



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**Agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo
(*Phaseolus vulgaris* L.) en el CADET**

Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Ingeniera Agrónoma

AUTOR: Mabel Judith Romero Anchapanta

TUTOR: MSc. Ortiz Calle Randon Stalin

Quito, 2019

© DERECHOS DE AUTOR

Yo **MABEL JUDITH ROMERO ANCHAPANTA** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: **AGRONOMÍA DEL RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE FRÉJOL ARBUSTIVO (*Phaseolus vulgaris* L.) EN EL CADET**, modalidad **OTROS MECANISMOS DE TITULACIÓN**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedo a favor de la Universidad Central del Ecuador y mi tutor una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Central del Ecuador para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor a terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Firma: _____

Nombres y Apellidos: Mabel Judith Romero Anchapanta

C.C.: 1500903495

Dirección electrónica: maberomero-3@hotmail.com

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, presentado por MABEL JUDITH ROMERO ANCHAPANTA, para optar por el Grado de Ingeniera Agrónoma; cuyo título es: **AGRONOMÍA DEL RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE FRÉJOL ARBUSTIVO (*Phaseolus vulgaris* L.) EN EL CADET**, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

En la ciudad de Quito, a los 03 días del mes de junio de 2019

Randon Stalin Ortiz Calle, MSc.

DOCENTE – TUTOR

C.C. 1102697396

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

AGRONOMÍA DEL RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE FRÉJOL ARBUSTIVO
(*Phaseolus vulgaris* L.) EN EL CADET

INFORME CORREGIDO Y APROBADO PARA GRADO ORAL

Ing. Agr. Randon Ortiz, MSc.

TUTOR DE LA INVESTIGACIÓN

Ing. Agr. Manuel Pumisacho MSc

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Agr. Juan Pazmiño MSc.

PRIMER VOCAL DEL TRIBUNAL

Ing. Agr. Fabián Montesdeoca

SEGUNDO VOCAL DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación lo dedico a mis padres Margoth y Abrahan, que, por su amor, sacrificio y apoyo a lo largo de toda mi carrera, sin importar nuestras diferencias de opiniones y a pesar de las adversidades que se presentaron, siempre me impulsaron a culminar con mis estudios y obtener el título de ingeniera Agrónoma.

A mis hermanos Álvaro y Fernanda que, junto con mis padres, son la familia que siempre estarán conmigo en mis mejores y peores momentos.

A Cristian por ser mi mejor amigo y un gran compañero de vida, por estar siempre a mi lado, apoyándome e incentivándome a ser una gran profesional y que a pesar de los obstáculos siempre me impulsa a dar todo de mí para cumplir mis metas.

A mis amigos Bryan y Katherine que aunque nuestras personalidades sean totalmente diferentes, valoro la amistad que formé con ustedes.

MABEL

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme fuerzas y motivación para cumplir mis metas.

A mis padres por ser uno de mis pilares más fuertes, por su paciencia, esfuerzo y dedicación a lo largo de toda mi vida.

Al Ingeniero Randon Ortiz, por ser un gran mentor que siempre me brindó su ayuda y que a pesar del poco tiempo libre, siempre estuvo ahí transmitiendo su conocimiento y ayudándome en los obstáculos que se presentaron en la realización de la tesis.

A la Ingeniera Maritza Chile la cual fue una mano amiga que siempre estuvo presente en el desarrollo de la investigación. A Don Franklin, Karina, Miguel, Abigail y a todos quienes nos brindaron su ayuda en la realización de la tesis.

