

EFICIENCIA DEL AGUA EN PRODUCCIÓN DE REMOLACHA BAJO MÉTODOS DE RIEGO POR CAPILARIDAD Y GOTEO**EFFICIENCY OF WATER IN BEET PRODUCTION UNDER IRRIGATION METHODS BY CAPILLARY AND DRIP**

AUTORES: Máximo Noya Soliz (1), José Luis Mendoza Rodas (2), Miguelina Tapia Palma (3); 1,2,3 Universidad Mayor Real Y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Ciencias Agrarias

Recibido mayo 28, 2020; Aceptado junio 21, 2020

RESUMEN

Los efectos del cambio climático en la agricultura se van intensificando ocasionando pérdidas significativas en la producción, debido a factores climáticos adversos que se presentan en fases importantes del desarrollo de los cultivos como la sequía que va afectando no solo a los cultivos agrícolas sino también en la pérdida de las fuentes de agua.

Considerando que los cultivos agrícolas requieren del agua en todo su proceso productivo, los cuales deben recibir el líquido vital de forma natural o artificial, en este sentido se busca determinar la eficiencia del agua, utilizando un diseño experimental de un bloque con dos tratamientos y su repetición, en la que se implementa los tratamientos con sistemas de riego por goteo y riego por capilaridad en el cultivo de

remolacha.

Los resultados muestran un ahorro de agua del 30 % en (T1 y RT1) en todo el proceso productivo de la remolacha con respecto al (T2 y RT2) y una eficiencia media del agua de acuerdo a la fórmula de (Salazar & Rojano, 2014) del 67 % en el (T1 y RT1) frente al 33 % de (T2 y RT2), demostrando así el uso eficiente del agua en el sistema de riego por capilaridad en comparación al riego por goteo.

PALABRAS CLAVE

Riego capilar eficiencia de agua.

ABSTRACT

Climate change effects on agriculture are intensifying causing significant losses in production because of adverse climatic factors that occur in important phases of crop development such as drought. This is affecting not only agricultural crops but

also the loss of water sources.

Considering that agricultural crops require water throughout their production process, which must receive the vital liquid naturally or artificially, in this concern this research seeks to determine water efficiency through the use of an experimental design of a block with two treatments and its repetition, in which, treatments with drip irrigation and capillary irrigation systems are implemented in beet crop.

The results show a water saving of 30% in (T1 and RT1) in the whole beet production process with respect to (T2 and RT2) and an average water efficiency according to formula of (Salazar & Rojano, 2014) of 67% in (T1 and RT1) compared to 33% in (T2 and RT2), thus demonstrating the water efficient use in the capillary irrigation system compared to drip irrigation.

KEYWORDS

Capillary irrigation, efficiency of water

I. INTRODUCCIÓN

Los cultivos agrícolas requieren del agua en todo su proceso productivo, crecimiento, desarrollo y producción, los cuales deben

recibir el líquido vital ya sea de forma natural o artificial, en este último el suministro está calculado de acuerdo a la necesidad y estado fenológico del cultivo, considerándolo al agua en la agricultura de vital importancia en la producción y rendimiento de los cultivos.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017), la agricultura representa aproximadamente el 70 % de la captación total de agua dulce a nivel mundial y más del 90 % en la mayoría de los países menos desarrollados.

Sin las medidas de eficiencia mejoradas en el uso del agua para riego, se espera que el consumo de agua en la agricultura aumente un 20 % a nivel mundial para el año 2050 (WWAP, 2012) citado por (UNESCO, 2016).

Por otro lado, los efectos del cambio climático que se observa en la agricultura, son los cambios en la fenología de las especies vegetales, problemas con los recursos de agua (regadío y secano) debido al incremento de la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos como (sequias,

granizadas, inundaciones, plagas, etc.), que disminuyen considerablemente la productividad (Carrara, 2018).

Frente a la incertidumbre que se vive en el área rural por los efectos del cambio climático en la paulatina restricción a los recursos hídricos para producción, es de imperiosa necesidad la búsqueda de tecnologías apropiadas para el uso eficiente del recurso agua en la agricultura como medida de adaptación a los efectos del cambio climático.

II. PROBLEMA

La restricción al recurso hídrico para el sector agrícola se percibe con mayor intensidad debido a factores extremos que se presentan como las lluvias mal distribuidas (fuera de época) y las sequías prolongadas que afectan a la producción en periodos importantes de desarrollo del cultivo, ocasionando grandes pérdidas en la producción agrícola a consecuencia del cambio climático. Por otro lado, la falta de conocimiento y aplicación de tecnologías apropiadas para el uso eficiente del agua para riego, son las principales dificultades

que atraviesan los productores del área agrícola.

En consecuencia el trabajo de investigación a desarrollar está orientado a determinar la eficiencia del agua en el cultivo de Remolacha *Beta vulgaris* aplicando dos métodos de riego, por capilaridad y goteo, que permitirán analizar la eficiencia del agua en la producción del cultivo, el trabajo se desarrollará en predios de la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca Carrera de Producción Agropecuaria Villa Serrano.

2.1. Formulación del problema

¿En qué medida el uso de tecnologías apropiadas en riego, contribuye al uso eficiente del agua en la producción?

III. HIPÓTESIS

H_i La aplicación del método de riego por capilaridad, contribuye a un manejo eficiente del agua en la producción de remolacha en relación al método de riego por goteo.

H_o Los dos métodos de riego, capilaridad y goteo contribuyen a un manejo eficiente del agua en la producción de remolacha.

3.1. Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	VARIABLES	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIÓN	INDICADORES
Variable independiente	La aplicación del método de riego por capilaridad	Es la forma natural por la que el agua del subsuelo asciende hacia la superficie	Implementación de métodos de riego	<ul style="list-style-type: none"> Riego por capilaridad. Riego por goteo.
			Implementación del cultivo	<ul style="list-style-type: none"> Determinación de la textura del suelo. Determinación de la humedad del suelo. Evaluación del crecimiento de las plantas.
Variable dependiente	Contribuye al manejo eficiente del agua en la producción de remolacha	Es la relación entre la cantidad de agua utilizada por las plantas y la cantidad de agua suministrada	Requerimiento de riego en el cultivo de remolacha.	<ul style="list-style-type: none"> Diseño agronómico. Comparación de gasto del agua por método de riego.
			Eficiencia del método de riego	<ul style="list-style-type: none"> Rendimiento del cultivo por método de riego. Eficiencia del agua por método de riego.

IV. OBJETIVO GENERAL

Determinar la eficiencia del agua en el proceso productivo de la remolacha **Beta vulgaris** aplicando dos métodos de riego, capilaridad y goteo como alternativa de uso eficiente del recurso hídrico en el sector productivo.

4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar e implementar las parcelas de investigación para los métodos de riego por capilaridad y goteo.
- Determinar el diseño agronómico e instalación del riego por goteo.
- Evaluar el crecimiento de las plantas en los métodos de riego por capilaridad y goteo.

- Comparar la cantidad de agua aplicada en los métodos de riego por capilaridad y goteo en la producción de remolacha.
- Evaluar el rendimiento de la producción del cultivo de remolacha.

V. SUSTENTO TEÓRICO

5.1. Importancia del agua en la agricultura

La producción de alimentos y el uso de agua están relacionados de forma inseparable. El agua siempre ha sido el principal factor que limita la producción agrícola en gran parte del mundo, donde la precipitación no es suficiente para satisfacer la demanda de los cultivos. Con la competencia cada vez mayor por recursos hídricos no renovables en todo el mundo y la creciente demanda de productos agrícolas, nunca antes ha sido tan apremiante la necesidad de mejorar la eficiencia y productividad del uso del agua para la producción de cultivos, a fin de garantizar la seguridad alimentaria en el futuro y enfrentar las incertidumbres asociadas con el cambio climático. (FAO, 2012)

El agua constituye uno de los principales recursos para la vida, imprescindible para el mantenimiento ecológico, por lo que su

ordenación es esencial para la gestión ambiental, que a su vez repercute en el conjunto de las actividades humanas, entre las que se enfatizan aquellas de carácter económico como la agricultura (Frutos, 2015).

Según (Morocho, 2019) el agua ha sido históricamente un factor determinante en la producción agraria, de su disponibilidad y calidad depende la producción de los cultivos. Es claro que el agua es pieza clave para producir más alimentos, pero también es claro que hoy en día constituye un recurso cada vez más escaso. Esta situación obliga al agricultor, usuario y/o productor a manejar el agua de riego con racionalidad y eficiencia.

5.2. Efectos del cambio climático en la agricultura

El aumento irrestricto de las emisiones de gases está subiendo la temperatura del planeta. Las consecuencias incluyen el derretimiento de glaciares, el aumento de las precipitaciones y de la frecuencia de eventos meteorológicos extremos, y modificaciones en las estaciones del clima.

El ritmo acelerado de cambio climático, junto con el aumento de la población y de los ingresos a nivel mundial, amenazan la

seguridad alimentaria en todas partes. La agricultura es extremadamente vulnerable al cambio climático. El aumento de las temperaturas termina por reducir la producción de los cultivos deseados, a la vez que provoca la proliferación de malas hierbas y pestes. Los cambios en los regímenes de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo. Aunque algunos cultivos en ciertas regiones del mundo puedan beneficiarse, en general se espera que los impactos del cambio climático sean negativos para la agricultura, amenazando la seguridad alimentaria mundial (IFPRI, 2009).

5.2.1. Pérdida de la agricultura por sequías

Los impactos económicos de la sequía se manifiestan por medio de diferentes vías o caminos, dependiendo de cada sector. Por ejemplo, cuando hay sequía en el sector agrícola, se desencadena una serie de eventos: la pérdida de la cosecha por sequía no solo afecta al productor de forma directa debido a la pérdida de la inversión realizada, sino que también puede generar una alza en los precios que impacta a los consumidores de ese producto. En el caso de la

hidroelectricidad, una reducción de las lluvias disminuye la capacidad de generación de las plantas que aprovechan las fuerzas hidráulicas, capacidad que es sustituida en la región usualmente con generación térmica a base de combustibles fósiles. En el caso del agua potable, la respuesta ante la disminución de las lluvias usualmente significa mayores costos de operación (Echeverría, 2016).

5.3. Los sistemas de riego tecnificados

Se denomina sistema de riego tecnificado, al conjunto de elementos que permiten que la aplicación del agua y los fertilizantes al cultivo sea localizada, en forma eficiente, con una frecuencia adecuada, en cantidades estrictamente necesarias y en el momento oportuno.

