

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**TESIS DE GRADO**

**EFFECTO DE DOS LÁMINAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN SOBRE LA  
PRODUCCIÓN DE ALFALFA (*Medicago sativa L.*), EN DIFERENTES CORTES EN  
LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL PATACAMAYA.**

**PRESENTADO POR:  
WILLIAM RODOLFO SALAZAR ARGANDOÑA**

**La Paz – Bolivia**

**2022**

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EFFECTO DE DOS LÁMINAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN SOBRE LA  
PRODUCCIÓN DE ALFALFA (*Medicago sativa L.*), EN DIFERENTES CORTES EN  
LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL PATACAMAYA.**

*Tesis de Grado presentado como requisito  
parcial para optar el título de  
Ingeniero Agrónomo*

**WILLIAM RODOLFO SALAZAR ARGANDOÑA**

**Asesor:**

Ing. Rolando Céspedes Paredes .....

**Tribunal Examinador:**

Ph D. René Chipana Rivera .....

MSc. Paulino Ruiz Huanca .....

MSc. Genaro Serrano Coronel .....

Presidente tribunal Examinador .....

**LA PAZ – BOLIVIA  
2022**

## **DEDICATORIA**

*A Dios por haberme por guiado el en trayecto del saber y el conocimiento a seguir adelante en el camino de la vida profesional. A mi madre Elsa Argandoña Molina (Q.E.P.D.); que desde el cielo me cuida y quien siempre me brindo su ejemplo y apoyo incondicional en mi formación profesional y a mi padre Raúl Salazar Enríquez quien siempre está junto a mí alentándome en las decisiones que tomo en la vida.*

*A mis hermanos quienes siempre me apoyaron y me mostraron el camino del bien.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirme vivir, seguir caminando, culminar esta investigación y ser el profesional que comienza una nueva etapa.

A la Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía por albergarme en sus aulas, durante mi formación académica.

A la Estación Experimental Patacamaya, por haberme brindado sus ambientes y los insumos logísticos necesarios para la realización del trabajo de investigación.

A la Escuela de Riego de Agronomía (E.R.A), dependiente de la Facultad de Agronomía, por haberme brindado el apoyo incondicional en realizar el presente trabajo de investigación.

A mi asesor Ing. Rolando Céspedes Paredes por el asesoramiento, correcciones sugeridas y consejos vertidos, también por su amistad, apoyo y colaboración desmedida durante la elaboración del trabajo y el documento final de tesis.

Del mismo modo al tribunal revisor compuesto por el Ing. Ph D. Rene Chipana Rivera, Ing. M. Sc. Genaro Serrano Coronel e Ing. M. Sc. Paulino Ruiz Huanca por sus observaciones, recomendaciones y tiempo empleado para la mejora del documento final.

Agradecer al Ing. Adrián Ramos Paye, por el apoyo, guía y sugerencias, en realizar el presente trabajo de investigación.

Y finalmente un agradecimiento especial a mi familia, por todo su amor y cariño brindado, por sus consejos y apoyo incondicional, por darme la oportunidad de tener una profesión.

A todos mis compañeros de la Facultad de Agronomía y la Estación Experimental Patacamaya por haberme brindado su amistad y apoyado en los buenos y malos momentos..... Gracias a todo

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT .....	x
1 INTRODUCCIÓN .....	1
2 OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo general.....	2
2.2 Objetivo específico.....	2
3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1 Origen y distribución de la alfalfa.....	3
3.2 Importancia del cultivo.....	3
3.3 Características botánicas.....	4
3.4 Clasificación taxonómica.....	4
3.5 Desarrollo y crecimiento.....	5
3.6 Aspectos fisiológicos.....	5
3.6.1 Características nutricionales de la alfalfa.....	5
3.7 Variedad de alfalfa.....	6
3.7.1 Ranger .....	7
3.8 Aspectos agronómicos del cultivo .....	7
3.8.1 Época se siembra.....	7
3.8.2 Técnicas de siembra y establecimiento .....	7
3.8.3 Densidad de siembra.....	7
3.9 Suelo.....	8
3.9.1 Fertilidad de los suelos.....	8
3.10 Cosecha.....	8
3.10.1 Frecuencia de corte .....	9
3.10.2 Altura de corte.....	9

3.10.3	Rendimiento.....	9
3.11	Importancia del agua.....	10
3.12	Riego.....	10
3.13	Métodos de riego.....	11
3.13.1	Método de riego por aspersión.....	11
3.13.2	Componentes del método de riego por aspersión .....	11
3.13.3	Aspersores.....	12
3.13.4	Tipo de aspersores .....	13
3.13.5	Pluviometría o precipitación .....	15
3.14	Distribución de agua del aspersor.....	16
3.15	Riego por aspersión en el altiplano.....	17
3.15.1	Ventajas y desventajas .....	17
3.16	Factores edafológicos que afectan al riego por aspersión.....	17
3.17	Factores climáticos que afectan al sistema de riego por aspersión.....	18
3.17.1	Viento.....	18
3.17.2	Evapotranspiración .....	18
3.18	Diseño de riego por aspersión.....	18
3.18.1	Diseño agronómico .....	19
3.18.2	Diseño hidráulico.....	20
3.18.3	Cálculo de pérdidas de carga de tuberías .....	20
3.18.4	Modelo de reparto de agua del aspersor.....	20
3.18.5	Eficiencia de aplicación real del cuarto inferior (EA).....	21
3.18.6	Uniformidad de distribución (UD) .....	21
3.18.7	Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU).....	22
3.19	Relación agua – suelo.....	22
3.20	Balance hídrico.....	23
4	MATERIALES Y MÉTODOS .....	24
4.1	Ubicación geográfica.....	24
4.1.1	Topografía.....	25
4.1.2	Características climáticas .....	25
4.1.3	Temperatura.....	25

4.1.4	Precipitación.....	26
4.1.5	Granizo.....	26
4.1.6	Heladas.....	27
4.1.7	Sequia.....	27
4.1.8	Flora.....	27
4.2	Materiales.....	27
4.2.1	Material biológico.....	27
4.2.2	Material de laboratorio.....	28
4.2.3	Material de campo.....	28
4.2.4	Material de gabinete.....	28
4.3	Metodología.....	28
4.3.1	Procedimiento de campo.....	28
4.3.2	Análisis de suelo.....	28
4.3.3	Diseño experimental.....	29
4.3.4	Modelo aditivo lineal.....	29
4.3.5	Factores de estudio.....	29
4.3.6	Delimitación del área de estudio.....	30
4.3.7	Croquis experimental.....	30
4.3.8	Características del campo experimental.....	31
4.4	Instalación del sistema de riego por aspersión.....	31
4.4.1	Instalación del cabezal.....	31
4.4.2	Instalación del lateral principal.....	32
4.4.3	Instalación del lateral secundario.....	33
4.4.4	Instalación de porta-aspersores.....	33
4.4.5	Prueba de velocidad de infiltración básica.....	34
4.4.6	Balance hídrico del cultivo.....	36
4.4.7	Diseño agronómico.....	36
4.4.8	Aplicación de riego.....	37
4.4.9	Medición de la humedad del suelo.....	37
4.4.10	Requerimiento de agua del cultivo.....	38
4.4.11	Aplicación de la lámina de riego.....	38
4.4.12	Determinación de caudal del aspersor.....	40

4.5	Riego del cultivo.....	41
4.5.1	Programación de riego para el primer corte.....	41
4.5.2	Programación de riego para el segundo corte .....	43
4.6	Variables de respuesta.....	45
4.6.1	Altura de planta (marbeteo) .....	45
4.6.2	Variables de rendimiento.....	47
4.6.3	Desempeño de la evaluación del riego por aspersion.....	48
4.6.4	Análisis de costos de producción.....	49
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
5.1	Lámina aplicada en los dos cortes.....	51
5.2	Efecto de las dos láminas en los cortes.....	51
5.3	Efecto de las dos láminas en el rendimiento.....	56
5.3.1	Rendimiento de materia verde.....	56
5.3.2	Rendimiento de materia seca .....	58
5.4	Principales parámetros de evaluación del riego por aspersion.....	61
5.4.1	Relación entre CU y UD Aspensor Xcel Wobbler .....	62
5.5	Análisis económico de los costos de producción.....	63
5.5.1	Costos fijos y costos variables.....	63
5.5.2	Precio de campo .....	66
5.5.3	Costo total de producción.....	67
5.5.4	Valor bruto de producción por tratamiento.....	67
5.5.5	Relación beneficio costo B/C.....	68
6	CONCLUSIONES .....	69
7	RECOMENDACIONES .....	71
8	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	72



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición bromatológica de las hojas y los tallos de la alfalfa en base a materia seca.....	6
Cuadro 2. Periodo corte y lámina de riego.....	30
Cuadro 3. Descripción del área experimental.....	31
Cuadro 4. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente.....	32
Cuadro 5. Láminas de riego aplicadas en función al tiempo.....	39
Cuadro 6. Láminas de riego.....	50
Cuadro 7. Promedios de altura de corte.....	51
Cuadro 8. Análisis de varianza para la variable altura crecimiento de cortes.....	52
Cuadro 9. Rendimiento de materia verde en dos cortes.....	55
Cuadro 10. Análisis de varianza de rendimiento materia verde.....	56
Cuadro 11. Rendimiento de materia seca por cortes y lámina aplicada.....	58
Cuadro 12. Análisis de varianza del rendimiento de materia seca con dos láminas.....	59
Cuadro 13. Costos fijos de instalación y establecimiento en dos cortes.....	62
Cuadro 14. Costos variables para la implementación del forraje testigo.....	63
Cuadro 15. Costos variables para la implementación del forraje tratamiento 1.....	63
Cuadro 16. Costos variables para la implementación del forraje tratamiento 2.....	69
Cuadro 17. Estructura del precio de campo de alfalfa.....	69
Cuadro 18. Costos totales de producción.....	65
Cuadro 19. Valor bruto de producción.....	65
Cuadro 20. Beneficio costo en la producción de alfalfa en dos cortos por tratamiento.....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la Estación Experimental Patacamaya.....	25
Figura 2. Balance hídrico de la Estación Experimental Patacamaya.....	27
Figura 3. Croquis experimental de la parcela.....	31
Figura 4. Instalación del cabezal.....	32
Figura 5. Instalación del lateral principal.....	33
Figura 6. Instalación de posta-aspersores.....	34
Figura 7. Prueba de infiltración.....	35
Figura 8. Tiempo y velocidad de infiltración básica.....	35
Figura 9. Medición de humedad del suelo.....	38
Figura 10. Medición del caudal.....	41
Figura 11. Características del aspersor Xcel-Wobbler .....	41
Figura 12. Programación de riego primer corte .....	42
Figura 13. Requerimiento de agua del cultivo en base a las fases fenológicas.....	43
Figura 14. Requerimiento de agua del cultivo de alfalfa del primer corte.....	43
Figura 15. Programación de riego segundo corte.....	44
Figura 16. Requerimiento de agua del cultivo en base a las fases fenológicas.....	45
Figura 17. Requerimiento de agua del cultivo de alfalfa del segundo corte .....	45
Figura 18. Marbeteo de plantas.....	46
Figura 19. Registro de altura de planta.....	47
Figura 20. Realizando el corte.....	48
Figura 21. Pesado de materia verde.....	48
Figura 22. Altura de corte.....	51
Figura 23. Prueba de comparación de medias de Duncan periodo de corte.....	52
Figura 24. Prueba de comparación de medias de Duncan tratamiento.....	53
Figura 25. Altura de crecimiento por semanas del primer corte.....	54
Figura 26. Altura de crecimiento por semanas del segundo corte.....	55
Figura 27. Prueba de comparación de medias de Duncan en rendimiento periodo de corte.....	57
Figura 28. Prueba de comparación de medias en el rendimiento de tratamientos.....	58
Figura 29. Prueba de comparación de medias de Duncan en el rendimiento de MS tn/ha por corte.....	59
Figura 30. Prueba de comparación de medias de Duncan en el rendimiento de MS tn/ha en aplicación de lámina de riego.....	60

## ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1. Resultados de altura de planta infostat
- Anexo 2. Resultados de peso de materia verde infostat
- Anexo 3. Resultados de peso de materia seca infostat
- Anexo 4. Balance hídrico
- Anexo 5. Tabla de radiación solar
- Anexo 6. Diseño hidráulico
- Anexo 7. Pluviometría
- Anexo 8. Riego
- Anexo 9. Fotografías

## RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación titulado Efecto de dos láminas de riego por aspersión sobre la producción de Alfalfa (*Medicago sativa* L.), en diferentes cortes en la Estación Experimental Patacamaya, se planteó los objetivos: Determinar el efecto de la aplicación de dos láminas de riego en el crecimiento de la alfalfa en dos cortes, determinar el rendimiento de alfalfa en dos cortes, determinar los costos de producción de forraje de alfalfa.

Para esta investigación se utilizó dos láminas de riego en dos cortes, el primer periodo de corte comprendía de dos horas de riego y cuatro horas de riego con una lámina en función al tiempo de riego utilizado de 161,25 mm y 320,85 mm. El segundo periodo de igual manera se utilizó dos y cuatro horas de riego en función al tiempo con una lámina de 150,05 mm y 299,46 mm, con un testigo de cero lamina.

Las variables de respuesta fueron altura de planta con el efecto de las dos láminas y sin riego, rendimiento de materia verte como también materia seca, y los costos de producción.

El efecto de la lámina aplicada en el crecimiento al corte de la alfalfa, en un primer periodo de corte presentó una altura máxima de 26,35 cm con una primera aplicación de dos horas de riego. La segunda aplicación comprendida con cuatro horas de riego y una altura máxima de 29,65 cm y un testigo de 6,50 cm. En el segundo periodo de corte con una primera aplicación presento una altura máxima de 31,74 cm. La segunda aplicación de cuatro horas logrando una altura máxima de 40,22 cm, un testigo de 13,07 cm.

El efecto en el rendimiento de materia verde, también presentó diferencias altamente significativas con la aplicación de las dos láminas de riego con rendimientos de 26,56 tn/ha MV, en el segundo corte y una lámina aplicada de 299,46 mm de 13,6 tn/ha MV con una lámina aplicada de 150,05mm. En cambio, en el primer corte presentó rendimientos de materia verde de 16,13 tn/ha MV con 320,85 mm y 13,1 tn/ha MV con 161,25 mm.

En cuanto a la materia seca se lograron rendimientos como en el primer corte con la aplicación de la primera lámina con rendimiento de 3,86 tn/ha MS, con la segunda lámina se lograron rendimientos de 4,76 tn/ha MS y un testigo de 0,17 tn/ha MS. En el segundo periodo de corte con una primera lámina se logró un rendimiento de 4,74 tn/ha MS, con la segunda lámina aplicada, rendimientos de 7,83 tn/ha MS y un testigo de 1,02 tn/ha MS.

En los parámetros de evaluación del aspersor Xcel Wobbler de no impacto presenta un coeficiente de uniformidad del primer aspersor de 76,5% la uniformidad de distribución en el cuarto inferior de 63,51% en un marco de riego de 12 x 12 m, esto indica las pérdidas debido a la percolación profunda esta puede ser mayor si un riego es adecuado y aplicado en el área experimental, si se tiene presiones óptimas para un mejor caudal cuyos valores mostraron  $UD > 60\%$  y  $CU > 75\%$  en el aspersor de no impacto Xcel Wobbler que son valores permisibles para la uniformidad de riego.

La relación beneficio costo B/C en la producción de alfalfa, se registraron valores según a los dos tratamientos comprendidos de las dos láminas de riego, logrando un beneficio costo para la primera lámina de 0,90 lo cual, a pesar de registrar una mayor producción de materia seca en relación al testigo, muestra rendimientos bajos. Por otra parte, en relación al tratamiento, que es la segunda lámina aplicada muestra un valor de B/C de 1,35.

## ABSTRACT

The following research work entitled Effect of two sprinkler irrigation sheets on the production of Alfalfa (*Medicago sativa* L.), In different cuts in the Patacamaya Experimental Station, the objectives were set: To determine the effect of the application of two sheets of irrigation in the growth of alfalfa in two cuts, determine the yield of alfalfa in two cuts, determine the costs of production of alfalfa forage.

For this research, two irrigation sheets were used in two cuts, the first cutting period comprised two irrigation and four hours of irrigation with a sheet depending on the irrigation time used of 161,25 mm and 320,85 mm. In the second period, in the same way, two and 4 hours of irrigation were used as a function of time with a sheet of 150,50 mm and 299,46 mm, with a control of 0 sheet.

The response variables were plant height with the effect of the two sheets and without irrigation, yield of green matter as well as dry matter, and production costs.

The effect of the sheet applied on the growth when cutting the alfalfa, in a first cutting period presented a maximum height of 26,35 cm with a first application of two hours of irrigation. The second application comprised 4 hours of watering and a maximum height of 29,65 cm. And a 6,50 cm witness. In the second cutting period with a first application, I have a maximum height of 31,74 cm. The second application of four others achieving a maximum height of 40,22 cm., And a control of 13,07 cm.

The effect on the yield of green matter also showed highly significant differences with the application of the two irrigation sheets with yields of 26,56 tn/ha MV, in the second cut and an applied sheet of 299,46 mm., And 13,6 tn/ha MV. with an applied sheet of 150,50 mm. On the other hand, in the first cut I presented green matter yields of 16,13 tn/ha MV with 320,85 mm and 13,1 tn/ha MV with 161,25 mm.

Regarding dry matter, yields were achieved as in the first cut with the application of the first sheet with a yield of 3,86 tn / ha MS, with the second sheet yields of 4,76 tn/ha MS and a control were achieved 0,17 tn/ha MS. In the second cutting period with a first sheet a yield of 4,74 tn/ha MS was achieved, with the second sheet applied, yields of 7,83 tn/ha MS and a control of 1,02 tn/ha MS.

In the evaluation parameters of the non-impact Xcel Wobbler sprinkler, it presents a coefficient of uniformity of the first sprinkler of 76,5%, the uniformity of distribution in the lower quarter of 63,51% in an irrigation frame of 12 x 12 m, this indicates the losses due to deep percolation, this can be greater if an irrigation is adequate and applied in the experimental area, if there are optimal pressures for a better flow, its values showed  $UD > 60\%$  and  $CU > 75\%$  in the sprinkler of no Xcel Wobbler impact which are allowable values for irrigation uniformity.

The cost benefit ratio B / C in the production of alfalfa, values were registered according to the two treatments comprised of the two irrigation sheets, achieving a cost benefit for the first sheet of 0,90 which despite registering a higher production of dry matter in relation to the control, shows low yields. On the other hand, in relation to the treatment, which is the second applied sheet, it shows a B / C value of 1,35.

## 1 INTRODUCCIÓN

El altiplano boliviano se caracteriza por su clima agreste y frígido, hoy en día ya no es la región tradicional donde únicamente se cultivan tubérculos, granos y otros de origen andino; los últimos años han sido testigo de su transformación para convertirse de aquella agricultura andina a otra como es la actividad ganadera el cual dió lugar al cultivo de especies forrajeras (Calderón, 2004).

La alfalfa es una leguminosa forrajera que se adapta a una gran diversidad de situaciones climáticas, como a la tolerancia a sequías, tolerancia a temperaturas bajas, la rapidez en el rebrote; además, es una especie perenne y tiene la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico (Torrez, 2010). La producción de forraje de buena calidad en el altiplano es limitada, debido al minifundio de tierras, la baja fertilidad de los suelos, bajo contenido de materia orgánica, poca capacidad de retención de la humedad en el suelo.

La Alfalfa considerada como la reina de las plantas forrajeras por su excelente calidad nutricional, rendimiento, y palatabilidad, se adapta a amplio rango de diferentes condiciones climáticas y de suelo (Rodríguez, 1991).

El riego tiene un papel fundamental en la agricultura y constituye un factor clave para mejorar la alimentación pecuaria y permitir la introducción de tecnología para lograr mayor productividad forrajera. Para un buen desempeño del método de riego por aspersión es necesario realizar un control de la eficiencia de riego y la distribución espacial de la lámina del agua en la parcela. La dirección de la velocidad del viento es una de las principales características que influyen en la distribución de la lámina del agua en la parcela.

El riego como uno de los factores más importantes para mejorar la producción forrajera de la región, por lo que en la presente investigación se busca establecer una lámina de riego fraccionada por el método de aspersión en función al tiempo de riego que aporte al suelo una humedad uniforme.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

- Determinar el efecto de dos láminas de riego en la producción de alfalfa (*Medicago sativa L.*), en diferentes cortes mediante el método por aspersion en la Estación Experimental Patacamaya.

### **2.2 Objetivo específico**

- Evaluar el efecto de la aplicación de dos láminas de riego en el crecimiento de la alfalfa en dos cortes.
- Cuantificar el rendimiento de alfalfa en dos cortes.
- Evaluar el desempeño del riego por aspersion en el forraje de alfalfa
- Evaluar los costos de producción de forraje de alfalfa.

### **3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Origen y distribución de la alfalfa**

Pozo (1983), citado por Torrez (2010), indica que el área de origen de la alfalfa es Asia Menor y Sur del Caucazo, luego se difunde abarcando la zona de Turquía, Siria, Irak, Irán, Afganistán y parte occidental de Pakistán.

La llegada de la alfalfa a nuestro continente fue por el año 1519, por la ruta del pacifico donde fue trasladada a Perú y Chile, desde estos países llegaron por vía terrestre a nuestro país (D´Atellis, 2005). El mismo autor menciona que la alfalfa es considerada como la reina de las forrajeras y es indiscutible desde el punto de vista universal, también es considerada como un componente fundamental en el campo de la ganadería para la alimentación.

Según Muslera (1983), la alfalfa se cultiva en gran diversidad de medios, desde el ártico hasta el trópico de ambos hemisferios por estos existen numerosos ecotipos espontáneos y/o variedades adaptadas a las más diversas condiciones de clima, suelo y explotación; las alfalfas cultivadas tienen su origen en dos especies con características diferidas y diferentes como la *Medicago sativa* y *Medicago falcata*.

#### **3.2 Importancia del cultivo**

Sánchez (2004), menciona que la alfalfa tiene un amplio rango de adaptación a los diversos tipos de suelos y condiciones climáticas. Su alto contenido de proteínas, minerales y vitaminas, le cualifican como una excelente especie forrajera, para la alimentación del ganado.

Muslera (1983), indica que la alfalfa desempeña un papel muy importante entre los cultivos por el suministro de nitrógeno, que puede conseguir directamente del aire, además siendo el cultivo que produce más nitrógeno por hectárea y de gran calidad por el alto valor de sus aminoácidos esenciales para la nutrición animal y humana.

Alexander (1980), menciona que la fijación del nitrógeno atmosférico por las leguminosas suficientemente noduladas es apreciable, bajo condiciones óptimas y puede llegar a fijar la alfalfa entre 125 a 225 Kg de N<sub>2</sub> /ha/año.

Por su parte, Sánchez (2004) citado por Tazola (2007) menciona que la alfalfa es una fuente natural de importancia en la nutrición animal, asimismo su producción mejora las condiciones físico-químico del suelo para una rotación de cultivos.