MABEL

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN -----	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA -----	2
2.1. Cultivo de fréjol -----	2
2.1.1. Origen e importancia -----	2
2.1.2. Morfología -----	2
2.1.3. Requerimientos nutricionales -----	3
2.1.4. Características importantes del fréjol rojo del valle -----	3
2.1.5. Riego en el cultivo -----	4
2.2. Agronomía del riego -----	5
2.2.1. Bulbo húmedo -----	5
2.2.2. Porcentaje de sombreo -----	6
2.3. Sistema de riego por goteo -----	7
2.4. Uniformidad de emisión de agua y distribución de fertilizantes -----	9
3. MATERIALES Y MÉTODOS -----	11
3.1. Ubicación -----	11
3.1.1. Características climáticas -----	11
3.2. Materiales -----	12
3.2.1. Agronómico -----	12
3.2.2. Uniformidad de emisión de agua y fertilizantes del gotero -----	12
3.2.3. Porcentaje de sombreo -----	12
3.2.4. Bulbo húmedo -----	12
3.2.5. Equipos -----	12
3.3. Metodología -----	12
3.3.1. Factores en estudio -----	12
3.3.2. Tratamientos -----	13
3.3.3. Unidad Experimental -----	13
3.3.4. Diseño experimental -----	14
3.3.5. Análisis Funcional -----	14
3.3.6. Definición de las variables -----	14
3.3.7. Manejo del experimento -----	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	19
4.1. Cultivo de fréjol -----	19
4.1.1. Altura del tallo -----	19
4.1.2. Grosor del tallo -----	22

4.1.3.	Número de vainas por planta -----	25
4.1.4.	Número de granos por vaina -----	26
4.1.5.	Número de granos por planta -----	27
4.1.6.	Longitud de la raíz -----	29
4.2.	Agronomía del riego -----	34
4.2.1.	Porcentaje de sombreo -----	34
4.2.2.	Porcentaje de bulbo húmedo -----	36
4.2.3.	Uniformidad de emisión del agua -----	38
4.2.4.	Uniformidad de distribución de los fertilizantes -----	41
5.	CONCLUSIONES -----	46
6.	RECOMENDACIONES -----	47
7.	RESUMEN -----	48
8.	REFERENCIAS -----	52
9.	ANEXOS -----	56

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1: Características morfológicas y agronómicas -----	4
Cuadro 2: Adaptación, rendimiento, siembra y resistencia a plagas y enfermedades. -----	4
Cuadro 3: Valores recomendados de coeficiente de uniformidad -----	10
Cuadro 4: Cantidad de agua suministrada en el factor de estudio A -----	13
Cuadro 5: Dosis de fertilizante suministrado en el factor de estudio B -----	13
Cuadro 6: Lista de tratamientos para analizar agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).-----	13
Cuadro 7: Características de la unidad experimental. -----	13
Cuadro 8: Características del área experimental. -----	14
Cuadro 9: Esquema del análisis de la varianza con diseño de parcela dividida. -----	14
Cuadro 10: Esquema del análisis de la varianza con diseño de bloques completos al azar. -----	14
Cuadro 11: Tiempo de riego aplicado en tratamiento 1 y 2.-----	17
Cuadro 12: Tiempo de riego aplicado en tratamiento 3 y 4.-----	17
Cuadro 13: Dosis de fertilizantes semanales -----	18
Cuadro 14: Resultados del ANOVA de la variable altura del tallo (cm).-----	19
Cuadro 15: Resultados del ANOVA para la variable grosor del tallo (cm).-----	22
Cuadro 16: Resultados del ANOVA para la variable número de vainas/planta. -----	25
Cuadro 17: Resultados del ANOVA para la variable número de granos/vaina.-----	26
Cuadro 18: Resultados del ANOVA para la variable número de granos/planta. -----	27
Cuadro 19: Resultados del ANOVA para la variable longitud de la raíz (cm)-----	29
Cuadro 20: Prueba de Scheffé al 5 % y promedios realizados al factor métodos de aplicación del agua, niveles de fertilización y su interacción (Tratamientos) de la variable altura del tallo. -----	31
Cuadro 21: Prueba de Scheffé al 5 % y promedios realizados al factor métodos de aplicación del agua, niveles de fertilización y su interacción (Tratamientos) de la variable grosor del tallo. -----	32
Cuadro 22: Prueba de Scheffé al 5 % y promedios realizados al factor métodos de aplicación del agua, niveles de fertilización y su interacción (Tratamientos) de las variables número de vainas por planta, número de granos por vaina, número de granos por planta y longitud de la raíz.-----	33
Cuadro 23: Resultados del ANOVA para la variable porcentaje de sombreado. -----	34
Cuadro 24: Resultados del ANOVA para la variable porcentaje de bulbo húmedo. -----	36
Cuadro 25: Resultados del ANOVA para la variable uniformidad de emisión del agua-----	38
Cuadro 26: Resultados del ANOVA para la variable uniformidad de distribución de los fertilizantes. -----	41
Cuadro 27: Prueba de Scheffé al 5 % y promedios realizados al factor métodos de aplicación del agua, niveles de fertilización y su interacción (Tratamientos) de las variables porcentaje de sombreado y porcentaje de bulbo húmedo.-----	45
Cuadro 28: Prueba de Scheffé al 5 % y promedios realizados al factor métodos de aplicación del agua, niveles de fertilización y su interacción (Tratamientos) de las variables uniformidad de emisión del agua y uniformidad de distribución de fertilizante. -----	45