Esta aplicación, se hace mediante una red de tuberías (de conducción y distribución de PVC o Polietileno), laterales de riego (mangueras o cintas), con emisores o goteros, con diseños técnicos que entregan pequeños volúmenes de agua periódicamente, en función de los requerimientos hídricos del cultivo y de la capacidad de retención del suelo.

La tecnificación busca en sí, la optimización del diseño hidráulico, ahorro en energía y dinero, así como la aplicación uniforme de

agua en el suelo para mejorar la producción de los cultivos.

5.3.1. Eficiencia de los sistemas de riego

La eficiencia de un sistema de riego es la relación entre la cantidad de agua utilizada por las plantas y la cantidad de agua suministrada (Nuñez, 2015).

5.3.2. Ventajas e inconvenientes de los sistemas de riego tecnificados

Entre las principales ventajas que caracterizan a un sistema de riego tecnificado, tenemos:

- a) Permite aplicar el agua en forma localizada, continua eficiente y oportuna.
- b) Se adapta a cualquier suelo y condiciones topográficas diversas.
- c) En paralelo se riega fertiliza y controla plagas, ahorrando tiempo y jornales.
- d) Evita el desarrollo de maleza y la presencia de plagas y/o enfermedades.
- e) Permite aplicar el agua y fertilizante cuando la planta lo requiera, lo cual favorece significativamente el desarrollo de las plantas y producción.
- f) Permite alcanzar entre los 90 % y 95 % de eficiencia de aplicación, que no se alcanza con otro sistema de riego.
- g) Se puede utilizar aguas salinas dependiendo de la tolerancia del cultivo.

Entre los principales inconvenientes que

caracterizan a un sistema de riego tecnificado, tenemos:

- a) Los costos de implementación, funcionamiento y mantenimiento suelen ser relativamente elevados.
- b) Daños a las hojas y a las flores; las primeras pueden dañarse por el impacto del agua sobre las mismas, si son hojas tiernas o especialmente sensibles al depósito de sales sobre las mismas. En cuanto a las flores pueden y de hecho se dañan, por ese mismo impacto sobre las corolas.
- c) Requiere una inversión importante. El depósito, las bombas, las tuberías, las juntas, los manguitos, las válvulas, los programadores y la intervención de técnicos hacen que en un principio el gasto sea elevado aunque la amortización a medio plazo está asegurada.
- d) El viento puede afectar. En días de vientos acentuados el reparto del agua puede verse afectado en su uniformidad.
- e) En algunos casos puede aumentar las enfermedades y la propagación de hongos debido al mojado total de las plantas (Ramos, 2013).

Según (Ogasawara, 2017) los sistemas de riegos son mecanismos que permiten desviar el agua desde su lugar de almacenamiento

hasta los campos agrícolas con miras de incrementar el rendimiento de los cultivos, los sistemas de riego son un conjunto de estructuras que permiten determinar que área puede ser cultivada, aplicando el agua necesaria a las plantas.

5.4. Sistema de riego por aspersión

El riego por aspersión consiste en aplicar el agua al suelo simulando una lluvia. Este efecto es conseguido gracias a la presión en que fluye el agua dentro de un sistema de tuberías y es expulsada al exterior a través de las boquillas de un aspersor. Normalmente, la presión requerida se obtiene a partir de bombas hidráulicas las cuales aspiran el agua desde un canal, río o pozo. Sin embargo, el sistema también puede operar sin bombas cuando la fuente de agua se encuentra en una posición más elevada que el terreno a regar.

El objetivo del riego por aspersión es proporcionar el agua que requieren los cultivos mediante una precipitación artificial de intensidad controlada que permita, en general, un proceso de infiltración en condiciones de subsaturación. Estas características facilitan el proceso de distribución de agua y evitan la escorrentía y

por tanto la alteración superficial del suelo.

El agua recorre un sistema de tuberías hasta llegar al emisor, que la lanza a la atmósfera. En el tramo de tubería, la corriente de agua solamente está condicionada por consideraciones hidrodinámicas, pero durante el recorrido por la atmósfera se pierde bastante el control sobre la misma. Los efectos climáticos son de importancia crucial para el proyecto y manejo de este sistema de riego.

Las ventajas del riego por aspersión se derivan fundamentalmente de dos aspectos fundamentales:

- El control del riego sólo, el cual está limitado por las condiciones atmosféricas (pérdidas por evaporación o arrastre y efecto del viento sobre la uniformidad del reparto).
- La uniformidad de aplicación, la cual es independiente de las características hidrofísicas del suelo.

El riego por aspersión muestra ventajas considerables en relación al riego gravitacional en las siguientes condiciones:

- Terreno de topografía irregular.
- Suelos delgados.
- Suelos con alta velocidad de infiltración.
- Suelos susceptibles a la erosión.
- Cuando se dispone de poco caudal.

5.4.1. Ventajas:

- Puesto que la dosis de riego es sólo función del tiempo de cada riego, puede adaptarse tanto a dosis grandes como pequeñas.
- Al poder modificarse fácilmente la pluviometría, es capaz de adaptarse a terrenos muy permeables (más de 30mm/h) o muy impermeables, e incluso a terrenos con características heterogéneas.
- No necesita nivelaciones, adaptándose a topografías onduladas, lo que permite conservar la fertilidad natural del suelo.
- Se adapta a la rotación de cultivos y a los riegos de socorro. En el primer caso siempre que se dimensione para el cultivo más exigente. Dada la eventualidad de los riegos de socorro los sistemas que mejor se adaptan son móviles o semifijos (sobre todo aquellos con gran radio de

acción como los cañones de riego).

- Dosifica de forma rigurosa los riegos ligeros, lo cual es importante en nacencia por la posibilidad de ahorrar agua, de ahí que se recomiende la aspersión cuando la dosis de riego sea inferior a 40mm. Para riegos ligeros, los sistemas semifijos requieren mucha más mano de obra.
- Pueden conseguirse altos grados de automatización, con el consiguiente ahorro de mano de obra a costa normalmente de una mayor inversión.
- En algunas modalidades permite el reparto de fertilizantes y tratamientos fitosanitarios, así como la lucha anti helada.
- Evita la construcción de acequias y canales, aumentando la superficie útil a la vez que es más cómodo y de más fácil manejo que el riego por superficie.
- Es el método más eficaz para el lavado de sales por originar un movimiento de agua en el suelo en subsaturación, obligándola a circular por los poros más pequeños y

por tanto más en contacto con la solución del suelo. Como contrapartida está que la energía empleada en la aplicación encarece la operación.

- Los sistemas móviles o semifijos requieren menos inversión, pero no pueden adaptarse al riego en bloques que consiguen mayor uniformidad y eficiencia de riego, ni a los riegos de alta frecuencia.
- En lugares donde se necesite y con sistemas móviles, se adapta a regar un año en un sitio y otro año en otro.
- Necesita mucho menos cantidad de agua que los riegos por pie debido a su mayor eficiencia. Además aunque requiere más técnica al montarlo, el manejo puede hacerlo cualquiera.

5.4.2. Desventajas:

- El posible efecto de la aspersion sobre plagas y enfermedades.
- Las limitaciones vienen sobre todo en fuertes vientos, pendientes excesivas y riego bajo o sobre árboles.

- Interferencias sobre los tratamientos, por el lavado de los productos fitosanitarios que protegen la parte aérea del cultivo. Es preciso establecer la programación de riegos adecuada para evitar estas interferencias.
- Puede originar problemas de sanidad en la parte aérea del cultivo cuando se utilicen aguas salinas o residuales para regar, ya que al evaporarse aumenta la concentración de sales o las impurezas de la misma.
- Mala uniformidad en el reparto por la acción de los vientos.
- Los principales problemas suelen ser de carácter económico por las altas inversiones iniciales y los elevados costos de mantenimiento y funcionamiento (energía). También hay que hacer reparaciones todos los años.

5.5. Sistema de riego por goteo

El riego por goteo " consiste en llevar el agua al campo por medio de tuberías de plástico, de calibre pequeño, que se colocan a lo largo de las hileras de planta para entregarla en forma lenta, pero frecuente al sistema

radicular, por medio de dispositivos apropiados llamados goteros o emisores." (Enrique 8/air, 1979, pág.1) citado por (Albites, 2015).

El riego por goteo consiste en distribuir pequeñas cantidades de agua, a baja presión por medio de una serie de emisores que se localizan a lo largo de una manguera, con un espaciamiento relativamente corto (20 cm). El agua sale lentamente por los goteros (en forma de gotas) a un volumen entre 1 a 2 lt /hr, dependiendo del diseño del equipo, lo que permite mantener una humedad adecuada permanentemente en la zona radical. Con este método la utilización del agua de riego es altamente eficiente, entre el 85 y el 90 % (Subirós como se citó en Herrera, 2014) citado por (Calvo, 2015).

Este sistema es muy eficiente, por cuanto se aprovecha mejor el agua, en vista de que sólo una parte del suelo se humedece, hay menos malezas, pérdidas por evaporación, etc. Con este sistema de riego, se humedece la parte donde está la planta y el frente de humedad en el perfil tiene dos movimientos: unos hacia abajo y otro por capilaridad hacia los lados, formando un bulbo o cebolla, gracias a esa distribución característica del agua, alrededor

del punto de goteo (Leiton Soubannier, 1985, pág. 122) citado por (Albites, 2015).

Definición: El riego localizado o riego por goteo es la aplicación del agua al suelo, en una zona más o menos restringida de volumen radicular. Sus principales características son: utilización de pequeños caudales a baja presión, localización del agua en la proximidad de las plantas a través de un número variable de punto de emisores (Jacome, 2009).

Los sistemas de riego localizados suponen una contribución al mejoramiento de la eficiencia del manejo del agua de riego y además permiten el uso de fertirrigación. El empleo adecuado de todos los recursos tecnológicos disponibles en riego debe complementarse con la optimización de otros factores de producción, a modo de incrementar la producción y la rentabilidad de la agricultura intensiva regada, ya que esta tecnología supone importantes inversiones de instalación (Lipinski et al. 2002) citado por (Aguirre, 2011).

5.5.1. Ventajas del Sistema de Riego por Goteo

- Disponibilidad de agua para la planta

en forma frecuente al establecerse intervalos cortos.

