

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



T E S I S

“EVALUAR EL EFECTO DE CINCO LAMINAS DE RIEGO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ALFALFA (*Medicago sativa* L.) EN EL FUNDO LA VICTORIA - CAJAMARCA”

Para optar el título Profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Presentado por la Bachiller:

BETSY ELIZABETH PALOMINO INFANTE

Asesor:

Ing. JOSÉ LIZANDRO SILVA MEGO

CAJAMARCA - PERU

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:

BETSY ELIZABETH PALOMINO INFANTE

DNI: N° 70171868

Escuela Profesional / Unidad UNC

DE AGRONOMÍA

2. Asesor:

ING. JOSÉ LIZANDRO SILVA MEGO

Facultad / Unidad UNC

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

3. Grado Académico o Título Profesional

Bachiller

Título Profesional

Segunda especialidad

Maestro

Doctor

4. Tipo de Investigación

Tesis

Trabajo de Investigación

Trabajo de suficiencia Profesional

Trabajo académico

5. Título del trabajo de Investigación

EVALUAR EL EFECTO DE CINCO LÁMINAS DE RIEGO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ALFALFA (*Medicago sativa* L.) EN EL FUNDO LA VICTORIA – CAJAMARCA.

6. Fecha de Evaluación: 06 /06/2025

7. Software Antiplagio

TURNITIN

URKUND (OURIGINAL) (*)

8. Porcentaje de Informe de Similitud: 17%

9. Código Documento: **oid:::3117:465007779**

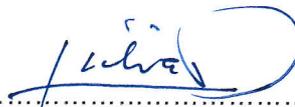
10. Resultado de la evaluación de similitud:

APROBADO

PARA LEVANTAR OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha de emisión: 09/06/2025

Firma y/o Sello
Emisor Constancia



Ing. José Lizandro Silva Mego
DNI N° 26705775



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los treinta días del mes de abril del año dos mil veinticinco, se reunieron en el ambiente **2C - 202** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 120-2025-FCA-UNC, de fecha 07 de febrero del 2025**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: "**EVALUAR EL EFECTO DE CINCO LÁMINAS DE RIEGO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ALFALFA (*Medicago sativa* L) EN EL FUNDO LA VICTORIA - CAJAMARCA**", realizada por la Bachiller **BETSY ELIZABETH PALOMINO INFANTE** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las diez horas y cinco minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de diecisiete (17); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

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

Dr. Wilfredo Poma Rojas
PRESIDENTE

Dr. Víctor Vásquez Arce
SECRETARIO

Ing. M. Sc. Jorge Ricardo De La Torre Araujo
VOCAL

Ing. José Lizandro Silva Mejo
ASESOR

DEDICATORIA

A los agricultores del Valle de Cajamarca, quienes a pesar de las múltiples dificultades que tienen que enfrentar, perduran desarrollando la actividad agropecuaria y ofertando sus productos para tener disponible los alimentos en la mesa de la población Cajamarquina.

A los docentes de la Universidad Nacional de Cajamarca, especialmente a los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias, escuela profesional de Agronomía, por perseverar en la motivación de la enseñanza aprendizaje para forjar seres con sensibilidad social que son el soporte en el emprendimiento tecnológico en aras de un gran País.

AGRADECIMIENTO

A los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias, especialmente al Ing. José Lizandro Silva Mego, por haber compartido sus sabios conocimientos y haberme guiado para lograr el presente trabajo como símbolo de mi formación profesional.

A mis padres: Teodoro y Gladys Elizabeth por la firme decisión para inculcarme responsabilidad que ha contribuido para alcanzar esta meta.

En forma especial, mi agradecimiento al Ing. Antenor Domínguez Palacios Administrador de Fundo la Victoria, por haberme permitido realizar la evaluación en una de las parcelas de cultivo de alfalfa que el tan dignamente dirige.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Justificación de la investigación.....	3
1.3.1. Justificación científica.....	3
1.3.2. Justificación técnica - practica.....	3
1.3.3. Justificación institucional y personal.	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general.	5
1.5. Hipótesis.....	5
1.5.1. Variables.....	5
1.5.1.1. <i>Variable independiente</i>	5
1.5.1.2. <i>Variable dependiente</i>	5
II.REVISION DE LITERATURA.....	6
2.1. Antecedentes.....	6
2.2. Marco teórico	7
2.2.1. <i>Conceptos teóricos sobre el manejo del riego</i>	7

2.2.1.1. Lámina de riego.	7
2.2.1.2. Fundamentos del manejo del riego.....	11
2.2.1.3. Relación entre riego y crecimiento vegetal.	11
2.2.1.4. Estrategias de riego en cultivos forrajeros.	12
2.2.1.5. Efectos del estrés hídrico en el crecimiento y producción.....	12
2.2.1.6. Optimización del uso del agua para mejorar rendimientos.....	13
2.2.1.7. Impacto de diferentes láminas de riego en cultivos agrícolas.....	13
2.2.1.8. Estudios previos sobre el uso de láminas de riego.	13
2.2.1.9. Comparativa de resultados en distintos cultivos.....	14
2.2.1.10. Aspectos fisiológicos del cultivo bajo diferentes condiciones hídricas.	14
2.2.1.11. Fotosíntesis y transpiración en respuesta al riego.....	14
2.2.1.12. Balance hídrico y eficiencia en el uso del agua.....	15
2.2.2. <i>Requerimiento hídrico por los cultivos según sus características fisiológicas.....</i>	16
2.2.2.1. Relación entre la disponibilidad de agua y el rendimiento en la alfalfa.....	16
2.2.2.2. Demanda hídrica de la alfalfa.....	16
2.2.2.3. Resultados específicos en alfalfa: rendimiento y calidad del forraje.....	17
2.2.2.4. Crecimiento radicular y absorción de nutrientes.....	17
2.2.2.5. Efecto del riego en el rendimiento y calidad nutricional de la alfalfa.....	18
2.2.2.6. Rendimiento biomásico en alfalfa bajo distintas láminas de riego.....	18
2.2.2.7. Riesgos del cultivo de alfalfa.	19
2.2.3. <i>El cultivo de alfalfa una alternativa para mejorar la economía del agricultor.....</i>	19

2.2.3.1. Consideraciones económicas del uso de diferentes regímenes de riego.....	19
2.2.4. <i>El cultivo de alfalfa y la seguridad alimentaria</i>	20
2.2.5. <i>El cultivo de alfalfa como insumo potencial para la seguridad alimentaria en la actividad pecuaria.</i>	20
2.2.6. <i>El cultivo de alfalfa y su influencia en el mejoramiento del suelo y el control de la erosión.</i>	20
2.2.7. <i>El cultivo de alfalfa y su influencia en la captura de CO2</i>	21
2.2.7.1. La alfalfa y la captura del CO2.	21
2.2.7.2. Captura de CO2 durante la fotosíntesis.	22
2.2.7.3. Alfalfa y secuestro de carbono en el suelo.	22
2.2.7.4. Beneficios adicionales y perspectivas.	23
2.2.8. <i>Cultivo de alfalfa y su valor nutricional</i>	23
2.3. Definición de términos.....	24
III.MATERIALES Y METODOS	31
3.1. Ubicación del campo experimental.....	31
3.2. Materiales.....	33
3.2.1. <i>Material biológico</i>	33
3.2.2. <i>Equipos, herramientas y material de campo</i>	33
3.2.3. <i>Material y equipo de laboratorio</i>	33
3.2.4. <i>Insumos</i>	33
3.2.5. <i>Material de escritorio</i>	34
3.3. Metodología.....	34
3.3.1. <i>Contexto de la Parcela experimental</i>	34
3.3.2. <i>Inicio de Trabajo</i>	34

3.3.3. Evaluación y análisis de características agronómicas alfalfa.....	35
3.3.4. Diseño experimental.....	35
3.3.5. Diseño del Módulo de Riego	37
3.3.6. Variables	37
3.3.6.1. Variable independiente.....	37
3.3.6.2. Variable dependiente.	38
3.3.7. Determinación referencial de las necesidades hídricas del cultivo de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)	38
3.3.8. Cálculo de la evapotranspiración de cultivo Etc.....	39
3.3.9. Programación del riego.....	40
3.3.10. Intervalo de riego.....	40
3.3.11. Tiempo de riego.....	40
3.3.12. Trabajo de campo.....	41
3.3.12.1. Acciones previas al trabajo de aplicación de la lámina de riego	41
3.3.12.2. Características físico químicas y parámetros hídricos de la parcela de investigación.....	41
3.3.12.3. Delimitación de parcela.	42
3.3.12.4. Acciones durante el periodo de aplicación de la dosis de riego y evaluación del rendimiento.	43
3.3.13. Trabajo de gabinete.....	44
3.3.13.1. Ordenamiento y análisis de datos.	44
IV.RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	45
4.1. Rendimiento promedio global de alfalfa en Tm. ha ⁻¹	45
4.2. Prueba de DUNCAN para rendimiento del cultivo de alfalfa tm. Ha. ⁻¹	47
4.3. Prueba de DUNCAN para la altura de tallo del cultivo de alfalfa.....	50

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
VI. Conclusiones.....	52
VI. Recomendaciones.....	52
VII. BIBLIOGRAFÍA	53
VIII. ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

1. Tabla 1 <i>Composición nutricional de alfalfa (Medicago sativa L.)</i>	24
2. Tabla 2 <i>Velocidad de infiltración del agua en diferentes clases de suelo</i>	24
3. Tabla 3 <i>Determinación de la evapotranspiración potencial según Hargreaves con MF(mm.mes⁻¹)</i>	38
4. Tabla 4 <i>Caudal de emisores calibrados para cada tratamiento</i>	41
5. Tabla 5 <i>Indicadores de resultados en tm.ha⁻¹</i>	45
6. Tabla 6 <i>Análisis de varianza (ANVA) Rendimiento de cultivo de alfalfa en TM ha⁻¹</i>	46
7. Tabla 7 <i>Análisis de Duncan para Rendimiento TM ha⁻¹ en alfalfa promedio global</i>	47
8. Tabla 8 <i>Prueba de Duncan al 5% para rendimiento en TM ha⁻¹</i>	48
9. Tabla 9 <i>Promedio altura de tallo global medido en cm</i>	48
10. Tabla 10 <i>Análisis de varianza (ANVA) de altura de tallo del promedio global</i>	49
11. Tabla 11 <i>Análisis de Duncan para altura de tallo en alfalfa</i>	50
12. Tabla 12 <i>Prueba de Duncan al 5% para altura de tallo en cm</i>	50
13. Tabla 13 <i>Datos meteorológicos</i>	59
14. Tabla 14 <i>Datos meteorológicos del periodo en estudio (2024)</i>	60
15. Tabla 15 <i>Datos de MF para la fórmula de Hargreaves</i>	61
16. Tabla 16 <i>Altura de Tallo de forraje de alfalfa (cm) en el primer corte</i>	62
17. Tabla 17 <i>Análisis de varianza (ANVA) de altura de tallo del primer corte (evaluación)</i>	62

18. Tabla 18 <i>Altura de Tallo de forraje de alfalfa (cm) en el segundo corte.....</i>	63
19. Tabla 19 <i>Análisis de varianza (ANVA) de altura de tallo del segundo corte (evaluación)</i>	63
20. Tabla 20 <i>Altura de Tallo de forraje de alfalfa (cm) en el tercer corte.....</i>	64
21. Tabla 21 <i>Análisis de varianza (ANVA) de altura de tallo del Tercer Corte (evaluación)</i>	64
22. Tabla 22 <i>Rendimiento de alfalfa en Tm ha-1 en el primer corte.....</i>	65
23. Tabla 23 <i>Análisis de varianza (ANVA) Rendimiento en TM ha-1 del primer corte (evaluación)</i>	65
24. Tabla 24 <i>Rendimiento de alfalfa en Tm ha-1 en el segundo corte.....</i>	66
25. Tabla 25 <i>Análisis de varianza (ANVA) Rendimiento en TM ha-1 del segundo corte.....</i>	66
26. Tabla 26 <i>Rendimiento de alfalfa en Tm ha-1 en el tercer corte.....</i>	67
27. Tabla 27 <i>Análisis de varianza (ANVA) Rendimiento en TM/ha-1 del tercer corte.....</i>	67

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Figura 1 <i>Curva de Kc durante el desarrollo del cultivo</i>	10
2. Figura 2 <i>Mapa de ubicación del fundo “la victoria”</i>	32
3. Figura 3 <i>Diseño experimental</i>	36
4. Figura 4 <i>Diseño del módulo de riego</i>	37
5. Figura 5 <i>Ordenamiento de tratamientos menor a mayor según el rendimiento</i>	46
6. Figura 6 <i>Tendencia de la altura promedio</i>	49
7. Figura 7 <i>Línea de tendencia en el rendimiento</i>	51
8. Figura 8 <i>Análisis de Suelos INIA</i>	58
9. Figura 9 <i>Recomendaciones hechas por INIA</i>	59
10. Figura 10 <i>Estación meteorológica “la Victoria”</i>	68
11. Figura 11 <i>Materiales y equipos utilizados</i>	68
12. Figura 12 <i>Fertilización</i>	69
13. Figura 13 <i>Medición de pluviometría de aspersores</i>	69
14. Figura 14 <i>Proceso de riego</i>	70
15. Figura 15 <i>Supervisión de parte de asesor</i>	71
16. Figura 16 <i>Delimitación de sub parcela para corte</i>	71
17. Figura 17 <i>Evaluación de rendimiento en peso de forraje fresco (Kg)</i>	72
18. Figura 18 <i>Evaluación de altura de tallo de alfalfa el día de corte</i>	72

RESUMEN

¿Cuál es la lámina de agua más adecuada que debe aplicarse en cada riego del cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) bajo las condiciones de suelo y clima del Valle de Cajamarca?, en el presente trabajo de investigación se plantea evaluar el efecto sobre el rendimiento del cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con la aplicación de cinco láminas de riego equivalente a 12,18,24,30 y 36 mm. El trabajo experimental se realizó en el fundo la Victoria de propiedad de la Universidad Nacional de Cajamarca en un área experimental de 262.5 m². Para el experimento se utilizó el diseño estadístico de Bloque Completo al Azar (DBCA) de cinco tratamientos o láminas de riego y tres bloques. la aplicación del agua de riego se realizó mediante un sistema por aspersión, se realizaron tres cortes (evaluaciones), dichos resultados obtenidos son 9.51, 16.99, 18.31, 16.01, 15.78 en los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 respectivamente, analizados estadísticamente. El indicador se expresa en Tm ha⁻¹ de forraje fresco, en el cultivo de alfalfa, concluyendo que, de los cinco tratamientos evaluados, el tratamiento tres (T3), equivalente a 24 mm de lámina de riego, ha alcanzado el más alto rendimiento con un total de 18.31 tm ha⁻¹ en un periodo de seis semanas.

Palabras claves: lamina de riego, evapotranspiración, rendimiento, pluviometría.