### **3.3 Características botánicas**

La alfalfa (*Medicago sativa* L.), es una leguminosa perenne de origen asiático, vivas y de porte erecto, de raíz pivotante muy desarrollada con numerosas raíces secundarias posee una corona de donde emergen brotes, que dan origen a los tallos erguidos y consistente que soportan el follaje. Las hojas son de borde aserrada con inflorescencias en racimos de color azul o púrpura que nacen en las axilas de las hojas. El fruto es una legumbre indehisciente que contiene de 2 a 6 semillas arriñonadas (Sánchez, 2004).

Meneses et al. (1996), describen a la alfalfa como una leguminosa forrajera perenne, de crecimiento erecto, en la mayoría de los casos con abundantes hojas trifoliadas de ubicación alterna en el tallo, las raíces son abundantes y profundas, constan de una raíz principal robusta, los tallos son erectos, y algunos se presentan de forma postrado, de hojas compuestas imparipinadas, las flores son pequeñas localizadas en racimos axilares, su fruto es de forma de vaina curvada, lleva en su interior a las semillas de forma arriñonada y cada vaina contiene de 3 a 7 semillas.

### **3.4 Clasificación taxonómica**

De acuerdo a la clasificación taxonómica realizada por Rojas (2000), la alfalfa se clasifica en:

**División:** Angiospermas  
**Clase:** Dicotiledónea  
**Orden:** Rosales  
**Familia:** Leguminosae  
**Sub Familia:** Papilionaceae  
**Género:** *Medicago*  
**Especie:** *Sativa*  
**Nombre común:** Alfalfa

Fuente: Rojas (2000).

### **3.5 Desarrollo y crecimiento**

Según Muslera y Ratera (1991), mencionan que el crecimiento de la planta de alfalfa se inicia con la germinación de la semilla o aparición de la plántula, va seguido del rebrote que empieza de la corona de la planta, esto cuando se trata de una pradera establecida; en esta fase de desarrollo, la planta se mantiene con las reservas acumuladas en la raíz.

El mismo autor señala que durante la fase de crecimiento las partes verdes asimilan hidratos de carbono que permiten el crecimiento de las raíces, tallos, hojas además de acumular las reservas de la planta, donde depende de la temperatura, radiación solar, duración del día y humedad del suelo principalmente.

La fase de floración corresponde al inicio de la etapa reproductivo, donde aparecen los botones florales; por último, la fase de fructificación que comienza con la fecundación y finaliza con la maduración de la semilla. (Muslera y Ratera 1991).

### **3.6 Aspectos fisiológicos**

De acuerdo a Meneses (1996), la fisiología de la alfalfa tiene la importancia en la rapidez y en la facilidad del rebrote después de cada corte donde se toman tres factores determinantes:

1. La reserva de los carbohidratos: que resulta de la máxima acumulación de los carbohidratos en la raíz; donde, se asegura el rebrote vigoroso.
2. Los puntos de crecimiento o yemas: la parte de la corona es importante ya que estos producen nuevos tallos y hojas.

Área foliar residual: está influenciado por el follaje que pertenece después del corte o pastoreo.

#### **3.6.1 Características nutricionales de la alfalfa**

La alfalfa es una especie forrajera que contiene altos niveles de proteínas, vitaminas y energía, contiene minerales importantes como el calcio, fósforo, azufre, potasio, magnesio y como también contiene elevados niveles de carotenos, los cuales según

Sánchez (2004), son esenciales en la producción de bovinos. En el siguiente cuadro se presente la composición bromatológica de la alfalfa.

Cuadro 4. Composición bromatológica de las hojas y los tallos de la alfalfa en base a materia seca

Componente Nutritivo	Hojas (%)	Tallos (%)	Promedio (%)
Proteína Bruta	24	10,7	17,35
Grasa Bruta	3,1	1,3	2,2
Extracto nitrogenado no	45,8	37,3	41,55
Fibra bruta	16,4	44,4	30,40
Cenizas	10,7	6,3	8,50
Componente Nutritivo	Hojas (%)	Tallos (%)	Promedio (%)
Proteína Bruta	24	10,7	17,35
Grasa Bruta	3,1	1,3	2,2
Extracto nitrogenado no	45,8	37,3	41,55
Fibra bruta	16,4	44,4	30,40
Cenizas	10,7	6,3	8,50

Fuente: Sánchez, (2004)

Meneses (1991), argumenta que la calidad del forraje de la alfalfa disminuye al avanzar la madurez, el valor nutritivo es esencialmente importante cuando se destina a animales en producción de leche o de carne; por ser el objetivo del manejo y conseguir un forraje de buena digestibilidad y de alto contenido proteínico.

### 3.7 Variedad de alfalfa

Según CIPCA (2001), citado por Torres, (2010), indica que las variedades de alfalfa están clasificadas en variedades precoces y tardías.

a) Precoces: se tiene a Moapa y Africana estas variedades son de establecimiento rápido, teniendo la desventaja que son de persistencia corta, es cultivada mayormente en los valles interandinos.

b) Tardías: se tiene a la Ranger americano, Bolivia 2000, Rivera, y otros, su establecimiento es lento pero de buena persistencia sobre todo en el altiplano.

### **3.7.1 Ranger**

La Ranger es una variedad mejorada en los Estados Unidos se adapta mejor en los valles altos del Perú, donde se caracteriza por su buena resistencia a las condiciones adversas, se adapta óptimamente en alturas de 3500 a 4100 m.s.n.m, tolera suelos con pH de 6.5 a 7.5, se recomienda utilizar una densidad de 25 a 30 Kg/ Ha. (<http://www.semilleriamanrique.com/forraje.htm> /Junio/2020).

## **3.8 Aspectos agronómicos del cultivo**

### **3.8.1 Época se siembra**

IBTA (1987), considera que las bajas temperaturas del invierno en el altiplano, las siembras se deben realizar al comienzo de la época lluviosa máximo hasta el treinta de diciembre. Por su parte Huayta y Cabrera (1997), señalan que en zonas altas sin riego se debe sembrar la primera quincena de enero.

### **3.8.2 Técnicas de siembra y establecimiento**

Según Migliorini, citado por Torrez (2010), recomienda que la siembra debe utilizarse previo a un roturado profundo del suelo de 40 a 50 cm.; donde las labores de rastrillado, nivelado y aplanamiento son primordiales para un buen establecimiento de las plántulas.

Delgadillo y Mendieta (1996), mencionan que la profundidad óptima de siembra es uno de los factores importantes para tener éxito en el establecimiento de la alfalfa, por su pequeño tamaño las semillas deben ser sembradas a profundidades entre 0.5 a 3 cm, mismas que se realizan al voleo o en surcos.

### **3.8.3 Densidad de siembra**

Según Meneses (1996), la cantidad de semilla de alfalfa a utilizarse depende de la calidad de la semilla, preparación del terreno, condiciones de humedad y temperatura, técnicas de siembra, formas de aprovechamiento del cultivo y la época de siembra. Sin embargo, sugiere utilizar de 10 – 15 kg/ha en caso de realizarse corte y 15 a 20 kg/ha para pastoreo con ganado. Por su parte, Aitken (1987) indica que se debe utilizar

de 10 a 15 kilogramos de semilla por hectárea, sea esta al voleo o en línea dependiendo de las distancias de los surcos y del poder germinativo de la semilla.

### **3.9 Suelo**

Aitken (1987), menciona que para obtener una buena producción forrajera y sea prospera es mejor tener suelos profundos, ricos en materia orgánica con un pH de 7,5 a 8, ricos en calcio y suelos sueltos.

Según Meneses (1996), indica que la alfalfa requiere suelos profundos, permeables, de textura franca o franco arenoso, con subsuelo permeables, de buena fertilidad, pH cercano al neutro y con buena disponibilidad de humedad. No se desarrolla en suelos con pH inferior a 5.6 debido a las limitaciones que la acidez provoca a la supervivencia y multiplicación de las bacterias (*Rhizobium meliloti*), que son específicas para la fijación del nitrógeno en simbiosis con las leguminosas.

#### **3.9.1 Fertilidad de los suelos**

Graetz (1995), un suelo es fértil si contiene y suministra a las raíces cantidades adecuadas de nutrientes, agua y aire para que el cultivo crezca y produzca bien. Un suelo fértil tiene una estructura y profundidad adecuada para proporcionar un ambiente favorable al desarrollo de las plantas.

Según Hartmann (1990), indica que el suelo es un medio de cultivo que debe tener la capacidad de cumplir con todos los requerimientos físicos – químicos de los diferentes cultivos, la estructura del suelo debe ser suficientemente buena, para facilitar el crecimiento del sistema radicular de las plantas.

### **3.10 Cosecha**

Condori (1998) citado por Morales, (2016), explica que el corte se realiza cuando las plantas alcanzan un 10% de floración, pero es evidente que la alfalfa difícilmente florece a los 3600 m.s.n.m. por esta razón, el corte se debe realizar observando el rebrote basal que debe estar entre los 4 a 5 cm de altura.

Prieto (2004), señala que una vez que la alfalfa ha sido establecido, se procede a cosechar cuando la población de plantas presenta entre 10 y 15% de floración, en caso

de no presentarse la floración se debe verificar que en la corona presenta brotes en un 5%, esto puede variar por las condiciones de clima, riegos aplicados y al tipo de suelo.

### **3.10.1 Frecuencia de corte**

La frecuencia del corte varía según el manejo de la cosecha, siendo un criterio muy importante junto con la fecha del último corte para la determinación del rendimiento y de la persistencia del alfalfar.

Los cortes frecuentes implican un agotamiento de la alfalfa y como consecuencia una reducción en su rendimiento y densidad. Cuanto más avanzado es el estado vegetativo de la planta en el momento de defoliación, más rápido tiene lugar el rebrote del crecimiento siguiente, en las regiones cálidas la alfalfa se corta con el 10% de floración en otoño, en primavera y a principios de verano, y con el 25-50% de floración durante el verano. El rebrote depende del nivel de reservas reduciéndose éstas cuando los cortes son frecuentes (Infoagro, 2018).

### **3.10.2 Altura de corte**

El rebrote no depende solamente de las reservas de carbohidratos de la raíz sino también de la parte aérea residual. La alfalfa cortada alta deja en la planta tallos ramificados y yemas que permiten el rebrote continuado. La altura de corte resulta un factor crítico si se corta frecuentemente en estados tempranos de crecimiento, pues implica una reducción en el rendimiento y una disminución de la densidad de plantas del alfalfar a causa de las insuficientes reservas acumuladas en los órganos de almacenamiento, la máxima producción se obtiene con menores alturas de corte y cortadas a intervalos largos (Infoagro, 2018).

### **3.10.3 Rendimiento**

Meneses, et. al. (1999), citado por Morales (2016), menciona que la alfalfa es una de las más productivas de la zona andina del país, en cuanto a la materia seca la alfalfa tiene variaciones bastante altas en el altiplano siendo de 1 a 8 tn/ha; al respecto, Crowder (1960) indica, bajo condiciones óptimas de fertilidad del suelo y en buenas



condiciones de humedad, la producción de forraje es excelente donde se han llegado a cosechar 25 tn/ha de forraje seco en un año en los valles. Durante periodos prolongados de sequía y la falta de irrigación el crecimiento puede suspenderse.

CIPCA (2001) los rendimientos de alfalfa pueden llegar a obtenerse entre 5,5 – 15 tn/ha de materia seca en el altiplano, todo dependiendo de la humedad del suelo y riego puede llegar a producir entre uno a tres cortes por año.

Por otra parte, según Mendoza (2004), citado por Tazola (2007), destaca que la producción de alfalfa bajo riego por aspersión en el altiplano norte incremento de 3,97 a 8,38 TM, MS/ha, con una lámina igual a la evapotranspiración.

De igual manera según Céspedes (1992), citado por Tazola (2007), sostiene que la alfalfa requiere de 330 a 600 litros de agua para transformar 1,0 Kg de MS.

### **3.11 Importancia del agua**

Según la FAO (2008) en el siglo XXI la explotación del agua dulce duplicó con creces la tasa del crecimiento demográfico. Actualmente se extraen alrededor de 3839 km<sup>3</sup> de agua para consumo humano, de lo cual el sector agrícola se lleva la parte del león: un 70 %. Pero la sed de la agricultura no es sostenible a largo plazo. Ante la intensa competencia de los usuarios urbanos e industriales, y la realidad cada vez más evidente de que el consumo humano de agua está poniendo en peligro la eficacia de los ecosistemas de la tierra, el sector debe incrementar considerablemente el volumen de producción por unidad de agua utilizada.

### **3.12 Riego**

Chipana (2003) indica que el riego es una tentativa del hombre de alternar el ciclo hidrológico a nivel local y promover el incremento de la producción agrícola. En otras palabras, el riego es el suministro oportuno de la cantidad de agua a los cultivos de tal manera que estos no sufran disminución en sus rendimientos y sin causar daños al medio ambiente.

### **3.13 Métodos de riego**

Castañón (2000), citado por Callisaya (2018), plantea que existen diferentes métodos de riego entre los más empleados se tienen: riego por gravedad, aspersión y localizado. Según Pereira (2004), los métodos de riego pueden clasificarse del siguiente modo:

- Riego de superficie, o por gravedad
- Riego por aspersión
- Riego localizado, o microriego
- Riego subterráneo

#### **3.13.1 Método de riego por aspersión**

Chipana R. (2003), citado por Baltazar (2014), sostiene que el riego por aspersión es el método de riego por el cual el agua es distribuida bajo la forma de gotas de agua (bajo una presión adecuada), imitando a la lluvia por medio de los aspersores, a través del fraccionamiento del chorro en un gran número de gotas esparcidas en el aire. Este fraccionamiento es debido al flujo de agua bajo presión, a través de pequeños orificios o boquillas.

El riego por aspersión es la lluvia artificial que se produce al pulverizarse el agua que descarga desde conductos a presión. El agua es asperjada a la atmósfera exterior a través de emisores que pueden consistir en boquillas de desagüe dispuestas en un mecanismo aspersor que constituye el último elemento del sistema de distribución. Conviene que la distribución del agua sobre la superficie del suelo sea uniforme y que no deriven daños estructurales a causa del impacto de las gotas o por encharcamiento.

#### **3.13.2 Componentes del método de riego por aspersión**

Pereira (2004), señala que existen muchas variantes tecnológicas de sistemas de riego por aspersión, lo que permite su adaptación a una gran variedad de condiciones socioeconómicas y de características de suelo y de cultivos. Sin embargo, todos los sistemas tienen común los siguientes componentes básicos:

- ✓ **Bomba**, accionada por un motor de combustión o eléctrico, que tiene la función de elevar el agua a partir de su origen, una balsa, un pozo o un río, alimenta el sistema de riego con la presión necesaria para el funcionamiento de los aspersores.
- ✓ **Tuberías**, la tubería principal conduce el agua desde la bomba a las tuberías secundarias, y de éstas a los ramales. En la mayoría de los casos, la tubería principal es fija, instalada sobre el suelo generalmente enterrada. En otros casos es desplazable, pudiendo ser trasladada de parcela a parcela. Las tuberías fijas pueden ser de acero galvanizado, de fibrocemento o de plástico de alta densidad. Las tuberías móviles son de aluminio ligero o de plástico, para que sean fácilmente transportables de un lugar a otro.
- ✓ **Los ramales, o laterales**, que son las tuberías donde se montan los aspersores, pueden ser fijos (en este caso, van generalmente enterrados), desplazables o móviles.
- ✓ **Aspersores**, que son los dispositivos que aplican el agua sobre el suelo y los cultivos en forma de gotas pequeñas, imitando la lluvia, y que constituyen los elementos principales en el diseño de los sistemas de riego y en la calidad de su funcionamiento.

El sistema de riego por aspersión según Sánchez (2005), está conformado por: caseta de bombeo, tuberías, aspersores, accesorios (válvulas, filtros, llaves de paso, reducciones, coplas, manómetros y sistemas de control manual o automatizado).

### **3.13.3 Aspersores**

Los aspersores son los elementos de la instalación de riego por aspersión encargados de distribuir el agua en forma de lluvia sobre la superficie del suelo. Son elementos provistos de una o más boquillas montadas sobre un cuerpo central, por las que sale el agua a presión. El movimiento giratorio del aspersor es provocado por la presión del agua que, al salir, se dispersa en forma de gotas mojando una superficie más o menos circular, cuyo alcance depende de la presión del agua y del tipo de aspersor. La distribución del agua sobre la superficie regada por un aspersor no es uniforme, por lo que para conseguir la mayor uniformidad posible han de disponerse los aspersores

lo suficientemente próximos entre sí de tal forma que se produzca un solape entre ellos (Fernández, *et al*, 2010, citado por Baltazar 2014).

Jiménez y Delgadillo (2006), señalan que un aspersor es un emisor que gira sobre su eje vertical repartiendo el agua en una superficie circular desde una tubería a presión. Los aspersores pueden tener una o más boquillas cuyos ejes forman un ángulo desde 10° a 30° con la horizontal.

#### **3.13.4 Tipo de aspersores**

El mercado oferta una variedad de aspersores, entre los cuales se encuentran los aspersores rotatorios, como los más utilizados para el riego, sin embargo, entre estos también se distinguen diferentes modelos y características en base a sus especificaciones técnicas de funcionamiento. Entre las principales características hidráulicas se tiene: la presión de trabajo, el caudal de servicio, el radio de alcance del chorro y el diámetro de las boquillas bajo determinado ángulo de elevación (Serrano, 2012).

INIA-CARILLANCA (2001), señala que las características más relevantes de los aspersores son:

##### **a) El caudal de un aspersor**

Va a estar determinado por el diámetro de las boquillas y con la presión de funcionamiento. Por ejemplo, un aspersor diseñado para entregar un caudal de 1,200 l/h a una presión de 2 kg cm<sup>2</sup>, es decir 2 bares, botará menos caudal cuando la presión disminuye y más cuando la presión aumenta.

##### **b) El alcance de un aspersor.**

Que determina el radio de mojadura, depende del ángulo de inclinación de la boquilla y de la presión de funcionamiento. El valor máximo del radio de mojadura se obtiene con un ángulo de inclinación de 45°, el cual debe ser seleccionado si el viento no es importante. Sin embargo, bajo condiciones de viento, deben seleccionarse aspersores de bajo ángulo, siendo los más recomendados aquellos aspersores con ángulos de ataque entre 25 y 27°.

La distribución en el suelo del agua aplicada por cada aspersor no es uniforme, si no que varía a lo largo del alcance del aspersor. Por lo general, la zona próxima al aspersor recibe más agua, decreciendo conforme aumenta la distancia al aspersor. Para lograr una mayor uniformidad de reparto en el sistema es preciso solapar una parte de las áreas regadas por aspersores consecutivos. En cuanto a la separación de aspersores con relación al radio de alcance del chorro hay diversas recomendaciones dadas por distintos autores, que varían sensiblemente de unos a otros para un mismo marco de riego

### **c) Pulverización**

Este parámetro depende del diámetro de la boquilla y de la presión de funcionamiento. Para un determinado diámetro de boquilla, el tamaño de las gotas es mayor cuando la presión de funcionamiento es menor. Para una determinada presión de funcionamiento, el tamaño de las gotas es mayor al aumentar el diámetro de la boquilla.

#### **3.13.4.1 Características del aspersor**

Jiménez y Delgadillo (2006), señalan que en general, los diferentes tipos de aspersores pueden agruparse de acuerdo a las siguientes características:

#### **3.13.4.2 Según su velocidad de giro**

Para una misma presión los de giro lento consiguen mayor alcance que los de giro rápido, permitiendo espaciar más los aspersores.

a) De giro rápido: Mayor a 6 vueltas de uso en jardinería y viveros.

b) De giro lento: de 0,25 a 3 vueltas de uso general en agricultura

#### **3.13.4.3 Según el mecanismo de giro**

a) De reacción: la inclinación del orificio de salida origina un par, que mueve el conjunto.

b) De turbina: el chorro incide sobre una turbina que origina el giro.

c) De impacto: el chorro incide sobre un brazo con un muelle, que hace girar el aspersor de forma intermitente. Una vez que el brazo es desplazado, éste recupera su posición por la acción de un resorte o un contrapeso. En cada golpe, el aspersor gira un ángulo comprendido entre 3 y 5 grados.

#### **3.13.4.4 Según la presión de trabajo**

Según el INIA-CARILLANCA (2001), los aspersores se clasifican de acuerdo a la presión de trabajo:

- a) Baja presión: funcionan con presiones inferiores a 20 metros de columna de agua (m.c.a). Utilizan caudales inferiores a 0,3 l/s y su radio de mojadura es menor a 9 metros
- b) Media presión: funcionan con presiones comprendidas entre 20 y 45 m.c.a. Los caudales utilizados con estos aspersores varían entre 0,3 y 1,5 l/s y su radio de mojadura fluctúa entre 10 y 20 metros. Producen un riego uniforme y son utilizados en una gran variedad de suelos y cultivos.
- c) Alta presión: funcionan con presiones superiores a 45 m.c.a. y arrojan un caudal superior a 1,5 l/s con radios de mojadura entre 30 y 75 metros.

#### **3.13.5 Pluviometría o precipitación**

Expresa la intensidad del riego por aspersión y se mide por la altura de la lámina de agua recibida en el terreno en un tiempo determinado. Normalmente se expresa en mm/h. Como criterio de diseño, la pluviometría de un aspersor debería ser igual o ligeramente inferior a la velocidad de infiltración básica del suelo para evitar escurrimiento.

La Universidad de Sevilla (2008), señala que la pluviometría es el parámetro que más frecuentemente se utiliza para definir la intensidad de lluvia proporcionada. Por otro lado, de igual manera señala que un aspersor individual no arroja la precipitación de modo uniforme, por lo que se debe considerar un marco de aspersores (marco de riego) y considerar un traslape entre los aspersores.

### **3.14 Distribución de agua del aspersor**

El área o la superficie regada por aspersión están aumentando de forma importante en los últimos años. Aunque se trata de un sistema de riego de una alta eficiencia potencial, muestra una gran sensibilidad a variables de diseño, ambientales y de manejo. Los principales problemas del riego por aspersión se derivan de una inadecuada combinación de aspersor, boquillas y marco del efecto del viento y de presiones de funcionamiento fuera del rango óptimo. Como consecuencia, la uniformidad de aplicación del riego puede disminuir de forma importante y las pérdidas por evaporación y arrastre pueden alcanzar valores demasiado altos, lo cual aumenta la variabilidad espacial del rendimiento del cultivo y disminuye la eficiencia en el uso del agua. La uniformidad del riego indica el grado de igualdad de dosis recibida por los diferentes puntos de la parcela. La eficiencia de riego se suele entender como el porcentaje de agua bruta aplicada que es aprovechada para satisfacer las necesidades del cultivo y las de lavado (Ruly, 2008).

Según el USDA (1970), el método de riego por aspersión es aquel donde el agua es aplicada sobre la superficie foliar de modo parecido a la lluvia, la aspersión se obtiene al impulsar el agua a una determinada presión a través de pequeños orificios o boquillas.