- Disponibilidad de nutrientes por su aplicación con el riego (fertirrigación) por periodos frecuentes, permitiendo su asimilación en un nivel eficiente de aprovechamiento.
- Limitación de desarrollo de malas hierbas debido al humedecimiento de una pequeña parte de la superficie del suelo.
- Menor pérdida de agua por evapotranspiración y viento, pues el agua es aplicada cerca de la raíces permitiendo el funcionamiento del sistema en zonas ventosas aprovechándose mejor el agua.
- Presión de funcionamiento baja en las líneas de goteo, resultando más económico que otros sistemas (Leiton Soubannier. 1985, pág. 125).
- En comparación a otros métodos de riego, éste permite un mejor manejo de la salinidad en el suelo, pudiéndose lograr un menor contenido de sales en el suelo.
- Uso de terrenos con topografía accidentada, suelos pedregosos y de

baja infiltración.

- Mayor uniformidad del riego.

5.5.2. Desventajas del Sistema de Riego por Goteo

- Inversión inicial elevada.
- Tratamiento y filtración del agua.
- Se necesita personal calificado.
- Es preciso hacer un control de: dosis de agua, fertilizantes, pesticidas y productos aplicados al agua de riego (Rodas, 2000).

5.6. Sistema de riego capilar

Es una propiedad física mediante la cual avanza e incluso puede ascender a través de minuciosos canales, desde unos milímetros hasta micras de tamaños, cuando el agua se introduce entre las paredes de este canal.

El caso más claro de capilaridad lo producen las manchas de humedad que no son más que el desplazamiento del agua desde un punto húmedo hacia zonas más secas.

La capilaridad, es la forma natural por la que el agua del subsuelo asciende hacia la superficie de nuestros campos y bosques y nutre a las plantas (Alarcon, 2012).

5.7. Propiedades del agua en el suelo

5.7.1. Adhesión

Es el estado o fenómeno por el cual dos superficies o materiales diferentes se mantienen unidos por fuerza interfaciales, ya sea por uniones físicas, por uniones químicas o por ambas. Es la propiedad de la materia por la cual se unen y plasman dos superficies de sustancias iguales o diferentes cuando entran en contacto, y se mantienen juntas por fuerzas intermoleculares ejemplo el ladrillo con el cemento.

5.7.2. Cohesión

Es la atracción entre moléculas que mantienen unidas las partículas de una sustancia. Es la fuerza de atracción entre partículas adyacentes dentro de un mismo cuerpo, en el agua la fuerza de cohesión es elevada por causa de los puentes de hidrógeno que mantiene las moléculas del agua fuertemente unidas (Alarcon, 2012).

Según (Quispe, 2018), las camas con riego capilar llegan a tener los más altos resultados de prendimiento 37,2 %, longitud de raíz 12,3 cm y altura de planta 10,8 cm, en comparación al riego realizado de forma tradicional que logro obtener prendimiento del 7,7 %, longitud de raíz de 7,0 cm y altura de planta de 8,0 cm. Por otro lado, el factor extracto mostró únicamente significancia en la variable longitud de raíz, llegando a crecer

hasta 10,6 cm con el extracto de sauce molido y 8,6 cm con la infusión de sauce. Respecto a la humedad del suelo medida con el sensor de humedad YI - 69, las camas provistas del riego capilar llegaron a registrar mayores valores de humedad gravimétrica 28,67 y 29,97 % entre tanto la cama con riego tradicional registro 10,74 % de humedad. Los costos parciales obtenidos fueron Bs 158,9 en la cama con riego tradicional, Bs 41,4 y 47,2 en las camas con riego capilar.

5.8. Producción de la remolacha bajo riego por goteo

5.8.1. Rendimiento

En agricultura y economía agraria, rendimiento de la tierra o rendimiento agrícola es la producción dividida para la superficie. La unidad de medida más utilizada es la Tonelada por Hectárea (Tm/Ha). Un mayor rendimiento indica una mejor calidad de la tierra (por suelo, clima u otra característica física) o una explotación más intensiva, en trabajo o en técnicas agrícolas (abonos, regadío, productos fitosanitarios, semillas seleccionadas transgénicos, etc.). La mecanización no implica un aumento del rendimiento, sino de la rapidez en el cultivo, de la productividad (se disminuye la cantidad de trabajo por unidad de producto) y de la

rentabilidad (se aumenta el ingreso monetario por unidad invertida. (Wikipedia, 2011) citado por (Espinoza, 2013).

5.8.2. Variedades

En función a la forma de sus “raíces”, (Moroto J. , 1989) menciona que comercialmente se distinguen dos grupos:

- **Alargadas:** Larga Roja Virtudes, Larga de Covent-Garden, Cylindra, Crapaudine, Cheltenham (pueden llegar hasta tener 30-40 cm de longitud).
- **Redondeadas o aplastadas:** Roja de Egipto, Roja Globo, Detroit mejorada, Bykores, Globe-Rondarka, Dwegina, Boltardy, redpack, globe- Faro, Detroit-Precoz, Detroit-Nero, Detroit Dark-Red, Negra de Egipto raza emir, Monopoy, Aplastada de Egipto.

Este segundo tipo de remolachas de mesa son las más cultivadas y las de mayor aceptación con miras a la exportación. La duración de ciclo de cultivo y la mayor o menor adaptación a una determinada estación del año, son caracteres también muy utilizados en la agrupación del material vegetal (Moroto, 1989).

5.8.2.1. Descripción de la variedad

- **Betarraga (*Beta vulgaris* L.) de la variedad Detroit Dark Red.**

Planta de vigor medio, variedad de forma esférica, de color uniforme rojo oscuro, carne muy fina y dulce. El follaje es de un color verde rojizo. Maduración comerciable a los 60 días. Es una de las variedades más cotizadas en todos los mercados. Se puede sembrar durante todo el año. Se usa tanto como para industria y como para mercado fresco (Japón, 1984) citado por (Ibañez, 2014).

Redonda, interior rojo oscuro, hojas de color verde oscuro y brillosas, remolacha multiusos. Tolerante a *Cercospora* sp y poco resistente a mildiu veloso. Se adapta en todo el mundo (Bakker Brothers 2011) citado por (Espinoza, 2013).

5.8.2.2. Días a la maduración

En cuanto las hojas basales empiezan a amarillarse y marchitarse, el bulbo a llegado a tener de 4.5 a 8 cm. de diámetro, y han pasado 120 a 125 días después del siembra, la maduración está ligado al clima y el lugar donde se siembra la beterraga (Morocho, 2019).

Según Infoagro (2008), la cosecha se inicia a los 120 días de la siembra, una vez que las raíces han alcanzado su óptimo desarrollo: 6 a 8 cm de diámetro aproximadamente. Como parte de la cosecha se hace la recolección

que consta de las siguientes operaciones: deshojado, descoronado, arranque y carga. Todas estas operaciones pueden ser realizadas de forma manual o mecanizada Citado por (Cuenca, 2014).

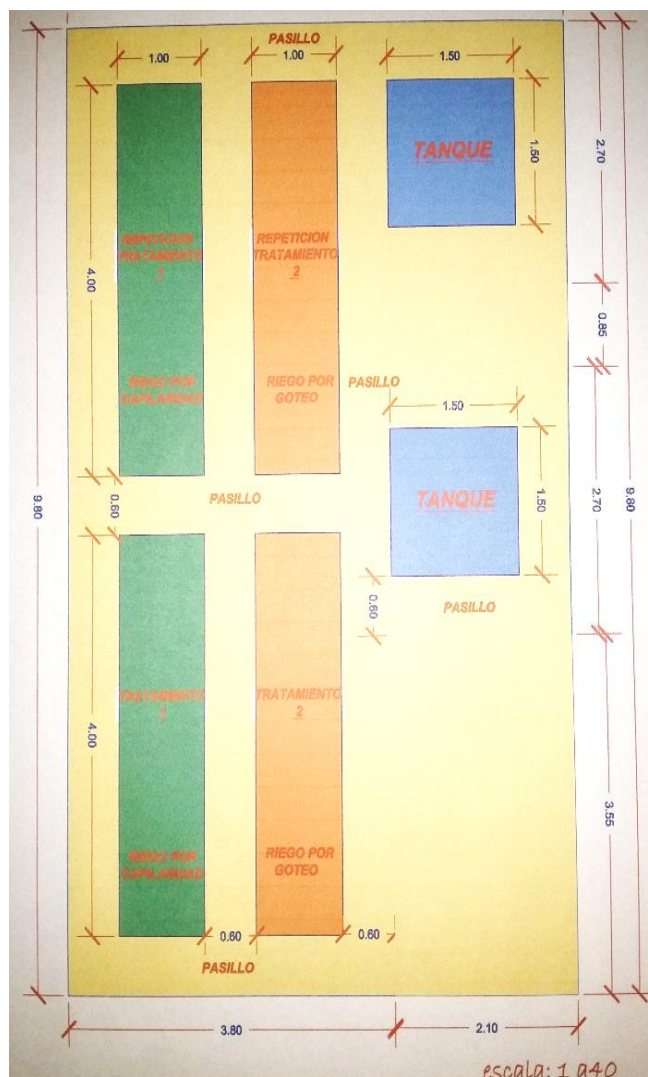
La cosecha se realiza a los 100 a 140 días después de la siembra; en esta época las hojas se pondrán de color rojo y el bulbo puede medir de 5 a 7 cm de diámetro, cortamos las hojas y lavamos los bulbos (Espinoza, 2013).

VI. PROCESO METODOLÓGICO

6.1. Diseño experimental

Corresponde al método experimental, basado en un diseño de bloques al azar con dos tratamientos y dos repeticiones, que permitió evaluar y determinar la eficiencia del agua en el cultivo de remolacha en los sistemas de riego por capilaridad y goteo.

6.1.1. Diseño de plano de la parcela de investigación



El área que ocupará el trabajo experimental es de 57.82 m² considerando los pasillos entre parcelas y entre tratamientos.

6.1.2. Descripción del diseño experimental

a. Especificaciones de la parcela experimental

Número de tratamientos:	2
Tratamiento 1:	Riego por capilaridad
Tratamiento 2:	Riego por goteo
Número de repeticiones:	2
Número de unidades experimentales:	4
b. Características de la Parcela	
Forma del bloque:	Rectangular
Superficie del bloque:	8 m ²
Marco de plantación:	Hexagonal, 20 x 20 cm
Área total por unidad experimental:	4 m ²
Densidad de plantas por unidad experimental:	95
Número de hileras por unidad experimental:	5
Área total de la parcela experimental:	57.82 m ²

6.1.3. Población y muestra

El proceso de evaluación de la altura de plantas y número de hojas se realizó a través de una muestra de 24 plantas equivalente a un metro cuadrado, seleccionadas al azar por tratamiento y repetición de una población de 95 plantas por tratamiento.