ABSTRACT

What is the most appropriate water sheet to be applied in each irrigation of the alfalfa crop (*Medicago sativa* L.) under the soil and climate conditions of the Cajamarca Valley? In the present research work it is proposed to evaluate the effect on the yield of the alfalfa crop (*Medicago sativa* L.) with the application of five irrigation sheets equivalent to 12, 18, 24, 30 and 36 mm. The experimental work was carried out in the La Victoria farm owned by the National University of Cajamarca in an experimental area of 262.5 m². For the experiment, the Randomized Complete Block (DBCA) statistical design of five treatments or irrigation sheets and three blocks was used. Irrigation water was applied using a sprinkler system. Three cuts (evaluations) were made. The results obtained were 9.51, 16.99, 18.31, 16.01, 15.78 in treatments T1, T2, T3, T4 and T5 respectively, statistically analyzed. The indicator is expressed in tons ha⁻¹ of fresh forage in alfalfa crops, concluding that, of the five treatments evaluated, treatment three (T3), equivalent to 24 mm of irrigation depth, has achieved the highest yield with a total of 18.31 tons ha⁻¹ in a period of six weeks.

Keywords: irrigation depth, evapotranspiration, yield, rainfall.

I. INTRODUCCIÓN

El agua tiene importancia directa para la seguridad alimentaria, la influencia que tiene sobre las especies vegetales y de manera específica con las especies vegetales cultivadas, dependen de la disponibilidad oportuna y suficiente para lograr sus procesos fisiológicos eficientes que constituye el inicio de la cadena alimenticia.

En el valle de Cajamarca, el agua no está disponible durante todas las estaciones del año al igual que en toda la superficie agraria, aun en pequeñas extensiones de territorio las precipitaciones no son uniformes en los diversos nichos ecológicos.

En Cajamarca no se da la debida importancia a la aplicación de láminas de riego controladas, asumiendo que basta con aplicar riego al cultivo es suficiente.

Por lo tanto, se hace necesario un análisis desde un enfoque cuantitativo sobre el requerimiento de agua en los diversos cultivos, bajo el precepto que un exceso de agua conlleva a perdidas del cultivo o un déficit, también es causal de perdidas, por lo cual se busca como uno de los componentes para una producción exitosa la aplicación de adecuadas láminas de riego, según el clima, suelo y especie vegetal que contribuyen a lograr eficiencia del uso del agua por los cultivos.

El presente trabajo de investigación conlleva a valorar la importancia de la aplicación de una lámina de riego adecuada, porque de ahí va depender el mayor o menor rendimiento del cultivo, los resultados obtenidos deberán tomarse como referencia por los agricultores que realizan acciones de riego en condiciones edafoclimáticas similares.

1.1. Descripción del problema

La colectividad científica informa al mundo que el agua dulce en el planeta tierra poco a poco se va agotando y que su fuente principal es solamente el ciclo hidrológico atmosférico que permite renovar las fuentes de servicio a la humanidad para ser dedicado a los servicios básicos y la producción de alimentos, sin embargo, en la humanidad del cual no es ajena la población de Cajamarca aún se continua con prácticas de desperdicio de agua en sus actividades cotidianas.

La aplicación del riego a los cultivos diversos en el Valle de Cajamarca, se realiza en su mayoría mediante sistemas por escorrentía, transportado por canales y aplicado por surco o melgas, por lo cual las dosis aplicadas en cada riego no suelen ser controladas, generando un riesgo para el cultivo, por una parte un déficit en la dosis genera disminución en el rendimiento a causa de obstaculizar en el desarrollo fisiológico de la especie vegetal, por otra parte un exceso de dosis de agua de riego también va a generar disminución en el rendimiento de los cultivos generados por el incremento de enfermedades, pudrición de raíces a causa de un suelo saturado, tal es así que una inadecuada dosificación del riego siempre va a generar pérdidas en la producción

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la lámina de agua más adecuada que debe aplicarse en cada riego del cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) bajo las condiciones de suelo y clima del Valle de Cajamarca?

1.3. Justificación de la investigación

El agua es un medio fundamental para la transportación de sales minerales hacia los diferentes órganos de la planta, su deficiencia o ausencia limita el desarrollo

fisiológico de la especie vegetal y su exceso puede ser también causal de bloqueos en el desarrollo fisiológico de la especie a cultivar.

Por lo tanto, el presente proyecto se ha orientado a determinar el efecto de diferentes volúmenes de agua en el rendimiento del cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.), mediante un trabajo de investigación (Tesis) en el “Fundo la Victoria” de la Universidad Nacional de Cajamarca ubicado a 10 Km. vía Cajamarca – Distrito de Llacanora.

1.3.1. Justificación científica

El agua de riego desempeña un papel crucial en el cultivo al proporcionar la cantidad necesaria de humedad a la zona de raíces de las plantas. Su aplicación oportuna y uniforme no solo asegura el crecimiento adecuado de los cultivos al reponer el agua consumida, sino que también influye en la calidad del producto final y en la sostenibilidad agrícola, el agua lleva los minerales en solución desde el suelo hasta los órganos de la planta, la cantidad de agua es un factor determinante que puede afectar el desarrollo del cultivo.

1.3.2. Justificación técnica - practica

El clima que predomina en el valle de Cajamarca está marcado por dos etapas muy diferenciadas, una etapa con alto contenido de humedad, y otra etapa con muy bajo contenido de humedad en el suelo que limita la producción de forraje fresco y el desarrollo normal de las actividades pecuarias, sin embargo sus suelos franco arcillosos constituyen un potencial muy importante para el desarrollo de los cultivos, el desafío es disponer de técnicas especialmente en la disponibilidad de agua para lograr buenos rendimientos en la producción.

Para aplicar una dosis controlada y adecuada de riego según la necesidad del cultivo, para lograr un desarrollo fisiológico eficiente de la especie vegetal, requiere

disponer de infraestructura especializada, un sistema de riego presurizado que puede ser con presión natural generado por el desnivel del terreno o por un sistema presurizado con equipos de impulsión, aplicando con emisores que nos permiten simular las gotas de lluvia, esto esta articulado a un conjunto de datos meteorológicos y los parámetros hídricos del suelo que nos permite realizar cálculos matemáticos para determinar la necesidad del cultivo, evaluar la disponibilidad de agua, el intervalo y la frecuencia del riego y el tiempo de aplicación, según la lámina de riego considerada óptima para el cultivo, por lo cual el presente trabajo de investigación busca determinar la cantidad de agua aplicada con el riego en temporada de estiaje que ayudara a mejorar el rendimiento de los cultivos

1.3.3. Justificación institucional y personal.

Siendo la Universidad el ente gestor del conocimiento a través de la investigación científica en el presente trabajo motiva, optar por la sostenibilidad productiva mediante la actividad de riego para un cultivo determinado, es sinónimo de seleccionar la cantidad mínima necesaria del volumen de agua que conlleve a la obtención de mejores rendimientos en las condiciones de suelo y clima del valle de Cajamarca, específicamente en el “Fundo la Victoria” de la Universidad Nacional de Cajamarca, con la visión orientada a la ampliación de la frontera agrícola aprovechando racionalmente los caudales de agua disponible, en el marco de sostenibilidad, teniendo en cuenta que existe un déficit de forraje fresco para potenciar la actividad pecuaria.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general.

Evaluar el efecto de la aplicación de cinco láminas de riego sobre el rendimiento del cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en el Fundo “La victoria” - Valle de Cajamarca

1.5. Hipótesis

Ho = Al aplicar cualquier volumen de agua se obtienen buenos rendimientos en el cultivo de alfalfa en el Valle de Cajamarca

Ha = Al menos uno de los volúmenes de agua de riego (lamina de riego) produce efecto positivo en el rendimiento del cultivo de alfalfa

1.5.1. Variables

1.5.1.1. Variable independiente: Lámina de agua: Cada Valor corresponde a un tratamiento

T1 = 12 mm/riego

T2 = 18 mm/riego

T3 = 24 mm/riego

T4 = 30 mm/riego

T5 = 36 mm/riego

1.5.1.2. Variable dependiente: Rendimiento expresado en peso fresco (TM/ha) y altura de planta

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Según Tapia (2021), en su trabajo de investigación: “Respuesta del Cultivo de Zanahoria (*Daucus carota* L.) a Diferentes Láminas de Riego en el Valle de Cajamarca”. La investigación se fundamenta en determinar la lámina de riego adecuada en el rendimiento del cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.). Los tratamientos evaluados fueron 14, 22, 30, 38, 46 mm de láminas de riego consideradas como T-1, T-2, T-3, T-4 y T-5 respectivamente, los que fueron determinadas en base a la lámina teórica calculada. Las variables en estudio fueron rendimiento, altura de planta, longitud de raíz comercial y diámetro de raíz. El incremento de la dosis de lámina de riego permite mejorar de manera gradual los rendimientos de la zanahoria obteniéndose el mayor (40.7 t ha^{-1}) con la aplicación del T-5 y el menor (13.7 t ha^{-1}) con el T-1.

Según Morocho (2019), en su trabajo de investigación titulado: “Respuesta del Cultivo de Betarraga (*Beta vulgaris* L.) a Cinco Láminas de Riego por goteo en el Valle de Cajamarca”. Los tratamientos evaluados fueron 4, 6, 8, 10 y 12 mm de lámina de riego, los que fueron determinadas en base a la lámina teórica calculada (lámina bruta de riego). Las variables en estudio fueron rendimiento, biomasa aérea, altura de planta, diámetro de raíz y materia seca. El incremento de la dosis de lámina de riego permite mejorar de manera gradual los rendimientos de la betarraga obteniéndose el mayor (45.49 t ha^{-1}) con la aplicación del T5 y el menor (18.58 t ha^{-1}) con el T1, así mismo se obtiene un incremento en la altura de planta, diámetro raíz y biomasa aérea, pero no hay diferencias significativas en el caso de materia 7 seca. Este último indica que la acumulación de masa seca se mantiene constante a pesar de que la masa fresca se incrementa.

2.2. Marco teórico

2.2.1. *Conceptos teóricos sobre el manejo del riego*

2.2.1.1. Lámina de riego. es la cantidad de agua aplicada al suelo en un evento de riego y se expresa en milímetros (mm), lo que equivale a litros de agua por metro cuadrado. La determinación de la lámina de riego adecuada es fundamental, ya que garantiza que el agua llegue a la zona radicular sin causar pérdidas por escurrimiento o percolación profunda (Hillel, 1998). La lámina de riego depende de factores como la capacidad de retención de agua del suelo, el tipo de cultivo y las condiciones climáticas.

En la práctica, existen diferentes métodos para calcular la lámina de riego, entre los cuales se encuentran los basados en datos de evapotranspiración y en el balance hídrico del suelo. El uso adecuado de láminas de riego permite mantener el suelo en un nivel óptimo de humedad, lo que favorece el desarrollo radicular y la absorción de nutrientes.

Para regar un cultivo, debe formularse cuatro preguntas fundamentales; las respuestas concretas y cuantitativas a estas preguntas permiten el uso eficiente y racional del agua. Estas son: ¿Por qué regar?, ¿Cuándo Regar?, ¿Cuánto Regar? y ¿Como Regar? (Fuentes 2002)

Cuando regar: la frecuencia de riego calculada se debe hacer compatible con el plan de cosecha del cultivo. El dilema es hacer el riego antes o después del corte. Ambos tienen sus inconvenientes: si se riega antes del corte, el terreno al momento del corte, puede estar muy húmedo y se puede retrasar el secado de la alfalfa, daño a la pradera propiamente tal (disminuir población), aumentar la compactación del suelo. Al regar después del corte, se puede producir daño por nemátodos u hongos del suelo que pueden penetrar a la planta por las heridas que se producen al cortar el

follaje. Otro problema que se puede producir al regar después de cortar, es el desarrollo de malezas, ya que no tienen competencia con la alfalfa. En resumen, es aconsejable regar una semana antes del corte, teniendo cuidado que no queden sectores inundados por más de un par de días. (Varas s.f.)

Tiempo de riego: en riego superficial el tiempo de riego corresponde a aquel en que la lámina de agua debe permanecer sobre el suelo y que permite se infiltre la altura de agua que se debe aplicar. En riegos presurizados corresponde al tiempo en que debe estar funcionando el equipo. (Varas s.f.)

La alfalfa es un cultivo poco tolerante al exceso de agua. En este sentido, cabe destacar que el daño por inundación se debe a la falta de oxígeno a nivel de las raíces, ya que en estas condiciones todo el espacio poroso del suelo está lleno de agua. Se indica que la falta de oxígeno produciría sustancias tóxicas que dañarían el xilema, causando, inicialmente, un amarillamiento del follaje y que termina con la muerte de la planta. (Varas s.f. citando a Cristian, 1977)

El daño causado por inundación al cultivo es proporcional a la temperatura del agua. Se debe tener en cuenta que ésta, al estar detenida sobre el suelo, se calienta. Al respecto, Bauder (1998) señala que el crecimiento de la alfalfa se reduce en 50% cuando el cultivo está inundado con agua a una temperatura de 21 °C durante 4 días, ó 2 días con el agua a 32°C. Si las inundaciones son mayores, se llega a detener el crecimiento. Así, la alfalfa inundada 14 días a 15,5°C detiene su crecimiento y si la temperatura del agua se eleva a 32°C, en 6 días se produce el mismo daño. (Varas s.f. citando a Bauder 1998)

La alfalfa requiere la administración hídrica de forma fraccionada, ya que sus necesidades varían a lo largo del ciclo productivo. Si el aporte de agua está por

encima de las necesidades de la alfalfa disminuye la eficiencia de la utilización del agua disponible. Está adaptada morfológica y fisiológicamente para resistir prolongados déficits hídricos, como consecuencia de que sus raíces pueden penetrar profundamente en el perfil del suelo. (AZUD, S.A. s.f.)

El manejo adecuado del riego es un aspecto fundamental en la producción agrícola, especialmente en el contexto de la agricultura moderna, que se enfrenta a la necesidad de optimizar el uso de agua debido a la escasez de recursos hídricos y al cambio climático. A través del manejo del riego, se busca satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos de manera eficiente, evitando tanto el déficit como el exceso de agua, que pueden afectar negativamente el rendimiento y la salud de las plantas (Hargreaves y Samani, 1985).

El balance hídrico en una parcela de riego consiste en calcular la diferencia entre las entradas y salidas de agua en el suelo. Esto incluye las precipitaciones, el riego y la evapotranspiración, así como la escorrentía y la infiltración. Este balance se expresa comúnmente en milímetros y es crucial para determinar la disponibilidad de agua para las plantas y la eficiencia del sistema de riego

Se puede interpretar como la demanda de agua que ejerce el clima sobre la planta. Para estimar la evapotranspiración de los cultivos (ET_c) se obtiene en función de dos factores ($ET_c = K_c \times ET_o$): la evapotranspiración potencial (ET_o) y el coeficiente del cultivo (K_c) (Sevilla, 2010).

El cálculo de la ET_o te permite saber la cantidad de agua que las plantas y el suelo han perdido por evaporación y transpiración (Sevilla, 2010).