Chipana (2003), define al riego por aspersión como el método en el cual el agua es distribuida bajo la forma de gotas de agua (bajo una presión adecuada), imitando a la lluvia por medio de los aspersores, a través del fraccionamiento del chorro en un gran número de gotas esparcidas en el aire. Este fraccionamiento es debido al flujo de agua bajo presión, a través de pequeños orificios o boquillas.

El sistema de riego por aspersión comúnmente libera agua al suelo a una menor frecuencia que el sistema de riego por superficie, así la pérdida por escorrentía y la erosión pueden ser minimizadas o eliminadas. También un buen diseño entrega agua a los cultivos con mayor uniformidad de distribución que el riego por superficie (James, 1982).

### 3.15 Riego por aspersión en el altiplano

Para el VRHR- PROAGRO (2013), la mayor parte de la agricultura regada en Bolivia (97%) utiliza el riego por inundación/gravedad que es el total de 294.481,00 ha; sin embargo, en los últimos años se vienen introduciendo métodos tecnificados como aspersión y goteo, llegando a cerca de nueve mil hectáreas que representan el 3% del área regada (8782 y 658 ha respectivamente). Del área de riego tecnificado reportada, la mayor parte se ubica en los llanos orientales con cultivos extensivos (industriales) y en menor proporción en los valles donde el riego se destina al cultivo de hortalizas, frutales y producción de flores. El sistema de riego por goteo es todavía incipiente.

#### 3.15.1 Ventajas y desventajas

##### a. Ventajas

- ✓ Se adecua mejor a cualquier tipo de topografía, cultivo y suelo.
- ✓ Duplica el área a regar.
- ✓ Se optimiza el agua a través de un riego uniforme.
- ✓ Reduce las labores de nivelación del suelo.
- ✓ Las diferencias de niveles topográficos generan presión sin costo alguno
- ✓ Disminuye el efecto de las heladas.
- ✓ Se pueden aplicar fertilizantes solubles (fertirrigación).
- ✓ Crea un microclima que favorece el desarrollo de los pastos.

##### b. Desventajas

- ✓ Alto costo de instalación inicial.
- ✓ Exige agua limpia, libre de sedimentos y libre de contenido de sales.
- ✓ Los vientos fuertes afectan a la distribución del agua.
- ✓ El impacto de las gotas de agua puede dañar algunos pastos tiernos.

### 3.16 Factores edafológicos que afectan al riego por aspersión

- ✓ **Propiedades físicas del suelo**, la textura define del agua en el suelo, el cual se mide a través de los coeficientes hídricos con son: la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP), los cuales además permiten



estimar la cantidad de agua que puede ser retenido en el perfil de un determinado suelo (Chilon, 1996).

- ✓ **Propiedades químicas del suelo**, el mayor contenido de  $\text{Na}^+$  con relación al  $\text{Ca}^{2+}$  en el suelo, reduce la velocidad de infiltración del agua, debido a la disgregación de las partículas del suelo por la acción del  $\text{Na}^+$ ; esta dispersión de las partículas del suelo (Fuentes, 1998).

La salinidad del suelo puede expresarse como la cantidad de sales disueltas en un volumen de solución (g/l) y por valores de conductividad eléctrica (Pizarro, 1997 citado por Vargas R. 2019).

### **3.17 Factores climáticos que afectan al sistema de riego por aspersión**

#### **3.17.1 Viento**

Las velocidades de viento alrededor de 3,5 m/s que suelen registrarse en el Altiplano Norte, deforman el área de mojado del suelo cuando se riega por el método por aspersión, originando un humedecimiento disperejo del área regado (Mendoza, 2004).

Para Gurovich (1985), las velocidades del viento superiores a 4,2 o 5,5 m/s hacen poco recomendables el uso de riego por aspersión; por lo que recomienda disponer la línea lateral, en forma perpendicular a la dirección predominante de los vientos para lograr una mayor uniformidad en la distribución del agua sobre el área proyectada.

#### **3.17.2 Evapotranspiración**

Es el proceso simultaneo de la evaporación del suelo y la traspiración del cultivo, los cuales están fundamentalmente afectados por las variables climáticas, factores de cultivo, manejo de las condiciones ambientales (FAO, 2006).

### **3.18 Diseño de riego por aspersión**

Según Fuentes (1998), citado por Baltazar (2014), señala que, para diseñar un sistema de riego por aspersión hay que determinar todas las características técnicas del riego con el fin de que el reparto del agua sea uniforme y eficiente. Se hace en dos etapas: en el diseño agronómico se consideran aquellos aspectos relacionados con el medio

(suelos, clima, cultivo, etc.), y en el diseño hidráulico se dimensiona la red de distribución. Los datos imprescindibles que se necesitan son los siguientes:

- Suelo. Densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitamiento, profundidad y velocidad de infiltración estabilizada.
- Clima. Interesa conocer, sobre todo, los datos relativos del viento ya que es la causa principal de distorsión en el reparto del agua.
- Cultivo. Alternativa de cultivos, necesidades hídricas, fracción de agotamiento del agua disponible, profundidad radical, marco de plantación, labores.
- Parcela. Dimensiones, topografía, punto de captación de agua y área a regar.
- Agua. Caudal disponible y calidad agronómica.
- Riego. Tiempo disponible de riego cada día y días libres de riego durante el ciclo. Se fija de antemano la eficiencia que se pretende conseguir.

### **3.18.1 Diseño agronómico**

Ángeles (s.f.), citado por Baltazar I. (2014), indica que el diseño agronómico ha de entenderse como el planteamiento general del sistema de riego en relación con los condicionantes del medio (fuente de abastecimiento de agua, suelo, cultivo, clima, parcela, etc.), con la finalidad primordial de determinar los parámetros del riego (lamina de riego, intervalo de riego, tiempo de riego, etc.); garantizando que la instalación sea capaz de suministrar con una eficiencia de aplicación óptima, las necesidades netas de riego del cultivo durante el periodo de máximo consumo, en base al tipo de cultivo y a los parámetros del clima y del suelo, consiguiendo, además, mojar el volumen de suelo suficiente para su adecuado desarrollo y un efectivo control de sales, y se desarrolla en tres fases:

- a) Cálculo de las necesidades de agua de los cultivos.
- b) Determinación de los parámetros de riego: dosis, frecuencia o intervalo entre riegos, duración del riego, número de emisores por postura, caudal necesario.
- c) Disposición de los emisores en el campo.

### **3.18.2 Diseño hidráulico**

Este diseño comprende todos los cálculos de los diferentes componentes de la instalación, para que se adapten a las condiciones de presión y caudal disponibles, de forma que a los emisores llegue el agua a la presión nominal y caudal nominal de los mismos, buscando la solución más económica dentro de unas calidades garantizadas (Moya J.2009, citado por Baltazar I. 2014).

Con el diseño hidráulico se determinarán las dimensiones de todos los componentes de la instalación de riego, de forma que se pueda aplicar el agua suficiente para los cultivos durante cualquiera de sus fases de desarrollo; otro objetivo es conseguir que la aplicación del agua en forma de lluvia sobre el suelo sea suficientemente uniforme. Con todo ello se podrán obtener buenas producciones con el menor gasto de agua (Fernández et al. 2010, citado por Baltazar I. (2014)).

### **3.18.3 Cálculo de pérdidas de carga de tuberías**

El roce también se encuentra en el interior de las tuberías producto del paso del agua, a mayor velocidad del agua y menor diámetro de tubería mayor es el roce, el que resta energía al agua, la que es entregada por la bomba. Esta pérdida de energía se conoce como pérdida de carga, siendo necesario aplicar más energía a la bomba para que esto se revierta (SIAR, 1999). El mismo autor señala que existen diversas fórmulas para calcular la pérdida de carga de un fluido, pero la más versátil es la de Hazen-Williams, por ser aplicable a diferentes tipos de tuberías. Esta fórmula depende de cuatro factores: el caudal, el diámetro interior de la tubería, el largo total de la tubería y la constante fijada por el material de la tubería.

### **3.18.4 Modelo de reparto de agua del aspersor**

Respecto al modelo de reparto del aspersor Tarjuelo (1999) señala que, la presión afecta de tal manera que cuando es demasiado baja, las gotas son demasiado grandes y la distribución es poco uniforme. Cuando la presión es demasiado alta, el agua se pulveriza en gotas muy finas y caen muy cerca del aspersor.

Un aspersor o difusor no puede dar lugar a un riego uniforme sobre todo el círculo mojado. Normalmente, la lámina de agua aplicada durante un riego es mayor cerca del aspersor. Para hacer que la aplicación sea uniforme, es necesario colocar varios aspersores funcionando próximos unos de otros, para que sus modelos de aplicación del agua se superpongan. Como primera aproximación, para aspersores de impacto, se considera que una buena uniformidad es alcanzada cuando hay un solape de cerca del 65% del diámetro del círculo mojado por cada uno de ellos. La uniformidad puede ser mejorada con una colocación más próxima de los aspersores, pero ello conlleva unas tasas de aplicación de agua elevadas, un número de aspersores mayor y consecuentemente, un coste del sistema, también, más elevado. En el caso de los aspersores de plato rotativo, el solape requerido es menor, pudiendo distanciar más los aspersores y contar con un menor número de aspersores (Pereira, 2004).

### **3.18.5 Eficiencia de aplicación real del cuarto inferior (EA)**

Merriam citado por Tarjuelo (2005), indica que la *EA* es la proporción entre la lámina promedio de agua de riego en el cuarto inferior ( $C_i$ ) infiltrada y almacenada en la zona radicular y la lámina promedio del agua de riego aplicada, expresada en porcentaje.

La lámina infiltrada promedio del  $C_i$  es el promedio de los valores más bajos medidos en el cuarto inferior, donde cada valor representa una unidad de área igual y no puede exceder la Deficiencia de Humedad del Suelo (*DHS*).

Cuando la media del 25% de las observaciones de menor valor del agua de riego infiltrado sobrepasa el valor de la *DHS*, entonces el numerador anterior se toma igual a la *DHS*.

### **3.18.6 Uniformidad de distribución (UD)**

Merriam y Keller citados por Tarjuelo (2005), indican que la UD es un término útil para poner un valor numérico de la uniformidad de aplicación para sistemas de riego agrícolas. De acuerdo con Dudek y Fernández (s.f.), en términos generales, si la UD es pobre, algunas plantas estarán sub irrigadas y otras sobre irrigadas, lo cual generará un crecimiento pobre y el aumento de plagas, una clasificación de la UD propuesta por estos autores.

Por otra parte, Heermann et al., citados por Holzapfel et al., (2007), indican que en general el aumento de la uniformidad de distribución del agua requiere inversiones en el sistema, manutención y mano de obra para el manejo racional de riego.

Según Serrano (2014), en la actualidad la expresión más utilizada de la UD es la Uniformidad de distribución en el cuarto inferior (UDci), misma que compara la lámina promedio de agua de riego infiltrada (o recogida) en el cuarto inferior y la lámina promedio de agua de riego infiltrada (o recogida), expresada en porcentaje. En ocasiones la UDci se utiliza como sinónimo de rendimiento de aplicación (Ra), considerando que no existan pérdidas por escorrentía ni evaporación.

### **3.18.7 Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)**

Otro parámetro ampliamente usado para evaluar la uniformidad de riego por aspersión es el coeficiente de uniformidad desarrollado por Christiansen (1942), expresado en porcentaje.

Según Keller y Bliesner citados por Serrano (2014), dentro las relaciones entre CU y UDci, se recomiendan valores de:  $UD < 60\%$  ( $CU > 75\%$ ) considerados bajos para cultivos extensos, así como para forrajeras; y  $UD > 75\%$  ( $CU > 84\%$ ) para cultivos de alto valor, estos últimos son logrados, de acuerdo a Tarjuelo (1999), en condiciones de viento menores a  $2 \text{ m s}^{-1}$ .

### **3.19 Relación agua - suelo**

La cantidad de agua retenida se la nombra como capacidad de campo y constituye el agua aprovechable por la planta, esta medida no presenta un valor fijo y depende de la textura principalmente, el rango de valor con que el agua es retenida por el suelo a capacidad de campo va de  $1/10$  a  $1/3$  de atm.

Conforme pasa el tiempo debido al proceso de absorción de agua por la planta, este disminuye y aumenta el esfuerzo de succión, si la cantidad de agua baja demasiado la succión no será posible llegándose al punto de marchitez, en que el agua es retenida por el suelo a una tensión promedio de  $15 \text{ atm}$  (Chipana, 1996).

### **3.20 Balance hídrico**

Vargas R. (2019), menciona que toda unidad hidrológica, sea una cuenca superficial o subterránea, recibe aportaciones de agua y descarga un volumen de agua, además de que contiene otra cantidad de agua variable. Estos tres elementos deben equilibrarse a lo largo de una determinada unidad de tiempo. La expresión cuantitativa de este equilibrio constituye el balance hídrico.

El balance hídrico se refiere siempre a una unidad hidrológica – cuenca- y a un intervalo de tiempo. El intervalo de tiempo puede ser cualquiera, pero lo normal son año hidrológico medio, un año o un número determinado de años, un mes, un número de días, un día e incluso el tiempo de duración de una tormenta.

## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Ubicación geográfica

El Municipio de Patacamaya es la Quinta Sección de la Provincia Aroma del departamento de La Paz, se sitúa a una distancia de 101 kilómetros de la sede de gobierno, por la carretera interdepartamental La Paz – Oruro, al sudeste de la capital del Departamento de La Paz, el cantón de Patacamaya se encuentra a una altitud que oscila de 3785 a 3899 msnm. (PTDI, 2016-2020).

Patacamaya, geográficamente está situado entre las coordenadas: 17° 05' - 17° 20' de latitud sur, 67° 45' - 68° 07' de longitud oeste se encuentra ubicada al centro de la provincia Aroma, de acuerdo a las Cartas del Instituto Geográfico Militar. (PDM, 2006-2010).

La E.E. Patacamaya, dependiente de la facultad de gronomía UMSA, se sitúa a una distancia de 4.51 kilómetros del Municipio de Patacamaya. En la actualidad la E.E. Patacamaya administra 71.57 ha, para diferentes rubros como ser agricultura y ganadería.

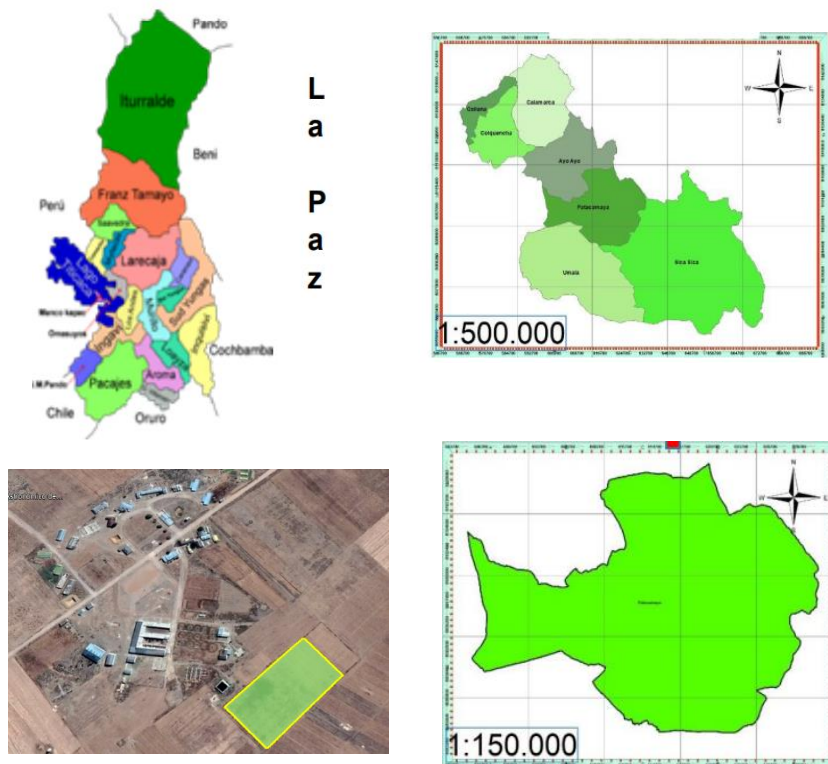


Figura 3. Ubicación geográfica de la Estación Experimental Patacamaya

#### **4.1.1 Topografía**

La E.E. Patacamaya tiene una topografía de 0 a 2% de pendiente, con el mayor porcentaje de la superficie es casi plana. (PTDI, 2016-2020).

#### **4.1.2 Características climáticas**

Los factores climatológicos están en función a la zona latitudinal a cada una de las zonas de la Tierra que dependen de su latitud y en las que los paralelos notables o principales dividen a la superficie terrestre. La variedad de relieves que presenta la cordillera occidental, la existencia de zonas planas, la circulación de los vientos y otros, que determinan características climatológicas propias de la región, que en general son frías. Durante el año se manifiesta una estación lluviosa que va de diciembre a marzo, la época seca de junio a agosto y sus correspondientes periodos de transición entre septiembre a noviembre. (PTDI, 2016-2020).

La región, presenta condiciones climáticas rigurosas, con un clima frío y seco de manera generalizada, temperaturas medias anuales que descienden drásticamente y precipitaciones medias anuales bajas, este aspecto es típico de estas zonas Altiplánicas. Asimismo, las direcciones de los vientos son variados, a esto se suma las ondulaciones existentes en diferentes lugares de Patacamaya, que condicionan esta situación de alguna manera. Por este mismo hecho existen formaciones de microclimas, con características propias en espacios relativamente grandes. (PTDI, 2016-2020). Dentro del municipio presentan dos microclimas identificados como Clima Semiárido de verano templado e invierno templado y Clima Subhúmedo Seco de verano e invierno cálido. (PTDI, 2016-2020).

#### **4.1.3 Temperatura**

La estacionalidad térmica es moderada. Durante el periodo 2006 a 2016 la temperatura media en el municipio fue de 9,7°C; siendo la temperatura máxima media alcanzada de 18,7°C; mientras que la temperatura mínima media para el mismo periodo es de 0,7°C. (PTDI, 2016-2020).



#### 4.1.4 Precipitación

La distribución temporal de las precipitaciones pluviales es muy similar en todo el territorio, con un patrón decreciente de Norte a Sur, caracterizándose como un régimen típicamente mono modal con veranos húmedos e inviernos secos.

La precipitación pluvial anual varía entre 350 mm a 480 mm, el promedio para el municipio de Patacamaya es de 389,19 mm. La época húmeda de acuerdo a los datos registrados se encuentra entre los meses de octubre a marzo, en términos estacionales se puede establecer el periodo lluvioso entre los meses de octubre a marzo que concentra más del 68% de las precipitaciones, y el periodo de estiaje entre los meses de abril a septiembre, siendo los meses de junio y julio los de menor precipitación anual. (PTDI, 2016-2019).

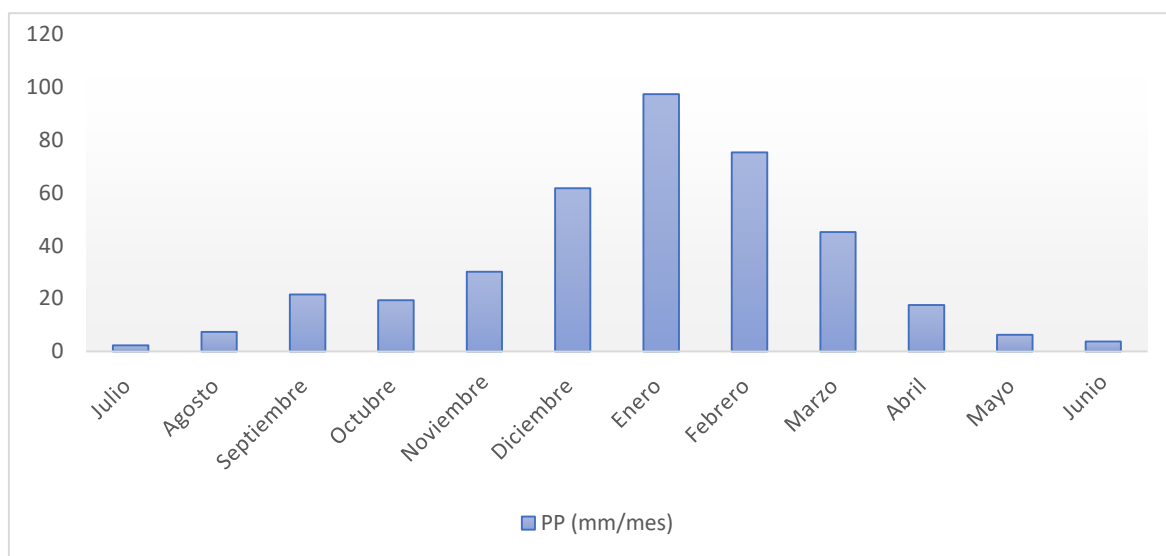


Figura 4. Precipitación 2016 – 2019)

#### 4.1.5 Granizo

Es la precipitación de aguas solidificadas que se forma a una temperatura de 0°C, esto ocurre cuando la formación de las nubes es de cúmulonimbus 2000 a 4000 m.

En la Plan de Desarrollo Municipal Patacamaya 2006 - 2010 16 atmósfera, es uno de los fenómenos naturales climáticos que causa serios daños en la agricultura, debido

al impacto físico que presenta este tipo de precipitación con los cultivos. (PTDI, 2016-2020).

#### **4.1.6 Heladas**

La presencia de este fenómeno natural climático, ocasiona grandes efectos negativos en los diferentes cultivos del altiplano, en la cuenca del altiplano la ocurrencia de estas es muy frecuente, llegando a alcanzar 120 días de heladas al año (ZONISIG, 1998). Son pocas las estaciones que registran meses libres de heladas, en Patacamaya y Calamarca tienen de 4 a 5 meses libres. La ocurrencia de heladas coincide con el inicio de la época de crecimiento de las plantas, por lo que genera reducción en los rendimientos de los cultivos del lugar. (PTDI, 2016-2020).

#### **4.1.7 Sequia**

Este fenómeno natural, se presenta con mayor intensidad en gran parte del altiplano, la época seca es en los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre durante estos meses se sufre la deficiencia de agua, situación que afecta a la agricultura, actividades domésticas, pecuarias y otras. La ocurrencia de sequías al igual que las heladas, tienen una tendencia a aumentar hacia el Sur del altiplano y hacia el occidente, siendo los periodos más susceptibles los meses de mayo a noviembre. (PTDI, 2016-2020).

#### **4.1.8 Flora**

La composición florística en el Municipio está compuesta predominante por gramíneas perennes, alternadas con arbustos muy dispersos que se desarrollan durante el periodo lluvioso. (PTDI, 2016-2020).

La formación vegetal en el Municipio es de carácter xerofítico y composición florística variada, como alamo, cipres, pinos, sauce llorón, kiswa.

### **4.2 Materiales**

#### **4.2.1 Material biológico**

Alfalfa variedad Ranger americana

#### **4.2.2 Material de laboratorio**

En este trabajo de investigación se utilizaron los siguientes materiales:

Vasos de aluminio, balanza digital, mufla, probeta.