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO	PÁGINA
Gráfico 1: Altura del tallo por influencia del factor métodos de aplicación del agua. -----	20
Gráfico 2: Altura del tallo por influencia de factor niveles de fertilización. -----	21
Gráfico 3: Altura del tallo de los cuatro tratamientos en la fecha nueve. -----	21
Gráfico 4: Grosor del tallo bajo la influencia del factor métodos de aplicación del agua. -----	23
Gráfico 5: Grosor del tallo bajo la influencia del factor niveles de fertilización. -----	24
Gráfico 6: Grosor del tallo de los cuatro tratamientos en la fecha 5. -----	24
Gráfico 7: Promedio del número de vainas/planta en los cuatro tratamientos. -----	26
Gráfico 8: Valores promedio del número de granos/vaina en los cuatro tratamientos. -----	27
Gráfico 9: Valores promedio del número de granos/planta en los cuatro tratamientos. -----	28
Gráfico 10: Valores promedio del largo de la raíz en los cuatro tratamientos. -----	30
Gráfico 11: Porcentaje de sombreo bajo la influencia del factor métodos de aplicación del agua. -----	35
Gráfico 12: Porcentaje de sombreo bajo la influencia del factor niveles de fertilización. -----	35
Gráfico 13: Porcentaje de sombreo de los cuatro tratamientos. -----	36
Gráfico 14: Porcentaje de bulbo húmedo bajo la influencia del factor métodos de aplicación del agua. -----	37
Gráfico 15: Porcentaje de bulbo húmedo de los cuatro tratamientos -----	37
Gráfico 16: Uniformidad de emisión del agua en el riego por goteo convencional en la fecha 1. -	39
Gráfico 17: Uniformidad de emisión del agua en el riego por goteo convencional en la fecha 2. -	39
Gráfico 18: Uniformidad de emisión del agua en el riego por pulsos en la fecha 1. -----	40
Gráfico 19: Uniformidad de emisión del agua en el riego por pulsos en la fecha 2. -----	40
Gráfico 20: Valores promedio de la uniformidad de emisión del agua. -----	41
Gráfico 21: Uniformidad de distribución de fertilizante en el riego convencional. -----	42
Gráfico 22: Uniformidad de distribución de fertilizante en el riego por pulsos. -----	42
Gráfico 23: Uniformidad de distribución de fertilizantes. -----	43

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
Anexo 1: Disposición del experimento en campo	56
Anexo 2: Análisis de la normalidad para las variables altura del tallo, grosor del tallo, porcentaje de sombreado, porcentaje de bulbo húmedo, número de vainas/planta, número de granos/planta, número de granos/vaina/planta, uniformidad de emisión del agua y uniformidad de distribución de fertilizante.	57
Anexo 3: Zanjas para colocación de la tubería principal y múltiples	58
Anexo 4: Preparación del terreno	58
Anexo 5: Instalación de los laterales de riego	59
Anexo 6: siembra	59
Anexo 7: Medición de la altura y grosor del tallo.....	60
Anexo 8: Bulbo húmedo del suelo	60
Anexo 9: Medición de uniformidad de emisión de agua y distribución de fertilizante	61
Anexo 10: Extracción de la raíz	62
Anexo 11: Cosecha.....	63
Anexo 12: Número de vainas por planta.....	64
Anexo 13: Número de granos por vaina	65
Anexo 14: Longitud de la raíz.....	66
Anexo 15: Inyector tipo venturi	67
Anexo 16: Filtros de grava	67
Anexo 17: Filtro de anillas.....	68
Anexo 18: Limpieza del filtro de anillas.....	68
Anexo 19: Controladores de riego	69
Anexo 20: Tanques para preparar la solución madre del fertilizante y regulación del pH del agua de riego.	69