Por lo tanto, si se quiere instalar un sistema de riego, programar los ciclos de riego o conocer las necesidades de cada cultivo a lo largo del ciclo de cultivo, es

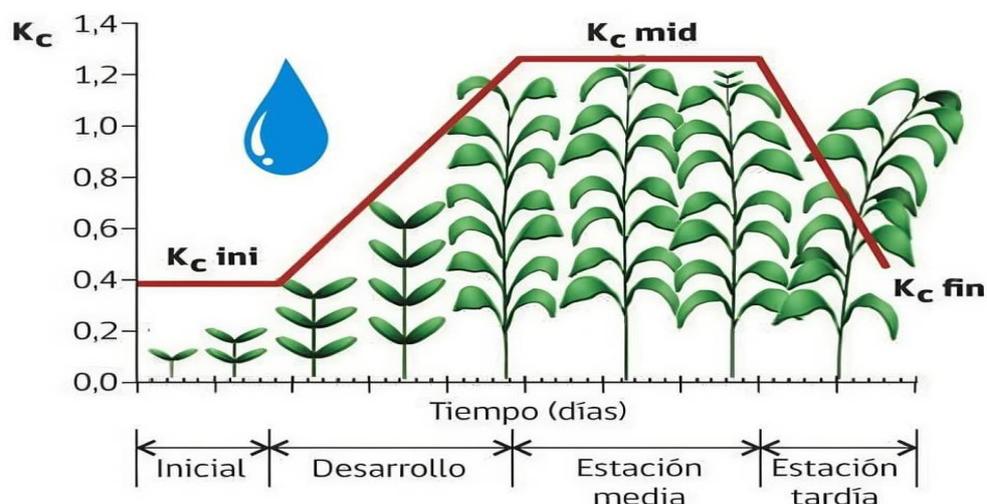
necesario calcular este parámetro con la mayor precisión posible. Se puede interpretar como la demanda de agua que ejerce el clima sobre la planta (Sevilla, 2010).

La ETo se introdujo para estudiar la demanda evaporativa de la atmósfera, independientemente del cultivo, su fenología o las prácticas agronómicas. La ETo sólo se ve afectada por los parámetros climáticos y se calcula a partir de los datos meteorológicos. La influencia de los cultivos se tiene en cuenta mediante un coeficiente de cultivo (K_c), específico a cada cultivo y a cada etapa fenológica (Sevilla, 2010).

K_c : El coeficiente único K_c incorpora las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo. Para la planificación normal del riego y propósitos de manejo, para la definición de calendarios básicos de riego y para la mayoría de los estudios de balance hídrico, los coeficientes promedios del cultivo son apropiados y más convenientes que los valores de K_c calculados con base diaria usando coeficientes separados de cultivo y suelo. (FAO publicación 56)

Figura 1

Curva de K_c durante el desarrollo del cultivo



Fuente: FAO publicación 56

2.2.1.2. Fundamentos del manejo del riego. El manejo del riego se basa en la evaluación de las necesidades hídricas de los cultivos y en la determinación de la cantidad y frecuencia de agua a aplicar para mantener un equilibrio adecuado en el suelo. Para ello, es importante comprender la evapotranspiración (ET), que es la suma de la evaporación del agua del suelo y la transpiración de las plantas. La ET es influenciada por factores como la temperatura, la humedad, la velocidad del viento y la radiación solar, y varía según el tipo de cultivo y su etapa de desarrollo (Allen et al., 1998). En función de estas variables, los agricultores y técnicos determinan cuándo y cuánta agua aplicar.

Además, el manejo del riego implica el uso de herramientas de monitoreo, como sensores de humedad del suelo, que permiten obtener datos precisos sobre el contenido de agua en el suelo, ayudando a evitar tanto la escasez como el exceso de agua (Jensen, 2010). Esta precisión es esencial para mantener un sistema de riego eficiente y reducir el consumo de agua.

2.2.1.3. Relación entre riego y crecimiento vegetal. El riego influye directamente en el crecimiento vegetal, dado que el agua es esencial para la fotosíntesis, el transporte de nutrientes y la regulación de la temperatura de la planta. En los cultivos forrajeros, como la alfalfa, la disponibilidad de agua en el suelo impacta en el crecimiento y la producción de biomasa, factores clave en la calidad del forraje (Doorenbos y Kassam, 1979). En condiciones de déficit hídrico, el crecimiento de las plantas se ralentiza, la tasa fotosintética disminuye y la absorción de nutrientes se ve afectada, lo que impacta negativamente en la producción final del cultivo. El agua también contribuye a mantener la turgencia celular, permitiendo que la planta mantenga su estructura y crezca de forma óptima. La insuficiencia de riego puede

provocar marchitamiento, reducción del área foliar y, eventualmente, menor rendimiento (Jensen, 2010).

2.2.1.4. Estrategias de riego en cultivos forrajeros. El manejo del riego en cultivos forrajeros requiere de estrategias específicas debido a las características de estos cultivos y a la alta demanda hídrica para maximizar la producción de biomasa. Algunas estrategias de riego incluyen el riego deficitario controlado y el riego en fases críticas. En el riego deficitario controlado, se limita la aplicación de agua en ciertos momentos del ciclo de cultivo para reducir el consumo sin afectar de forma significativa el rendimiento (Feres y Soriano, 2007). Esta estrategia es útil en regiones con escasez de agua o donde los recursos hídricos son limitados.

Por otro lado, el riego en fases críticas implica aplicar agua en etapas de desarrollo en las que el cultivo es más sensible a la falta de humedad, como en el establecimiento de la planta o durante el máximo crecimiento. En cultivos como la alfalfa, aplicar riego en fases críticas puede mejorar la producción de forraje y mantener la calidad del mismo a lo largo de la temporada de cultivo (Doorenbos y Kassam, 1979).

2.2.1.5. Efectos del estrés hídrico en el crecimiento y producción. El estrés hídrico afecta el crecimiento y la producción de la alfalfa de diversas maneras. La falta de agua disminuye la tasa fotosintética y, por tanto, la capacidad de la planta para producir biomasa. En situaciones de estrés hídrico, se reduce el número de brotes, el área foliar y la longitud de las raíces, lo que afecta negativamente el rendimiento del cultivo (Doorenbos y Kassam, 1979). Además, el déficit de agua durante etapas críticas de crecimiento puede tener efectos acumulativos, limitando el número y tamaño de los tallos y disminuyendo la calidad nutricional del forraje.

El estrés hídrico también provoca una reducción en el contenido de proteínas y aumenta la lignificación de la alfalfa, lo cual reduce su digestibilidad y valor como alimento para el ganado (Fererres y Soriano, 2007). Estas consecuencias evidencian la importancia de mantener un adecuado suministro de agua para maximizar el rendimiento y la calidad del forraje.

2.2.1.6. Optimización del uso del agua para mejorar rendimientos. La optimización del uso del agua es esencial para mejorar el rendimiento de la alfalfa en regiones con limitaciones hídricas. El riego deficitario controlado, que implica aplicar agua en las etapas de crecimiento más sensibles, ha demostrado ser efectivo para mantener un buen nivel de producción, a la vez que se reduce el consumo de agua (Jensen, 2010). La aplicación de riego en fases críticas del ciclo de cultivo, como el inicio de la floración, puede mejorar tanto el rendimiento como la calidad del forraje.

2.2.1.7. Impacto de diferentes láminas de riego en cultivos agrícolas. El uso de láminas de riego es una práctica agronómica clave que permite ajustar la cantidad de agua aplicada según las necesidades específicas del cultivo y las condiciones ambientales. Diversos estudios han evaluado el impacto de distintas láminas de riego en diferentes cultivos, contribuyendo a identificar los niveles óptimos de riego para maximizar la eficiencia del uso del agua y el rendimiento.

2.2.1.8. Estudios previos sobre el uso de láminas de riego. Estudios previos han demostrado que la aplicación de láminas de riego adecuadas puede mejorar el rendimiento de los cultivos sin un uso excesivo de agua. Por ejemplo, en cultivos como el maíz y el trigo, se ha encontrado que el uso de láminas ajustadas a las fases de crecimiento crítico reduce el estrés hídrico y aumenta la producción (Hargreaves y Samani, 1985). En regiones donde el recurso hídrico es escaso, este enfoque permite maximizar el rendimiento sin comprometer los recursos naturales.

2.2.1.9. Comparativa de resultados en distintos cultivos. La comparación de resultados de diferentes cultivos muestra que cada uno tiene una respuesta distinta a las láminas de riego. Cultivos de alta demanda hídrica, como el arroz, requieren láminas de riego mayores que cultivos de menor demanda, como el trigo. En cultivos forrajeros como la alfalfa, los resultados indican que la optimización de la lámina de riego, especialmente durante las etapas de crecimiento activo, contribuye a obtener mayores rendimientos y una mayor producción de biomasa (Delgado et al., 2020).

2.2.1.10. Aspectos fisiológicos del cultivo bajo diferentes condiciones hídricas. La respuesta fisiológica de un cultivo a diferentes condiciones hídricas es fundamental para comprender cómo el estrés hídrico afecta su crecimiento y rendimiento. En la alfalfa, el riego adecuado impacta procesos fisiológicos clave, como la fotosíntesis, la transpiración y la absorción de nutrientes, que a su vez determinan la eficiencia del uso del agua y la productividad del cultivo (Caviglia y Sadras, 2019).

2.2.1.11. Fotosíntesis y transpiración en respuesta al riego. La fotosíntesis es un proceso central para el crecimiento de las plantas, y su eficiencia depende directamente de la disponibilidad de agua. Cuando el suministro de agua es adecuado, la alfalfa puede mantener una tasa fotosintética óptima, generando la energía y los compuestos necesarios para el crecimiento y la producción de biomasa. Sin embargo, en condiciones de déficit hídrico, se reduce la apertura de los estomas, lo cual disminuye el intercambio de gases y limita la fotosíntesis (Flexas et al., 2004). La reducción en la actividad fotosintética afecta la producción de biomasa y, en última instancia, el rendimiento total del cultivo (Chaves et al., 2002).

La transpiración, por su parte, es un proceso en el cual el agua se mueve a través de la planta y se evapora a través de los estomas. La transpiración es

fundamental para la regulación térmica y para el transporte de nutrientes desde el suelo hasta las hojas. En condiciones de estrés hídrico, la reducción en la transpiración afecta la eficiencia en la absorción de nutrientes, lo que tiene un impacto directo en el crecimiento y el contenido de nutrientes del cultivo (Jones, 2014). Así, la alfalfa en condiciones de riego adecuado no solo mantiene un balance hídrico ideal, sino que optimiza su función fisiológica y su capacidad productiva

2.2.1.12. Balance hídrico y eficiencia en el uso del agua. El balance hídrico en la alfalfa se refiere al equilibrio entre el agua que la planta absorbe y la que pierde a través de la transpiración. La eficiencia en el uso del agua (EUA) es un indicador clave para evaluar la capacidad de la planta de convertir el agua en biomasa, lo cual es esencial en zonas donde el recurso hídrico es limitado (Medrano et al., 2015). En condiciones de riego adecuado, la alfalfa muestra una alta eficiencia en el uso del agua, ya que convierte eficientemente el agua disponible en biomasa.

La gestión de EUA se realiza mediante técnicas como el riego deficitario controlado, que permite aplicar agua en etapas críticas de desarrollo del cultivo, aumentando así el rendimiento con una menor cantidad de agua (Blum, 2009). La optimización del balance hídrico no solo favorece el rendimiento, sino que también contribuye a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas en entornos donde el agua es escasa.

El manejo adecuado del riego es crucial para mantener el balance hídrico y maximizar la eficiencia en el uso del agua en la alfalfa, especialmente en situaciones de cambio climático y disponibilidad variable de recursos hídricos. De esta manera, la alfalfa, un cultivo forrajero de gran valor, puede mantener altos niveles de producción y calidad del forraje, respondiendo positivamente a un manejo hídrico adecuado.

2.2.2. Requerimiento hídrico por los cultivos según sus características fisiológicas

La alfalfa se adapta bien a suelos bien drenados y suelos francos o francos arenosos, donde puede desarrollarse a profundidad, debido a su sistema radicular profundo. Este sistema de raíces permite a la alfalfa tolerar periodos de sequía prolongada, así como acceder a nutrientes a profundidades donde otros cultivos no pueden llegar (Delgado et al., 2020). En cuanto a sus requisitos hídricos, la alfalfa es un cultivo que demanda una cantidad considerable de agua para alcanzar su máximo potencial de producción, aunque, gracias a su raíz profunda, puede aprovechar el agua del subsuelo en zonas con lluvias insuficientes.

La disponibilidad de agua también es crucial, dado que la alfalfa tiene una alta demanda hídrica para alcanzar su potencial de producción. La deficiencia hídrica durante los periodos de crecimiento crítico reduce significativamente el rendimiento. En zonas con disponibilidad limitada de agua, es común ajustar las prácticas de riego para satisfacer los requerimientos hídricos en las etapas más sensibles del ciclo del cultivo, como la germinación y los periodos de máxima acumulación de biomasa (Lloveras et al., 2018).

2.2.2.1. Relación entre la disponibilidad de agua y el rendimiento en la alfalfa. La alfalfa es un cultivo de alta demanda hídrica que, para alcanzar su máximo potencial de rendimiento y calidad, requiere un manejo adecuado de riego. La relación entre la disponibilidad de agua y el rendimiento en la alfalfa es fundamental, ya que el agua contribuye a procesos clave como la fotosíntesis y el transporte de nutrientes, esenciales para la producción de biomasa (Caviglia y Sadras, 2019).

2.2.2.2. Demanda hídrica de la alfalfa. La demanda hídrica de la alfalfa es elevada, debido a su producción de biomasa y a su capacidad de rebrote tras el corte,

lo que la convierte en uno de los cultivos forrajeros más exigentes en cuanto a riego. En promedio, la alfalfa requiere entre 800 y 1,200 mm de agua durante la temporada de crecimiento, dependiendo de factores como el clima y la estructura del suelo (Monteros et al., 2021). La alfalfa tiene un sistema radicular profundo que le permite acceder a agua de capas profundas del suelo, lo cual la hace algo resistente a condiciones de sequía moderada, pero el suministro insuficiente de agua reduce drásticamente su rendimiento (Lloveras et al., 2018).

2.2.2.3. Resultados específicos en alfalfa: rendimiento y calidad del forraje. En el caso específico de la alfalfa, la aplicación de láminas de riego bien gestionadas tiene un efecto positivo tanto en el rendimiento como en la calidad del forraje. La optimización de la cantidad de agua permite que la alfalfa mantenga un crecimiento vigoroso y produzca un forraje de alto valor nutritivo, lo que es esencial para la alimentación del ganado (Caviglia y Sadras, 2019). La aplicación de láminas excesivas, en cambio, puede provocar problemas de encharcamiento y pérdida de nutrientes por lixiviación, lo cual afecta negativamente el crecimiento y la composición del forraje.

2.2.2.4. Crecimiento radicular y absorción de nutrientes. El crecimiento radicular es otro aspecto crucial en la adaptación de la alfalfa a condiciones hídricas variables. En suelos con buen suministro de agua, las raíces de la alfalfa tienden a extenderse de manera uniforme, optimizando la absorción de nutrientes. En condiciones de estrés hídrico, sin embargo, las raíces pueden profundizar en busca de agua, una adaptación que permite cierta resistencia a la sequía, pero que implica un mayor gasto de energía de la planta (Manschadi et al., 2006). La absorción de nutrientes, particularmente de nitrógeno, fósforo y potasio, es esencial para el

crecimiento saludable de la planta y depende en gran medida de la disponibilidad de agua (Hodge et al., 1999).

La eficiencia en la absorción de nutrientes bajo condiciones de riego controlado permite un crecimiento más rápido y mayor rendimiento de biomasa en la alfalfa. Sin embargo, en situaciones de déficit hídrico prolongado, la capacidad de las raíces para acceder a estos nutrientes se ve reducida, afectando el vigor de la planta y su calidad como forraje.