#### **4.2.3 Material de campo**

Aspersores, accesorios de instalación flexómetro, cuerda, bastones, cámara fotográfica, tablero, cinta de agua, pluviómetros, barreno muestreador de suelo, manómetro, recipiente, manguera, cilindros infiltrometros.

#### **4.2.4 Material de gabinete**

Computadora, material de escritorio.

### **4.3 Metodología**

Según Hernández et al. (2014), dentro de la metodología utilizada para la investigación es cuantitativo, descriptivo y comparativo, los que nos sirven para recoger, analizar, y encontrar los resultados obtenidos.

#### **4.3.1 Procedimiento de campo**

La parcela de estudio fue instalada en una de las áreas experimentales de la Estación Patacamaya, tomando las medidas correspondientes con la ayuda de cinta métrica y estacas.

#### **4.3.2 Análisis de suelo**

Según Vargas R. (2018), indica que el lugar donde se encuentra la parcela de investigación es un suelo uniforme con una textura franco arcillo – arenosa, con un 21,2 % de grava; estructura migajosa; no adhesiva y poco plástico en mojado, friable en húmedo, friable en seco, gran cantidad de poros; muchas raíces muy finas a finas; suelos con un pH neutro, un moderado contenido de materia orgánica (2,07 %). Suelos con buen contenido de nitrógeno.

### 4.3.3 Diseño experimental

Rodriguez de Angel (1991), citado por Vicente (2001), indica que es el tipo de diseño más simple de todos por el cual se asignan al azar los tratamientos a un grupo de unidades experimentales. Los datos del ensayo son analizados ajustando a un Diseño Completamente al azar con el factor lámina y el factor corte en parcela dividida, donde se utilizó el programa Infostat, versión 10.1 de acuerdo al siguiente modelo matemático.

### 4.3.4 Modelo aditivo lineal

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \epsilon_a + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (1)$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Una observación cualquiera del experimento.

$\mu$  = Media general del ensayo

$\alpha_i$  = Efecto de i-ésimo tratamiento o lámina de riego

$\epsilon_a$  = Error del corte

$\beta_j$  = Efecto de j-ésimo corte

$(\alpha\beta)_{ij}$  = interacción del i-esimo nivel del factor A con el j-esimo factor B interaccion A\*B. Lámina por corte.

$\epsilon_{ijk}$  = Error experimental

### 4.3.5 Factores de estudio

El trabajo de investigación se basa en dos factores: Periodo de corte y dos láminas de riego en función al tiempo con su respectivo testigo las cuales se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 5. Periodo corte y lámina de riego

FACTOR A	FACTOR B
PERIODO CORTE	LAMINA RIEGO
CORTE 1	T0
	T1
	T2
CORTE 2	T0
	T1
	T2

### FACTOR A (periodo de corte)

- a1 = corte 1
- a2 = corte 2

### FACTOR B (Lámina de riego)

- b0 = asecano sin riego
- b1 = 2 horas riego
- b2 = 4 horas riego

#### 4.3.6 Delimitación del área de estudio

Para el establecimiento del área de investigación, teniendo un área total de 1,2 has, se ha establecido parcelas de 16 m<sup>2</sup>, como se observa en el croquis que se presenta a continuación:

#### 4.3.7 Croquis experimental

El trabajo de investigación se realizó con 3 tratamientos y dos cortes que se distribuyeron con 6 repeticiones donde se muestra en la siguiente figura.

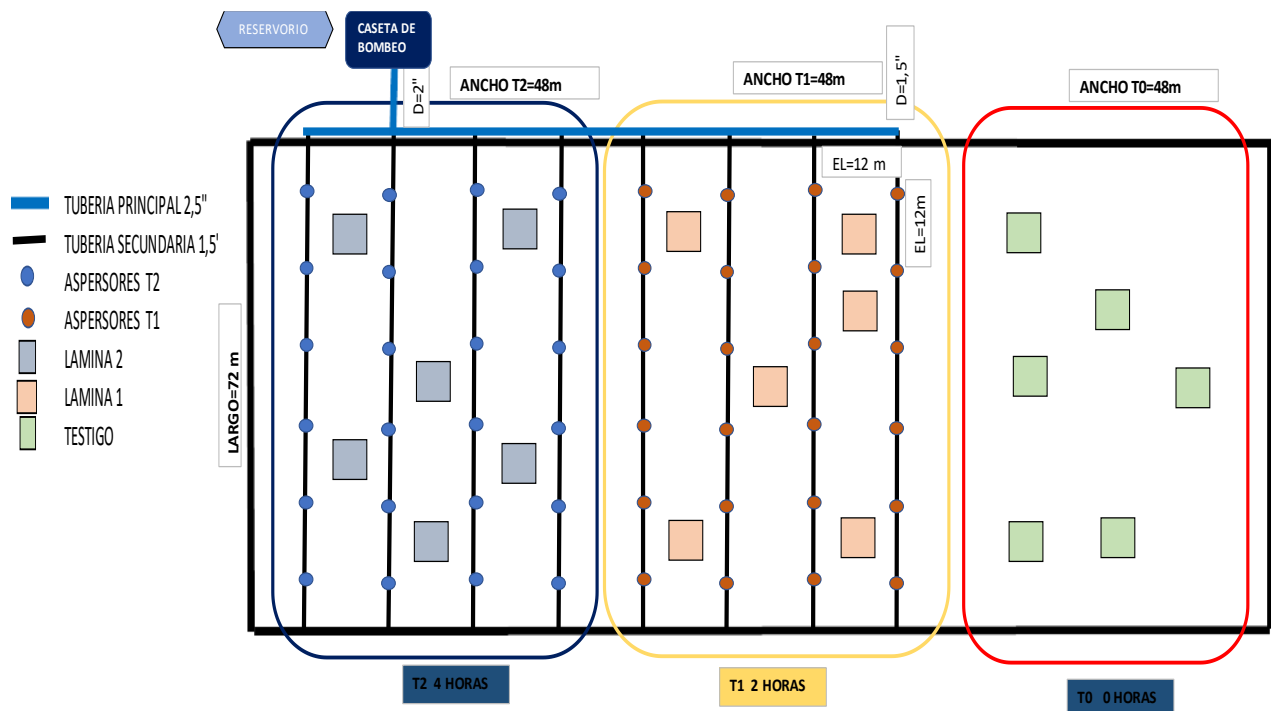


Figura 3. Croquis experimental de la parcela.

### 4.3.8 Características del campo experimental

En el siguiente cuadro observamos la descripción de cada unidad de estudio en los distintos tratamientos que se tuvo durante la realización de la investigación.

Cuadro 6. Descripción del área experimental

<b>Área de investigación</b>	
Número de unidades experimentales (UE)	18
Área de la unidad experimental	16 m <sup>2</sup>
Ancho unidad experimental	4 m
Largo unidad experimental	4 m
Total del área de estudio	288 m <sup>2</sup>
Número de aspersores por tratamiento	24
Número de aspersores totales	48
Área de la unidad de riego	144 m <sup>2</sup>

## 4.4 Instalación del sistema de riego por aspersión

En la instalación del método de riego se inició con el tanque de almacenamiento de agua, para el riego; seguidamente con la caseta de bombeo cerca del reservorio de concreto para la implementación del cabezal de riego y poder tener un control adecuado.

### 4.4.1 Instalación del cabezal

Los trabajos de instalación se iniciaron desde la implementación de cabezal dentro de la caseta de bombeo. La figura 2 muestra la forma en que se realizó la instalación del cabezal.

Como primer paso se instaló el cabezal de riego para el método de riego por aspersión, colocando la bomba de 5,5 HP y los diferentes accesorios de tubería para su instalación, utilizando los materiales in situ de la misma manera se realizó la instalación de la electricidad para el funcionamiento de la bomba.

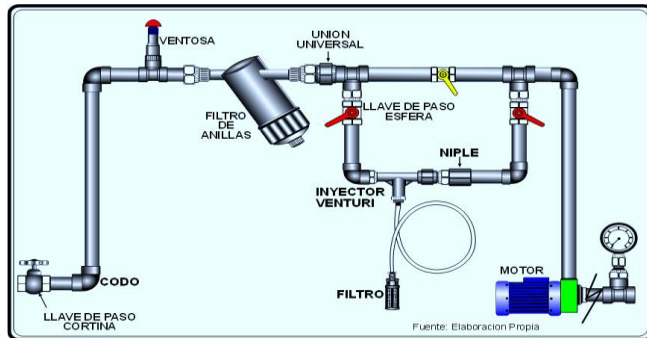


Figura 4. Instalación del cabezal

#### 4.4.2 Instalación del lateral principal

En la instalación del lateral principal se utilizó tuberías de polietileno de 2 pulgadas de diámetro, partiendo del cabezal de riego hasta la parcela en estudio la tubería enterrada a una profundidad de 25 cm. Toda la conexión se realizó con los accesorios in situ, para proteger de los rayos solares los materiales de la instalación.



Figura 5. Instalación del lateral principal

#### **4.4.3 Instalación del lateral secundario**

Una vez instalado el lateral principal se instaló los laterales secundarios que están directamente conectados con abrazaderas de reducción de 2 pulgadas a 1 pulgada de diámetro al lateral principal, la tubería que se utilizó es de polietileno de 1 1/2 pulgada de diámetro para los laterales secundarios.

La instalación de los laterales secundarios, se realizó a 12 metros de distancia entre laterales de acuerdo a la presión del agua y el tipo del aspersor, finalmente se realizó el tapado de los laterales secundarios con suelo a una profundidad de 5 cm.

El cultivo de alfalfa tiene una superficie de 1,2 has., para la investigación solo se utilizaron un área de 7296 m<sup>2</sup>., para el método de riego por aspersión, se realizó con un marco de instalación cuadrangular, con un espaciamiento entre laterales de 12 m y entre aspersores 12 m, cuenta con 8 laterales y sus respectivos accesorios, 6 aspersores por laterales que hacen un total de 48 aspersores.

#### **4.4.4 Instalación de porta-aspersores**

Ya instalados los laterales secundarios, se procedió al colocado de la porta-aspersores que se conectaron directamente con abrazaderas de reducción de 1 1/2 pulgada a 3/4 pulgada de diámetro a los laterales secundarios, utilizando tuberías de PVC de 3/4 pulgada de diámetro para los porta-aspersores.





Figura 6. Instalación de posta-aspersores

#### **4.4.5 Prueba de velocidad de infiltración básica**

Utilizando el método de los cilindros infiltrómetros propuesto por Reichardt (1990), el cual consiste en el juego de dos cilindros metálicos de 30 y 50 cm de diámetro respectivamente y 33 cm de largo en ambos. Estos cilindros fueron enterrados a 15 cm en el suelo, con ayuda de un nivel, un combo y una viga, cuidando de que queden nivelados. El espacio que queda en el centro del cilindro se colocó un nylon cubriendo todo el cilindro posterior se llenó con agua y los espacios entre los dos cilindros se llenaron con agua. Una vez llenado con agua se sacó el nylon y se registró todos los datos de acuerdo a la planilla, el tiempo transcurrido en función al volumen de agua que infiltró en el suelo. A partir de los datos de campo se calcularon los diversos datos de infiltración en el programa Excel, expresados en mm/h.



Figura 7. Prueba de infiltración

La infiltración del agua en los suelos varía, debido a los tipos de textura, porosidad y el grado de compactación o remoción del suelo. En la parcela de estudio la infiltración fue la siguiente:

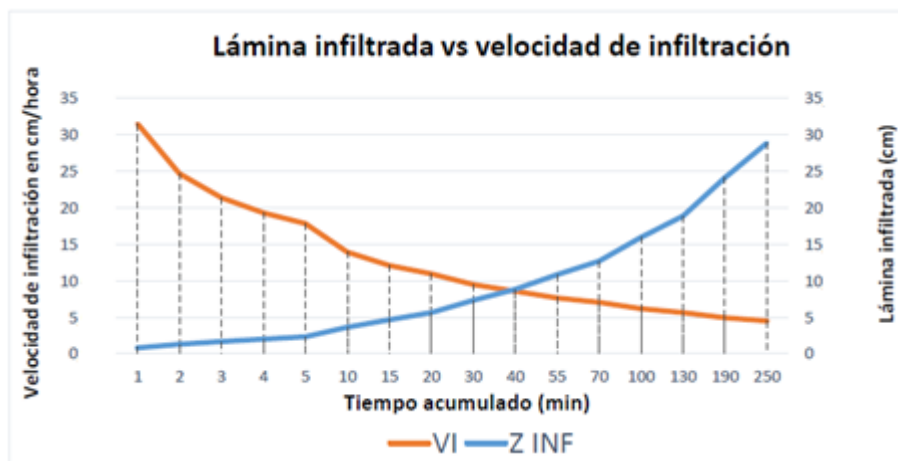


Figura 8. Tiempo y velocidad de infiltración básica

La velocidad de infiltración que corresponde se puede observar la interacción de las variables; lamina infiltrada y velocidad de infiltración, denotando que a medida que incrementa el tiempo de infiltración del agua en el suelo la tasa de infiltración va disminuyendo hasta llegar a ser constante. Esto se determinó cuando el intervalo de tiempo que tardo en infiltrar a una distancia predeterminada fue constante ahí se detuvo el tiempo, llegándose a obtener 21,2 mm/h en un suelo de textura franco arenoso.

#### 4.4.6 Balance hídrico del cultivo

Para la determinación del balance hídrico del cultivo, se tomó el método de la fórmula de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) para evaluar la evapotranspiración potencial necesita solamente datos de temperaturas y de radiación solar. La expresión general es la siguiente:

$$ETo = 0,0023 (tmed + 17,78)Ro * (tmax - tmin)^{0,5} \quad (2)$$

Donde:

ETo = evapotranspiración potencial diaria, mm/día  
tmed = temperatura media diaria, °C  
Ro = Radiación solar extraterrestre, en mm/día (tabulada)  
tmax = temperatura diaria máxima  
tmin = temperatura diaria mínima.

Para la determinación de la evapotranspiración del cultivo (Etc), se procedió a calcular con la siguiente fórmula (Allen et al., 2006).

$$ETc = ETo * Kc \quad (3)$$

Dónde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo de alfalfa (mm/día)  
ETo = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)  
Kc = Coeficiente del cultivo de alfalfa en desarrollo.

#### 4.4.7 Diseño agronómico

Se realizó un diseño agronómico para el cultivo, de alfalfa con datos recolectados de campo. En el siguiente cuadro se muestra algunos parámetros físicos

Cuadro 4. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente

POROSIDAD %	TEXTURA FYA (g/cm <sup>3</sup> )	PROF. EFEC. (cm)	CAPACIDAD CAMPO (%CC)=1/2P	PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE %PMP=1/2CC
39,1	1,6	70	19,55	9,77

#### **4.4.8 Aplicación de riego**

Para la determinación del riego, se realizó un balance hídrico de la zona y como también para el cultivo, también un diseño agronómico. Se utilizó datos climáticos de referencia, ya que la estación meteorológica del Senamhi registra datos hasta 2019.

Por otra parte, para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) se utilizó el método de Hargreaves - Samani 1985.

#### **4.4.9 Medición de la humedad del suelo**

Se realizó la medición de la humedad del suelo en los sitios de la prueba, utilizando un barreno muestreador en las profundidades de 0,10 m a 0,20 m.

El muestreo de suelo se realizó antes y después del riego, para la determinación de la humedad del suelo de las diferentes unidades experimentales, seguidamente se llegó a pesar en una balanza de precisión, obteniendo la masa de suelo húmedo en gramos, se llevó a la mufla a una temperatura de 105 °C durante 24 horas, para la obtención del peso de suelo seco; posterior se llega a realizar los cálculos correspondientes de la determinación de humedad de suelo.



Figura 9. Medición de humedad del suelo

De acuerdo a Miranda (2004), la ecuación para determinar la humedad del suelo, la relación siguiente obedece a la siguiente formula:

$$\%HG = \frac{MSH - MSS}{MSS} * 100 \quad (4)$$

Dónde:

%Hg = Humedad gravimétrica en base a masa (%).

MSH = Masa de suelo húmedo (g).

MSS = Masa de suelo seco (g).

#### 4.4.10 Requerimiento de agua del cultivo

Se realizó la programación de riego en las fases de los dos cortes, la misma tuvo la finalidad de optimizar la producción de manera eficiente, considerando el requerimiento de agua del cultivo calculado para la gestión agrícola.

#### 4.4.11 Aplicación de la lámina de riego

Las láminas que se utilizó fueron en función al tiempo de riego.

- ✓ La primera lámina de riego fue con un tiempo de dos horas.
- ✓ La segunda lámina de riego con cuatro horas.

El tipo de aspersor utilizado en esta investigación fue el aspersor Xcel-Wobbler, conocido también como (pollerin), con un diámetro de boquilla de 3,97 mm color turquesa el cual se adaptó con gran comodidad al altiplano por su clasificación de baja presión.

Cuadro 5. Láminas de riego aplicadas en función al tiempo

PRIMER CORTE	Caudal del aspersor (l/s)	Presión del aspersor (bares)	Caudal (l/h)	Volumen 1 volumen 2	Número de aspersores	Volumen total por riego (l)	Volumen total por riego (m³)	Volumen aplicado 15 eventos (m³)	Lámina aplicada por riego frecuencia 4 días (mm)
0 horas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 horas	0,215	1,38	774	1548	24	37152	37,15	557,25	10,75
4 horas	0,214	1,35	772	3081	24	73958	73,95	1109,25	21,39

SEGUNDO CORTE	Caudal del aspersor (l/s)	Presión del aspersor (bares)	Caudal (l/h)	Volumen 1 volumen 2	Número de aspersores	Volumen total por riego (l)	Volumen total por riego (m³)	Volumen aplicado 15 eventos (m³)	Lámina aplicada por riego frecuencia 4 días (mm)
0 horas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 horas	0,215	1,38	774	1548	24	37152	37,15	520,01	10,75
4 horas	0,214	1,35	772	3081	24	73958	73,95	1035,3	21,39

Fuente. Elaboración propia, 2021.

Las láminas aplicadas en función al tiempo y al tipo de aspersor elegido en la investigación fueron las siguientes, como se muestra en el cuadro 5.

- Para el primer y segundo corte, comprendidas de cero horas como testigo, de dos horas como primera lámina y cuatro horas comprendidas por la segunda lámina.
- Se utilizó un aspersor x-cel wobbler, con un diámetro de boquilla de 3,97 mm color turquesa el cual por su clasificación al color de boquilla depende el diámetro de salida.
- Se evaluó el caudal del aspersor para la primera lámina y segunda lámina, los cuales tenemos un caudal de 0,215 l/s con una presión de 1,38 bares).
- Para el primer tratamiento de dos horas se obtuvo un caudal de 1548 l/h por aspersor utilizado.
- Para el segundo tratamiento comprendido de cuatro horas se obtuvo un caudal de 3081 l/h por aspersor.
- La primera lámina comprendida de 24 aspersores color turquesa y la segunda lámina comprendida de igual manera de 24 aspersores de color turquesa, haciendo un total de 48 aspersores.
- El área comprendida para la primera lámina es de 3456 m<sup>2</sup>. Para la segunda lámina de igual manera comprende un área de 3456 m<sup>2</sup>.
- El volumen aplicado en la primera lámina en el área a regar es de 37,15 m<sup>3</sup>/h y en la segunda de 73,95 m<sup>3</sup>/h.
- En los 15 eventos de riego para el primer corte y en el área determinado se aplicó un volumen total de 557,25 m<sup>3</sup> y una primera lámina por riego de 10,15

mm en función al caudal del aspersor. La segunda lámina aplicada en función al caudal del aspersor es 21,39 mm por riego y un volumen de 1109,25 m<sup>3</sup>.

- Para el segundo periodo de corte comprendido de 14 eventos de riego, se aplicó una primera lámina por riego de 10,15 mm y la segunda lámina por riego de 21,39 mm.

#### 4.4.12 Determinación de caudal del aspersor

El caudal del aspersor se determinó según el tiempo necesario de riego a ser aplicado a los tratamientos, según la ecuación volumétrica:

$$Q = V/T \quad (5)$$

Dónde:

Q = Caudal (l/h)

V = Volumen (l)

T = tiempo (s)



Figura 10. Medición del caudal

Medición del caudal del aspersor en las parcelas de investigación por el método volumétrico.



### CARACTERÍSTICAS

- El contrabalanceo reduce la vibración, dando un rendimiento suave y estable
- Una única pieza móvil, lo que supone una mayor vida útil
- Conexiones: NPT macho de 3/8" o 1/2"
- Caudales: de 0,78 a 6,97 gpm (177 a 1583 l/h)
- Presiones de funcionamiento: de 10 a 25 psi (0,69 a 1,72 bar)
- Baja pérdida por viento y evaporación a bajas presiones

	bar		
Boquilla #10 - Turquesa (3,97 mm)	0,69	1,03	1,38
Caudal (l/h)	504	618	713
Diámetro del modelo MA a 0,46 m de altura	11,0	12,5	13,4
Diámetro del modelo HA a 0,46 m de altura	13,6	14,9	15,4

*El Xcel-Wobbler proporciona un área de cobertura máxima para aplicaciones subfoliares e invernaderos.*

Figura 11. Características del aspersor Xcel-Wobbler

## 4.5 Riego del cultivo

El riego se realizó de acuerdo al diseño agronómico, dependiendo de la fase fenológica y el coeficiente del cultivo, por las mañanas y por las noches por causa del viento, y facilitar la infiltración y lograr una uniformidad del riego.

### 4.5.1 Programación de riego para el primer corte

Los resultados obtenidos en la programación de riego utilizando el programa Cropwat 8.0 con datos de las variables climáticas de referencia que cuenta la Estación Experimental Patacamaya, se obtuvo la siguiente figura para el primer corte y realizando una comparación con los datos obtenidos en campo con la aplicación de las dos láminas de riego en cuanto al tiempo y el volumen aplicado.

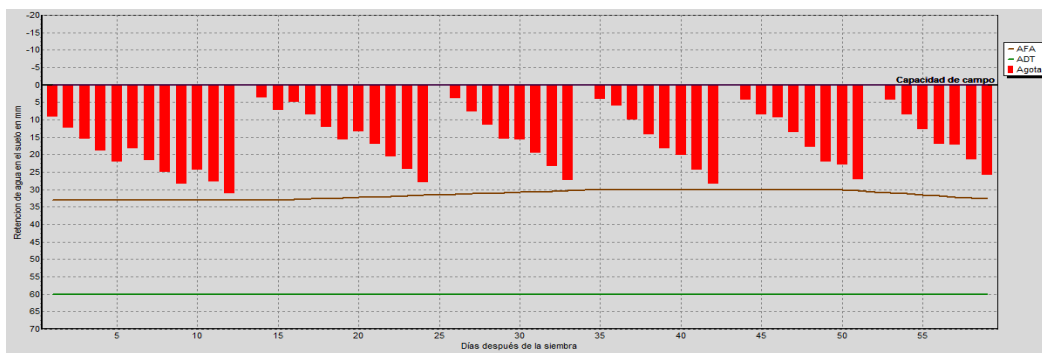


Figura 12. Programación de riego primer corte



En la figura 12, se observa la programación del riego de forma teórica, elaborada con el apoyo del programa Cropwat 8.0, donde se determinó de forma matemática para saber cuándo y cuánta agua se debe aplicar al cultivo para el primer corte. Para el análisis fue muy necesario conocer las características del cultivo, las características físicas del suelo y las condiciones climáticas de la zona. Necesariamente se realizó las modificaciones para campo de acuerdo a las características de la parcela. De acuerdo al tipo de suelo tendremos distintas capacidades para retener agua por lo que las estrategias de riego serán diferentes. A esto añadimos que las necesidades varían mucho en función del clima, la radiación solar, el viento, la precipitación, la evapotranspiración, etc.