6.1.3.1. Definición formal de la fracción de muestra.

Según (Lagares & Puerto, 2001), para determinar el número de elementos que representa a la muestra y el porcentaje de la población que representa la muestra se desarrolla los siguientes factores:

Factor de elevación: Es el cociente entre el tamaño de la población y el tamaño de la muestra, N/n representa el número de elementos que hay en la población por cada elemento de la muestra.

Factor de muestreo: Es el cociente entre el tamaño de la muestra y el tamaño de la población n/N si se multiplica por 100, obtenemos el porcentaje de la población que representa la muestra.

Tomando en cuenta los factores de elevación y de muestreo, para una muestra de 24

plantas de una población de 95 plantas por tratamiento y repetición, procedemos de la siguiente manera:

Donde

N= Tamaño de la población por tratamiento y repetición (95)

n= Tamaño de la muestra evaluada (24)

Para calcular el factor de elevación, dividimos el número de plantas de la población entre los de la muestra: $95/24 = 3,96$ lo que quiere decir que cada uno de los elementos de la muestra representa a 3,96 plantas de la población.

Para calcular el factor de la muestra, dividimos el tamaño de la muestra entre la población, es decir: $24/95 = 0.25$ multiplicado por 100 quiere decir que estamos evaluando al 25 % de la población de plantas.

6.2. Implementación de las parcelas de investigación

6.2.1. Riego por capilaridad

Para la implementación de estas parcelas se realizó la excavación de un metro de ancho por cuatro metros de largo con una profundidad de 25 cm, sacando la tierra a un costado para posteriormente ser utilizada en la preparación de la cama, para completar la

altura requerida para este método de riego, se hará el levantamiento del muro con ladrillo gambote alrededor del perímetro de la parcela a una altura de 25 cm para completar los 50 cm de profundidad del lecho.

Concluida la etapa de excavación y el muro perimetral con sus respectivos drenajes, se implementa el método de riego por capilaridad utilizando agrofil, tubería de PVC de 2 pulgadas, malla milimétrica, piedra manzana y arena fina, como indica en (Portafruticola, 2016).

En la preparación del sustrato para la cama se utilizará la tierra extraída de la excavación previamente cernida y se mezcla uniformemente con una proporción de estiércol descompuesto de chanco, que luego se colocó todo el sustrato a la excavación hasta el borde del muro perimetral.

6.2.2. Riego por Goteo

Con el fin de dar las mismas condiciones a las parcelas de investigación, en las parcelas de riego por goteo, se aplicó el método de la doble excavación para la siembra del cultivo de remolacha, basados en los 9 pasos que

indican (Jeavons & Cox, 2017) en su libro “El Huerto Sustentable”.

6.2.2.1. Doble excavación

1. En un extremo de la cama (la cabecera) excava con una pala una zanja de 30 cm de ancho y 30 cm de profundidad.
2. Con un biello afloja otros 30 cm el suelo de esta zanja.
3. Excava con la pala la parte superior de la segunda zanja, 30 cm de profundidad y 30 cm de ancho. Clava la pala completamente, levanta la tierra con la pala y deja caer la tierra suelta y aireada sobre la primera zanja hasta haber completado la segunda zanja.
4. Afloja los siguientes 30 cm de la segunda zanja con el biello.
5. Continúa de esta misma manera con la tercera zanja y con el resto de las zanjas hasta terminar la cama.
6. Una vez terminada la tercera o cuarta zanja, utiliza el rastrillo para mover la tierra acumulada hacia adelante y nivelar la porción hecha de la cama.
7. Cuando hayas aflojado la parte inferior de la última zanja, nivela con el rastrillo toda la cama. (Incorpora la tierra de la

primera zanja, si no la estás utilizando para otros propósitos.)

8. Esparce una capa de 0.6 a 1.25 cm de espesor de composta madura sobre la superficie de la cama.
9. Con un biello, incorpora la composta a una profundidad de 5 a 10 cm sobre la capa superior de tierra.

6.2.3. Implementación del sistema de riego por goteo

El sistema de riego por goteo instalado es de tipo artesanal con la finalidad de hacer la aplicación del agua de manera controlada, para este propósito se utilizó los siguientes materiales y accesorios, un tanque graduado de 200 litros, cañería de PVC de ½ pulgada para el porta regante, cinta de goteo con espacios de 20 cm, un grifo de ½ pulgada, 2 metros de manguera de jardinería, codos y niples de PVC.

6.3. Siembra del cultivo de remolacha en las parcelas de investigación.

Se empleó un mismo sistema de siembra en los dos tratamientos de investigación con el propósito de que los datos a evaluar no varíen, en ese sentido se practicó la siembra cercana con patrón hexagonal, que aprovecha mejor el espacio, (Almoguera & De la Graza, 2017).

6.4. Determinación de la cantidad de agua aplicada en los métodos de riego

La cantidad de agua aplicada al cultivo de remolacha en los dos métodos de riego se calculó de la siguiente manera:

6.4.1. Riego por capilaridad

Se cargó el agua por la cañería de alimentación al depósito del método de riego por capilaridad con medida de 5 litros hasta que empiece a salir el agua por las tuberías de los drenajes. La cañería de alimentación contiene una vara graduada cada 5 litros, la que permitió el registro detallado de la cantidad de agua que el cultivo extrae de forma diaria.

6.4.2. Riego por goteo

El cálculo de la cantidad de agua a ser aplicada al cultivo de remolacha se determinó en base al diseño agronómico para el control en el tanque de almacenamiento de agua que tiene una graduación cada 5 litros, lo que permitió realizar el registro de la cantidad de agua aplicada al cultivo de remolacha.

6.5. Evaluación del rendimiento del cultivo de remolacha

El rendimiento se evaluó en función, al tamaño y peso del producto cosechado de

los dos tratamientos y sus respectivas repeticiones.

Con los datos de la cantidad de agua y el peso del producto cosechado se determinó la eficiencia del agua en el cultivo de la remolacha en los dos métodos de riego aplicando la siguiente fórmula de (Salazar & Rojano, 2014):

$$Ef\ Agua = \frac{\text{Producción (kg)}}{\text{Agua utilizada (m}^3\text{)}}$$

6.6. Diseño agronómico para el riego por goteo

Para el siguiente diseño agronómico se recabo datos de la estación agro meteorológica de Villa Serrano correspondientes a temperaturas máximas, mínimas y medias de 2016-2018 para trabajar con los promedios utilizando el método de Hargreaves para determinar la ETO, en función a este dato se realizó los cálculos de cantidad de agua, y tiempo de aplicación considerando las fases fenológicas de inicio, desarrollo, medio y fin del cultivo de remolacha aplicando las fórmulas de (Briceño, Álvarez, & Barahona, 2012).

Tabla 1 Radiación extraterrestre diaria (Ra)

Latitud en Grados	(valores en MJm ⁻² día ⁻¹) ² PARA EMISFERIO SUR											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
22	42.2	40.1	36.2	30.6	25.6	23.0	24.0	28.1	33.7	38.4	41.4	42.6
20	41.9	40.0	36.6	31.3	26.6	24.1	25.0	28.9	34.2	38.6	41.2	42.1
18	41.5	40.0	37.0	32.1	27.5	25.1	26.0	29.8	34.7	38.7	40.9	41.7

Fuente: FAO (2006)

6.6.1. Cálculo de radiación extraterrestre

Rs y ETo

Para el cálculo de la radiación extraterrestre para el cultivo de Remolacha se utilizará datos del cuadro anterior de los meses: julio, agosto, septiembre y octubre.

Radiación solar (Rs)

$$Rs = Ro \times Kt \times (Tmax - Tmin)^{0,5}$$

$$\text{Jul. } Rs = 25,0 \text{ Mjm}^2 \times 0,162(28,63 - (-1,23))^{0,5}$$

$$Rs = 25,0 \text{ Mjm}^2 \times 0,408\text{mm}$$

$$Rs = 10,2\text{mm} \times 0,162(28,63 - (-1,23))^{0,5}$$

$$Rs = 9,03\text{mm/día}$$

$$\text{Ago. } Rs = 28,9 \text{ Mjm}^2 \times 0,162(28,9 - (-1,5))^{0,5}$$

$$Rs = 28,9 \text{ Mjm}^2 \times 0,408\text{mm}$$

$$Rs = 11,79\text{mm} \times 0,162(28,9 - (-1,5))^{0,5}$$

$$Rs = 10,53\text{mm/día}$$

$$\text{Sep. } Rs = 34,2 \text{ Mjm}^2 \times 0,162(31 - 0,9)^{0,5}$$

$$Rs = 34,2 \text{ Mjm}^2 \times 0,408\text{mm}$$

$$Rs = 13,95\text{mm} \times 0,162(31 - 0,9)^{0,5}$$

$$Rs = 12,4\text{mm/día}$$

$$\text{Oct. } Rs = 38,6 \text{ Mjm}^2 \times 0,162(32 - 5,53)^{0,5}$$

$$Rs = 38,6 \text{ Mjm}^2 \times 0,408\text{mm}$$

$$Rs = 15,75\text{mm} \times 0,162(32 - 5,53)^{0,5}$$

$$Rs = 13,12\text{mm/día}$$

Evapotranspiración potencial (ETo)

$$ETo = 0,0135 \times (Tmed + 17,78) \times Rs$$

$$\text{Jul. } ETo = 0,0135 \times (12,1 + 17,78) \times 9,03\text{mm/día}$$

$$ETo = 3,64\text{mm/día}$$

$$\text{Ago. } ETo = 0,0135 \times (13,7 + 17,78) \times 10,53\text{mm/día}$$

$$ETo = 4,47\text{mm/día}$$

$$\text{Sep. } ETo = 0,0135 \times (15,4 + 17,78) \times 12,4\text{mm/día}$$

$$ETo = 5,55\text{mm/día}$$

$$\text{Jul. } ETo = 0,0135 \times (17,5 + 17,78) \times 13,12\text{mm/día}$$

$$ETo = 6,24\text{mm/día}$$

Tabla 2 Resumen de cálculo de ETC del cultivo de Remolacha

Fases	Días	Mes	ETo (mm/día)	Duración Fases (días)	Total ETo	Kc	Sub total ETC	Total ETC
Inicio	25	Jul	3,64	20	72,8	0,45	32,76	42,82
		Agot	4,47	5	22,35	0,45	10,06	
Desarrollo	35	Agot	4,47	26	116,22	0,80	92,97	132,93
		Sep	5,55	9	49,95	0,80	39,96	
Medio	40	Sep	5,55	21	116,55	1,15	134,03	270,37
		Oct	6,24	19	118,56	1,15	136,34	
Fin	10	Oct	6,24	10	62,4	0,80	49,92	49,92
TOTAL	110						496,04	