2.2.2.5. Efecto del riego en el rendimiento y calidad nutricional de la alfalfa. La alfalfa es una planta de alta demanda hídrica y, por lo tanto, el manejo adecuado del riego es esencial para maximizar su rendimiento y calidad nutricional. El agua disponible afecta directamente tanto la cantidad de biomasa producida como la calidad del forraje, lo cual tiene implicaciones en su valor como alimento para el ganado y en los costos de producción (Caviglia y Sadras, 2019). Este aspecto es especialmente importante en zonas áridas y semiáridas, donde el agua es un recurso limitado y su uso debe optimizarse.

2.2.2.6. Rendimiento biomásico en alfalfa bajo distintas láminas de riego. El rendimiento biomásico de la alfalfa está estrechamente relacionado con el nivel de riego. Diferentes estudios muestran que el aumento en la cantidad de agua aplicada incrementa el rendimiento en términos de biomasa, siempre y cuando se mantenga dentro de niveles adecuados. Por ejemplo, en zonas con alta evaporación, la alfalfa requiere un riego más frecuente y cantidades considerables de agua para alcanzar su máximo potencial productivo (Lloveras et al., 2018). Sin embargo, la aplicación de riego en exceso puede llevar al encharcamiento, lo que afecta el desarrollo radicular y puede reducir la eficiencia del uso de nutrientes (Delgado et al., 2020).

2.2.2.7. Riesgos del cultivo de alfalfa. El rendimiento de la alfalfa está influenciado por múltiples factores agronómicos, ambientales y de manejo. Entre los factores más importantes se encuentran el clima, las condiciones del suelo, la disponibilidad de agua y las prácticas de manejo.

En cuanto a las condiciones climáticas, la alfalfa requiere temperaturas moderadas para un óptimo crecimiento. Aunque tolera bien las bajas temperaturas en invierno, su rendimiento disminuye notablemente en condiciones de frío extremo o calor excesivo (Monteros et al., 2021). Las zonas con inviernos suaves y veranos templados suelen ser las más adecuadas para obtener altos rendimientos en este cultivo.

2.2.3. El cultivo de alfalfa una alternativa para mejorar la economía del agricultor

2.2.3.1. Consideraciones económicas del uso de diferentes regímenes de riego. El costo del agua y la eficiencia en su uso son factores económicos clave en la producción de alfalfa. El uso de láminas de riego optimizadas puede reducir significativamente los costos operativos, aumentando la rentabilidad del cultivo en regiones con escasez de agua (Caviglia y Sadras, 2019). En cambio, el riego excesivo no solo incrementa el costo del agua, sino que también puede resultar en problemas agronómicos, como lixiviación de nutrientes y degradación del suelo (Jensen, 2010). Por lo tanto, es fundamental implementar sistemas de riego eficientes, como el riego por goteo, que permiten una aplicación precisa y controlada del agua.

El riego deficitario, si se aplica correctamente, es una estrategia económica viable en regiones de recursos hídricos limitados, ya que reduce los costos sin afectar significativamente el rendimiento ni la calidad del forraje (Medrano et al., 2015). Al

utilizar menos agua en las fases menos críticas del crecimiento, los productores pueden obtener una relación costo-beneficio más favorable.

2.2.4. El cultivo de alfalfa y la seguridad alimentaria

La versatilidad de la alfalfa también se manifiesta en su adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas y suelos. Aunque prefiere climas templados, la alfalfa ha sido cultivada con éxito en una amplia gama de zonas agroecológicas, desde áreas áridas hasta regiones subtropicales. Su capacidad de tolerar tanto la sequía como inundaciones temporales, la hace ideal para regiones donde las condiciones meteorológicas son impredecibles (Fererres y Soriano, 2020).

2.2.5. El cultivo de alfalfa como insumo potencial para la seguridad alimentaria en la actividad pecuaria.

La alfalfa tiene una gran importancia en la agricultura debido a su alto rendimiento de biomasa, calidad nutricional y su rol en la sostenibilidad de los suelos. Este cultivo es altamente valorado por los productores agrícolas, ya que ofrece un balance óptimo entre productividad y calidad nutricional. La alfalfa se destaca por su capacidad para producir forraje de excelente calidad, con niveles elevados de proteínas y minerales esenciales para la salud y productividad del ganado. Además, debido a su alta digestibilidad y bajo contenido de fibra no digerible, es preferida sobre otros forrajes como el heno de gramíneas (Orloff y Putnam, 2018).

2.2.6. El cultivo de alfalfa y su influencia en el mejoramiento del suelo y el control de la erosión.

Otro factor que contribuye a la relevancia de la alfalfa es su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico a través de su asociación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium*. Esta característica no solo reduce la necesidad de fertilizantes

nitrogenados, sino que también mejora la calidad del suelo a largo plazo, beneficiando tanto a los cultivos sucesores como a la ecología de los agroecosistemas (Bolanos-Aguilar et al., 2021). Este proceso de fijación biológica del nitrógeno es crucial en prácticas de agricultura sostenible y conservación del medio ambiente.

Además de su papel en la producción ganadera, la alfalfa tiene una importancia creciente en la agricultura sostenible debido a su capacidad de mejorar la estructura del suelo. Las raíces profundas de la alfalfa ayudan a descompactar el suelo, favoreciendo la infiltración de agua y la aireación del mismo (Putnam et al., 2018). Esto es particularmente importante en regiones donde la degradación del suelo y la pérdida de fertilidad son problemas críticos.

La alfalfa (*Medicago sativa*) es una leguminosa perenne ampliamente cultivada debido a su alta producción de biomasa, adaptabilidad a diversas condiciones agroclimáticas y alto contenido de proteínas, lo cual la hace una fuente fundamental de forraje en la alimentación del ganado. Una de sus características agronómicas más importantes es su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico mediante una simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*, lo que mejora la fertilidad del suelo y reduce la necesidad de fertilización nitrogenada en los sistemas agrícolas (Lloveras et al., 2018). Esta capacidad contribuye a su sostenibilidad y la convierte en un cultivo adecuado para su inclusión en sistemas de rotación

2.2.7. El cultivo de alfalfa y su influencia en la captura de CO₂

2.2.7.1. La alfalfa y la captura del CO₂. La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una planta forrajera ampliamente cultivada que no solo destaca por su valor nutritivo para la alimentación animal, sino también por su capacidad de contribuir a la mitigación del cambio climático a través de la captura de dióxido de carbono (CO₂). Este proceso, conocido como *secuestro de carbono*, ocurre principalmente a través de la

fotosíntesis y el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea y en el suelo. Dado el aumento de las emisiones globales de CO₂, el papel de cultivos como la alfalfa en los ciclos del carbono se vuelve cada vez más relevante (Lal, 2004).

2.2.7.2. Captura de CO₂ durante la fotosíntesis. La alfalfa es una planta C₃, lo que significa que utiliza el ciclo de Calvin para fijar el CO₂ durante la fotosíntesis. En este proceso, el CO₂ atmosférico es transformado en compuestos orgánicos, que son utilizados para el crecimiento de la planta y la producción de biomasa. Su alta tasa de crecimiento y capacidad para producir múltiples cortes al año hacen que la alfalfa tenga un potencial significativo para capturar y almacenar carbono (Soussana et al., 2004).

La cantidad de CO₂ capturado depende de factores como la disponibilidad de agua, la fertilización, las condiciones climáticas y las prácticas de manejo del cultivo. En sistemas agrícolas bien gestionados, la alfalfa puede capturar hasta 2-4 toneladas de CO₂ por hectárea al año, contribuyendo así a reducir la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera (Bolinder et al., 2007).

2.2.7.3. Alfalfa y secuestro de carbono en el suelo. Además de capturar CO₂ en su biomasa aérea, la alfalfa desempeña un papel crucial en el almacenamiento de carbono en el suelo. Su sistema radicular profundo no solo permite acceder a nutrientes y agua en capas profundas del suelo, sino que también contribuye a la acumulación de materia orgánica en el subsuelo. Las raíces de la alfalfa depositan carbono en forma de compuestos orgánicos estables, que permanecen en el suelo incluso después de que las plantas son cosechadas (Zan et al., 2001).

El efecto de la alfalfa en la acumulación de carbono en el suelo también está relacionado con su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico a través de su

asociación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium*. Esta fijación de nitrógeno no solo mejora la fertilidad del suelo, sino que también aumenta la biomasa subterránea y, por ende, el almacenamiento de carbono (Schlesinger, 2017).

2.2.7.4. Beneficios adicionales y perspectivas. El cultivo de alfalfa en sistemas de rotación con otros cultivos puede amplificar su impacto positivo en el secuestro de carbono. Por ejemplo, los suelos que han sido enriquecidos con carbono durante un ciclo de alfalfa pueden retener más carbono en ciclos posteriores, especialmente cuando se combinan con prácticas de manejo como la agricultura de conservación (Follett et al., 2001).

Sin embargo, es importante considerar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a las prácticas agrícolas, como el uso de maquinaria, fertilizantes y riego. Un enfoque integral que optimice las prácticas de manejo del cultivo puede maximizar la captura neta de carbono en los sistemas agrícolas basados en alfalfa.

La alfalfa no solo tiene un papel destacado en la producción de forraje de alta calidad, sino que también actúa como un sumidero de carbono efectivo. Su capacidad para capturar CO₂ y contribuir al secuestro de carbono en el suelo representa una oportunidad valiosa para mitigar los efectos del cambio climático y promover la sostenibilidad en la agricultura.

2.2.8. Cultivo de alfalfa y su valor nutricional

La composición nutricional de la alfalfa está en función de su estado fenológico. En la tabla 1, se puede observar los niveles de materia seca (MS), cenizas totales (CT), proteína cruda (PC), fibra cruda (FC), energía metabolizable, calcio (Ca), fósforo (P) y magnesio (Mg). (Anrique, 2014)

Tabla 1

Composición nutricional de alfalfa (Medicago sativa L.)

Estado fenológico	MS (%)	CT(%)	PC(%)	FC(%)	EM (Mcal/kg)	Ca(%)	P(%)	Mg(%)
Estado vegetativo	15.52	10.56	26.15	21.62	2.60	1.35	0.34	0.25
Botón	24.34	8.90	20.68		2.48	1.60	0.30	0.27
30% flor	27.91	8.04	18.91	24.36	2.35	1.90	0.20	0.27
100 % flor	33.81	8.02	17.67	23.65	2.31	1.60	0.30	0.27

Fuente: Centro de información de recursos naturales (2021) citando a Anrique (2014)

Tabla 2

Velocidad de infiltración del agua en diferentes clases de suelo

Textura del suelo	Infiltración del agua en lt. hora ⁻¹
Arenoso	12-25
Franco -arenoso	8-12
Franco	7-12
Franco – limoso	7-10
Franco – arcilloso	6-8
Arcilloso	2-5

Fuente: Inforiego (s.f.)

2.3. Definición de términos

Acometida: Lugar desde donde cada regante o grupo de regantes toma el agua de riego. (Sevilla, 2010).

Acuífero: Capa del subsuelo que tiene capacidad suficiente para almacenar agua en su interior, y permitir su movimiento hacia otras zonas o cederla cuando se efectúa un sondeo. (Sevilla, 2010).

Agua capilar El agua capilar es aquella retenida en los microporos del suelo debido a la acción de fuerzas capilares, disponible para las plantas al mantenerse accesible para la absorción radicular (Brady y Weil, 2019).

Agua gravitacional El agua gravitacional es aquella que se encuentra en los macroporos del suelo y drena rápidamente hacia capas más profundas por acción de la gravedad, quedando inaccesible para las plantas (Hillel, 2004; Brady y Weil, 2019).

Alcance: Es la distancia a la cual el aspersor es capaz de desplazar el agua cuando sale a través de su boquilla. Es muy variable dependiendo del tipo de aspersor y de condiciones técnicas de trabajo. (Sevilla, 2010).

Altura geométrica de aspiración: Es la altura expresada en metros desde el nivel del agua aspirada hasta el centro o eje de la bomba. (Sevilla, 2010).

Altura manométrica total: Es la altura correspondiente a la suma de las alturas de aspiración, impulsión y pérdidas de carga. (Sevilla, 2010).

Aspersor: Cualquiera de los emisores de riego utilizado en un sistema de riego por aspersión. El aspersor más utilizado en agricultura es de impacto, con giro lento y con un caudal comprendido entre 1000 2000 litros/hora. (Sevilla, 2010).

Cambio de postura: Proceso mediante el cual se realiza el traslado del ramal de aspersión de un lugar a otro dentro de la misma parcela de riego. (Sevilla, 2010).

Capacidad de Campo se refiere a la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje. (Fuentes, 2002)

Caudal: Cantidad de agua que pasa por una conducción en un tiempo determinado. Generalmente se suele expresar en litros/segundo, litros/hora y m³/hora. (Sevilla, 2010).

Cobertura total: Tipo de sistema de riego por aspersión en el que los aspersores mojan toda la superficie que compone una unidad de riego. (Sevilla, 2010).

Coeficiente de cultivo: Coeficiente que describe las variaciones en la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que éstas se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección. Se utiliza en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo. (Sevilla, 2010).

Densidad aparente La densidad de volumen o densidad aparente se define como el peso seco del suelo por unidad de volumen de suelo inalterado, tal cual se encuentra en su emplazamiento natural, incluyendo el espacio poroso. (Pinot, 2000)

Eficiencia de aplicación: Relación entre la cantidad de agua que queda en la zona ocupada por las raíces y la cantidad de agua que se aplica con el riego. (Sevilla, 2010).

Elementos singulares: Piezas para adaptar la red de tuberías a la forma o configuración de la parcela a regar, como codos, manguitos, tes, juntas, etc. (Sevilla, 2010).

Emisores: Elementos destinados a aplicar y distribuir el agua a través del aire sobre la superficie del terreno. (Sevilla, 2010).

Erosión: Arranque, transporte y depósito de partículas del suelo, provocada por factores externos como el agua y el viento. (Sevilla, 2010).

Escorrentía: Cantidad de agua aplicada con un determinado método de riego que no se infiltra en el suelo, escurriendo sobre su superficie y por lo tanto perdiéndose. (Sevilla, 2010).

Evaporación: Proceso por el cual el agua que existe en las capas más superficiales del suelo, y principalmente la que está en contacto directo con el aire exterior, pasa a la atmósfera en forma de vapor. (Sevilla, 2010).

Evapotranspiración del cultivo: Es la cantidad de agua, expresada en mm/día, que es efectivamente evaporada desde la superficie del suelo y transpirada por la cubierta vegetal. (Fuentes, 2002)

Evapotranspiración potencial Es la cantidad de agua consumida durante un determinado periodo de tiempo en un suelo cubierto de una vegetación homogénea, densa, en plena actividad vegetativa y con un buen suministro de agua. (Fuentes, 2002)

Filtración profunda o percolación: Cantidad de agua que, después de haberse infiltrado en el suelo, no puede ser retenida por éste y pasa hasta zonas situadas bajo la zona de raíces. Es, por tanto, agua perdida. (Sevilla, 2010).

Fracción de agotamiento Es el contenido de humedad del suelo entre la capacidad del campo y un punto de recarga. (PRISMAB, s.f.)