ETo estación	PATACAMAYA	Cultivo	ALFALFA	Siembra	08/09	Red. Rend.					
Est. de lluvia	PATACAMAYA	Suelo	FÁa	Cosecha	06/11		0.0 %				
Formato de Tabla		Momento: <a href="#">Rregar a agotamiento crítico</a> Aplicación: <a href="#">Reponer a capacidad de campo</a> Ef. campo 70 %									
<input checked="" type="radio"/> Program. de riego <input type="radio"/> Bal. diario de agua de suelo											
Fecha	Día	Etapa	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	frac.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
20 Sep	13	Ini	0.0	1.00	100	57	34.5	0.0	0.0	49.2	0.44
2 Oct	25	Des	0.0	1.00	100	53	31.9	0.0	0.0	45.5	0.44
11 Oct	34	Des	0.0	1.00	100	52	31.4	0.0	0.0	44.8	0.58
20 Oct	43	Med	0.0	1.00	100	54	32.5	0.0	0.0	46.4	0.60
29 Oct	52	Fin	0.0	1.00	100	52	31.3	0.0	0.0	44.7	0.58
6 Nov	Fin	Fin	0.0	1.00	0	43					
<b>Totales</b>		Lámina bruta total		230.6	mm	Precipitación total		48.5	mm		
		Lámina neta total		161.4	mm	Precipitación Efectiva		45.0	mm		
		Pérdida total de riego		0.0	mm	Pérdida tot.prec.		3.5	mm		
		Uso real de agua del cultivo		226.2	mm	Def. de hum. en cosecha		25.8	mm		
		Uso pot. de agua del cultivo		226.2	mm	Requer. reales de riego		181.3	mm		
		Efic. de programación de riego		100.0	%	Efic. de precipitación		92.7	%		
		Deficiencia de programación de riego		0.0	%						
		Reducción de rendimiento									

Figura 13. Requerimiento de agua del cultivo en base a las fases fenológicas.

En la figura 13, se muestra la lámina neta con el programa Cropwat 8,0 que fue de 161,4 mm (161,4 l/m<sup>2</sup>) y 230,6 mm de lámina bruta, desde el 8 de septiembre hasta el 6 de noviembre, día en que se cosecho la alfalfa forrajera de acuerdo al desarrollo del cultivo.

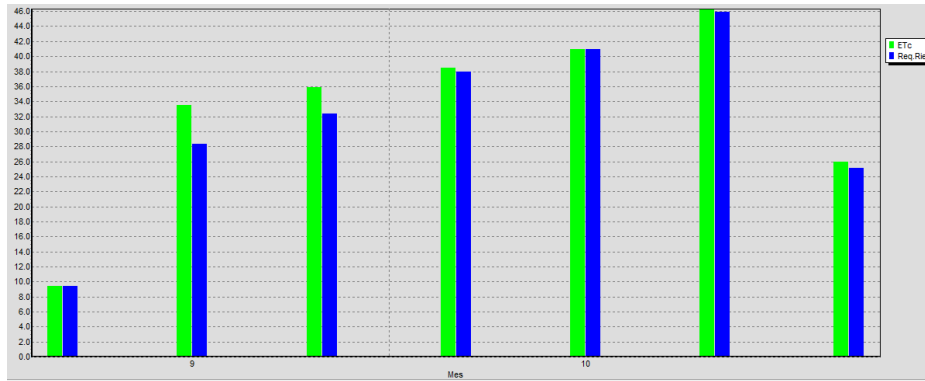


Figura 14. Requerimiento de agua del cultivo de alfalfa del primer corte

En la figura 14, se muestra los requerimientos de agua con relación a la ETc del cultivo, para ser aplicados en la investigación.

Realizando la comparación en este primer corte, con el Cropwat 8.0 y los datos aplicados en campo con las dos láminas de riego en función al tiempo y el volumen de agua aplicado, el programa nos da un valor de lámina bruta de 230,6 mm y los datos obtenidos en campo de acuerdo al tiempo de riego aplicado y el volumen tenemos en las dos horas una lámina de 161,25 mm y con las 4 horas de 320,85 mm.

#### 4.5.2 Programación de riego para el segundo corte

Los resultados obtenidos en la programación de riego utilizando el programa Cropwat 8.0 con datos de las variables climáticas de referencia que cuenta la Estación Experimental Patacamaya, se obtuvo la siguiente figura para el segundo corte y realizando una comparación con los datos obtenidos en campo con la aplicación de las dos láminas de riego en cuanto al tiempo y el volumen aplicado, se muestra en la siguiente figura.

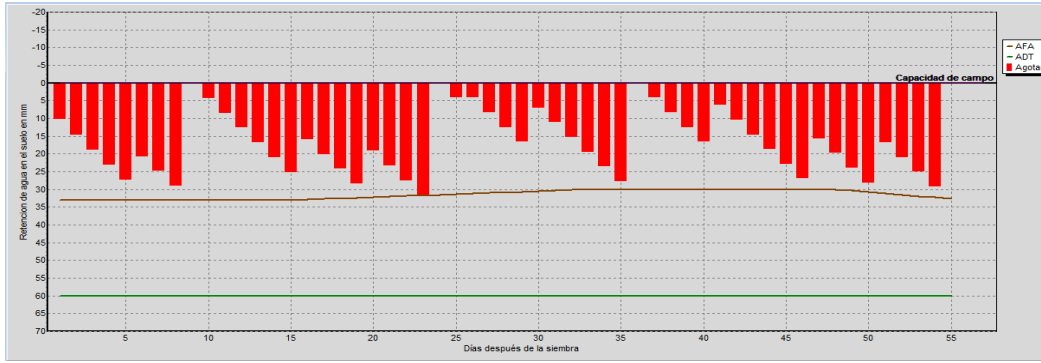


Figura 15. Programación de riego segundo corte

En la figura 15, se observa la programación del riego de forma teórica, elaborada con el apoyo del programa Cropwat 8.0, donde se determinó de forma matemática para saber cuándo y cuánta agua se debe aplicar al cultivo para el segundo corte de alfalfa, en el espacio determinado. Para el análisis fue muy necesario conocer las características del cultivo, las características físicas del suelo y las condiciones climáticas de la zona. Necesariamente se realizó las modificaciones para campo de acuerdo a las características de la parcela. De acuerdo al tipo de suelo tendremos distintas capacidades para retener agua por lo que las estrategias de riego serán diferentes.

ETo estación		PATACAMAYA		Cultivo		ALFALFA		Siembra		28/11		Red. Rend.			
Est. de lluvia		PATACAMAYA		Suelo		FAa		Cosecha		22/01		0.0 %			
Formato de Tabla				Momento: <a href="#">Regar a agotamiento crítico</a>											
<input checked="" type="radio"/> Program. de riego				Aplicación: <a href="#">Reponer a capacidad de campo</a>											
<input type="radio"/> Bal. diario de agua de suelo				Ef. campo 70 %											
Fecha	Día	Etapa	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám. Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal				
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha				
6 Dic	9	Ini	0.0	1.00	100	56	33.3	0.0	0.0	47.6	0.61				
21 Dic	24	Des	0.0	1.00	100	60	35.8	0.0	0.0	51.1	0.39				
2 Ene	36	Med	0.0	1.00	100	53	31.9	0.0	0.0	45.6	0.44				
21 Ene	55	Fin	0.0	1.00	100	55	33.2	0.0	0.0	47.4	0.29				
22 Ene	Fin	Fin	0.0	1.00	0	0									
<b>Totales</b>				Lámina bruta total				191.7 mm		Precipitación total				135.7 mm	
				Lámina neta total				134.2 mm		Precipitación Efectiva				100.8 mm	
				Pérdida total de riego				0.0 mm		Pérdida tot.prec.				34.9 mm	
				Uso real de agua del cultivo				229.0 mm		Def. de hum. en cosecha				0.0 mm	
				Uso pot. de agua del cultivo				229.0 mm		Requer. reales de riego				128.2 mm	
				Efic. de programación de riego				100.0 %		Efic. de precipitación				74.3 %	
				Deficiencia de programación de riego				0.0 %							
Reducción de rendimiento															

Figura 16. Requerimiento de agua del cultivo en base a las fases fenológicas.

En la figura 16 se muestra la lámina neta con el programa Cropwat 8,0 que fue de 134,2 mm (134,2 l/m<sup>2</sup>) y 191,7 mm de lámina bruta, desde el 28 de noviembre hasta el 22 de enero, día en que se cosecho la alfalfa forrajera de acuerdo al desarrollo del cultivo.

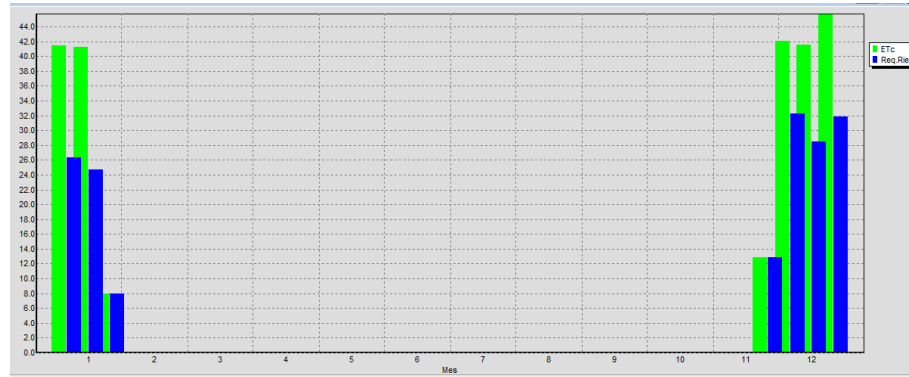


Figura 17. Requerimiento de agua del cultivo de alfalfa del segundo corte

En la figura 17, se muestra los requerimientos de agua con relación a la ETc del cultivo, para ser aplicados en la investigación.

Realizando la comparación en este segundo corte, con el Cropwat 8.0 y los datos aplicados en campo con las dos láminas de riego en función al tiempo y el volumen de agua aplicado, el programa nos da un valor de lámina bruta de 191,7 mm y los datos obtenidos en campo de acuerdo al tiempo de riego aplicado y el volumen tenemos en las dos horas una lámina de 150,5 mm y con las 4 horas de 299,46 mm.

#### 4.6 Variables de respuesta

Dentro de las variables se tomaron los siguientes datos:

- Variable altura de planta
- Variables de rendimientos
- Variables del desempeño de evaluación del riego por aspersión
- Variables de costo

##### 4.6.1 Altura de planta (marbeteo)

Una vez delimitado las unidades experimentales se continuó con el marbeteo de las plantas dentro de estas, con letreros de madera en nueve plantas al azar en cada

repetición dándoles una denominación diferente a cada una de ellas para un mejor registro.



Figura 18. Marbeteo de plantas

Esta variable se evaluó cada semana es decir cada 7 días, hasta el primer corte del forraje para ello se identificaron las plantas mar veteadas por cada unidad experimental, el total de las plantas evaluadas en primer corte fue de 162 plantas, de igual manera en el segundo corte fue de 162 plantas, las mediciones se tomaron desde la parte del cuello hasta la parte terminal de la planta, expresada en metros.



Figura 19. Registro de altura de planta

## 4.6.2 Variables de rendimiento

### 4.6.2.1 Rendimiento de materia verde

Para determinar el rendimiento de materia verde se vio el forraje en su relación con su desarrollo fisiológico de la planta, estableciéndose que el mejor momento del corte es cuando el forraje presenta al 10-12% de su floración, ya que esta fase presenta gran cantidad de nutrientes.

Para determinar el rendimiento de materia verde se hizo el corte de la alfalfa a una altura aproximado de 5 cm del suelo con la herramienta del hoz, el corte se lo realizo en un metro cuadrado con tres repeticiones para tener un promedio ideal, ya que el forraje no es nuevo porque existe lugares donde por la erosión del viento no existe mucho macollaje. Estos valores se pesaron y se obtuvieron los rendimientos en materia verde de cada tratamiento por unidad de superficie.



Figura 20. Realizando el corte



Figura 21. Pesado de materia verde

#### 4.6.2.2 Rendimiento de materia seca

Para determinar el rendimiento de materia verde se vio el forraje en su relación con su desarrollo fisiológico de la planta, estableciéndose que el mejor momento del corte es cuando el forraje presenta al 10-12% de su floración, ya que esta fase presenta gran cantidad de nutrientes.

El rendimiento se obtuvo para cada corte a partir de la materia verde de una superficie de 1 metro cuadrado donde se registró el peso fresco. Luego se tomó 200 g de materia verde y seguidamente se sometió al proceso de secado a temperatura ambiente y luego se introdujo en la estufa, a temperatura de 60°C durante tres días, alcanzando, un peso constante.

Con datos obtenidos se ha calculado el rendimiento de materia seca de acuerdo a la expresión de la siguiente fórmula por Reyes (2010).

$$RMS = PHTM * \left( \frac{PSSM}{PHSM} \right) * 10 \quad (6)$$

Donde:

RMS = Rendimiento de materia seca (tn/ha).

PHTM = Peso húmedo de la muestra (kg) del área de cosecha (m<sup>2</sup>).

PSSM = Peso seco de la submuestra (g).

PHSM = Peso húmedo de la submuestra (g).

10 = Factor de transformación (tn/ha).

#### 4.6.3 Desempeño de la evaluación del riego por aspersión

La evaluación del sistema se realizó por lo general en la mañana; ya que por la tarde en el altiplano se tiene vientos mayores a 2 m/s, al terminar la instalación del sistema en la parcela de estudio; el procedimiento se describe a continuación.

- **Elección del sitio de la prueba**, se realizó en el de evaluación del sistema de riego, donde se obtuvieron datos de las características de los ramales de riego y aspersor evaluado (presión).
- **Determinación del diámetro de mojado**, se midió el radio y diámetro de mojado del aspersor, al inicio y final de la evaluación.

- **Armado de la red de pluviómetros**, fue armada una red de pluviómetros caseros con un reticulado de 1,5 m x 1,5 m.
- **Antes del funcionamiento**, se realizó la calibración del chorro de los aspersores para dirigirlos hacia los pluviómetros, es decir para que el radio de mojado se encuentra dentro del reticulado. Se soltó los aspersores se hizo la toma de datos la hora de inicio y final de la prueba; vaciando previamente cualquier pluviómetro que tuviese agua.
- **Finalmente**, se recogió la red de pluviómetros sin alterar su orden y se midieron los volúmenes recogidos en los mismos utilizando una probeta graduada.
- **Para determinar la uniformidad**, del riego proporcionado por los aspersores que sirvió para la evaluación del sistema de riego para el cultivo de la alfalfa son la siguiente.

$$CU = 100 * (1 - \sum(Hi-H)/\sum Hi) \quad (7)$$

- **Uniformidad de distribución (UD)**: Para conocer la uniformidad con que el agua fue distribuida en la parcela, la expresión usada compara la fracción de lámina media infiltrada en el cuartil menor (25% Zx), entre la lámina media infiltrada en la parcela.

$$UDci = ((Z)25\%/Z) * 100 \quad (8)$$

Donde:

UD = Uniformidad de Distribución

Z = La media de los volúmenes medidos en la cuarta parte de los vasos que han recogido menos agua (V25%).

Z25% = La media de los volúmenes medidos en la cuarta parte de los vasos que han recogido menos agua (V25%)

#### 4.6.4 Análisis de costos de producción

El análisis económico se realizó sobre la base del beneficio/costo (B/C), para las láminas de riego, para una superficie de una hectárea.

Los costos fijos (CFa), fueron conformados, por el costo del establecimiento de la parcela, la compra e instalación del método de riego. Los costos variables (CV) fueron



estructurados por la operación del método de riego, donde el costo total (CT), se determinó por la suma de ambos costos.

$$\mathbf{CT = CFa + CV} \quad \mathbf{(9)}$$

CT : Costos totales  
CFa : Costos fijos anuales  
CV : Costos variables

A la red de conducción y la electrobomba del método de riego fue asignada una vida útil de 6 años respectivamente, según las recomendaciones de fábrica, en cambio a la parcela fue asignada de 10 años de utilidad, donde el B/C fue analizado según las recomendaciones de Perrin et al., y Yupanqui (2006).

El precio de campo de la Alfalfa se determinó según la recomendación hecha por Reyes (2001); extrayendo de cada unidad del precio de mercado, el costo de la cosecha, transporte y la comercialización del producto, mediante la siguiente relación matemática:

$$\mathbf{PCQ = PMQ - CU_{CTC}} \quad \mathbf{(10)}$$

PCQ : Precio de campo del producto.  
PMQ : Precio de mercado del producto.  
CU<sub>CTU</sub> : Costo unitario de cosecha, transporte y comercialización

## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación de acuerdo con la metodología empleada son los siguientes.

### 5.1 Lámina aplicada en los dos cortes

La lámina aplicada en la investigación se calculó de acuerdo al caudal de cada aspersor que se utilizó, en función al tiempo de riego que se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 6. Láminas de riego

Corte	Tratamiento	Lámina aplicada total (mm)	Lámina aplicada por riego (mm)
Corte 1	T0	0	0
	T1	161,25	10,75
	T2	322,5	21,39
Corte 2	T0	0	0
	T1	150,5	10,75
	T2	299,46	21,39

### 5.2 Efecto de las dos láminas en los cortes

Los resultados en el crecimiento de altura máxima de la alfalfa con la aplicación de dos láminas de riego por aspersión mostraron promedios variados los cuales están detallados en la siguiente tabla.

Cuadro 7: Promedios de altura de corte

Corte	Tratamiento	Lámina aplicada (mm)	Altura (cm)
Corte 1	T0	0	6,50
	T1	161,25	26,35
	T2	322,5	29,65
Corte 2	T0	0	13,07
	T1	150,5	31,74
	T2	299,46	40,22

Observando los promedios obtenidos en el cuadro 7 y figura 22, sobre la variable crecimiento altura de corte, en el segundo corte con una lámina de riego de 299,46 mm y un tiempo de riego de cuatro horas se obtuvo una altura de 40,22 cm. Por otro lado, el valor más bajo que se identificó es el testigo del primer corte de horas y sin lámina de riego con un valor de 6,50 cm.

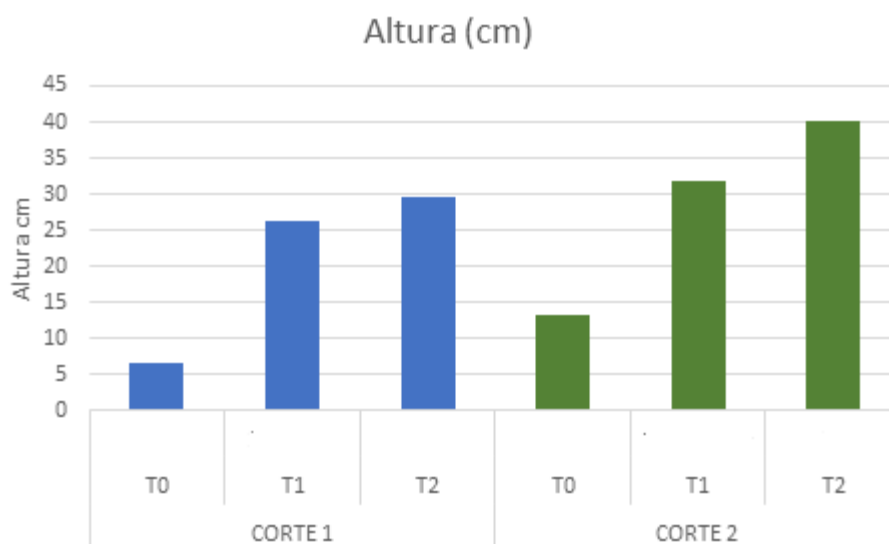


Figura 22. Altura de corte

Luego de un Análisis en los promedios alcanzados por los tratamientos en los dos cortes, se procedió a realizar el análisis de varianza de los datos de la variable altura de crecimiento el cual se muestra a continuación

Cuadro 8. Análisis de varianza para la variable altura crecimiento de cortes

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	F	SIGNIFICANCIA
Corte	507,83	1	507,83	56,88	**
Tratamiento	4153,15	2	2076,58	232,58	**
Corte x tratamiento	44,34	2	22,17	2,48	NS
C.V.	12,15				

Fuente: Elaboración propia; cv= coeficiente de variación, fv= fuentes de variación, \*\*=altamente significativo, \*=significativo, ns=no significativo.

Con respecto a la variable corte y tratamiento se detectó diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,01$ , por lo que se realizó las comparaciones de medias a través de la prueba de Duncan al 5% para estos dos factores mencionados.

En la interacción entre ambos factores de corte y tratamiento (A\*B), no presentaron significancia, lo que indica que no hubo efecto, en cuanto al crecimiento.

El coeficiente de variación es de 12,15%, el cual indica que el experimento ha sido bien manejado con datos confiables.

En la figura 23, presentan las comparaciones de Duncan, donde se muestra los factores de corte de alfalfa.

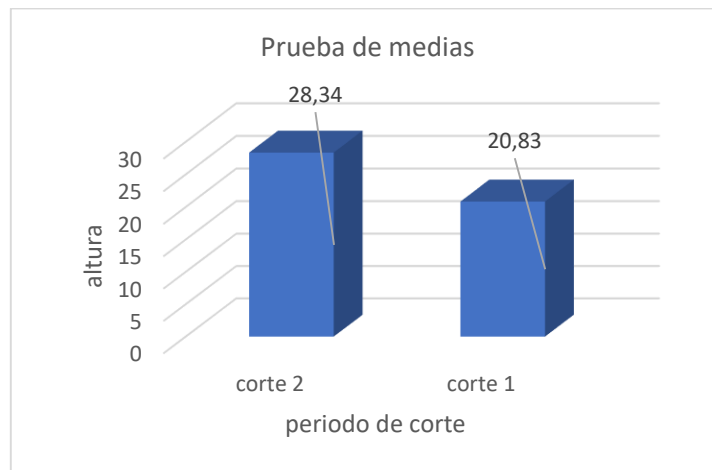


Figura 23. Prueba de comparación de medias de Duncan periodo de corte

Esta diferencia en altura en los dos periodos de corte como se observa en la figura 11, básicamente se atribuye al tiempo en que se realizó el corte, presentan diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ).