Lamina bruta (LB)

$$LB = \frac{ETc}{Er} \times 100$$

Fase inicio $LB = \frac{42,86}{90} \times 100 =$
 $47,62\text{mm/día}$

Fase desarrollo $LB = \frac{132,93}{90} \times 100 =$
 $147,7\text{mm/día}$

Fase medio $LB = \frac{270,37}{90} \times 100 =$
 $300,41\text{mm/día}$

Fase fin $LB = \frac{49,92}{90} \times 100 =$
 $55,46\text{mm/día}$

Volumen de agua (Va)

$$Va = \frac{LB}{Fr} \times Sp \times S\ell$$

Fase inicio $Va = \frac{47,62}{1} \times 0,20 \times$
 $0,20 = 1,90 \text{ lt/día}$

Fase desarrollo $Va = \frac{147,7}{1} \times 0,20 \times$
 $0,20 = 5,908 \text{ lt/día}$

Fase medio $Va = \frac{300,41}{1} \times 0,20 \times$
 $0,20 = 12,016 \text{ lt/día}$

Fase fin $Va = \frac{55,46}{1} \times 0,20 \times$
 $0,20 = 2,218 \text{ lt/día}$

Cálculo de número de emisores por planta**(Np)**

$$Np = \frac{Sp}{Se}$$

$$Np = \frac{0,20m}{0,20m} = 1 \text{ Emisor}$$

Cálculo de tiempo de aplicación (Ta)

$$Ta = \frac{Va}{Np \times qa}$$

Fase inicio

$$Ta = \frac{1,90}{1 \times 0,580} = \boxed{3,28 \text{ hr/día}}$$

Fase desarrollo

$$Ta = \frac{5,908}{1 \times 0,580} = \boxed{10,19 \text{ hr/día}}$$

Fase medio

$$Ta = \frac{12,016}{1 \times 0,580} = \boxed{20,72 \text{ hr/día}}$$

Fase fin

$$Ta = \frac{2,218}{1 \times 0,580} = \boxed{3,82 \text{ hr/día}}$$

Cálculo del caudal total del gotero (Q_{tg})

$$Q_{tg} = qa \times Ta$$

Fase inicio

$$Q_{tg} = 0,580 \times 3,28 =$$

1,90

Fase desarrollo

$$Q_{tg} = 0,580 \times 10,19 =$$

5,91

Fase medio

$$Q_{tg} = 0,580 \times 20,72 =$$

12,02

Fase fin

$$Q_{tg} = 0,580 \times 3,82 = 2,22$$

Cálculo de requerimiento total de agua**(Rta)**

$$Rta = Np \times Q_{tg} \times Cp$$

Fase inicio

$$Rta = 1 \times 1,90 \times 96 = 182,4$$

Fase desarrollo

$$Rta = 1 \times 5,91 \times 96 = 567,36$$

Fase medio

$$Rta = 1 \times 12,02 \times 96 = 1153,92$$

Fase fin

$$Rta = 1 \times 2,22 \times 96 = 213,12$$

El requerimiento total de agua del cultivo de Remolacha para cada parcela de riego por goteo desde la fecha de siembra a la maduración es de 2116,8 lt.

Cálculo de tiempo de riego (Tr)

$$Tr = \frac{Ta}{Df} \times 60$$

Tabla 3 Resumen de cantidad de agua y tiempo de riego

FASES	DIAS	CANTIDAD DE AGUA lt/día	CANTIDAD DE AGUA EN lt/fase	TIEMPO DE RIEGO (min/día)
Inicio	25	7,3	182,5	7,87
Desarrollo	35	16,21	567,35	17,47
Medio	40	28,85	1154	31,08
Fin	10	21,31	213,1	22,92
TOTAL AGUA EN TODO EL CICLO			2116,95	

6.7. Determinación de textura del suelo

Para determinar la textura del suelo se aplicó el método de sedimentación, se extrajo tierra de cada parcela y se puso en botellas de vidrio transparente, se añadió agua hasta cubrir completamente el suelo, se batió por el lapso de 3 min a los 7 días se pudo distinguir las diferentes partículas de suelo en las 4 muestras obteniendo los siguientes datos:

TESTIGO 1 (T₁)

Altura de la botella 6,5cm

- Arena 3 cm.
- Limo 2,5cm.
- Arcilla 1cm.

Una vez obtenido los datos, se obtuvo el porcentaje de cada uno de ellos a través de la regla de tres simple como sigue.

Arena:

6,5cm.....100%

3 cm.....x

$$x = 3\text{cm} \times \frac{100\%}{6,5\text{cm}} = \underline{\underline{46,1\% \text{ arena}}}$$

Limo:

6,5cm.....100%

2,5cm.....x

$$x = 2,5\text{cm} \times \frac{100\%}{6,5\text{cm}} = \underline{\underline{38,5\% limo}}$$

Arcilla:

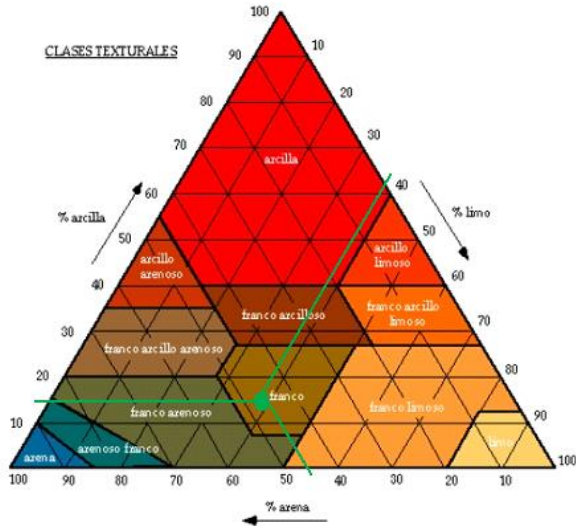
6,5cm.....100%

1 cm.....x

$$x = 1\text{cm} \times \frac{100\%}{6,5\text{cm}} = \underline{\underline{15,4\% arcilla}}$$

46,1% arena + 38,5% limo + 15,4% arcilla =

100%



Utilizando el triángulo de texturas se pudo determinar la textura del suelo, dando como resultado un **suelo franco**.

REPETICIÓN TESTIGO 1 (RT₁)

Altura de la botella 5,8cm

- Arena 2,9 cm.
- Limo 2 cm.
- Arcilla 0,9 cm.

Arena:

5,8 cm.....100%
 2,9 cm.....x
 $2,9\text{cm} \times \frac{100\%}{5,8\text{cm}} = \mathbf{50\% \text{ arena}}$ x =

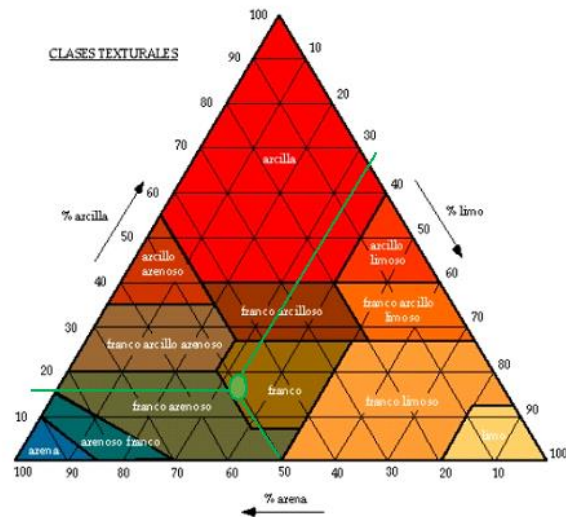
Limo:

5,8 cm.....100%
 2 cm.....x
 $2\text{ cm} \times \frac{100\%}{5,8\text{ cm}} = \mathbf{34,5\% \text{ limo}}$ x =

Arcilla:

5,8cm.....100%
 0,9cm.....x
 $0,9\text{ cm} \times \frac{100\%}{5,8\text{ cm}} = \mathbf{15,5\% \text{ arcilla}}$ x =

50% arena + 34,5% limo +15,5% arcilla = 100%



Utilizando el triángulo de texturas se pudo determinar la textura del suelo, dando como resultado un **suelo franco**.

TESTIGO 2 (T₂)

Altura de la botella 6,5cm

- Arena 2,5 cm.
- Limo 3 cm.
- Arcilla 1 cm.

Arena:

6,5 cm.....100%
 2,5 cm.....x
 $2,5\text{ cm} \times \frac{100\%}{6,5\text{ cm}} = \mathbf{38,5\% \text{ arena}}$ x =

Limo:

6,5cm.....100%

3 cm.....x

x =

$$3 \text{ cm} \times \frac{100\%}{6,5\text{cm}} = \boxed{46,1\% \text{ limo}}$$

Arcilla:

6,5cm.....100%

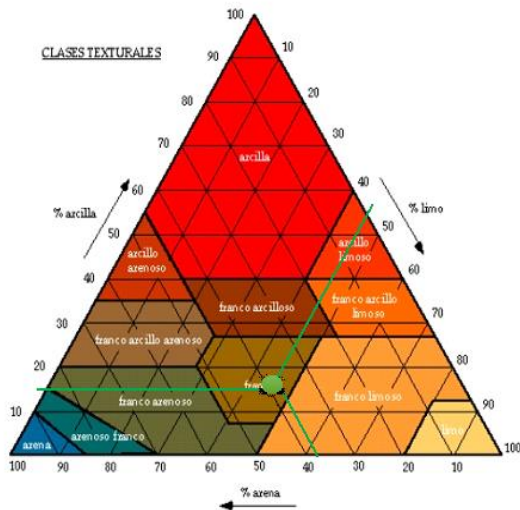
1 cm.....x

$$x = 1 \text{ cm} \times \frac{100\%}{6,5\text{cm}} =$$

$$\boxed{15,4\% \text{ arcilla}}$$

38,5% arena + 46,1% limo +15,4% arcilla =

100%



Utilizando el triángulo de texturas se pudo determinar la textura del suelo, dando como resultado un **suelo franco**.

REPETICIÓN TESTIGO 2 (RT₂)

Altura de la botella 6cm.

- Arena 3 cm.
- Limo 2 cm.
- Arcilla 1 cm.