Humedad Relativa Indica la cantidad de vapor de agua contenida en el aire a una determinada temperatura, con relación a la cantidad máxima que sería capaz de contener a esa misma temperatura. (Fuentes, 2002)

Intervalo de riego Es la frecuencia de riego que se obtiene al dividir el valor de la lámina neta (mm), con el monto de la evapotranspiración en mm del cultivo registrado diariamente. (Viña Santa Carolina, 2019, citando a Ferreyra, 1989)

Lámina aplicada: Cantidad de agua correspondiente a las necesidades brutas de riego, expresada en altura de la lámina de agua por metro cuadrado de superficie. (Sevilla, 2010).

Lamina bruta de riego (Lb): Cantidad de agua que realmente ha de aplicarse en un riego como consecuencia de tener en cuenta la eficiencia de aplicación del riego y, en su caso, las necesidades de lavado. (Sevilla, 2010).

lamina neta de riego (Ln): Cantidad de agua que necesita el cultivo como consecuencia de la diferencia entre el agua que éste evapotranspira y la cantidad de agua aportada por la lluvia. (Sevilla, 2010).

Marco de riego: También conocido como marco de los aspersores. Disposición que adoptan los aspersores y los ramales de riego uno respecto de los otros. Los tipos de marcos de riego empleados son en cuadrado, rectángulo y en triángulo, expresándose comúnmente de la forma 12x12, 12x18, etc., indicando el primer número la distancia entre aspersores y el segundo la distancia entre ramales. (Sevilla, 2010).

Pérdidas de carga: Pérdidas de presión en el agua que circula en una conducción a presión, debido a rozamientos con las paredes de las tuberías, paso por conexiones, piezas singulares, etc. También se producen pérdidas de carga en conducciones ascendentes. (Sevilla, 2010).

Postura de riego: En sistemas móviles y semifijos, cada una de las posiciones en que se disponen los ramales de aspersion para regar una parcela. (Sevilla, 2010).

Precipitación efectiva Se llama precipitación efectiva aquella fracción de la precipitación total que es aprovechada por las plantas. (Fuentes, 2002)

Precipitación Se llama precipitación a la caída del agua de las nubes que puede ser en estado líquido (lluvia) o en estado sólido (nieve y granizo). La medida de la precipitación se expresa también en forma de litros de agua caída por metro cuadrado de superficie horizontal, un milímetro de altura de lluvia equivale a un litro por metro cuadrado de superficie. (Fuentes, 2002)

Presión: Fuerza que ejerce el agua sobre las paredes de una tubería y los distintos elementos que componen el sistema de riego. (Sevilla, 2010).

Punto de marchitez se refiere al contenido de agua de un suelo que ha perdido toda su agua a causa del cultivo y, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible. (Fuentes, 2002)

Rendimiento de cultivo Es la relación de la producción total de un cierto cultivo cosechado por hectárea de terreno utilizada. Se mide usualmente en toneladas métricas por hectárea (T.M./ha.). (EcuRed, s.f.)

Reserva de agua fácilmente disponible: Es la cantidad de agua que puede absorber la planta sin hacer un esfuerzo excesivo y por lo tanto sin que haya una disminución de rendimiento. (Fuentes, 2002)

Sistema de bombeo: Conjunto de elementos de la instalación que aportan la energía necesaria al sistema para suministrar el caudal de agua requerido a la presión necesaria, de tal manera que haga funcionar los emisores correctamente. (Sevilla, 2010).

Solape o traslape: Superficie del suelo mojada por dos o más aspersores distintos.

Textura: Propiedad física del suelo con la que se refleja la proporción de partículas minerales de arena, limo y arcilla que existen en su fracción sólida. (Sevilla, 2010).

Topografía: Relieve del terreno. (Sevilla, 2010).

Tubería de aspiración: Tubería mediante la cual se conduce el agua desde su superficie hasta el eje de la bomba. (Sevilla, 2010).

Tubería de impulsión: Aquella tubería que conduce el agua desde la bomba hasta su destino final. (Sevilla, 2010).

Tubos portaaspersores: Elementos de la red de distribución que se utilizan para unir el aspersor con el ramal de aspersión. Pueden tener distintas longitudes (0.25 – 2 m.) y diámetros. (Sevilla, 2010).

Unidad de riego: Superficie de la parcela de cultivo que se riega de una sola vez. (Sevilla, 2010).

Uniformidad de aplicación: Mayor o menor homogeneidad en la cantidad de agua que losaspersores aplican sobre el suelo. (Sevilla, 2010).

Velocidad de infiltración: Mayor o menor rapidez del agua en penetrar en la matriz sólida del suelo. (Sevilla, 2010).

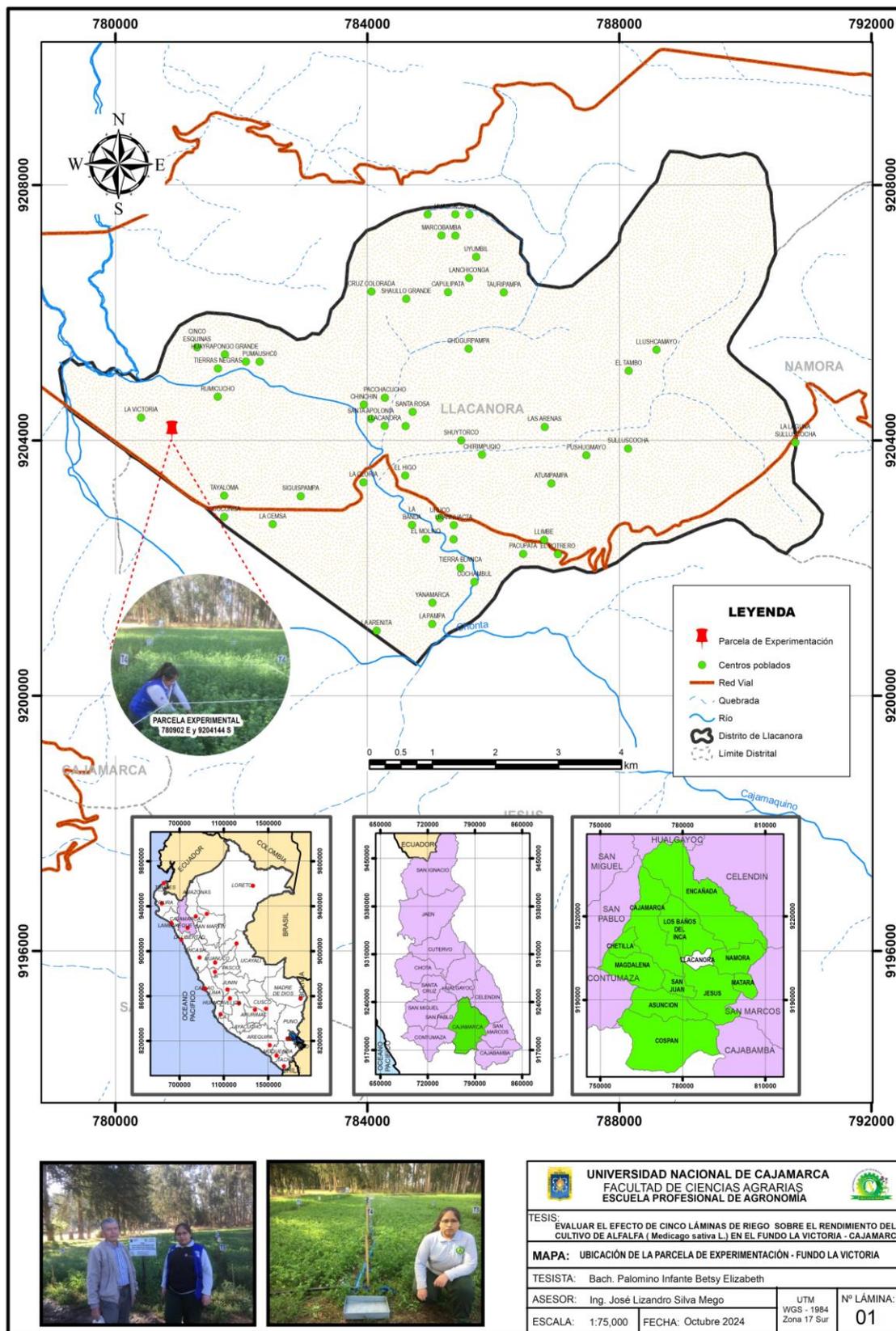
III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación del campo experimental

El trabajo experimental se realizó en el fundo la Victoria de propiedad de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicado geográficamente entre las coordenadas UTM 780902m E y 9204144 m S y una altitud de 2,630 msnm. El clima es templado, con una temperatura media anual de 11.83°C, una humedad relativa media de 63.17 % y una precipitación media anual de 580.5 mm/año.

Figura 2

Mapa de ubicación del fundo "La Victoria"



3.2. Materiales

3.2.1. *Material biológico*

Parcelas con plantaciones de alfalfa (*Medicago sativa* L.), variedad pallasquina de dormancia 9, periodo de corte promedio de 45 días.

3.2.2. *Equipos, herramientas y material de campo*

A. Equipo de Bombeo de agua

- Motobomba a gasolina de 4 HP
- Accesorios de acople
- Válvulas de una pulgada
- Tubería de polietileno de 1 pulgada de diámetro

B. Módulo de riego por aspersión

- Red de tuberías según diseño del sistema y de las parcelas de evaluación
- Aspersores de ½" de presión de trabajo según diseño

C. Otros

Rafia, marca de identificación, estacas de madera, cuaderno, equipo de registro fotográfico, análisis de suelo, Wincha.

3.2.3. *Material y equipo de laboratorio*

Se utilizó el servicio de laboratorio para el Análisis de suelos del INIA.

3.2.4. *Insumos*

3.2.4.1. Fertilizantes. Se utilizaron fertilizantes con la finalidad de conservar la capacidad productiva del suelo en dosis según el análisis de suelo de NPK de manera estándar para todos los tratamientos por no ser una variable de investigación.

3.2.4.2. Combustible. Se utilizó gasolina para el funcionamiento de la motobomba impulsora del agua de riego

3.2.5. Material de escritorio

Papel bond A4, lapiceros, lápices, laptop e impresora.

3.3. Metodología

3.3.1. Contexto de la Parcela experimental.

El Fundo donde se encuentra ubicada la parcela experimental es propiedad de la Universidad Nacional de Cajamarca, administrada por la Facultad de Ciencias Agraria, su suelo Franco arcilloso con un pH de 7.0 (ver anexo figura 8 de análisis de suelo mayo 2024), con una temperatura máxima promedio de 18.9 °C y una temperatura mínima promedio de 4.8 °C (tabla 17) es apto para diversos cultivos de pan llevar, pero dadas sus condiciones climáticas se prioriza la producción de pastos para la alimentación de ganado vacuno lechero principalmente, dispone de fuentes de agua para riego como son: turnos de un canal de irrigación, y manantiales distribuidos en diversos puntos del fundo.

Para poder acceder al servicio de riego desde los manantiales se hace necesarios sistemas con equipos de impulsión y conducción hasta las parcelas de cultivos, por tal motivo para realizar el presente trabajo de investigación se instaló un mini sistema de riego presurizado impulsado con una motobomba ubicada a 145 metros de distancia respecto de la parcela experimental.

3.3.2. Inicio de Trabajo

El trabajo experimental se dio inicio el 11 de mayo del 2024 con la determinación anticipada de cinco dosis de lámina de riego se procedió a calcular el tiempo de riego, para lo cual se realizó el aforo de los emisores (aspersores) de media pulgada de diámetro, siendo un caudal de 0.184 litros por segundo por cada emisor, acondicionados para realizar un riego sectorial (semicírculo), los mismos que según

la presión de trabajo fueron regulados para alcanzar 4.5 metros de radio haciendo una área de riego de 31.5 m² , con dicha información se procedió a calcular la respectiva pluviometría y la determinación del tiempo de riego según la demanda de cada tratamiento.

Basándose en un cálculo teórico se decidió realizar la aplicación del riego con una frecuencia de 7 días (semanal) habiendo recaído en los días sábados, el tiempo de crecimiento del cultivo entre cosecha y cosecha ha estado condicionado a la indicación del propietario del cultivo (fundo) siendo un periodo de duración promedio de 45 días, demandando realizar hasta 6 veces la aplicación del riego en cantidades según dosis de cada tratamiento.

3.3.3. Evaluación y análisis de características agronómicas alfalfa

Para realizar la evaluación se ha demarcado una mini parcela inscrita en cada una de las parcelas de los tratamientos con medidas de 2 metros por lado haciendo un área de 4 metros cuadrados, esta demarcación se ha creído conveniente para evitar el riesgo de influencia en caso de haber cierto traslape de los emisores durante el tiempo de aplicación del riego.

El rendimiento se ha evaluado en Tm ha⁻¹

La altura de tallo se ha evaluado en cm.

3.3.4. Diseño experimental

El diseño estadístico utilizado en presente trabajo de investigación es de Bloque Completo al Azar (DBCA) con tres repeticiones o bloques y cinco tratamientos correspondientes a cinco láminas de riego de valores diferentes, 12, 18, 24, 30 y 36 mm considerados como tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 respectivamente

Figura 3*Diseño experimental*

BLOQUES	TRATAMIENTOS				
I	T1	T2	T3	T4	T5
II	T5	T1	T2	T3	T4
III	T4	T5	T1	T2	T3

Donde:

T1 = 12 mm

T2 = 18mm

T3= 24 mm

T4= 30 mm

T5 = 36 mm

A. Características del campo experimentalÁrea campo experimental: 262.5 m²

BLOQUES (3)

Número de tratamientos: 5

Número de repeticiones o bloques: 3

Largo del bloque: 25 m

Ancho del bloque: 3.5 m

Área del bloque: 87.5 m²

PARCELAS (15)

Largo: 5.00 m

Ancho: 3.50 m

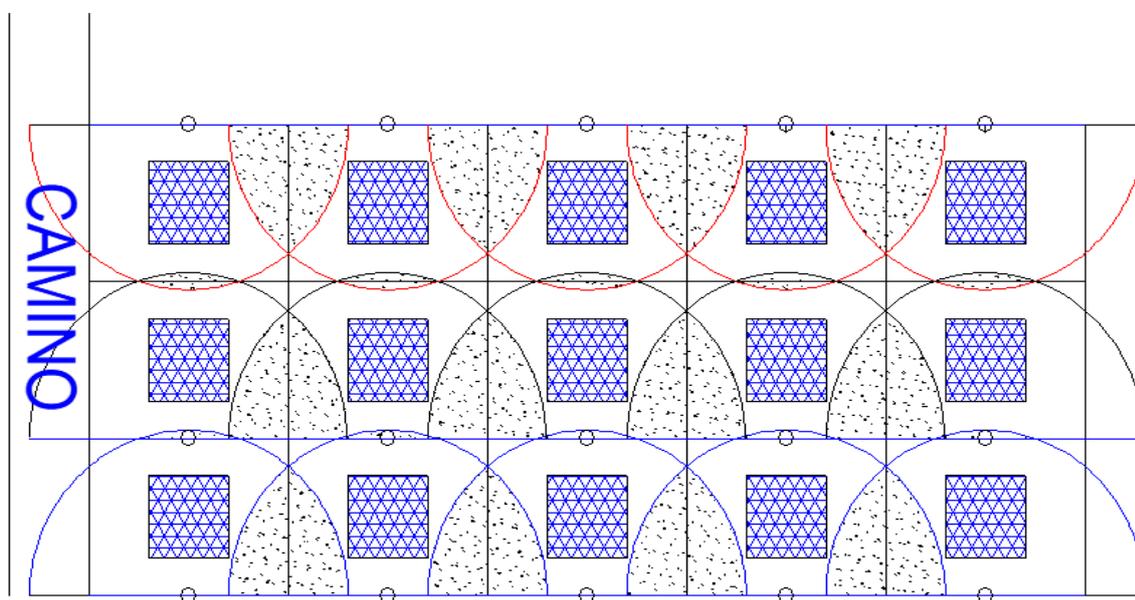
Área de parcela: 17.5 m²

3.3.5. Diseño del Módulo de Riego

Con la finalidad de evitar riesgo de error durante la aplicación del riego, se ha optado por acondicionar los emisores en giro de semicírculos, así mismo se ha elegido una mini parcela para evaluación de resultados cuidando que no sea afectado por el traslape o solape del área irrigada por cada emisor.