Según Muslera (1984), señala que, durante el crecimiento de la alfalfa, se ha observado que la parte foliar tolera hasta  $-1^{\circ} \text{C}$  de la temperatura mínima, con la consiguiente retención de crecimiento, asimismo este parámetro disminuye en la fase inicial del desarrollo del primer corte, al registrarse temperaturas mínimas de  $0^{\circ}$ .

Por otra parte, Tazola V. (2007), aplicando láminas de riego en diferentes cortes, obtuvo una media de 14,45 cm a 40 cm, por los factores climáticos.

En la investigación realizada se logró una diferencia promedio mayor con 28,34 cm en el segundo corte y 20,83 cm para el primer corte.

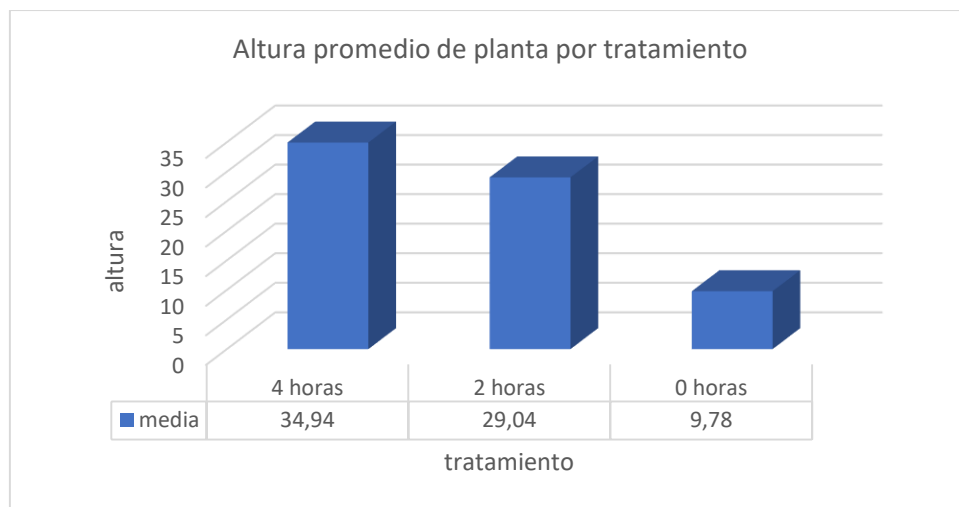


Figura 24. Prueba de comparación de medias de Duncan tratamiento o lámina aplicada

Estas diferencias en altura en comparación a las medias con respecto a la lámina aplicada en los dos periodos de corte, tiene una diferencia alta en cuanto a la comparación de las cuatro horas de riego de 34,94 cm a diferencia con las dos horas de riego que alcanza 29,04 cm y de 9,78 cm sin ninguna lámina aplicada, se podría decir que el testigo solo recibió la precipitación efectiva. Básicamente se atribuye a los efectos de la cantidad de agua aplicada en los dos tratamientos.

Por otra parte, Tazola V. (2007), en la Estación de Choquenaira, aplicando láminas de riego en diferentes cortes, logró obtener valores hasta 45 cm y una mínima de 21,87 cm.

Mientras en la investigación realizada, se obtuvieron resultados mínimos en comparación a otras investigaciones y que se encuentran dentro del rango permitido.

Las láminas aplicadas en los tres tratamientos tuvieron un gran efecto en cuanto a la altura de crecimiento en los dos cortes que se realizó, la primera lámina comprendida en función al tiempo de dos horas fue de 161,25 mm y 150,50 mm, en cuanto a la aplicación en la segunda lámina fue de 320,85 mm y 299,46 mm y en el testigo no se aplicó ninguna lámina de riego, solo la precipitación efectiva.

En la siguiente figura 25, nos muestra la altura del primer corte en cuanto al crecimiento por semana.

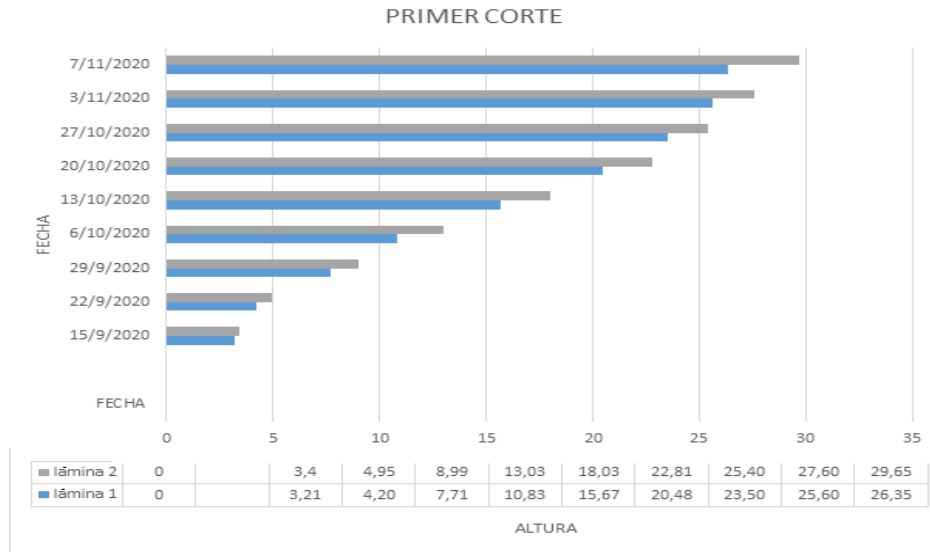


Figura 25. Altura de crecimiento por semanas del primer corte

En la figura 27, nos muestra la altura en cuanto al crecimiento al segundo corte por semana, donde se puede observar una altura máxima de la segunda lámina con 40,22 cm y la primera lámina con 31,74 cm.

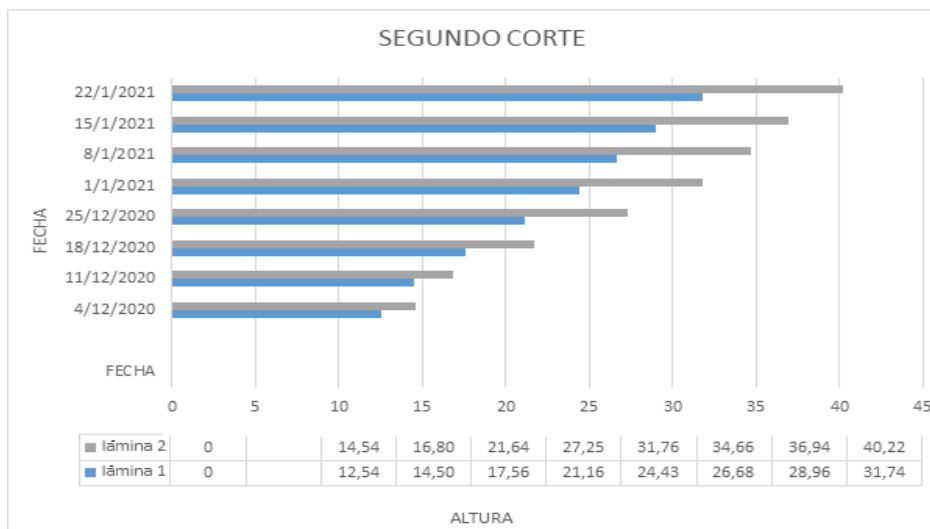


Figura 26. Altura de crecimiento por semanas del segundo corte

### 5.3 Efecto de las dos láminas en el rendimiento

#### 5.3.1 Rendimiento de materia verde

La variable del rendimiento de los tratamientos de materia verde en estudio se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 9. Rendimiento de materia verde en dos cortes

Tratamiento	Corte 1		Corte 2	
	kg/ha	t/ha	kg/ha	t/ha
T 0	600	0,6	3500	3,5
T 1	13100	13,1	15900	15,9
T 2	16100	16,1	26500	26,5

En el cuadro 9, nos muestra el rendimiento en los dos cortes aplicando las dos láminas de riego en cuanto al tiempo de cuatro horas, dos horas y el testigo. Donde se puede observar una diferencia en cuanto a las dos láminas y los cortes.

Los rendimientos por lámina aplicada y por corte se muestran en el siguiente cuadro por kg/ha, como también t/ha.

Los rendimientos obtenidos para el primer corte, se tiene para T0 = 600 kg/ha y 0,6 t/ha, T1 = 13100 kg/ha y 13,1 t/ha, T2 = 16100 kg/ha y 16,1 t/ha. Para el segundo corte se tiene T0 = 3500 kg/ha y 3,5 t/ha, T1 = 15900 kg/ha y 15,9 t/ha, T2 = 26500 kg/ha y 26,5 t/ha.

A diferencia de la investigación, Tazola V. (2007), en un estudio con la aplicación de diferentes láminas de riego, han permitido realizar cuatro cortes en estado de madures en la fase de crecimiento en el cuarto corte logrando rendimientos de 8,17 t/ha MV con la aplicación de riego y 2,47 t/ha MV sin la aplicación de riego en la producción de la alfalfa bajo riego por aspersión en el altiplano norte.

Por tanto, los resultados obtenidos en la investigación realizada, son superiores a los valores obtenidos en otras investigaciones, esto se debe a la aplicación de agua en un tiempo de cuatro horas, con una frecuencia de riego de dos días.

Una vez realizado las evaluaciones para el rendimiento de materia verde de la alfalfa, se realizó el análisis de varianza, con una probabilidad del 5% aplicada por Duncan, en el cuadro 10 se muestra el ANVA para el rendimiento del forraje.

Cuadro 10. Análisis de varianza de rendimiento materia verde

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	F	P-VALOR	SIGNIFICANCIA
Corte	2,58	1	2,58	17,23	0,0003	**
Tratamiento	23,03	2	11,51	76,83	<0,0001	**
Corte x tratamiento	1,15	2	0,57	3,82	0,0332	NS
Error	4,5	30	0,15			
Total	31,25	35				
C.V.				27,7		

Fuente: Elaboración propia; cv= coeficiente de variación, fv= fuentes de variación, \*\*=altamente significativo, \*=significativo, ns=no significativo.

Para las variables corte y tratamiento con la aplicación de láminas de riego, se observa que existen diferencias altamente significativas. En cuanto a la variable interacción corte x tratamiento, no presentan significancia. En la aplicación de las láminas por corte, no existen diferencias en la interacción (A\*B), ya que la lámina aplicada no varía mucho, porque lo que diferencia es el periodo o los días que se realizó el corte, según a ellos se aplica dicha lamina.

El coeficiente de variación nos indica que los datos fueron bien manejados y son confiables con un 27,7 %.

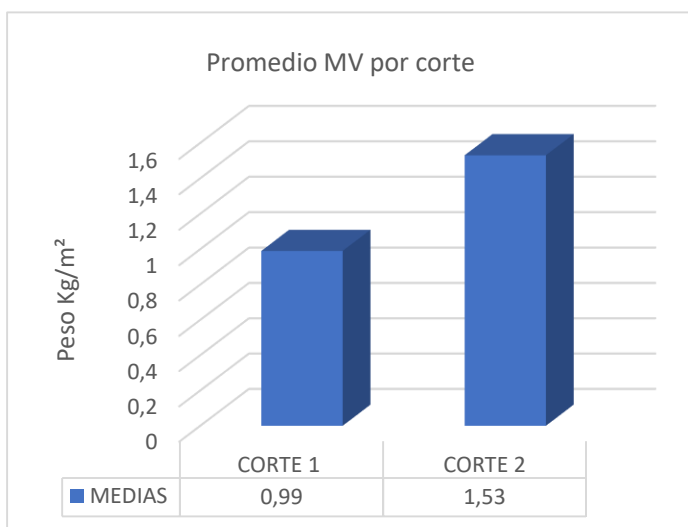


Figura 27. Prueba de comparación de medias de Duncan en rendimiento periodo de corte



En la figura 27, observamos que en la prueba de Duncan a un nivel 5% de probabilidad; se evidencia la existencia de diferencias entre la obtención de materia verde para corte con 0,99 kg/m<sup>2</sup> para el primer corte y 1,53 kg/m<sup>2</sup> del segundo corte.

Del mismo Torrez M. (2010), logró obtener rendimientos hasta 2,39 kg/m<sup>2</sup> de materia verde en diferentes cortes, pero sin la aplicación de láminas de riego, solo con la aplicación de estiércol, mientras tanto en la investigación con láminas de riego se logró obtener un promedio entre los ambos cortes de 0,99 kg/m<sup>2</sup> de materia verde en el primer corte, mientras tanto en el segundo 1,54 kg/m<sup>2</sup> de materia verde.

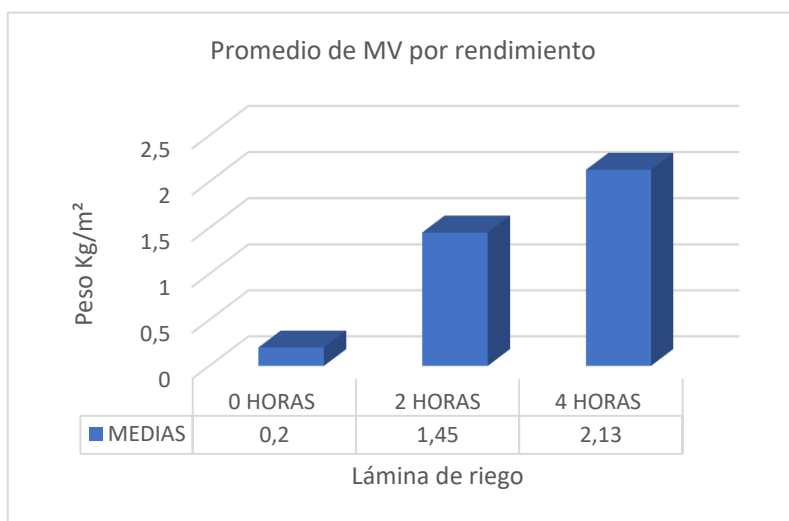


Figura 28. Prueba de comparación de medias en el rendimiento de tratamientos

En la figura 28, observamos que en la prueba de Duncan a un nivel 5% de probabilidad; se evidencia la existencia de diferencias entre la obtención de materia verde por tratamiento con 2,13 kg/m<sup>2</sup> para el tratamiento con la aplicación de cuatro horas de riego, 1,45 kg/m<sup>2</sup> para el tratamiento con la aplicación de dos horas de riego y 0,2 kg/m<sup>2</sup> sin la aplicación de riego.

### 5.3.2 Rendimiento de materia seca

Los resultados de la evaluación del rendimiento de materia seca en dos cortes con dos láminas de riego y un testigo se muestran a continuación.

Cuadro 11. Rendimiento de materia seca por cortes y lámina aplicada

TRATAMIENTOS	CORTE 1	CORTE 2
	tn/ha	tn/ha
T0	0,17	1,02
T1	3,86	4,74
T 2	4,76	7,83

Fuente. Elaboración propia, 2021.

En el cuadro 11, se muestra los rendimientos en promedio de materia seca (MS) por corte realizado, el cual, con la aplicación de la primera lámina comprendida de dos horas al primer corte, se tiene un rendimiento de 3,86 tn/ha MS, como también a la segunda lámina comprendida de cuatro horas de 4,76 tn/ha MS y 0,17 tn/ha MS del testigo sin ninguna aplicación de lámina de riego. En cuanto al segundo corte con dos horas de riego tiene un rendimiento de 4,74 tn/ha MS, para cuatro horas el rendimiento es de 7,83 tn/ha MS y 1,02 tn/ha MS para el testigo.

El análisis de varianza para el del rendimiento de materia seca en los dos cortes y con la aplicación de las dos láminas de riego y el testigo, los resultados se muestran a continuación.

Cuadro 12. Análisis de varianza del rendimiento de materia seca con dos láminas

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	F	P-VALOR	
Corte	22,88	1	22,88	17,65	0,0002	**
Tratamiento	200,33	2	100,17	77,26	<0,0001	**
Corte x tratamiento	9,84	3	4,92	3,8	0,0339	NS
Error	38,89	30	1,3			
Total	271,95	35				
C.V.				28,53		

Fuente: Elaboración propia; cv= coeficiente de variación, fv= fuentes de variación, \*\*=altamente significativo, \*=significativo, ns=no significativo.

En el cuadro 12, nos muestra el análisis de varianza, donde se puede observar la variable corte y tratamiento presenta datos altamente significativos, en la interacción tratamiento x corte no presenta diferencias significativas.

El coeficiente de variación presenta un 28,53%, el cual indica que los resultados experimentales son confiables, el experimento fue bien manejado.

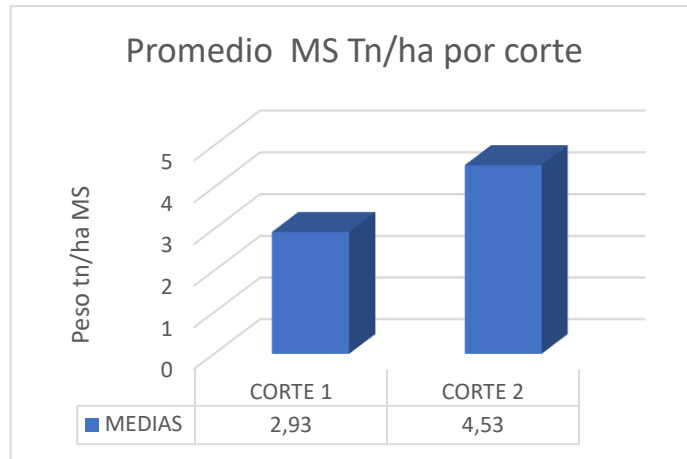


Figura 29. Prueba de comparación de medias de Duncan en el rendimiento de MS tn/ha por corte

En la figura 29, observamos que en la prueba de Duncan a un nivel 5% de probabilidad; se evidencia la existencia de diferencias entre la obtención de materia seca para corte con 2,93 t/ha para el primer corte y 4,53 t/ha del segundo corte.

Por otra parte, Tazola (2007), presentó datos de materia seca con aplicación de láminas de riego en diferentes cortes hasta 3,77 t/ha de MS, logrados en la Estación de Choquenaira, mientras tanto en la investigación se logró una diferencia hasta 4,53 t/ha de MS, con la aplicación de cuatro horas de riego en cuanto al tiempo en el segundo corte y 2,93 tn/ha MS con dos horas de riego en el primer corte.

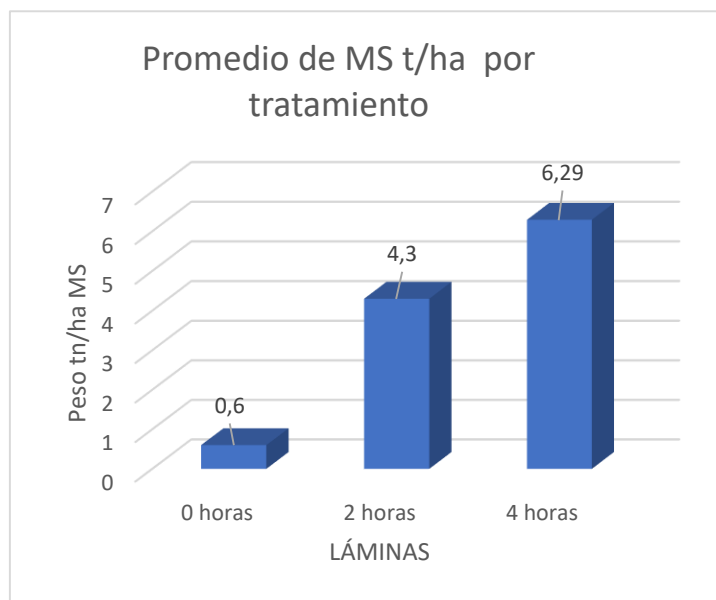


Figura 30. Prueba de comparación de medias de Duncan en el rendimiento de MS tn/ha en aplicación de lámina de riego.

En la figura 30, observamos que en la prueba de Duncan a un nivel 5% de probabilidad; se evidencia la existencia de diferencias entre la obtención de materia seca por tratamiento presenta valores de 6,29 t/ha con la aplicación de cuatro horas de riego, 4,3 t/ha con la aplicación de dos horas de riego y 0,6 t/ha sin la aplicación de riego.

En investigaciones realizadas por Tazola (2007), muestra resultados obtenidos en Viacha, con la aplicación de diferentes láminas de riego, hasta 10,4 tn/ha MS, logrados, en función a los diferentes tratamientos aplicados con láminas de riego. Mientras tanto en la investigación realizado se logró obtener un valor máximo de 6,29 tn/ha MS.

Esta mayor disminución de materia seca, causo una baja eficiencia en el uso del agua, el cual se estima que fue causado por factores genéticos de la alfalfa, descartando el efecto del periodo de corte, debido a que este se realizó de acuerdo a la aparición de los nuevos rebrotes y la formación de los tallos secundarios, como signo de madurez después de la acumulación de reservas en las raíces como afirma Delgadillo y Espinoza (2000).

#### **5.4 Principales parámetros de evaluación del riego por aspersión**

La elección de un aspersor, depende de la presión nominal de trabajo, caudal, diámetro de boquilla esa información se tiene en las especificaciones técnicas de cada aspersor, donde se muestra los coeficientes de uniformidad para diferentes marcos de uso de riego.

El aspersor de evaluación que fue utilizado para determinar los parámetros es el Xcel Wobbler 3/4" del no impacto.

La evaluación se realizó en un marco de riego cuadrangular, con una red pluviométrica de 1,5 x 1,5 m centrados en un área de 144 m<sup>2</sup>, distancia entre laterales y aspersores de 12 m, los porta aspersores a una altura de 1,20 m, para tener menor incidencia por el viento. Tarjuelo (1999), indica que la velocidad del viento se incrementa con la altura, por lo que en el diseño del sistema el aspersor debe ubicarse lo más bajo posible, en función de la altura de los cultivos a regar, por lo que recomienda alturas que no sobrepasen los 2 metros.

### 5.4.1 Relación entre CU y UD Aspersor Xcel Wobbler

Para la determinación del Coeficiente de Uniformidad (CU) la Uniformidad de Distribución en el cuarto inferior, se caracteriza por el reparto de agua sobre la superficie de forma uniforme, es necesario conocer la cantidad de agua recogida en (mm) de los pluviómetros en el área de acción de los aspersores. Keller (1990), citado por Tarjuelo (1999), mantiene que las pérdidas por evaporación y arrastres varían entre 5 y 10% en condiciones normales. Sin embargo, en condiciones muy severas (alta: HR, °T, Vv, y tamaños de las gotas muy pequeños) pueden resultar mayores.

De acuerdo a Keller y Bliesner (2000), se recomienda los siguientes valores:

UD < 60% (CU < 75%) considerados bajos para cultivos extensos, así como forrajeras.

UD > 75% (CU > 84%) es recomendado para cultivos de alto valor.

Se describen los resultados de la evaluación de los Coeficientes de Uniformidad de Christiansen (CU) y Uniformidad de distribución en el cuarto inferior (UDci), obtenidos del aspersor Xcel Wobbler, en media hora de evaluación para determinar la pluviometría.