Arena:

6 cm.....100%

3 cm.....x

$$x = 3 \text{ cm} \times \frac{100\%}{6 \text{ cm}} =$$

$$\boxed{50\% \text{ arena}}$$

Limo:

6 cm.....100%

2 cm.....x

x =

$$2 \text{ cm} \times \frac{100\%}{6 \text{ cm}} = \boxed{33,3\% \text{ limo}}$$

Arcilla:

6 cm.....100%

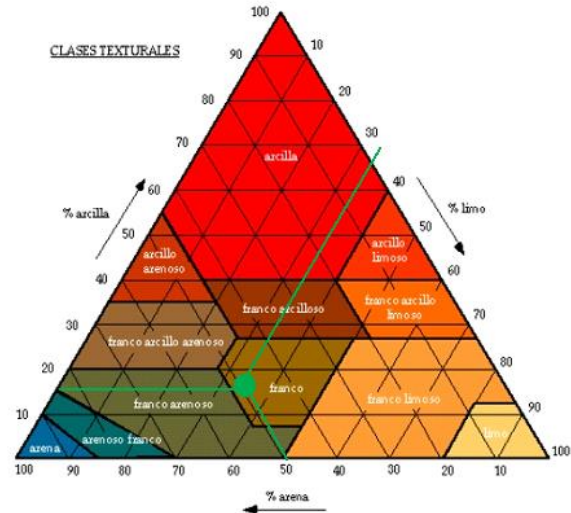
1 cm.....x

$$x = 1 \text{ cm} \times \frac{100\%}{6 \text{ cm}} =$$

$$\boxed{16,7\% \text{ arcilla}}$$

50% arena + 33,3% limo +16,7% arcilla =

100%



Utilizando el triángulo de texturas se pudo determinar la textura del suelo, dando como resultado un **suelo franco**.

6.8. Humedad en el suelo

El control de la humedad del suelo en ambos tratamientos fue evaluado utilizando dos métodos sencillos uso de una vara de madera de media pulgada de grosor introduciendo hasta los 25 centímetros de profundidad de cada una los tratamientos y repeticiones, observando si la humedad llega hasta la profundidad indicada, el otro método de evaluación de la humedad fue utilizando un cilindro metálico de 10 centímetros de altura y dos pulgadas de grosor para sacar muestras de suelo de cada uno de los tratamientos, en cada fase fenológica del cultivo, para comparar la humedad del suelos a través del pesado de la muestra de suelo de cada sistema de riego por capilaridad y goteo, los datos de humedad solo son referenciales para ver si la cantidad de agua suministrada por goteo es suficiente comparada con el riego por capilaridad ver tabla N° 3, el análisis de la humedad del suelo puede ser un tema de investigación muy importante.

Tabla 4 Peso de suelo húmedo en gramos

Peso de suelo (gr)				
N°	T ₁	T ₂	RT ₁	RT ₂
MUESTRAS				
1	270	260	275	260
2	245	250	265	255
3	245	265	255	265
4	245	265	245	265
5	227	235	232	229

VII. PROCESO Y ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de los datos obtenidos en el trabajo de investigación referente a la eficiencia del agua en el cultivo de remolacha aplicando el método experimental y siguiendo la metodología propuesta, se tiene los siguientes resultados:

7.1. Análisis de altura de plantas y número de hojas

La evaluación de altura de plantas y número de hojas se realizó cada 7 días para comparar el desarrollo del cultivo por método de riego.

Para el análisis de los resultados se ha trabajado con el promedio de los resultados obtenidos por tratamiento y repetición tomando en cuenta las fases fenológicas del cultivo.

Tabla 5 Altura de plantas en (cm) por fases fenológicas

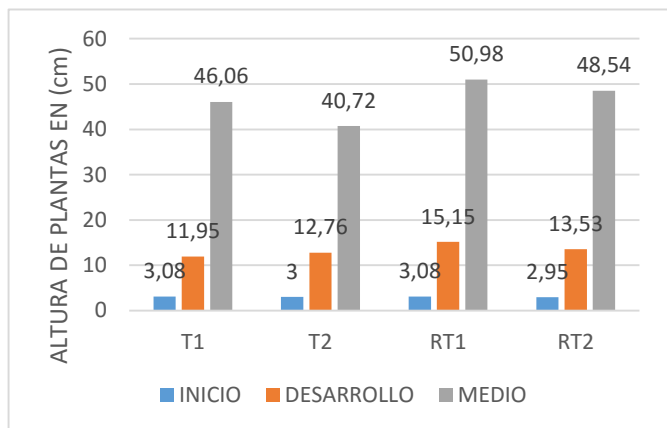
FASES FENOLÓGICAS	T1	T2	ET1	RT2
INICIO	3,08	3	3,08	2,95
DESARROLLO	11,95	12,76	15,15	13,53
MEDIO	46,06	40,72	50,98	48,54

y en la fase media se observa una mayor altura en la repetición del riego por capilaridad (RT1) seguida de la repetición de riego por goteo (RT2) y el tratamiento de riego por capilaridad (T1).

Tabla 6 Número de hojas por fases fenológicas

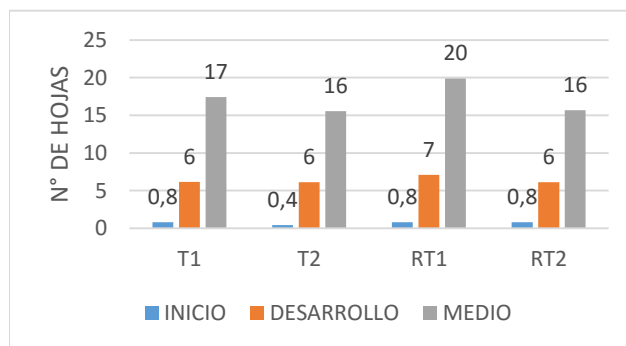
FASES FENOLÓGICAS	T1	T2	ET1	RT2
INICIO	0,8	0,4	0,8	0,8
DESARROLLO	6	6	7	6
MEDIO	17	16	20	16

Gráfico 1 Altura de plantas en (cm) por fase fenológica



De acuerdo a las fases fenológicas se observa en la fase de inicio una mayor altura de plantas según los datos promedios obtenidos en el tratamiento de riego por capilaridad (T1 y RT1) en relación al tratamiento de riego por goteo (T2 y RT2), sin embargo en la fase de desarrollo se observa según los datos promedios obtenidos que la (RT1) de riego por capilaridad muestra una mayor altura de plantas, seguida de la repetición del riego por goteo (T2 y RT2)

Gráfico 1 Número de hojas según fase fenológica



El promedio de los datos obtenidos para el número de hojas muestra para la fase de inicio igual número de hojas, excepto en el tratamiento de riego por goteo (T2) con un menor promedio, en la fase de desarrollo se observa igual número de hojas, excepto la repetición del tratamiento de riego por capilaridad (RT1), seguida del tratamiento (T1).

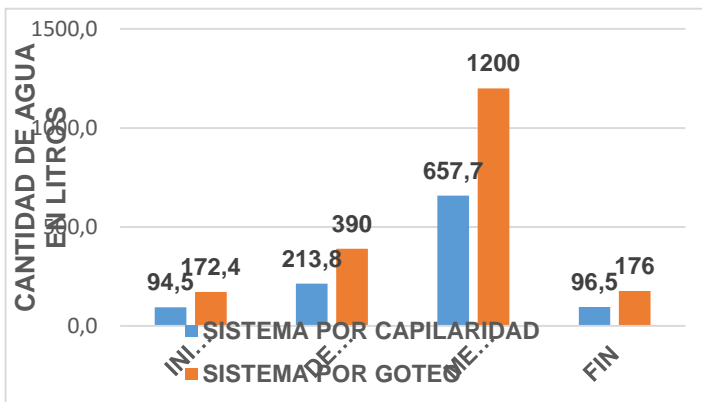
7.2. Análisis de la cantidad de agua utilizada por tratamiento y repetición

Los datos del agua utilizada en el riego de los tratamientos y repeticiones se han realizado de acuerdo a las fases fenológicas del cultivo como se detalle en la tabla 7.

Tabla 5 Cantidad de agua utilizada en todo el ciclo del cultivo de la remolacha por sistemas de riego y fases fenológicas

FASE FENOLOGICA	DIAS DE FASES FENOLOGICAS	CANTIDAD DE AGUA EN LITROS	
		SISTEMA POR CAPILARIDAD	SISTEMA POR GOTEOS
INICIO	25	94,5	172,4
DESARROLLO	35	213,8	390
MEDIO	40	657,7	1200
FIN	10	96,5	176
TOTAL	110	1062,4	1938,4

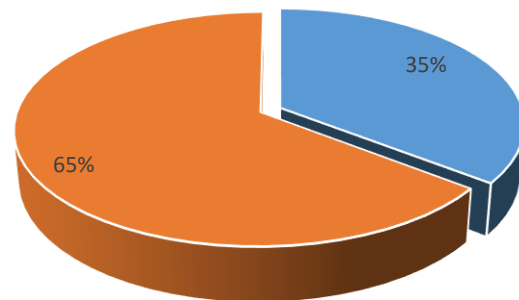
Gráfico 3 Cantidad de agua utilizada por fase fenológica en litros



La diferencia de agua aplicada en las diferentes fases fenológicas del cultivo de remolacha muestra una diferencia mayor de gasto de agua en la fase media del cultivo en el (T2 y RT2) con respecto al (T1 y RT1).

Gráfico 4

Porcentaje de cantidad de agua utilizada en la producción de remolacha en los métodos de riego por capilaridad y goteo



■ RIEGO POR CAPILARIDAD ■ RIEGO POR GOTEOS

El porcentaje de la cantidad de agua utilizada por el cultivo de remolacha en todo el ciclo vegetativo, muestra un 35 % para el método de riego por capilaridad (T1 y RT1) y 65 % para el riego por goteo (T2 y RT2), encontrando una diferencia marcada en ahorro de agua del 30 % en el (T1 y RT1), con respecto (T2 y RT2).