Figura 4

Diseño del módulo de riego



3.3.6. Variables

3.3.6.1. Variable independiente. Lámina de agua: Cada Valor corresponde

a un tratamiento

T1 = 12 mm/riego

T2 = 18 mm/riego

T3 = 24 mm/riego

T4 = 30 mm/riego

T5 = 36 mm/riego

3.3.6.2. Variable dependiente. Rendimiento expresado en peso fresco (TM/ha) y altura de planta

3.3.7. Determinación referencial de las necesidades hídricas del cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.)

El requerimiento hídrico del cultivo representa la cantidad de agua necesaria para el óptimo desarrollo de alfalfa, es decir reponer la tasa de evapotranspiración, cantidad de agua que se pierde en la atmósfera por la evaporación de las plantas y superficie del suelo.

Existen diferentes autores que proponen diversos métodos para calcular la necesidad de agua de los cultivos, en el presente trabajo se referencian algunos de ellos que utilizando los datos meteorológicos de la localidad se obtienen sus resultados referenciales siguientes:

Tabla 3

Determinación de la evapotranspiración potencial según Hargreaves con MF(mm.mes⁻¹)

Ubicación:		La victoria -Cajam											
		Lat.: 07° 11' 28.27" S			Long.: 78° 27' 34.1" W			Alt.: 2,630.00 msnm					
Parámetros		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
TMC ^o		13.07	13.75	13.23	12.48	11.70	9.80	10.38	9.97	10.46	12.46	12.23	12.54
TMF ^o		55.53	56.74	55.82	54.46	53.05	49.64	50.69	49.95	50.83	54.43	54.01	54.57
HR		66.28	66.40	70.78	67.96	66.96	59.02	56.86	56.11	57.04	60.51	63.17	66.90
CH		0.96	0.96	0.90	0.94	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96
CE		1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
MF ^{1/}		2.49	2.23	2.36	2.09	1.94	1.77	1.88	2.07	2.21	2.44	2.41	2.49
Eto		140.46	128.11	124.55	112.57	103.53	92.36	100.06	108.63	118.46	139.68	137.02	136.77

1/ Promedio de los valores de 6° y 8° de Latitud Sur de la Tabla "FACTOR DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL"

Fórmulas Empleadas:

$$ET_o = MF \times TMF \times CH \times CE;$$

$$TMF = (9/5)TMC + 32;$$

$$CE = 1.0 + 0.04(E/2000)$$

$$CH = 0.166 \times (100 - HR)^{1/2}, \text{ para } HR > 64\%; \text{ para } HR < 64\%, CH = 1.$$

Donde:

ET_o = Evapotranspiración potencial (mm/día)

MF = Factor mensual de latitud (anexo, tabla 16)

TMF = Temperatura media mensual (°F)

CE = Factor de corrección para la altura del lugar

TMC = Temperatura media mensual (°C)

HR = Humedad relativa media mensual (%)

E = Altitud o elevación del lugar (msnm)

3.3.8. Cálculo de la evapotranspiración de cultivo Etc

En este estudio, debido a que el trabajo de investigación se llevó a cabo en temporada de estiaje, se ignoraron los efectos de la lluvia y los cambios en la humedad del suelo. Así mismo se ha seleccionado el método de Hargreaves y un K_c promedio equivalente a 1 (uno)

Tenemos: $ET_c = ET_o \times K_c$

ET_o = 3.42 mm/día = 23.94 mm/semana

ET_c = 23.94 x 1.0 = 23.94 ≈ 24 mm/semana

3.3.9. Programación del riego

Según el análisis del suelo, con los parámetros hídricos del suelo se realiza el cálculo de la lámina neta o agua fácilmente disponible mediante la ecuación siguiente:

$$\text{Lamina neta de agua} = (\text{CC} - \text{PMP}) \text{ Dap} * \text{Pr} * \text{fa} / 100$$

Donde:

Lam. Riego = lamina de riego en mm

CC = Capacidad de campo (%) = 23.74

PMP = Punto de marchites permanente (%) = 13.30

Dap = Densidad aparente del suelo = 1.35 gr./cm³

Pr = Profundidad radicular = 90 cm

fa = Factor de agotamiento = 0.6

Lam de riego = ((23.74 – 13.30) /100) x 1.35 x 90 x 0.6

Lamina de riego = 7.61 cm = 76.1 mm

3.3.10. Intervalo de riego

Es el tiempo que ha transcurrido entre dos riegos consecutivos habiendo sido siete días.

3.3.11. Tiempo de riego

El tiempo de riego ha dependido del caudal emitido por los aspersores utilizados y a la lámina de riego materia de investigación según cada tratamiento.

Tabla 4

Caudal de emisores calibrados para cada tratamiento.

Tratamiento	Caudal del emisor (m ³ /h)	Área de riego (m ²)	Precipit. en mm.h ⁻¹	mm. trat.- ¹	Vol. de agua por riego m ³ . Tr ⁻¹	Vol. agua por corte m ³ . Tr ⁻¹	Tiempo de riego. Tr ⁻¹ (min)
T1	0.6624	31.5	21.03	12.00	0.38	2.27	34.24
T2	0.6624	31.5	21.03	18.00	0.57	3.40	51.36
T3	0.6624	31.5	21.03	24.00	0.76	4.54	68.48
T4	0.6624	31.5	21.03	30.00	0.95	5.67	85.60
T5	0.6624	31.5	21.03	36.00	1.13	6.80	102.72

3.3.12. Trabajo de campo

3.3.12.1. Acciones previas al trabajo de aplicación de la lámina de riego.

La parcela experimental constituye parte de una parcela mayor donde se viene conduciendo el cultivo de alfalfa la misma que ha sido instalado anteriormente por el personal responsable del fundo la victoria de la Universidad Nacional de Cajamarca, el inicio del proceso de investigación empieza al día siguiente de haber realizado el corte del forraje de alfalfa cuya producción no fue evaluada, dejando expedita la parcela delimitada para iniciar con la aplicación del primer riego controlado.

3.3.12.2. Características físico químicas y parámetros hídricos de la parcela de investigación. Se realizó el muestreo de suelos (anexo figura 8) para el análisis físico químico, el mismo que fue útil determinar la capacidad de retención de agua en el suelo, así mismo para realizar la correspondiente fertilización del cultivo siendo la dosificación uniforme para todos los tratamientos por no constituir una variable de evaluación.

Según el análisis el suelo, desde el punto de vista textural, se clasificó como arcillo arenoso, compuesto por un 48% de arena, 36% de arcilla y 16% de limo. Esta textura confiere al suelo una buena capacidad de retención de agua y nutrientes, aunque puede presentar problemas de compactación si no se maneja adecuadamente.

El pH del suelo fue de 7,0, lo que indica una reacción neutra, óptima para la mayoría de los cultivos agrícolas, ya que favorece la disponibilidad de nutrientes esenciales y la actividad microbiana sin presentar efectos tóxicos o bloqueos de nutrientes.

En cuanto a la materia orgánica, se registró un valor del 2,1%, lo cual corresponde a una clasificación media, apto para una aceptable actividad biológica, sin embargo, se

recomienda su fortalecimiento por lo que se incorporó una fertilización de 60-80-75 de NPK mediante un fertilizante de fórmula 20-20-20 en un equivalente a 400 kg/ha¹.

La conductividad eléctrica (CE) alcanzó los 4,6 mS/m (equivalente a 0,46 dS/m), clasificándose como normal. Este valor indica que no existen problemas de salinidad en el perfil del suelo, permitiendo el desarrollo adecuado del cultivo sin riesgos por acumulación de sales solubles.

Respecto a los elementos nutritivos, el fósforo disponible fue de 16,8 mg/kg, ubicándose en el rango alto, lo cual es favorable para la alfalfa, ya que este nutriente interviene en procesos clave como el desarrollo radicular y la formación de flores. El potasio disponible alcanzó 157 mg/kg, ubicándose entre los valores medios a altos, proporcionando un buen equilibrio nutricional para el cultivo.

En cuanto a los parámetros hídricos, la capacidad de campo fue de 23,74%, el punto de marchitez permanente de 13,30% y el agua disponible de 10,44%. Estos valores reflejan una buena disponibilidad de agua útil para las plantas, lo que permite diseñar programas de riego eficientes y sostenibles. La densidad aparente es de 1,35 g/cm³, situándose dentro del rango considerado normal, lo que indica una estructura del suelo no compactada y con adecuada porosidad para el crecimiento radicular.

3.3.12.3. Delimitación de parcela. Consistente en delimitar tres bloques que han constituido las repeticiones de 25 metros de largo por 3.5 metros de ancho haciendo un área de 87.5 metros cuadrados cada uno y un total de 262.5 metros cuadrados en las tres repeticiones o bloques, así mismo la delimitación de sub parcelas que son destinados a cada uno de los tratamientos, cada bloque se subdividió en 5 parcelas que corresponde a igual número de tratamientos, cada parcela tiene 3.5 metros de ancho por 5 metros de largo haciendo un área de 17.5 metros cuadrados cada una.

Se procedió a la Instalación del Sistema de riego, seleccionando un sistema presurizado con equipos de impulsión y riego por aspersión, con la finalidad de facilitar el control de aplicación de las dosis de lámina de riego, para lo cual se instaló una motobomba de 4 HP de potencia, seguido de una tubería de polietileno de 1.5 pulgadas de diámetro en una distancia de 145 metros, a partir del cual se instaló una

red de tubería de polietileno de 1.0 pulgadas de diámetro en la cual se acoplo abrazaderas de 1.0 pulgada con reducción a 0.5 pulgadas en las mismas que se instalaron los elevadores de tubería PVC de 0.70 metros de longitud acondicionados con UPR (Unión Presión Rosca) para la instalación de los emisores (aspersores) que cumplen la función de aplicar el riego por un tiempo determinado.

El sistema de riego por aspersion ha utilizado aspersores de plástico de 0.5 pulgadas que emiten caudales de 0.184 lit/seg. La fuente de agua es un manantial ubicado a 145 metros de distancia en referencia a las parcelas de investigación y a un desnivel de 3 metros de altura respecto del punto de distribución y el espejo de agua.

El Intervalo de riego ha sido cada 7 días (01 semana) en una frecuencia de 6 riegos durante el periodo de crecimiento entre corte y corte del cultivo de alfalfa

3.3.12.4. Acciones durante el periodo de aplicación de la dosis de riego y evaluación del rendimiento. Puesta en funcionamiento del sistema de riego: Iniciando con la colocación de emisores (aspersores) y procediendo con el arranque de la motobomba, se llevó un control del tiempo de riego según el requerimiento de lámina que indica cada tratamiento, para lo cual ya se conocía previamente el caudal y la pluviometría de los aspersores, este trabajo se repitió cuidadosamente en todas las jornadas de riego que fueron en un total de 6 por cada periodo de corte y un total de 18 jornadas de riego durante la duración del trabajo de investigación. .

La evaluación ha consistido en la toma de muestras en cada parcela de manera individual delimitando una sub parcela de 4 metros cuadrados ubicadas en el centro de cada tratamiento con la finalidad de evitar el riesgo de alteración a causa del traslape del alcance de los aspersores, el corte del forraje se realizó manualmente y la pesada en una balanza digital, este proceso de evaluación fue repetido en los

tres periodos (cosechas) que corresponde al tiempo de duración del trabajo de investigación.

3.3.13. Trabajo de gabinete

3.3.13.1. Ordenamiento y análisis de datos. Consistente en el ordenamiento y sistematización de datos e información generada en campo correspondiente al reporte de tres periodos de evaluación. Los datos cuantitativos fueron ingresados a una base de datos en hojas de cálculo de Excel, los mismos que fueron procesados de acuerdo a los objetivos de la investigación. Los resultados fueron sometidos primeramente a reflexión teórica disertando en forma comparativa para luego arribar a conclusiones coherentes y concretas, finalizando en la redacción final del documento.

Las evidencias fotográficas del trabajo y evaluaciones, se muestran en los anexos (figuras 13 a 21) del presente documento. Esta labor se realizó durante la época de estiaje durante los meses de mayo a septiembre.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se indicarán los resultados obtenidos en la parcela experimental según lo indicado en el capítulo III, así mismo se presenta el análisis estadístico (ANVA), para cada una de las características agronómicas consideradas: Rendimiento y altura de tallo, es como sigue:

4.1. Rendimiento de alfalfa en Tm. ha⁻¹

Tabla 5

Indicadores de resultados en tm.ha⁻¹

Tratamientos Bloques	T1	T2	T3	T4	T5	Total Bloques	Promedio Bloques
B1	11.06	18.35	20.92	18.63	17.88	86.83	17.37
B2	9.00	16.83	17.58	15.10	15.69	74.20	14.84
B3	8.48	15.79	16.43	14.32	13.78	68.80	13.76
Total Tratamiento	28.54	50.96	54.93	48.04	47.35	229.83	15.32
Promedio Tratamientos	9.51	16.99	18.31	16.01	15.78	15.32	

Se ha realizado un consolidado de los tres periodos o también denominados cortes de 45 días cada corte y un tiempo total de 135 días

En la figura 5 indica el orden de rendimiento de menor a mayor del cultivo mencionado, siendo el de más alto rendimiento el T3 con 18.31 Tm. Ha⁻¹ que corresponde a una lámina de riego de 24 mm.

Figura 5

Ordenamiento de tratamientos menor a mayor según el rendimiento



Así mismo con la información indicada anteriormente se ha realizado el análisis de varianza (ANVA), tanto para el 95 y 99% de probabilidades.

Tabla 6

Análisis de varianza (ANVA) Rendimiento de cultivo de alfalfa en TM ha⁻¹

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F Cal	F tabular	
					0.05	0.01
Bloques	2	34.23	17.12	52.90 **	4.46	8.65
Tratamientos	4	138.39	34.60	106.93 **	3.84	7.01
Error experimental	8	2.59	0.32			
Total	14	175.21				

** Alta significación al 95 y 99 %

CV = 3.71 %

Según tabla 6 indica que a nivel de bloques existe alta significación estadística, con una F calculada de 52.90 que supera al 95 y 99 % de probabilidades, este efecto se debe probablemente, que los bloques considerados en campo no han sido

homogéneos en textura y endurecimiento debido al tiempo que se viene explotando (dos años).

