedad	Medias	N	E.E	
CUF 101	66.848	6	±1.931	A
Moapa 69	65.943	6	±2.083	A
SW 8210	63.867	6	±2.648	A

Dosis	Medias	N	E.E	
P35	67.902	9	±1.413	A
P0	63.203	9	±1.816	B

P = fósforo

6.12 ANOVA Relación hoja/tallo

Análisis de varianza

Variable	R ²	CV	Raíz CME	Media
Hoja/tallo	0.657569	7.434996	0.074722	1.005000

F.V	GL	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	0.0787	0.0394	7.05	0.0123
Variedad	2	0.0236	0.0118	2.12	0.1712
Dosis	1	0.0046	0.0047	0.84	0.3818
Var*Dosis	2	0.0002	0.0001	0.02	0.9813
Error	10	0.0558	0.0056		

Prueba de Duncan (P < 0.05)

Variedad	Medias	N	E.E	
SW 8210	1.052	6	±0.0400	A
Moapa 69	1.000	6	±0.0394	A
CUF 101	0.963	6	±0.0386	A

Dosis	Medias	N	E.E	
P0	1.021	9	±0.0408	A
P35	0.989	9	±0.0231	A

P = fósforo

6.13 ANOVA Biomasa aérea

Análisis de varianza

Variable	R ²	CV	Raíz CME	Media
Hoja/tallo	0.657569	7.434996	0.074722	1.005000

F.V	GL	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	249.114	124.557	25.13	0.000
Variedad	2	22.615	11.307	2.28	0.153
Dosis	1	19.738	19.738	3.98	0.074
Var*Dosis	2	3.407	1.704	0.34	0.717
Error	10	49.566	4.957		

Prueba de Duncan (P < 0.05)

Variedad	Medias	N	
Moapa 69	27.408	6	A
SW 8210	25.756	6	A
CUF 101	24.683	6	A

Dosis	Medias	N	
P0	24.902	9	A
P35	26.996	9	A

P = fósforo