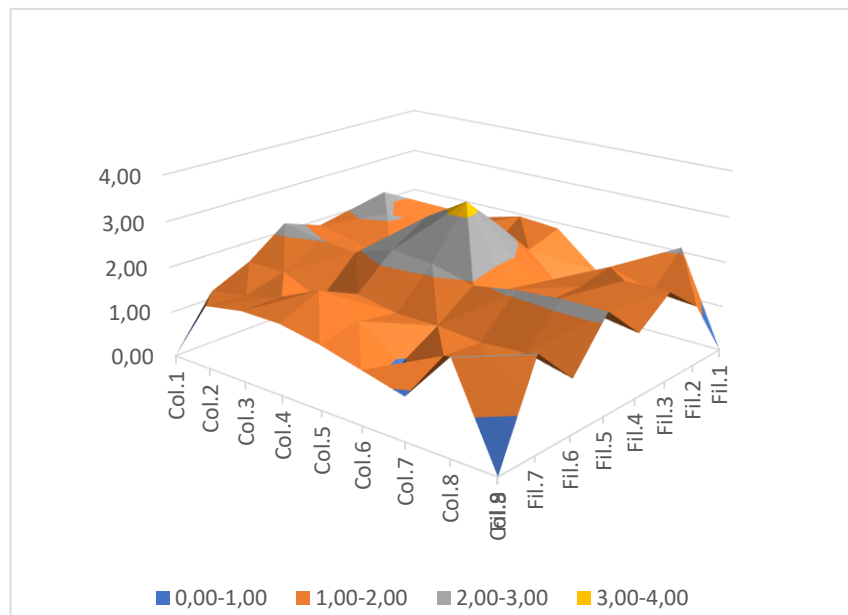


Figura 31. Diagrama de volumen aplicado aspersor xcel – wobbler

En la Figura 31, se observa los datos obtenidos para determinar el parámetro del Coeficiente de Uniformidad en el área de evaluación, cuyos valores se muestran en el Anexo 7, obteniendo 79,5% de CU, la Uniformidad de distribución en el cuarto inferior tiene un valor de 63,51%. El INIA – CARILLANCA (2001), señala que en general, velocidades de vientos superiores a 2,5 m/s no es recomendable al riego por aspersión, mientras que velocidades entre 1 a 2,5 m s<sup>-1</sup> es poco recomendable, siendo óptimo las velocidades inferiores a un metro por segundo.

## **5.5 Análisis económico de los costos de producción**

Los costos de producción de la alfalfa, bajo riego por aspersión, fueron analizados con los costos fijos y costos variables en base al beneficio/costo.

### **5.5.1 Costos fijos y costos variables**

Los costos fijos de la producción de alfalfa fueron conformados por los costos de establecimiento del terreno, la adquisición e instalación del método de riego, en cambio los costos variables de producción fueron conformados por los gastos en mano de obra, roturado, compra de insumos, los gastos de operación y el mantenimiento del método de riego.

Cuadro 13. Costos fijos de instalación y establecimiento en dos cortes

DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	COSTO TOTAL (Bs)	AÑO DE VIDA UTIL	COSTO FIJO (Bs)
Motor de 5 hp 2" (con accesorios)	conjunto	1	4500	4500	6	750,0
Cabezal completo	conjunto	1	930	930	6	155,0
Polituvo 2"	m	120	9	1080	6	180,0
Collarin 2" a 1 1/2 "	pieza	8	44	352	6	58,7
Llave de paso de 1 1/2 "	pieza	8	70	560	6	93,3
Codos 2"	pieza	2	25	50	6	8,3
Unión universal de 2"	pieza	3	40	120	6	20,0
Reductor 2" a 1 1/2 "	pieza	1	22	22	6	3,7
Polituvo 1 1/2 "	m	580	6,2	3596	6	599,3
Collarin de 1 1/2 " a 3/4"	pieza	42	26	1092	6	182,0
Codos de 1 1/2 "	pieza	8	14	112	6	18,7
Niples de 1 1/2 "	pieza	8	13	104	6	17,3
Reductores de 1 1/2 " a 3/4	pieza	8	13	104	6	17,3
Barras de pvc 3/4	barra	10	42	420	4	105,0
Coplas de pvc	pieza	48	3	144	4	36,0
Manómetro	pieza	1	120	120	6	20,0
Aspersores	pieza	48	70	3360	3	1120,0
Teflones	cajas	10	23	230	2	115,0
Picota	pieza	2	45	90	6	15,0
<b>Costo total de la red de conducción y distribución</b>				<b>16986</b>		<b>3514,7</b>
Total depreciación anual						<b>3514,7</b>
Número de meses						12
Depresiación mensual						292,89
Ciclo de Producción						5
<b>COSTO FIJO TOTAL</b>						<b>1464,44</b>

En el cuadro 13, nos muestra los costos fijos en la adquisición e instalación, tomando en cuenta la vida útil de los materiales, accesorios y herramientas, considerando en ciclo de producción del forraje que fue de dos cortes en 5 meses, el costo fijo es de 1464,44 Bs. Los equipos de instalación fueron calculados a una vida útil de 6 años, según a recomendaciones de fábrica de tigre plasmar.

Cuadro 14. Costos variables para la implementación del forraje testigo

DETALLE T0	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	COSTO TOTAL (BS)
SEMILLA	Kg	7	100	700
Abono	saco	10	40	400
Roturado	h, tractor	1	150	150
Rastreado	h, tractor	1	150	150
Remoción rastreado	h, tractor	1	150	150
Siembra boleó	hora/trabajo	3	10	30
Desyerbe	jornal	5	80	400
Energía	horas	0	0	0
Cosecha	jornal	6	80	480
Excavación e instalación	jornal	4	80	320
TOTAL COSTO VARIABLE				2780
Imprevistos 10%				278
<b>TOTAL COSTO VARIABLE</b>				<b>3058</b>

Cuadro 15. Costos variables para la implementación del forraje tratamiento 1

DETALLE T1	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	COSTO TOTAL (BS)
SEMILLA	Kg	7	100	700
Abono	saco	10	40	400
Roturado	h, tractor	1	150	150
Rastreado	h, tractor	1	150	150
Remoción rastreado	h, tractor	1	150	150
Siembra boleó	hora/trabajo	3	10	30
Desyerbe	jornal	5	80	400
Energía	horas	30	6,2	186
Cosecha	jornal	6	80	480
Excavación e instalación	jornal	4	80	320
TOTAL COSTO VARIABLE				2966
Imprevistos 10%				296,6
<b>TOTAL COSTO VARIABLE</b>				<b>3262,56</b>



Cuadro 16. Costos variables para la implementación del forraje tratamiento 2

DETALLE T2	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	COSTO TOTAL (BS)
SEMILLA	Kg	7	100	700
Abono	saco	10	40	400
Roturado	h, tractor	1	150	150
Rastreado	h, tractor	1	150	150
Remoción rastreado	h, tractor	1	150	150
Siembra boleó	hora/trabajo	3	10	30
Desyerbe	jornal	5	80	400
Energía	horas	60	6,2	372,2
Cosecha	jornal	6	80	480
Excavación e instalación	jornal	4	80	320
TOTAL COSTO VARIABLE				3152,72
Imprevistos 10%				315,27
<b>TOTAL COSTO VARIABLE</b>				<b>3467,99</b>

En los anteriores cuadros, se pueden ver los costos variables por tratamiento para la producción de alfalfa, tomando en cuenta la determinación de la mano de obra, el cual se realizó en jornales, como también el gasto de energía en la aplicación de riego, donde se realizó el cálculo del precio por hora trabajada de la electrobomba.

El costo total variable por tratamiento llega 3058,20 Bs. Para el tratamiento 0, 3262,56 Bs. para el tratamiento 1 y 3467,99 Bs. Para el tratamiento 2; tomando en cuenta el 10% de los imprevistos, mencionando en esta parte la pérdida en la cosecha.

### 5.5.2 Precio de campo

El precio de campo fue determinado, extrayendo los precios de la cosecha, transporte y comercialización del precio de mercado, como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 17. Estructura del precio de campo de alfalfa

ESPECIE	COSTOS (Bs/kg MS)		PRECIO DE VENTA (Bs/kg MS)	
	Cosecha	Transporte y comercialización	Mercado	Campo
Alfalfa	0,1	0,14	1,9	1,6

### 5.5.3 Costo total de producción

Los costos totales de producción, es la suma de los costos fijos y costos variables, el cual se muestra en el cuadro 18.

Cuadro 18. Costos totales de producción

DETALLE	COSTOS FIJOS (Bs)	COSTOS VARIABLES (Bs)	COSTO TOTAL DE PRODUCCION (Bs)
<b>T0</b>	0	3058	3058,00
<b>T1</b>	1464,44	3262,56	4918,00
<b>T2</b>	1464,44	3849,12	5313,56

En el cuadro 18, se observa que, para la producción de alfalfa, solo en el área de investigación que se realizó por tratamiento, se tiene en el testigo un costo total de 3058,00 bs, en el tratamiento dos un total de 4918,00 bs y en tercer tratamiento con un valor de 5313,56 bs, tomando en cuenta solo los meses al primer corte donde se realizó en el trabajo de campo en la producción de alfalfa, lo cual implica la sumatoria de todos los gastos realizados en la investigación.

### 5.5.4 Valor bruto de producción por tratamiento

El valor bruto de producción realizado por tratamiento y en un área determinado por la investigación se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro 19. Valor bruto de producción

PRODUCCIÓN TOTAL	UNIDAD	TOTAL (Bs)
Producción total T1	Kg/3456m <sup>2</sup>	290
Precio de venta	Bs	1,60
<b>Beneficio bruto</b>		<b>464,00</b>

PRODUCCIÓN TOTAL	UNIDAD	TOTAL (Bs)
Producción total T1	Kg/3456m <sup>2</sup>	2785,00
Precio de venta	Bs	1,60
<b>Beneficio bruto</b>		<b>4456,00</b>

PRODUCCIÓN TOTAL	UNIDAD	TOTAL (Bs)
Producción total T2	Kg/3456m <sup>2</sup>	4351,10
Precio de venta	Bs	1,60
<b>Beneficio bruto</b>		<b>6961,76</b>

El valor bruto de la producción como se observa en el cuadro 19, está en función al precio de comercialización en materia seca, el cual se calculó por tratamiento, para el primer tratamiento de lámina de dos horas, se tiene un total de 6127 Bs. en el área determinado de la investigación que fue de 3456 m<sup>2</sup>. Para el tratamiento dos, se tiene un valor de 9572,42 Bs. en los dos cortes que se realizó., lo mismo empleado en la misma área que la primera.

### 5.5.5 Relación beneficio costo B/C

Cuadro 20. Beneficio costo en la producción de alfalfa en dos cortes por tratamiento

<b>TRATAMIENTO 0</b>	<b>Bs</b>	<b>TRATAMIENTO 1</b>	<b>Bs</b>	<b>TRATAMIENTO 2</b>	<b>Bs</b>
Beneficio bruto	464,00	Beneficio bruto	4456,00	Beneficio bruto	6961,76
Costo total	3058,00	Costo total	4918,00	Costo total	5313,56
Ganancia neta	-2594,00	Ganancia neta	-462,00	Ganancia neta	1648,20
<b>Relación beneficio costo</b>		<b>Relación beneficio costo</b>		<b>Relación beneficio costo</b>	
Beneficio Bruto	464,00	Beneficio Bruto	4456,00	Beneficio Bruto	6961,76
Costo total	3058,00	Costo total	4918,00	Costo total	5313,56
<b>Beneficio Neto</b>	<b>0,15</b>	<b>Beneficio Neto</b>	<b>0,91</b>	<b>Beneficio Neto</b>	<b>1,31</b>

El análisis del Beneficio/costo, en el siguiente cuadro muestra una mayor factibilidad económica de la producción en la lámina T2, al registrarse un B/C de 1,31. El B/C bajo es atribuido a la menor producción de materia seca del T1 con un valor de 0,91 el cual a pesar de registrar una mayor producción de materia seca con relación T0, (testigo), donde se observa valores bajos en relación al beneficio costo en la producción de alfalfa.

## 6 CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se llegaron a las siguientes conclusiones.

EL efecto de la aplicación de las dos láminas de riego por aspersión, en el crecimiento al primer y segundo corte de alfalfa se encontró diferencias altamente significativas.

La primera lámina aplicada en función al tiempo para el primer corte se realizó a los 60 días, utilizando una lámina de 161,25 mm, el cual fue aplicado por el lapso de dos horas, llegando a alcanzar una altura máxima de 26,35 cm, para la segunda lámina se utilizó 320,85 mm para cuatro horas de riego, logrando una altura máxima de 29,65 cm y un testigo con una altura de 6,50 cm.

En el segundo corte con una lámina aplicada de 150,50 mm, por un tiempo de dos horas, se logró obtener una altura máxima de 31,74 cm y con una aplicación de 299,46 mm por cuatro horas de riego se tiene una altura máxima de 40,22 cm. Donde se encontraron diferencias altamente significativas, el tiempo de evaluación se realizó a los 58 días para el segundo corte.

En cuanto al testigo no pudo obtener el crecimiento adecuado, ya que en la etapa de investigación la precipitación no era favorable, por tal motivo no se pudo realizar la cosecha de forma adecuada, por tanto, no presentó significancia.

Para el rendimiento de materia verde, presentó diferencias altamente significativas con la aplicación de las dos láminas de riego, con rendimientos de 26,56 t/ha MV, en el segundo corte con una lámina aplicada de 299,46 mm, y 13,6 t/ha MV con una lámina aplicada de 150,50 mm. En cambio, en el primer corte presentó rendimientos de 16,13 t/ha MV con 320,85 y 13,1 t/ha MV con 161,25 mm.

En cuanto a la materia seca se lograron rendimientos como en el primer corte con la aplicación de la primera lámina con 3,86 t/ha, con la segunda lámina se lograron rendimientos de 4,76 t/ha y un testigo de 0,17 t/ha. En el segundo periodo de corte con una primera lámina se logró un rendimiento de 4,74 t/ha, con la segunda lámina aplicada, rendimientos de 7,83 t/ha y un testigo de 1,02 t/ha.

En los parámetros de evaluación del aspersor Xcel Wobbler de no impacto presenta un coeficiente de uniformidad del primer aspersor de 76,5% la uniformidad de distribución en el cuarto inferior de 63,51% en un marco de riego de 12 x 12 m, esto indica las pérdidas debido a la percolación profunda esta puede ser mayor si un riego es adecuado y aplicado en el área experimental, si se tiene presiones óptimas para un mejor caudal cuyos valores mostraron  $UD > 60\%$  y  $CU > 75\%$  en el aspersor de no impacto Xcel Wobbler que son valores permisibles para la uniformidad de riego.

La relación beneficio costo B/C en la producción de alfalfa, se registraron valores según a los dos tratamientos comprendidos de las dos láminas de riego, logrando un beneficio costo de 0,91 para la primera lámina, lo cual, a pesar de registrar una mayor producción de materia seca en relación al testigo, muestra rendimientos bajos.

Por otra parte, en relación al tratamiento dos, que es la segunda lámina aplicada muestra un valor de B/C de 1,31. Este valor nos indica que por cada boliviano invertido se logra una ganancia de 0,31 Bs. Resultando ser una proporción bastante significativa y beneficiosa para el agricultor

## **7 RECOMENDACIONES**

En base a los resultados y conclusiones de la investigación, se realiza las siguientes recomendaciones.

Realizar investigaciones utilizando netamente con estaciones meteorológicas que estén a disposición para tener datos climáticos en tiempo y espacio.

Realizar investigaciones de diferentes variedades de alfalfa y utilizar otras láminas de riego, para obtener mayor cantidad de forraje, utilizando más cortes por año.

Realizar ensayos en comunidades aledañas para poder validar el presente estudio, experimentar en diferentes épocas.

Ampliar el estudio con otras variedades mejoradas de Bolivia que se adapten en la zona y de esa manera obtener mejores rendimientos y darle mayores perspectivas al agricultor.

La red de conducción del método de riego por aspersión debe tener una instalación fija, para garantizar su vida útil, evitando deterioros por traslado, exposición a la interperie y el pisoteo.

## 8 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Aitken, S.J. 1987. Manual Agrícola. Potosí- Bolivia. pp 105- 106.

Allen, R., Pereira, L., Raes, D., y Smith, M. 2006. Evapotranspiración del Cultivo. Estudios FAO. Riego y Drenaje 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. Pág. 1 – 18.

Calderón, L. 2004. “Estudio del balance de nitrógeno y energía en ovinos criollos (Ovisaries) alimentados con forrajes nativos y alfalfa (Medicago sativa) en el centro experimental de Choquenaira”. Tesis de grado Facultad de agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés. La paz, Bolivia. 19 p.

CALLISAYA, J. 2018. “Aplicación de tres láminas de agua con riego por aspersion en el Cultivo de la alfalfa en la Estación Experimental de Choquenaira - La Paz”. Tesis Maestría Agr. La Paz – Bolivia. UMSA. 1p.

CHIPANA, R., 2003. Principios de Riego y Drenaje IRTEC 1ra ed. Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Agronomía. La Paz- Bolivia 210 p.

Chilón, E. 1996. Manual de Edafología: Prácticas de campo y laboratorio. 1ra, ed. Ed. CIDAT, UMSA. La Paz, Bolivia. 290 p.

Cisneros, R. 2010. “Apuntes de la materia de Riego y Drenaje”. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Condori, J. 1998. Producción y manejo de la alfalfa (Medicago sativa L.), bajo los sistemas tradicionales y técnico en dos comunidades de la provincia Ingavi-La Paz. Tesis de grado, Facultad de Agronomía, UMSA. La Paz, Bolivia. pp 1-20.

Crowder, L. V. 1960. Gramíneas y leguminosas. Ministerio de agricultura. Boletín técnico N° 8. Bogota Colombia. s.p

D'Atellis Rafael Alberto 2005. Alfalfa Producción de Semilla. Tinogasta Catamarca.Consultado 15 enero.2021. Disponible en: [www.infoagro.com](http://www.infoagro.com).

DELGADILLO, O., JIMÉNEZ, J. Y ROJAS, C., 2011. Evaluación del riego por aspersión en parcela. Apuntes metodológicos a partir de la práctica. Serie Técnica. Centro AGUA. – UMSS. Cochabamba, BO. 61 p.

Delgadillo, J. y Mendieta, H. 1996. Alfalfa (*Medicago sativa* L.). En: Meneses, R; Waainjenberg, H. y Piérola, L. Las Leguminosas en la Agricultura Boliviana: Revisión de información. Proyecto Rhizobiología Bolivia (CIAT-CIF-PNLG-CIFP-WAU). Cochabamba, Bolivia. pp 299-315.

ENRIQUEZ F 2005. Aspersión –Procedimiento para la realización de evaluaciones de riego por aspersión España 12 p

FAO (Organización de la Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación), 2008. Riego y Drenaje: Evapotranspiración del cultivo. N<sup>o</sup>, 56. Roma, Italia. 276 p.

FERNÁNDEZ R, OYONARTE N. GARCÍA J, YRUELA M<sup>a</sup> DEL CARMEN, MILLA M, RICARDO et al. 2010. Manual de Riego para Agricultores Módulo 3: Riego por Aspersión. Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Ediciones de Andalucía, S.L. Sevilla Pp 19 – 48.

Fuentes, J.L. 1998. Técnicas de riego. 3ra, ed. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 471 p.

GAETE, L., 2001. Manual de Diseño de Sistemas de Riego Tecnificado. Trabajo de Titulación, Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca. Chile. 220 p.

Gurovich, L.A. 1985. Fundamentos de diseño de sistemas de riego. 1ra, ed. Ed. CIDIA-IICA. Costa Rica. pp 7-393.

Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Eng. in Agric., 1(2): 96-99.

HARTMAN, H. T. 1986. Propagación de Plantas: Principios y Prácticas. 6ta edición. Editorial CECSA. México. pp 500-596.



Hernández, R; Fernández, C; Baptista. 2014. Metodología de la Investigación México. Consultado el 3 de abr. 2020. Disponible en: [https://esup.edu.pe/descargas/dep\\_investigacion/metodologica%20de%20la%20investigacion%20ta%20ta%20ta.pdf](https://esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/metodologica%20de%20la%20investigacion%20ta%20ta%20ta.pdf).

HOLZAPFEL, E., PARDO, X., PAZ, V., RODRÍGUES, A., ORREGO, X. Y LÓPEZ, M., 2007. Análisis técnico-económico para selección de aspersores. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Agriambi). 11 (6): 557-563.

INFOAGRO, 2008. Cultivo de Alfalfa. (en línea). España. Consultado 27 de enero. 2020. Disponible en: <https://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa.htm>.

INIA - CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIÓN CARILLANCA, 2001. Gobierno de Chile. Ministerio de Agricultura. Comisión Nacional de Riego. "Riego por aspersión". Chile. 48 p.

JAMES, D.W., 1982. Modern Irrigation Department of Soil Science and Biometeorology Utah State University John Willey & Sons Logan, Utah- USA 240 p.

ELLER y BLIESNER., 2000. Evaluación del Sistema de Riego por aspersión. Ed. Internacional Irrigación Center USA.

Meneses, R; Waaijenberg, H. y Pierola, L. 1996. Las leguminosas en la agricultura Boliviana: Revisión de información: Proyecto Rhizobiología Bolivia (CIAT-CIF- PNLG-CIFP). COSUDE. Cochabamba, Bolivia. 250 p.

Meneses, R. y Pierola L. 1996. Las leguminosas en la agricultura Boliviana. Revisión de información. Proyecto Rhizobiología. Cochabamba Bolivia. pp. 128-130.

MIRANDA, C., R., (2004). Introducción a la geología agrícola. La Paz – Bolivia. 29

Muslera, E. y Ratera, G. 1991. Praderas y forrajes: Producción y aprovechamiento. Ed. Mundi – Prensa. Madrid, España. 675 p.

Okada M. 1990. Agricultura Natural. MDA – SHOJI. JA . 160 p.

ORSAG, V. 1992. Altiplano: Agricultura, riego y medio ambiente. 1er Seminario Nacional sobre recursos hídricos y medio ambiente. Pub. USAID. Cochabamba, Bolivia. p.4.

Perrin, R; Winkelmann, D; Moscardi, E. y Anderson, J. 1979. Manual metodológico de evaluación económica. “Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos”. (CIMMYT) Centro de Investigación y mejoramiento de Maiz y Trigo. Mexico. Pp 5-50.

PDM, P. d. (2006-2010). Patacamaya-La Paz.

PTDI, P. T. (2016-2020). *GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE PATACAMAYA*. Patacamaya-La Paz.

PEREIRA, LS., 2004. El Riego y sus Tecnologías. 1era edición en castellano. Ediciones Europa-América en Lisboa. Albacete, España. 296 p.

Prieto, G. C. 2004. Cultivo de alfalfa y pasto llorón. Proyecto: Manejo sostenible de los Recursos Naturales Renovables. Manual Práctico Nº 2. Oruro, Bolivia. pp. 26.

Soria, J. (2005). Costos de producción de leche en el Municipio de Challapata. Provincia Avaroa, Departamento de Oruro (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz - Bolivia. 155 pp

Rojas, F. 2000. Botánica Sistemática. UMSA. La Paz, Bolivia. pp 38-48.