Así mismo a nivel de tratamiento existe una alta significación estadística, con una F calculada de 106.93 al 95 y 99 % de probabilidades, lo que permite atribuir que las dosis de agua aplicada en los tratamientos considerados para el presente trabajo de investigación tienen efecto altamente significativo en el rendimiento del cultivo de alfalfa.

Teniendo en cuenta que el coeficiente de variabilidad $CV = 3.71\%$, se puede atribuir que las condiciones físico ambientales (suelo, atmosfera) durante el trabajo de investigación realizado han sido homogéneas que no ha permitido alteración.

4.2. Prueba de DUNCAN para rendimiento del cultivo de alfalfa $TM\ ha^{-1}$

También los datos evaluados de rendimiento se compararon aplicando la prueba de DUNCAN, como sigue.

Tabla 7

Análisis de Duncan para Rendimiento $TM\ ha^{-1}$ en alfalfa promedio global

Valores de P	2	3	4	5
AES (D)	3.26	3.39	3.47	3.52
SX=	$\sqrt{CMerror/r} =$			0.32840086
ALS (D)	1.07	1.11	1.14	1.16

Tabla 8

Prueba de Duncan al 5% para rendimiento en TM ha⁻¹

Tratamiento	Promedio	
T3 (24mm)	18.31	a
T2 (18mm)	16.99	b
T4 (30mm)	16.01	b
T5 (36mm)	15.78	c
T1 (12mm)	9.51	c

Al realizar el análisis DUNCAN, se observa la significación estadística y se puede descartar a los tratamientos T1, T2, T4 y T5 siendo el tratamiento T3 que corresponde a 24 mm de lámina de riego con mayor rendimiento.

Tabla 9

Promedio altura de tallo global medido en cm.

Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	Total	Promedio
Bloques						Bloques	Bloques
B1	64.67	87.00	91.67	86.33	82.00	411.67	82.33
B2	61.67	83.33	87.33	79.33	82.67	394.33	78.87
B3	56.00	75.00	85.33	77.33	77.00	370.67	74.13
Total							
Tratamientos	182.33	245.33	264.33	243.00	241.67	1,176.67	78.44
Promedio							
tratamientos	60.78	81.78	88.11	81.00	80.56	78.44	

En la figura 6 indica el orden de altura de tallo de menor a mayor del cultivo mencionado, siendo el de mayor altura el T3 con 18.31 Tm. Ha⁻¹ que corresponde a una lámina de riego de 24 mm.

Figura 6

Tendencia de la altura promedio



Así mismo con la información indicada anteriormente se ha realizado el análisis de varianza (ANVA) tanto para el 95 y 99 % de probabilidad.

Tabla 10

Análisis de varianza (ANVA) de altura de tallo del promedio global

FV	GL	SC	CM	F Cal	F t	
					0.05	0.01
Repeticiones	2	169.44	84.72	22.78 **	4.46	8.65
Tratamientos	4	1,282.96	320.74	86.25 **	3.84	7.01
Error experimental	8	29.75	3.72			
Total	14					

** Alta significación al 95 y 99 %

CV = 2.46 %

Según tabla 11 indica que a nivel de bloques existe alta significación estadística, con una F calculada de 22.78 que supera al 95 y 99 % de probabilidades.

Así mismo a nivel de tratamiento existe una alta significación estadística, con una F calculada de 86.25 al 95 y 99 % de probabilidades, lo que permite atribuir que

las dosis de agua aplicada en los tratamientos considerados para el presente trabajo de investigación tienen efecto altamente significativo en el rendimiento del cultivo de alfalfa.

Teniendo en cuenta que el coeficiente de variabilidad CV = 2.46 %, se puede atribuir que las condiciones físico ambientales (suelo, atmosfera) durante el trabajo de investigación realizado han sido homogéneas que no ha permitido alteración.

4.3. Prueba de DUNCAN para la altura de tallo del cultivo de alfalfa.

También los datos evaluados de rendimiento se compararon aplicando la prueba de DUNCAN, como sigue.

Tabla 11

Análisis de Duncan para altura de tallo en alfalfa

valores de P	2	3	4	5
AES (D)	3.26	3.39	3.47	3.52
SX=	$\sqrt{CMerror/r}$			1.11333112
ALS (D)	3.63	3.77	3.86	3.92

Tabla 12

Prueba de Duncan al 5% para altura de tallo en cm

Tratamiento	Promedio	
T3 (24mm)	88.11	a
T2 (18mm)	81.78	b
T4 (30mm)	81.00	b
T5 (36mm)	80.56	b
T1 (12mm)	60.78	c

Al realizar el análisis DUNCAN se observa la significación estadística y se puede descartar a los tratamientos T1, T2, T4 y T5 siendo el tratamiento T3 que corresponde a 24 mm de lámina de riego con mayor altura de tallo.

Figura 7

Línea de tendencia en el rendimiento



La figura 7 expresa la importancia de la aplicación de láminas de riego de manera controlada, indicando que sin agua no habrá producción y un exceso de agua también anula la producción, entonces es fundamental conocer el punto óptimo de requerimiento hídrico del cultivo.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

➤ Habiendo evaluado y analizado el efecto de cinco láminas de riego en el rendimiento de forraje fresco del cultivo de alfalfa, expresado en toneladas métricas por hectárea ($Tm\ ha^{-1}$), el trabajo experimental concluye que, el tratamiento tres (T3), equivalente a 24 mm de lámina de riego, ha alcanzado el más alto rendimiento con un total de $18.31\ tm\ ha^{-1}$ por corte en un periodo de seis semanas.

5.2. Recomendaciones

➤ Según conclusiones obtenidas, el tratamiento tres (T3) de 24 mm de lámina de riego por semana, equivalente a un volumen total de $1,440\ m^3\ ha^{-1}$ de agua por periodo de corte, es el más recomendado para las condiciones edafoclimáticas del valle de Cajamarca.

➤ Teniendo en cuenta la importancia del cultivo de alfalfa en el Valle de Cajamarca se recomienda repetir el trabajo de investigación en otros ámbitos con características edafoclimáticas similares y/o diferentes al lugar donde se ha desarrollado el presente trabajo.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. (1998). Evapotranspiración de los cultivos: directrices para calcular los requerimientos hídricos de los cultivos. *FAO, Estudio sobre riego y drenaje*
- AZUD, S.A. (s.f.) ALFALFA CULTIVO. *Blog*.
<https://azud.com/cultivo/alfalfa/#:~:text=Las%20necesidades%20h%C3%ADdricas%20de%20la,700%2D900%20mm%20de%20agua>
- Blum, A. (2009). El uso eficaz del agua y el no uso eficiente del agua es el objetivo de la mejora del rendimiento de los cultivos en condiciones de estrés por sequía. *Investigación*.
- Bolanos-Aguilar, E., Carranza-Torres, J. y Valencia-Barrera, R. (2021). Impacto de la fijación biológica de nitrógeno en la productividad de la alfalfa. *Revista de Agroecología*.
- Bolinder, M. A., Angers, D. A., y Dubuc, J. P. (2007). Potencial de secuestro de carbono de la alfalfa en suelos agrícolas. *Agricultura, Ecosistemas y Medio Ambiente*.
- Cangiano, C. A., Gambaudo, J. M., y Guerrero, J. L. (2012). Optimización del uso de agua y nutrientes en el cultivo de alfalfa. *Revista Agronomía*.
- Caviglia, O. P., y Sadras, V. O. (2019). Influencia de la disponibilidad de agua en el rendimiento de alfalfa y la calidad del forraje. *Revista de ciencia de cultivos*.
- Centro de información de recursos naturales (2021). Ficha Técnica. Cartilla alfalfa
- Chaves, M. M., Flexas, J., y Pinheiro, C. (2002). Fotosíntesis bajo estrés por sequía y salinidad: mecanismos de regulación desde la planta completa hasta la célula. *Anales de botánica*.

- Delgado, R., Llorente, M., y Castaño, S. (2020). Adaptación y manejo de alfalfa en suelos con diferentes propiedades físicas y químicas. *Agronomía Sostenible*.
- Delgado, R., Llorente, M., y Castaño, S. (2020). Láminas de riego y su impacto en cultivos de alto valor. *Agricultura y Riego*.
- Doorenbos, J., y Kassam, A. H. (1979). Respuesta del rendimiento al agua. *Documento de la FAO sobre riego y drenaje No. 33*.
- EcuRed. (s.f). Rendimiento agrícola.
https://www.ecured.cu/Rendimiento_agr%C3%ADcola
- Fereres, E., y Soriano, M. (2020). La alfalfa: adaptación y manejo en climas diversos. *Editorial Agrícola*.
- Fereres, E., y Soriano, M. A. (2007). Riego deficitario para reducir el uso de agua en la agricultura. *Revista de botánica experimental*.
- Flexas, J., Bota, J., Galmes, J., Medrano, H., y Ribas-Carbo, M. (2004). Comprender la regulación negativa de la fotosíntesis bajo estrés hídrico: perspectivas futuras y búsqueda de herramientas fisiológicas para la gestión del riego. *Anales de Biología Aplicada*.
- Follett, R. F., Kimble, J. M., y Lal, R. (2001). El potencial de las tierras de pastoreo de Estados Unidos para secuestrar carbono y mitigar el efecto invernadero. *Prensa CRC*.
- Fuentes J. (2002) curso de riego para regantes. *Segunda edición*.
- Gil, R. (s.f.). El agua del suelo. <https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/agua-edafica.pdf>
- Hargreaves, G. H., y Samani, Z. A. (1985). Evapotranspiración de cultivos de referencia a partir de la temperatura. *Ingeniería Aplicada a la Agricultura*.

- Hillel, D. (1998). Física ambiental del suelo: fundamentos, aplicaciones y consideraciones ambientales. *Prensa académica*.
- Hodge, A., Robinson, D., y Fitter, A. H. (1999). Una visión integrada de la explotación de nutrientes por las plantas. *Ecología funcional*.
- Inforiego (s.f.) Agronomía del Riego. *Blog*.
https://www.inforiego.org/opencms/opencms/info_tecnica/6_agronomia/index.html
- Jensen, M. E. (2010). Uso del agua en la agricultura: el desafío de la sostenibilidad. *Revista de conservación del suelo y el agua*.
- Jones, H. G. (2014). Plantas y microclima: un enfoque cuantitativo de la fisiología ambiental de las plantas. *Prensa de la Universidad de Cambridge*.
- Lal, R. (2004). El secuestro de carbono en el suelo tiene efectos sobre el cambio climático global y la seguridad alimentaria. *Ciencia*.
- Lloveras, J., Moreno, A., y Ferran, J. (2018). Optimización de las prácticas de riego para cultivos de alfalfa y forrajes en climas mediterráneos. *Agronomía*.
- Manschadi, A. M., Christopher, J., deVoil, P., y Hammer, G. L. (2006). El papel de las características arquitectónicas de la raíz en la adaptación del trigo a ambientes con escasez de agua. *Biología funcional de las plantas*.
- Medrano, H., Tomas, M., Martorell, S., Flexas, J., Hernandez, E., Rossello, J., Pou, A., Escalona, J. M., y Bota, J. (2015). De la eficiencia en el uso del agua de las hojas a la eficiencia en el uso del agua de toda la planta en copas complejas: limitaciones de la eficiencia en el uso del agua de las hojas como objetivo de selección. *Revista de Cultivos*.
- Monge, J., Álvarez, J., y Muñoz, P. (2020). Producción y manejo del cultivo de alfalfa en sistemas intensivos. *Agronomía y Ganadería*.

- Monteros, J., Azevedo, M., y Leon, N. (2021). Influencias del clima en el rendimiento de la alfalfa: adaptaciones y rendimiento en diferentes condiciones climáticas. *Cambio climático y agricultura*.
- Morocho, J. (2019). Respuesta del Cultivo de Betarraga (*Beta vulgaris* L.) a Cinco Láminas de Riego por Goteo en el Valle de Cajamarca. tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias. *Universidad Nacional de Cajamarca*.
- Orloff, S., y Putnam, D. (2018). Alfalfa: calidad del forraje y digestibilidad. Forrajes y pastizales.
- Pinot, R, H. (2000). Manual de Edafología. *Chile*.
- PRISMAB, (s.f.) Calidad del suelo. Parte 5: Agua del suelo. *Blog*.
<https://prismab.com/blog/calidad-del-suelo-parte-5-agua-del-suelo/#:~:text=Es%20el%20contenido%20de%20humedad,es%20espec%C3%A9fico%20para%20cada%20cultivo>.
- Putnam, D. H., Orloff, S. B., y Lanini, W. T. (2007). Manejo integrado de plagas en alfalfa. Universidad de California, Agricultura y Recursos Naturales.
- Putnam, D., Orloff, S. y Mueller, S. (2018). El papel de los cultivos de raíces profundas en la salud del suelo: el impacto de la alfalfa. *Revista de conservación de suelos y agua*.
- Schlesinger, W. H. (2017). Un análisis del ciclo global del carbono. *Revista anual de ecología, evolución y sistemática*.
- Soussana, J. F., Tallec, T., y Blanford, V. (2004). Mitigación del balance de gases de efecto invernadero de los sistemas de producción de rumiantes mediante el secuestro de carbono en pastizales. *Ciencia de la producción animal*.