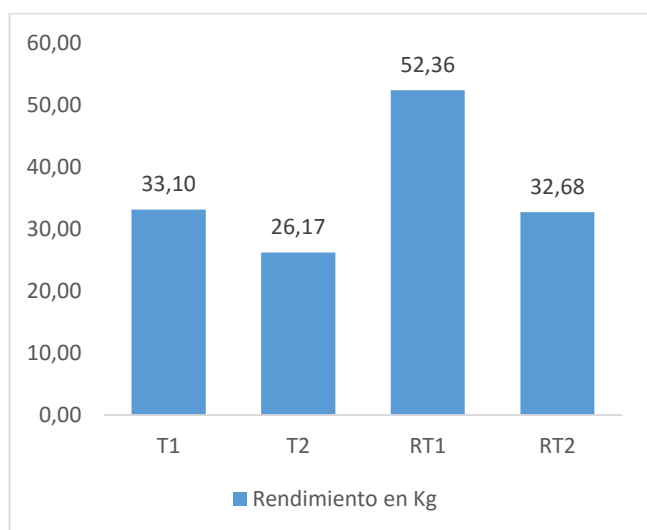
7.3. Análisis de los datos de rendimiento del cultivo de remolacha por tratamiento y repetición

Los datos del rendimiento se obtuvieron por m^2 que equivale a las 24 plantas evaluadas por tratamiento y repetición, sin embargo para el análisis se toman los datos de la superficie total de cada tratamiento y repetición que es igual a $4 m^2$ como se muestran en la tabla 8.

Tabla 6 Rendimiento del cultivo en kg en $4 m^2$

RETALLE	T1	T2	RT1	RT2
Rendimiento en Kg	33.1	26.17	52.36	32.68

Gráfico 5 Rendimiento en Kg por tratamiento



La diferencia del rendimiento en Kg por cada unidad experimental con superficie de $4 m^2$, se observó una marcada diferencia de rendimiento en el RT1 con 52.36 kg. Seguida del T1 con 33.10 kg. que corresponde al riego por capilaridad respecto al RT2 con 32.68 kg. y T2 con 26.17 kg del riego por goteo.

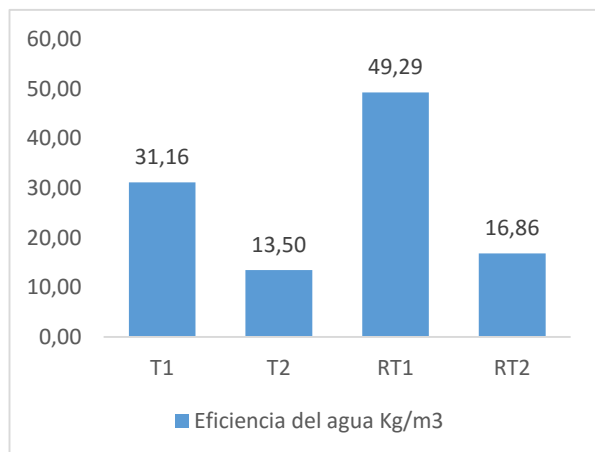
7.4. Análisis de la eficiencia del agua en el cultivo de remolacha en kg/m^3

Los datos de la eficiencia del agua en el cultivo de remolacha se obtuvieron a través de la fórmula de (Salazar & Rojano, 2014), con los datos del rendimiento en kg. y el agua utilizada en todo el ciclo del cultivo en m^3 como se muestra en la tabla 9.

Tabla 7 Eficiencia del agua en el cultivo de remolacha calculado entre el rendimiento en kg y el consumo de agua total en m^3

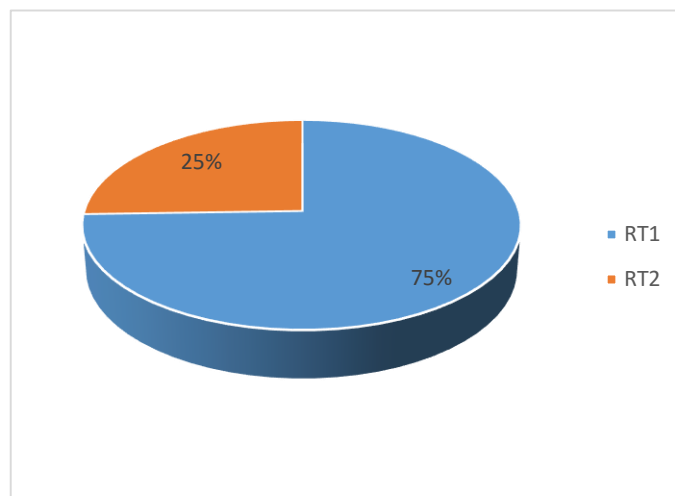
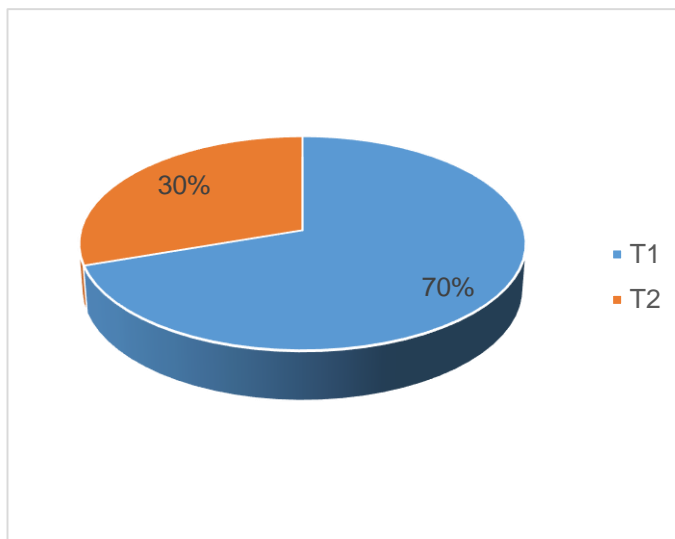
DETALLE	T1	T2	RT1	RT2
Rendimiento en Kg	33.1	26.17	52.36	32.68
Agua en m^3	1.06	1.94	1.06	1.94
Eficiencia del agua Kg/m^3	31.16	13.50	49.29	16.86

Gráfico 6 Eficiencia del agua en el cultivo de la remolacha en Kg/m³



Con los resultados del rendimiento y la cantidad de agua utilizada en todo el ciclo del cultivo de remolacha, se determina la eficiencia del agua aplicando la fórmula de (Salazar & Rojano, 2014), dividiendo el rendimiento en kg entre el consumo de agua en m³, se observa en el gráfico una marcada diferencia de eficiencia del agua en el cultivo de remolacha a favor de método de riego por capilaridad (RT1 y T1) con una eficiencia de 49.29 y 31.16 kg/m³, frente al método de riego por goteo (T2 y RT2) con 16.82 y 13.50 kg/m³.

Gráfico 7 Porcentaje de eficiencia del agua en la producción de remolacha aplicando métodos de riego por capilaridad y goteo



Los gráficos muestran una alta eficiencia del agua en el cultivo de remolacha, de 70 y 75% en el método de riego por capilaridad frente al 25 y 30% del método de riego por goteo.

7.5.1 Análisis Estadístico

Se realizó el análisis de varianza de los resultados de la eficiencia del agua en el cultivo de remolacha en los dos métodos de

riego por capilaridad y goteo, aplicando el Modelo estadístico y análisis de varianza de la prueba F (Fisher).

Eficiencia del agua en el cultivo de remolacha

DETALLE	T1	T2	RT1	RT2
Eficiencia del agua Kg/m ³	31.16	13.50	49.29	16.86

Donde

T1 y RT1 = riego por capilaridad

T2 y RT2 = riego por goteo

1. Sumatoria de todos los valores, para obtener el valor de y

DETALLE	Rep1	Rep2
Trat 1	31.16	49.29
Trat 2	13.5	16.86
TOTAL	110.81	

Valor de $y = 110.81$

2. Obtener la sumatoria de los cuadrados de todos los valores

$$\sum y_{ij}^2$$

DETALLE	Rep1	Rep2
Trat 1	970.95	2429.50
Trat 2	182.25	284.26
TOTAL	3866.96	

Sumatoria total = 3866.96

3. Suma de los cuadrados totales

$$\text{Suma Cuadrados Totales} = \sum y_{ij}^2 - (y)^2/n$$

$$\text{Suma Cuadrados Totales} = 3866.96 - (110.81)^2/4 = 797.25$$

4. Calcular la Varianza de los tratamientos

Calcular la suma de cada uno de los tratamientos y posteriormente elevar al cuadrado cada una de las sumas.

Finalmente sumar todos los cuadrados.

DETALLE	Rep1	Rep2	Suma
Trat 1	31.16	49.29	80.45
Trat 2	13.5	16.86	30.36
TOTAL	110.81	110.81	

	6472.2025
Cuadrados	921.7296
suma	7393.9321

Suma Total = 7393.9321

5. Calcular la Suma de cuadrados de los tratamientos

$$\text{Suma Cuadrado de Tratamientos} = \frac{\sum y_i^2}{r} -$$

$$(y)^2/n$$

$$= (7393.9321/2) - ((110.81)^2/4) = 627.252$$

6. Cálculo de grados de libertad de los tratamientos

$$t - 1 \quad 2 - 1 = 1$$

Donde t es el número de tratamientos

7. Cálculo de Grados de libertad del

$$n - 1 = 4 - 1 = 3$$

Donde n es el número total de repeticiones en los dos tratamientos

8. Llenado de la tabla de análisis de Varianza

DETALLE	GL	SC	CM	F
Trat	1	627.25	627.25	7.3800
Error	2	170	85.00	
Total	3	797.25		

Grados de libertad del error $t(r-1) = 2(2-1)=2$
 SC error = Sc total - Sc tratamiento $Sc\ error = 797.25 - 627.25 = 170$
 Cuadrados medios de los tratamientos $CM\ trat = SC\ trat/GL\ error$
 Cuadrados medios del error $CM\ error = Sc\ error / GL\ error$
 Cálculo de F $F = CM\ trat / CM\ error$

$$F_{0.05, 1, 2} = 8.526$$

Valor de F = 0.1% donde 8.526 > 7.3800

De acuerdo al resultado del análisis de varianza corregida al 0,1% nos indica que no hay diferencia entre los tratamientos respecto a la eficiencia del agua en el cultivo de remolacha.

VIII. CONCLUSIONES

Se realizó el diseño y la implementación de las parcelas de investigación para ambos métodos, dando las mismas condiciones de suelo para el cultivo de remolacha.

Se calculó el diseño agronómico utilizando registro de datos de la estación meteorológica de Villa Serrano perteneciente a la Carrera de Producción Agropecuaria de U.S.F.X.CH. para determinar la evapotranspiración a través del método de Hargreaves, para luego calcular la cantidad y tiempo de riego por fases fenológicas del cultivo, utilizando las fórmulas de Briceño, Álvarez, & Barahona en el sistema de riego por goteo.