Rodríguez, M. 1991. Fisiología Vegetal. Colección ciencia técnica 309. Ed. Los Amigos del libro. Cochabamba, Bolivia. pp. 38 – 40.

RULY, A., 2008. Tecnología del riego por aspersión estacionario calibración y validación de un modelo de simulación. Tesis Doctoral Universidad de Castilla La Mancha, España. 7 p.

SÁNCHEZ, C. 2004. Cultivo y producción de Pastos, Forrajes y Alfalfa. Ed, RIPALME. Lima, Perú. 135 p.

SERRANO, G. 2012., Folleto técnico. “Caracterización y construcción de aspersores rotatorios de reacción”. Universidad Pública de El Alto. La Paz, Bolivia. 8 p.

TARJUELO, J., 1999. El riego por aspersión y su tecnología. 2da edición Mundi - Prensa. España. 569 p.

Tazola, V. Q. 2007. Evaluación de la producción de una pradera de alfalfa (*Medicago sativa* L.), asociada con Festuca, bajo diferentes láminas de riego y profundidades. Choquenaira, Viacha. Tesis de grado, Facultad de agronomía, UMSA. La Paz, Bolivia. pp. 41-48.

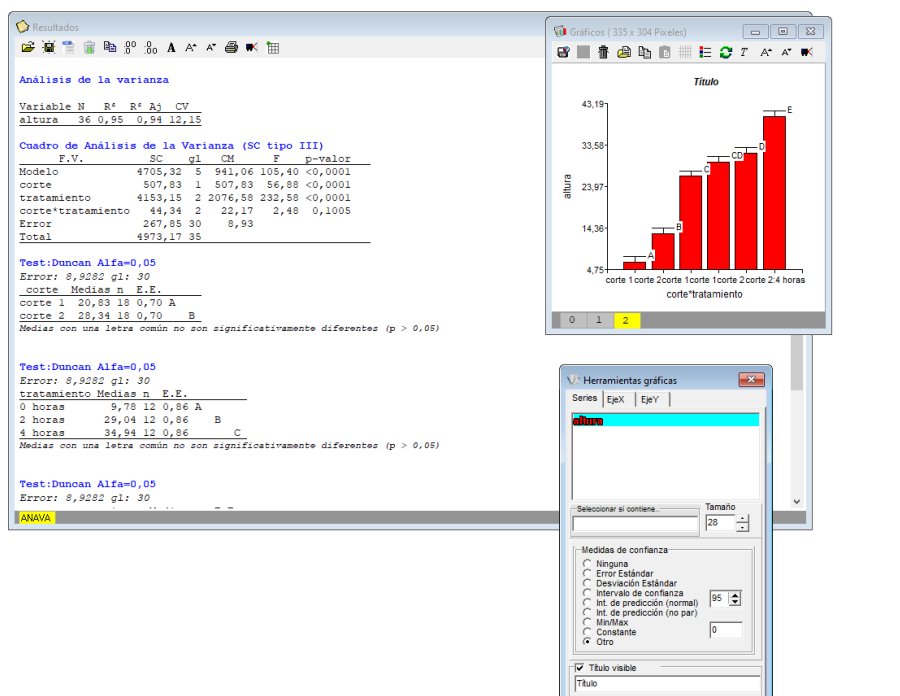
TORREZ, M., M., 2010. Influencia del estiércol de ovino en el rendimiento de materia seca en cuatro variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.), Quipaquipani, Viacha. Tesis de grado. La Paz – Bolivia. 13 p.

USDA., (1970). United States Department of Agriculture. Department of irrigation and technology USA 50-55 p.

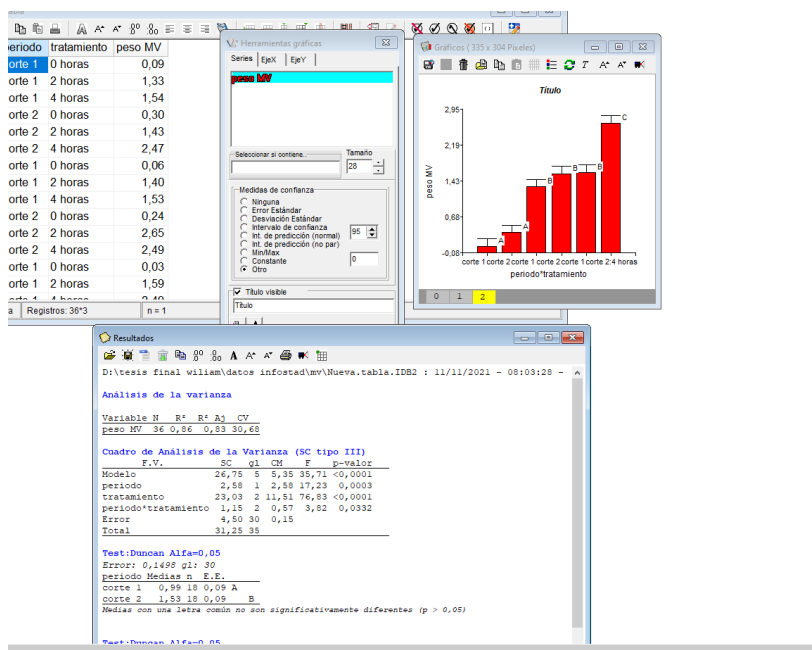
Yupanqui, B. y Stanley, V. 2006. Formulación de proyectos en Excel (inversiones, costos e ingresos). 2da, Ed. La Paz, Bolivia. pp 1-29.

**ANEXOS**

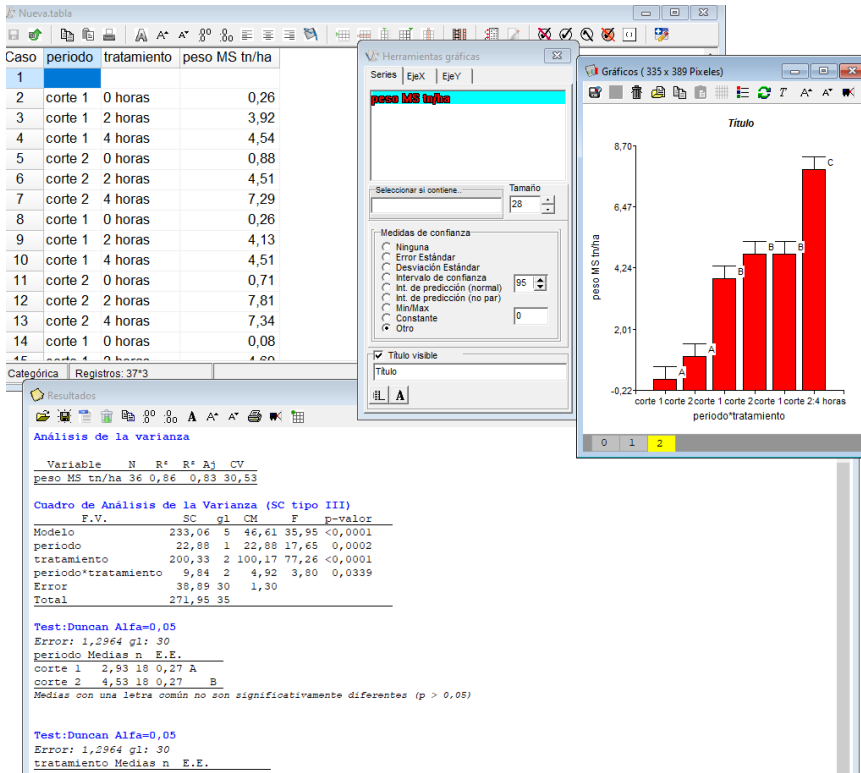
## Anexo 1. Resultados de altura de planta infostat



## Anexo 2. Resultados de peso de materia verde infostat



### Anexo 3. Resultados de peso de materia seca infostat



Anexo 4. Balance hídrico

**HARGRAVER Y SAMANI**

donde:  $ET_0 = 0,0135 (t_{med} + 17,78) R_0$   
 $t_{med}$  = evapotranspiración potencial diaria, mm/día  
 $t_{med}$  = temperatura media, °C  
 $R_0$  = radiación solar incidente, convertida en mm/día

**Obtención de la Radiación Solar Incidente ( $R_0$ )**

Samani (2000) propone la siguiente fórmula:

$$R_0 = R_0 * KT * (t_{max} - t_{min})^{0,5}$$

donde:  $R_0$  = Radiación solar incidente  
 $R_0$  = Radiación solar extraterrestre (tabla pág. 3)  
 $KT$  = coeficiente  
 $t_{max}$  = temperatura diaria máxima  
 $t_{min}$  = temperatura diaria mínima

**HARGRAVER Y SAMANI FORMULA SIMPLIFICADA**

$$ET_0 = 0,0023 (t_{med} + 17,78) R_0 * (t_{max} - t_{min})^{0,5}$$

donde:  $ET_0$  = evapotranspiración potencial diaria, mm/día

$t_{med}$  = temperatura media diaria, °C

$R_0$  = Radiación solar extraterrestre, en mm/día (tabulada)

$t_{max}$  = temperatura diaria máxima

$t_{min}$  = temperatura diaria mínima

**DATOS DEL SENAMHI 2005 - 2019**

	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
Días	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31
PP mes	4,97	3,39	8,09	23,64	18,47	31,48	62,69	96,04	71,17	45,68	16,69	6,68
TX	7,3	7,5	8	9,6	11,2	12	12,3	11,7	11,6	11,5	10,6	8,2
Ro mm/día	10,45	10,8	12,35	14,3	15,8	16,5	16,9	16,8	16,3	15,1	13,2	11,4
tmax	17,9	17,2	18	18,3	19,5	20,4	19,5	17,7	17,8	18,5	19,3	18,6
tmin	-5,3	-4,6	-2,9	0,1	2,3	3,2	5	5,5	5	4	1,2	-3,5
Eto mm/día	2,90	2,93	3,35	3,84	4,37	4,69	4,45	3,98	3,94	3,87	3,67	3,20
Eto mm/mes	87,10	90,89	103,78	115,25	135,40	140,61	138,02	123,34	110,34	120,04	109,97	99,27
Kc	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Eto l/día	2,61	2,64	3,01	3,46	3,93	4,22	4,01	3,58	3,55	3,48	3,30	2,88
dia corte 1	-	-	-	22	31	7	-	-	-	-	-	-
dia corte 2	-	-	-	-	-	3	31	24	-	-	-	-
Etc/corte 1	-	-	-	76,07	121,86	29,53	-	-	-	-	-	-
Etc/corte 2	-	-	-	-	-	12,66	124,22	85,94	-	-	-	-

## Anexo 5. Tabla de radiación solar

**Tabla de Radiación solar extraterrestre en mm/día (Allen et al., 1998)** (Original en MJ·m<sup>-2</sup>·día<sup>-1</sup>; 1 mm/día = 2,45 MJ·m<sup>-2</sup>·día<sup>-1</sup>)

Latitud	HEMISFERIO NORTE												HEMISFERIO SUR											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0	16.9	11.7	6.4	2.0	0.1	0.0	0.0	0.9	4.4	9.6	15.2	18.5
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0	16.7	12.0	6.9	2.4	0.3	0.0	0.0	1.3	4.9	10.0	15.3	18.2
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0	16.7	12.2	7.4	2.9	0.6	0.0	0.2	1.7	5.3	10.4	15.3	18.0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2	16.7	12.6	7.9	3.4	1.0	0.2	0.5	2.2	5.9	10.7	15.5	17.9
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5	16.8	12.9	8.3	3.9	1.4	0.5	0.8	2.6	6.3	11.1	15.6	17.9
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9	16.9	13.2	8.8	4.4	1.8	0.8	1.2	3.1	6.8	11.5	15.8	17.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3	17.0	13.5	9.2	4.9	2.2	1.2	1.6	3.6	7.3	11.8	16.0	18.0
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7	17.1	13.8	9.6	5.4	2.7	1.6	2.0	4.0	7.8	12.2	16.1	18.0
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1	17.2	14.0	10.0	5.9	3.1	2.0	2.4	4.5	8.2	12.5	16.3	18.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17.0	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6	17.3	14.3	10.4	6.4	3.6	2.4	2.9	5.0	8.7	12.8	16.4	18.1
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17.0	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1	17.4	14.5	10.9	6.8	4.1	2.9	3.3	5.5	9.1	13.1	16.6	18.2
48	4.1	6.4	9.5	13.1	15.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6	17.5	14.8	11.2	7.3	4.5	3.3	3.8	6.0	9.5	13.4	16.7	18.2
46	4.6	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0	17.6	15.0	11.6	7.8	5.0	3.8	4.2	6.4	9.9	13.7	16.8	18.2
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5	17.6	15.2	12.0	8.2	5.5	4.3	4.7	6.9	10.3	13.9	16.9	18.2
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1	17.7	15.4	12.3	8.7	6.0	4.7	5.2	7.3	10.7	14.2	17.0	18.2
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6	17.7	15.6	12.6	9.1	6.4	5.2	5.7	7.8	11.1	14.4	17.1	18.2
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0	17.7	15.7	12.9	9.5	6.9	5.7	6.2	8.2	11.4	14.6	17.1	18.2
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17.0	16.7	15.3	12.9	10.0	7.6	6.6	17.7	15.9	13.2	9.9	7.4	6.2	6.6	8.7	11.8	14.8	17.1	18.1
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17.0	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1	17.7	16.0	13.5	10.3	7.8	6.6	7.1	9.1	12.1	15.0	17.1	18.1
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6	17.7	16.1	13.8	10.7	8.3	7.1	7.6	9.5	12.4	15.1	17.1	18.0
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1	17.6	16.2	14.0	11.1	8.7	7.6	8.0	9.9	12.7	15.3	17.1	17.9
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6	17.6	16.2	14.2	11.5	9.2	8.0	8.4	10.3	13.0	15.4	17.1	17.8
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1	17.5	16.3	14.4	11.8	9.6	8.5	8.9	10.7	13.3	15.5	17.1	17.7
24	10.0	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5	17.3	16.3	14.6	12.2	10.0	8.9	9.3	11.1	13.5	15.6	17.0	17.6
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.4	12.7	10.9	10.0	17.2	16.4	14.8	12.5	10.4	9.4	9.8	11.5	13.8	15.7	16.9	17.4
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	11.3	10.4	17.1	16.3	14.9	12.8	10.9	9.8	10.2	11.8	14.0	15.8	16.8	17.2
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9	16.9	16.3	15.1	13.1	11.2	10.2	10.6	12.2	14.2	15.8	16.7	17.0
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4	16.8	16.3	15.2	13.4	11.6	10.7	11.0	12.5	14.4	15.8	16.6	16.8
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8	16.6	16.2	15.3	13.6	12.0	11.1	11.4	12.8	14.5	15.8	16.4	16.6
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2	16.4	16.2	15.4	13.9	12.3	11.5	11.8	13.1	14.7	15.8	16.2	16.3
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7	16.1	16.0	15.4	14.1	12.7	11.9	12.2	13.4	14.8	15.7	16.0	16.1
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1	15.9	15.9	15.5	14.3	13.0	12.2	12.5	13.6	14.9	15.7	15.8	15.8
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4	15.6	15.8	15.5	14.5	13.3	12.6	12.9	13.9	15.0	15.6	15.6	15.5
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8	15.3	15.6	15.5	14.7	13.6	13.0	13.2	14.1	15.1	15.5	15.3	15.2
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2	15.1	15.5	15.5	14.9	13.9	13.3	13.5	14.4	15.1	15.4	15.1	14.9
0	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5



## Anexo 6. Diseño hidráulico

DISEÑO HIDRAULICO				
<b>DATOS</b>				
Ancho de parcela	76	m		
Largo de parcela	96	m		
Superficie	7296	m <sup>2</sup>		
Altura de porta aspersor	1,2	m		
Eficiencia de aplicación	75	%	0,75	
Espac. Entre laterales	12	m		
Espac. entre aspersores	12	m		
Aspersor Xcel - Wobbler				
Presion del aspersor	1,20	bar	12,24	mca
Caudal de aspersor	731,7	l/h	0,000203	m <sup>3</sup> /s
# Aspersores	6			
# Laterales funcionando	8			
Caudal del Lateral				
	4390,2	l/h	0,00122	m <sup>3</sup> /s
Variacion de presion				
	10	%	0,1	
Longitud lateral	8	44	m	100
	12			
	12			
	12			
Longitud Linea de distribución	12	56	m	100
	12			
	12			
	12			
	12			
	12			
	8			
<b>3. Calculo a la entrada del lateral</b>				
Ho =		14,62 mca		
<b>4. Calculo de perdida de carga al inicio de la linea de derivacion</b>				
Diametro de tuberia	2	pulg	0,0508 m	
Funcionamiento de laterales	8			
Cauda de los laterales	0,0098 m <sup>3</sup> /s			
TRAMO	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Longitud (m)	Diametro (m)	Hf (mca)
1	0,00976	8	0,0508	3,27
2	0,00854	12	0,0508	3,83
3	0,00732	12	0,0508	2,88
4	0,006098	12	0,0508	2,05
5	0,004878	12	0,0508	1,36
6	0,003659	12	0,0508	0,80
7	0,002642	12	0,0508	0,44
8	0,001829	12	0,0508	0,22
<b>5. Presion a la entrada de la linea de derivación</b>				
Ho=		29,46 MCA		
Perdida accesorios 10%		2,95		
Ho=		32,40 mca		
<b>6. calculo de la potencia de la bomba</b>				
				Pot (hp) = (Y*Q*Htotal)/ef. *76
Y=		1000 kgf/m <sup>3</sup>		
H succion =		1 mca		
Ho Total =		33,40 mca		
ef. Bomba =		65%		
Potencia =		6,6 hp		
		7HP		
<b>1. CALCULO DE LA PERDIDA DE CARGA PERMITIDA</b>				
Desnivel	0,2 m			
	$\Delta H = 0,20 * H_n$	1,224 m		
	$\Delta H =$	1,424		
<b>2. calculo de perdida de carga en el Lateral</b>				
Diametro de tuberia	1,5	pulg	0,0381 m	
Valor de "C"	145			
Valor de "m"	1,85			
TRAMO	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Longitud (m)	Diametro (m)	Hf (mca)
1	0,001220	8	0,0381	0,28
2	0,001016	12	0,0381	0,30
3	0,000813	12	0,0381	0,20
4	0,000610	12	0,0381	0,12
5	0,000407	12	0,0381	0,06
6	0,000203	12	0,0381	0,02
7	0,000000	12	0,0381	0,00
8	-0,000203	12	0,0381	0,00
Condicion permitida	Hf< $\Delta H$	0,98	<	1,424

## Anexo 7. Pluviometría

1 ml= 1 cm3		Area del pluviometro								128,7	cm2		12868	mm2				
PLUVIOMETRO ml										N	Sin ordenar X (mm)	Ordenados Xi (mm)	m	Xi - m				
Diametro de pluviometro										12,8 cm								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	2	1,55	2,72	1,64	1,08				
8	Asp 1	18	20	20	18	15	12	30	Asp 2	3	2,18	2,49	1,64	0,85				
7	15	15	20	25	20	12	10	20	26	4	1,87	2,33	1,64	0,69				
6	20	20	15	20	18	18	17	18	15	5	2,02	2,25	1,64	0,61				
5	28	26	25	29	28	25	27	28	28	6	2,18	2,18	1,64	0,53				
4	24	22	20	35	42	20	20	20	18	7	1,40	2,18	1,64	0,53				
3	26	27	22	27	32	18	20	25	25	8	1,17	2,18	1,64	0,53				
2	28	20	22	18	10	10	10	15	15	9	1,55	2,18	1,64	0,53				
1	Asp 4	22	22	25	24	14	10	27	Asp 3	10	2,02	2,18	1,64	0,53				
										11	1,71	2,10	1,64	0,46				
										12	2,10	2,10	1,64	0,46				
										13	1,55	2,10	1,64	0,46				
										14	1,71	2,10	1,64	0,46				
										15	1,55	2,02	1,64	0,38				
										16	1,55	2,02	1,64	0,38				
										17	1,17	2,02	1,64	0,38				
										18	1,94	1,94	1,64	0,30				
										19	1,55	1,94	1,64	0,30				
										20	1,71	1,94	1,64	0,30				
										21	1,71	1,94	1,64	0,30				
										22	1,71	1,94	1,64	0,30				
										23	1,55	1,94	1,64	0,30				
										24	1,94	1,87	1,64	0,22				
										25	1,55	1,87	1,64	0,22				
										26	2,25	1,71	1,64	0,07				
										27	2,72	1,71	1,64	0,07				
										28	2,10	1,71	1,64	0,07				
										29	1,40	1,71	1,64	0,07				
										30	1,94	1,71	1,64	0,07				
										31	1,40	1,55	1,64	0,09				
										32	1,55	1,55	1,64	0,09				
										33	1,40	1,55	1,64	0,09				
										34	2,18	1,55	1,64	0,09				
										35	3,26	1,55	1,64	0,09				
										36	2,49	1,55	1,64	0,09				
										37	0,78	1,55	1,64	0,09				
										38	1,87	1,55	1,64	0,09				
										39	1,17	1,55	1,64	0,09				
										40	0,93	1,55	1,64	0,09				
										41	1,40	1,55	1,64	0,09				
										42	1,94	1,55	1,64	0,09				
										43	1,55	1,55	1,64	0,09				
										44	1,40	1,55	1,64	0,09				
										45	0,78	1,40	1,64	0,24				

DATOS DE PLUVIOMETRO EN mm									
	Col.1	Col.2	Col.3	Col.4	Col.5	Col.6	Col.7	Col.8	Col.9
Fil.8		1,40	1,55	1,55	1,40	1,17	0,93	2,33	
Fil.7	1,17	1,17	1,55	1,94	1,55	0,93	0,78	1,55	2,02
Fil.6	1,55	1,55	1,17	1,55	1,40	1,40	1,32	1,40	1,17
Fil.5	2,18	2,02	1,94	2,25	2,18	1,94	2,10	2,18	2,18
Fil.4	1,87	1,71	1,55	2,72	3,26	1,55	1,55	1,55	1,40
Fil.3	2,02	2,10	1,71	2,10	2,49	1,40	1,55	1,94	1,94
Fil.2	2,18	1,55	1,71	1,40	0,78	0,78	0,78	1,17	1,17
Fil.1		1,71	1,71	1,94	1,87	1,09	0,78	2,10	

(Vol. \*4/3.14\*d^2)\*10

PLUVIOMETROS (mm)

4,00  
3,00  
2,00  
1,00  
0,00

Col.1 Col.2 Col.3 Col.4 Col.5 Col.6 Col.7 Col.8 Col.9

Fil.8  
Fil.7  
Fil.6  
Fil.5  
Fil.4  
Fil.3

■ 0,00-1,00 ■ 1,00-2,00 ■ 2,00-3,00 ■ 3,00-4,00



## Anexo 9. Fotografías

Fotografía 1. Parcela de alfalfa investigación



Fotografía 2. Delimitación del área experimental



Fotografía 3. Medición de caudal del aspersor