- Tapi, J. (2021). Respuesta del Cultivo de Zanahoria (*Daucus carota* L.) a Diferentes Láminas de Riego en el Valle de Cajamarca. *Tesis de título. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.*
- Traxco S.A. (s.f.) Humedad en suelos de diferente textura. *Blog.*
<https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/humedad-en-suelos-de-diferente-textura>
- Varas (s.f.) Agua y riego en alfalfa. *INIA.*
- Viña Santa Carolina, (2019). “Manual de riego: herramientas agronómicas y soluciones tecnológicas para mejorar la eficiencia y el uso de agua para riego en productores de *vitis vinífera*”. *Proyecto.*
- Zan, C. S., Fyles, J. W., Giroux, M., y Samson, N. (2001). Secuestro de carbono en sistemas de forrajes perennes. *Cambio climático.*

VII. ANEXOS

Figura 8

Análisis de Suelos INIA



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



INFORME DE ENSAYO
N° 050681-24/SU/ LABSAF - BAÑOS DEL INCA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : BETSY E. PALOMINO INFANTE
 Propietario / Productor : BETSY E. PALOMINO INFANTE
 Dirección del cliente* : JR. ELIAS AGUIRRE N° 231-CAJAMARCA
 Solicitado por : Cliente
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 01 muestras
 Producto declarado : Suelo Agrícola
 Presentación de las muestras(s) : Bolsa de plástico
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente
 Procedencia de muestra(s)* : FDO LA VICTORIA-LLACANORA-CAJAMARCA
 Fecha(s) de muestreo* : 10/05/2024
 Fecha de recepción de muestra(s)* : 10/05/2024
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliarens - LABSAF Baños del Inca
 Fecha(s) de análisis : 27/05/2024
 Cotización del servicio : 167-24-BI
 Fecha de emisión : 29/05/2024

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1						
Código de Laboratorio	SU0577-BI-24						
Matriz Analizada	Suelo						
Fecha de Muestreo*	10/05/2024						
Hora de Inicio de Muestreo (h)*	08:30						
Condición de la muestra	Conservada						
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	Parcela Alfalfa						
Ensayo	Unidad	LC	Resultados				
pH		0,1	7,0				
Acidez intercambiable (**)	(Cmol/Kg)	0,5	--				
Aluminio intercambiable (**)	(Cmol/Kg)	0,5	--				
Carbonatos de Calcio equivalente (**)	%	0,5	1,7				
Materia Orgánica	%	0,1	2,1				
Fósforo disponible (**)	mg/kg	0,5	16,8				
Potasio disponible (**)	mg/kg	0,5	157,0				
Conductividad Eléctrica	mS/m	1,0	4,6				
Análisis de Textura							
Arena (**)	%	--	48				
Arcilla (**)	%	--	36				
Limo (**)	%	--	16				
Clase Textural (**)	---	--	Arcillo Arenoso				
Parámetros hídricos							
Capacidad de campo (**)	%	--	23,74				
Punto de marchitez permanente (**)	%	--	13,30				
Agua disponible (**)	%	--	10,44				
Densidad aparente (**)	g/ml	--	1,35				



Firmado digitalmente por:
CABRERA HOYOS Hector
Antonio FAU 20131305904 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30/05/2024 14:59:52-0500



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

Dirección: Jr. Wiracocha s/n Baños del Inca, Cajamarca – Cajamarca

Página 1 de 4
F-46 / Ver.04
www.inia.gob.pe

Figura 9

Recomendaciones hechas por INIA



RECOMENDACIONES						
Código de Muestra	Cultivo a Instalar	Cantidades de Nutriente Kg/Ha			Cantidades en Tn/Ha	
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CAL	ESTIERCOL
SU0577-BI-24	Mant. Alfalfa	60	80	75	--	3,90
PLAN DE FERTILIZACION QUIMICA						
Primera Fertilización Kg/Ha - Siembra		Programa de Fertilización	Siembra	Aporque		
Urea		N				
Fosfato Diamonico		P ₂ O ₅				
Sulfato de Potasio		K ₂ O				
Segunda Fertilización Kg/Ha - Aporque		Fuente	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Azufre
Urea		Urea				
PLAN DE ABONO ORGANICO						
Abonamiento Kg/Ha - Siembra						
Incorporar Materia Organica Procesada						

COMENTARIOS:

Tabla 13

Datos meteorológicos

MES	MAX	MIN	T° Media	PP
ENERO	19.31	6.83	13.07	66.98
FEBRERO	19.42	8.08	13.75	81.03
MARZO	18.80	7.66	13.23	82.65
ABRIL	18.54	6.41	12.48	59.43
MAYO	18.72	4.68	11.70	45.63
JUNIO	18.26	1.34	9.80	6.23
JULIO	19.02	1.74	10.38	6.20
AGOSTO	19.06	0.88	9.97	4.50
SETIEMBRE	19.22	1.70	10.46	21.15
OCTUBRE	19.00	5.93	12.46	59.10
NOVIEMBRE	18.98	5.48	12.23	51.70
DICIEMBRE	18.59	6.48	12.54	95.95
				580.53

Fuente: estación meteorológica "La victoria" (promedio de 4 años)

Tabla 14*Datos meteorológicos del periodo en estudio (2024)*

MES	T° MAX	T° MIN	T° MEDIA	PP
MAYO	19.71	4.10	11.91	17.30
JUNIO	19.47	2.29	10.88	6.70
JULIO	19.77	- 0.03	9.87	2.80
AGOSTO	21.81	2.86	12.33	—
SETIEMBRE	22.61	4.71	13.66	17.70
OCTUBRE	22.70	8.46	15.58	39.50

Fuente: Estación Meteorológica “La Victoria”

Tabla 15

Datos de MF para la fórmula de Hargreaves

LAT SUR	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	2.788	2.117	2.354	2.197	2.137	1.990	2.091	2.216	2.256	2.358	2.234	2.265
2	2.371	2.136	2.357	2.182	2.108	1.956	2.050	2.194	2.251	2.372	2.263	2.301
3	2.355	2.154	2.36	2.157	2.079	1.922	2.026	2.172	2.246	2.386	2.290	2.337
4	2.385	2.172	2.362	2.151	2.050	1.888	1.993	2.150	2.240	2.396	2.318	2.372
5	2.416	2.189	2.363	2.134	2.020	1.854	1.960	2.126	2.234	2.411	2.345	2.407
6	2.447	2.205	2.363	2.117	1.980	1.820	1.976	2.103	2.226	2.422	2.371	2.442
7	2.478	2.221	2.363	2.099	1.959	1.785	1.893	2.078	2.218	2.433	2.397	2.476
8	2.508	2.237	2.362	2.061	1.927	1.750	1.858	2.054	2.210	2.443	2.423	2.510
9	2.538	2.251	2.360	2.062	1.896	1.715	1.824	2.026	2.201	2.453	2.448	2.544
10	2.567	2.256	2.357	2.043	1.864	1.679	1.789	2.003	2.191	2.462	2.473	2.577
11	2.596	2.279	2.354	2.023	1.832	1.644	1.754	2.976	2.180	2.470	2.497	2.610
12	2.625	2.292	2.35	2.002	1.799	1.608	1.719	2.950	2.169	2.477	2.520	2.643
13	2.652	2.305	2.345	1.961	1.767	1.572	1.684	2.922	2.157	2.484	2.543	2.675
14	2.68	2.317	2.34	1.959	1.733	1.536	1.648	2.895	2.144	2.490	2.566	2.706
15	2.707	2.328	2.334	2.937	1.700	1.500	1.612	2.867	2.131	2.496	2.588	2.738
16	2.734	2.339	2.317	1.914	1.666	1.464	1.576	2.838	2.117	2.500	2.610	2.769
17	2.76	2.349	2.319	1.891	1.632	1.427	1.540	2.809	2.103	2.504	2.631	2.799
18	2.785	2.359	2.311	1.867	2.598	1.391	1.504	2.780	2.088	2.508	2.651	2.830
19	2.811	2.368	2.302	1.843	1.564	1.354	1.467	2.750	2.072	2.510	2.671	2.859

RESULTADOS DEL EXPERIMENTO

Tabla 16

Altura de Tallo de forraje de alfalfa (cm) en el primer corte

Tratamientos Bloques	T1	T2	T3	T4	T5	Total	Promedio
						Bloques	bloques
B1	65	89	92	93	86	425	85
B2	63	87	88	80	85	403	80.6
B3	63	85	86	74	80	388	77.6
Total							
	191.00	261.00	266.00	247.00	251.00	1216	81.07
Tratamientos							
Promedio							
tratamientos	63.67	87.00	88.67	82.33	83.67	81.07	

Tabla 17

Análisis de varianza (ANVA) de altura de tallo del primer corte (evaluación)

Fuente de Variabilidad	GL	SC	CM	F	Ft	
				Calculada	0.05	0.01
Repeticiones	2	138.53	69.27	5.53 *	4.46	8.65
Tratamiento	4	1,212.27	303.07	24.21 **	3.84	7.01
Error experimental	8	100.13	12.52			
Total	14					

** Alta significación, * Media significación

CV = 4.36%

Tabla 18

Altura de Tallo de forraje de alfalfa (cm) en el segundo corte

Bloques \ Tratamientos	Tratamientos					Total Bloques	Promedio bloques
	T1	T2	T3	T4	T5		
B1	64	82	90	80	80	396	79.2
B2	62	79	85	78	78	382	76.4
B3	60	65	82	70	76	353	70.6
Total Tratamientos	186.00	226.00	257.00	228.00	234.00	1,131.00	75.40
Promedio tratamientos	62.00	75.33	85.67	76.00	78.00	75.40	

Tabla 19

Análisis de varianza (ANVA) de altura de tallo del segundo corte (evaluación)

Fuente de Variabilidad	GL	SC	CM	F Calculada	Ft	
					0.05	0.01
Repeticiones	2	192.40	96.20	10.00 **	4.46	8.65
Tratamientos	4	876.27	219.07	22.78 **	3.84	7.01
Error experimental	8	76.93	9.62			
Total	14					

** Alta significación

CV = 4.11 %

Tabla 20

Altura de Tallo de forraje de alfalfa (cm) en el tercer corte

Tratamientos Bloques	T1	T2	T3	T4	T5	Total	Promedio
						Bloques	bloques
B1	65	90	93	86	80	414	138.00
B2	60	84	89	80	85	398	132.67
B3	45	75	88	88	75	371	123.67
Total							
	170.00	249.00	270.00	254.00	240.00	1,183.00	78.87
Tratamientos							
Promedio							
	56.67	83.00	90.00	84.67	80.00	78.87	
tratamientos							

Nota: Se aplicaron 6 riegos según las dosificaciones establecidas.

Tabla 21

Análisis de varianza (ANVA) de altura de tallo del Tercer Corte (evaluación)

Fuente de Variabilidad	GL	SC	CM	F Calculada	Ft	
					0.05	0.01
Repeticiones	2	188.93	94.47	3.14 NS	4.46	8.65
Tratamientos	4	2,006.40	501.60	16.69 **	3.84	7.01
Error experimental	8	240.40	30.05			
Total	14					

** Alta significación

NS No significativo

CV = 6.95

RENDIMIENTO DE ALFALFA EN TM HA⁻¹

Tabla 22

Rendimiento de alfalfa en Tm ha⁻¹ en el primer corte

Tratamientos Bloques	T1	T2	T3	T4	T5	Total	Promedio
						Bloques	bloques
B1	10.325	16.100	17.750	15.250	14.938	74.363	14.873
B2	8.813	15.263	17.000	15.500	14.550	71.125	14.225
B3	8.513	14.525	14.500	13.088	12.400	63.025	12.605
Total							
Tratamientos	27.650	45.888	49.250	43.838	41.888	208.513	13.901
Promedio							
tratamientos	9.217	15.296	16.417	14.613	13.963	13.901	

Tabla 23

Análisis de varianza (ANVA) Rendimiento en TM ha⁻¹ del primer corte (evaluación)

Fuente de Variabilidad	GL	SC	CM	F	Ft	
				Calculada	0.05	0.05
Repeticiones	2	13.64	6.82	21.52 **	4.46	8.65
Tratamiento	4	92.18	23.05	72.70 **	3.84	7.01
Error						
experimental	8	2.54	0.32			
Total	14					

** Alta significación

CV = 4.05 %

Tabla 24

Rendimiento de alfalfa en Tm ha⁻¹ en el segundo corte

Tratamientos Bloques	Tratamientos					Total Bloques	Promedio bloques
	T1	T2	T3	T4	T5		
B1	13.325	17.938	21.500	19.125	17.788	89.675	17.935
B2	10.225	17.500	17.500	14.063	15.875	75.163	15.033
B3	9.300	15.513	17.250	14.750	13.513	70.325	14.065
Total							
Tratamientos	32.85	50.95	56.25	47.94	47.18	235.16	15.68
Promedio							
tratamientos	10.95	16.98	18.75	15.98	15.73	15.68	

Nota: Se realizo el Corte obteniendo los siguientes resultados en Peso Tm ha⁻¹.

Tabla 25

Análisis de varianza (ANVA) Rendimiento en TM ha⁻¹ del segundo corte

Fuente de Variabilidad	GL	SC	CM	F Calculada	Ft	
					0.05	0.01
Repeticiones	2	40.56	20.28	22.24 **	4.46	8.65
Tratamientos	4	100.76	25.19	27.63 **	3.84	7.01
Error						
experimental	8	7.29	0.91			
Total	14					

** Alta significación

CV = 6.09 %

Tabla 26

Rendimiento de alfalfa en Tm ha⁻¹ en el tercer corte

Tratamientos Bloques	Tratamientos					Total Bloques	Promedio bloques
	T1	T2	T3	T4	T5		
B1	9.525	21.000	23.500	21.513	20.900	96.438	32.146
B2	7.975	17.713	18.250	15.725	16.650	76.313	25.438
B3	7.625	17.325	17.550	15.113	15.438	73.050	24.350
Total							
Tratamientos	25.125	56.038	59.300	52.350	52.988	245.800	27.311
Promedio							
tratamientos	8.375	18.679	19.767	17.450	17.663	49.160	

Tabla 27

Análisis de varianza (ANVA) Rendimiento en TM/ha⁻¹ del tercer corte

Fuente de Variabilidad	GL	SC	CM	F Calculada	Ft	
					0.05	0.01
Repeticiones	2	64.18	32.09	29.93**	4.46	8.65
Tratamientos	4	250.88	62.72	58.51 **	3.84	7.01
Error						
experimental	8	8.58	1.07			
Total	14					

** Alta significación

CV = 2.11%

TESTIMONIO FOTOGRAFICO

Figura 10

Estación meteorológica “la Victoria”



Figura 11

Materiales y equipos utilizados



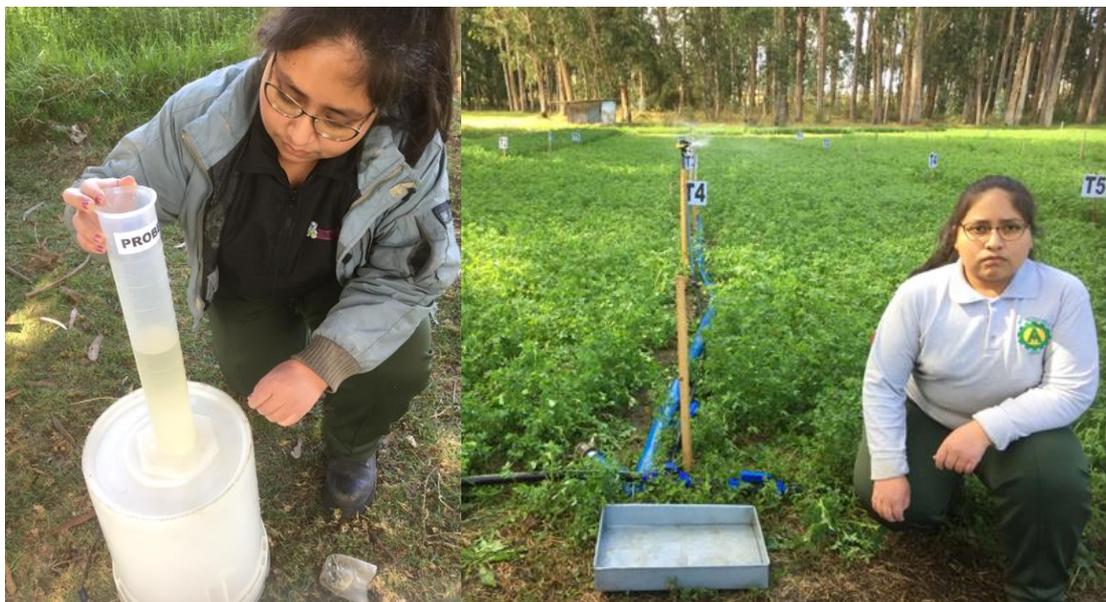
Figura 12*Fertilización***Figura 13***Medición de pluviometría de aspersores*

Figura 14

Proceso de riego

Figura 15

Supervisión de parte de asesor

**Figura 16**

Delimitación de sub parcela para corte



Figura 17

Evaluación de rendimiento en peso de forraje fresco (Kg)

**Figura 18**

Evaluación de altura de tallo de alfalfa el día de corte