La evaluación del crecimiento de las plantas se realizó de acuerdo a las fases fenológicas del cultivo de remolacha, muestra una diferencia de crecimiento a favor del método de riego por capilaridad (T1 y RT1), en las tres fases fenológicas de inicio, desarrollo y medio del cultivo, con respecto al método de riego por goteo (T2 y RT2).

La comparación de ambos métodos se realizó de acuerdo al análisis de la cantidad de agua utilizada en todo el ciclo del cultivo de la remolacha, el método de riego por capilaridad (T1 y RT1), ha utilizado 35 % de agua para producir, en cambio el método de

riego por goteo (T2 y RT2), ha utilizado 65% de agua para producir, es decir, que el método de riego por goteo ha utilizado un 30% más de agua para producir con respecto al riego por capilaridad.

La evaluación del rendimiento en el cultivo de remolacha determina que en el método de riego por capilaridad (T1 y RT1), tiene un rendimiento promedio de 42.73 Kg y el método de riego por goteo (T2 y RT2), tiene un rendimiento promedio de 29,43 kg, es decir que el método de riego por capilar tiene un rendimiento promedio de más 13,3 kg con respecto al rendimiento promedio del riego por goteo.

El método de riego por capilaridad muestra una alta eficiencia del agua en el cultivo de remolacha, al demostrar que en el RT1 para producir 49.29 kilogramos de remolacha ha utilizado un m³ de agua en comparación a la eficiencia del agua en el método de riego por goteo en RT2, que para producir 16.83 kilogramos de remolacha ha utilizado un m³ de agua, mostrando una diferencia de eficiencia del método de riego por capilaridad del 75 % frente al 25 % del riego por goteo, de igual manera ocurre con el T1

del método de riego por capilaridad, que muestra una eficiencia del agua en la producción de remolacha, del 70 % frente al 30% de riego por goteo.

De acuerdo al análisis de varianza corregido al 0,1% con el resultado de $P > 7.3800$ nos indica que no hay diferencia entre los tratamientos respecto a la eficiencia del agua en el cultivo de remolacha, es probable el margen de error corregido al escaso número de repeticiones aplicadas en el diseño experimental.

IX. DISCUSIÓN

En la fase de inicio los datos promedios obtenidos en el tratamiento de riego por capilaridad (T1 y RT1) muestran una mayor altura de plantas en relación al tratamiento de riego por goteo (T2 y su RT2), resultado que no se relacionan con el análisis de altura de plantas de pimientos que no muestran diferencias de altura en las primeras semanas de trasplante en ninguno de los cuatros sistemas de riego realizado (Nalliha & Sri, 2010).

Se encuentra coincidencia con la investigación de (Casadevall & Rodríguez, 2018) y (Nalliha & Sri, 2010) en qué el riego por capilaridad extrae suficiente agua para

el desarrollo vegetativo de acuerdo a los datos registrados de altura de plantas en RT1 y número de hojas evaluadas en (T1) y (RT1) como se observa en la tabla N°6.

Así mismo contractan los resultados de (Kpadonou & Akponikpe, 2013) y (Nalliha & Sri, 2010), en menor consumo de agua durante el desarrollo del cultivo en el sistema de riego por capilaridad (T1 y RT1) con 35 % con respecto al riego por goteo de 65 %.

La diferencia de eficiencia del agua es mayor en el método de riego por capilaridad (T1 y RT1) con una eficiencia del 70 % y 75 % más que el método de riego por goteo (T2 y RT2), que llega a una eficiencia del 25 % y 30 %, en relación al trabajo de investigación de (García & De Benito, 1996), el riego por goteo muestra una eficiencia media del agua de 20,2 y 25.3 % con respecto al riego por aspersión en el cultivo de remolacha azucarera.

X. AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca por propiciar el trabajo de investigación a través de la Dirección de Investigación Ciencia y Tecnología, realizado en el

- Municipio Villa Serrano.
- A la Carrera de Producción Agropecuaria dependiente de la Facultad de Ciencias Agrarias de Villa Serrano por incentivar la investigación de los estudiantes.
- A Gilmar Prado por su orientación en el control de plagas y enfermedades durante el ciclo del cultivo.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Abidin, Z. B. (2014). *Capillary-based Subsurface Irrigation System for Water-saving Agriculture*. Tokio - Japan.
- Aguirre, C. L. (2011). *Diseño de un sistema de riego por goteo para producción de hortalizas y semillas en Zamorano Honduras*. Honduras.
- Alarcon, L. V. (2 sábado de junio de 2012). *Tenopalarr Corporation*. Obtenido de Tenopalarr At.: <http://tenopalarr.blogspot.com>
- Albites, P. J. (2015). *Diseño de un sistema de riego por goteo*. Peru.
- Almoguera, P., & De la Graza, J. C. (2017). *Metodo biointensivo de Cultivo de Alimentos*.
- Arámbula, V. V., García, M., & Ávila, F. (2017). *El Agua para la Agricultura de las Américas*. México.
- Briceño, M., Álvarez, F., & Barahona, U. (2012). *Manual de Riego y*

Drenaje. Honduras.

- Calvo, L. A. (2015). *Sistema de goteo Familiar*. Coahuila.
- Carrara, A. (2018). *Cambio climático y Consecuencias en la Agricultura Mediterránea*. Valencia - España.
- Casadevall, P. M., & Rodríguez, V. P. (2018). Tecnología del riego por succión para la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum*) en condiciones controladas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 9.
- Cuenca, N. J. (2014). *EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL BIOL MINERALIZADO CON HARINA DE ROCAS EN LOS CULTIVOS DE ZANAHORIA Y REMOLACHA EN EL SECTOR LA ARGELIA*. Ecuador .
- Echeverría, J. (2016). *Análisis socioeconómico del impacto sectorial de la sequía de 2014 en centroamérica*. Centroamérica.
- Espinoza, C. D. (2013). *ACLIMATACIÓN DE 14 CULTIVARES DE REMOLACHA (Beta vulgaris var. conditiva), EN LA ESPOCH, MACAJÍ, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO*. Riobamba-Ecuador.
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del Cultivo*. Roma.
- FAO. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. Roma.
- FAO. (12 de abril de 2017). Escasez de agua: Uno de los grandes retos de nuestro tiempo. Obtenido de <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/880888/>
- FAO, O. d. (2018). *Trabajo de la FAO sobre El Cambio climático*. Habana Cuba.
- Frutos, B. D. (2015). *La construcción social del discurso en torno al agua y su contribución a la creación de opinión pública*. Mexico.
- García, T. M., & De Benito, M. A. (1996). Comparación de dos sistemas de riego: aspersión y agoteo en remolacha azucarera. *Ingeniería del agua*, 44.
- Ibañez, C. I. (2014). *EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES ABONOS ORGÁNICOS EN EL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE DOS VARIETADES DE BETERRAGA (Beta vulgaris)*. La Paz.
- IFPRI. (2009). *Cambio climático*. Washington.
- Jacome, L. S. (2009). *Estudio de los sistemas de riego localizado por Goteo y Exudación, en rendimiento de lechuga bajo invernadero*. Ecuador.
- Jeavons, J., & Cox, C. (2017). *El Huerto Sustentable*. California.
- Kpadonou, E. G., & Akponikpe, I. P. (2013). Design and technical performance of a capillary irrigation system to produce neglected and underutilised vegetables. *NUS*.

- Lagares, B. P., & Puerto, A. J. (2001). Población y Muestra Técnicas de Muestreos. *MaMaEuSch*, 19.
- Morocho, C. J. (2019). *Respuesta del cultivo de beterraga (Beta vulgaris L.) a 5 laminas de riego por goteo en el valle de cajamarca*. Peru.
- Moroto, J. (1989). *Horticultura Herbacea Especial*. BO: Mundo Prensa.
- Nalliha, V., & Sri, R. R. (Enero de 2010). EVALUATION OF A CAPILLARY-IRRIGATION SYSTEM FOR BETTER YIELD AND QUALITY OF HOT PEPPER (CAPSICUM ANNUUM). pág. 11.
- Nuñez, L. A. (2015). *Manual del Cálculo de Eficiencia para Sistemas de Riego*. Lima - Perú: DGIAR.
- Ogasawara, J. (2017). *Estudio de los diferentes sistemas de riego agrícola*. Paraguay.
- Ozbay, Selcuk, & Yildirm, M. (2018). Root Yield and Quality of Sugar Beet Under Drip and Sprinkler Irrigation with Foliar Application of Micronutrients. 114.
- Portalfruticola. (01 de diciembre de 2016). Pasos para contruir un huerto con riego por capilaridad. Obtenido de <https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/12/01/pasos-para-construir-un-huerto-con-riego-por-capilaridad/>
- Quispe, C. G. (2018). Efecto de las hormonas de enraizamiento en esquejes de Alamo(Populus deltoides) bajo riego por capilaridad. *APTHAPI*, 20.
- Ramos, R. M. (2013). *Diseño y construcción de un sistema de riego por aspercion en una parcela demostrativa en el canton cevallos*. Ecuador.
- Ríos, F. J., Torres, M. M., Ruiz, T. J., & Torres, M. M. (2016). Eficiencia y productividad del agua de riego en trigo (Triticum vulgare) de Ensenada y Valle de Mexicali, Baja California, México. *ACTA UNIVERSITARIA*, 29.
- Rodas, R. H. (2000). *Principios de riego por goteo*. Salvador.
- Sahin, U., Orst, S., Kiziloglu, F. M., & Kuslu, Y. (2014). Evaluation of water use and yield responses of drip-irrigated sugar beet with different irrigation techniques. *CHILEANJAR*, 9.
- Sakellariou, M., & Makrantonaki. (2003). WATER SAVING AND YIELD INCREASE OF SUGAR BEET WITH SUBSURFACE DRIP IRRIGATION. *University of Thessaly*, 7.
- Salazar, M. R., & Rojano, A. A. (2014). Eficiencia en el Uso del Agua en la Agricultura Controlada. *Noticia Técnica Universidad Autónoma Chapingo México*, 7.
- Salemi, R. H., Jahadakbar, M. R., & Nikooie, A. (2014). Evaluation of furrow and drip irrigation tape methods in sugar beet fields. *Journal of Sugar Beet*, 99.

- Semananda, K. P., James, D. W., & Baden, R. M. (2018). A Semi-Systematic Review of Capillary Irrigation: The Benefits, Limitations, and Opportunities. *Horticulturae*, 15.
- UNESCO. (2016). *Agua y Empleo*. Paris - Francia.