TÍTULO: AGRONOMÍA DEL RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE FRÉJOL ARBUSTIVO (*Phaseolus vulgaris* L.) EN EL CADET

Autor: Mabel Judith Romero Anchapanta

Tutor: Randon Stalin Ortiz Calle

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el CADET. Se utilizó un diseño experimental de parcela dividida con cuatro tratamientos y tres repeticiones; la parcela grande fue el riego y la parcela pequeña fue la fertilización; además se utilizó un DBCA con dos tratamientos y tres repeticiones; los tratamientos fueron: T₁ (Agua 100% y Fertilizantes 100%); T₂ (Agua 100% y Fertilizante 50%); T₃ (Agua 50% y Fertilizantes 50%) y T₄ (Agua 50% y Fertilizantes 100%); el riego en T₁ y T₂ fue convencional mientras que para T₃ y T₄ por pulsos. Los resultados principales son: i) T₁ obtuvo los mejores promedios de altura, grosor del tallo y longitud de raíz con 61.66 cm, 0.85 cm y 62.47 cm respectivamente; iii) T₃ obtuvo mayor promedio de número de granos/planta y bulbo húmedo con 89.19 granos y 44.58% respectivamente; v) T₄ obtuvo mayor porcentaje de sombreo con 99.26%; vi) La Uniformidad de Emisión del agua (UE) al inicio en riego convencional fue de 93.69 ml, terminando con 91.30 ml y la UE en el riego por pulsos fue de 94.87 ml terminando con 93.53 ml; viii) La Uniformidad de Distribución de fertilizante en riego convencional fue de 95.91% y en riego por pulsos de 92.5%. La conclusión principal fue que agrónomica y fisiológicamente, el tratamiento 3, con la mitad de agua y fertilizantes, tuvo una mejor respuesta por parte de la planta en relación al manejo convencional.

PALABRAS CLAVE: PULSOS / GOTEO CONVENCIONAL / NIVELES DE FERTILIZACIÓN / BULBO HÚMEDO / UNIFORMIDAD DE EMISIÓN / UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN

TITLE: AGRONOMY OF DRIP IRRIGATION IN THE SHRUBBY BEAN CROP (*Phaseolus vulgaris* L.) IN THE CADET

Author: Mabel Judith Romero Anchapanta

Menthor: Randon Stalin Ortiz Calle

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to evaluate the agronomy of drip irrigation in the bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.) in the CADET. An experimental plot design divided with four treatments and three repetitions was used; the large plot was the irrigation and the small plot was the fertilization; In addition, a DBCA with two treatments and three repetitions was used; the treatments were: T₁ (100% Water and 100% Fertilizers); T₂ (100% Water and 50% Fertilizer); T₃ (50% Water and 50% Fertilizers) and T₄ (50% Water and 100% Fertilizers); the irrigation in T₁ and T₂ was conventional while for T₃ and T₄ by pulses. The main results are: i) T₁ obtained the best averages of height, stem thickness and root length with 61.66 cm, 0.85 cm and 62.47 cm respectively; iii) T₃ obtained the highest average number of grains / plant and wet bulb with 89.19 grains and 44.58% respectively; v) T₄ obtained the highest shade percentage with 99.26%; vi) The Uniformity of Water Emission (EU) at the start of the conventional irrigation was 93.69 ml, ending with 91.30 ml and the EU in the irrigation by pulses was 94.87 ml ending with 93.53 ml; viii) The Uniformity of Distribution of fertilizer in conventional irrigation was of 95.91% and in irrigation by pulses of 92.5%. The main conclusion was that agronomically and physiologically, treatment 3, with half water and fertilizers, had a better response from the plant in relation to conventional management.

KEY WORDS: PULSES / CONVENTIONAL DRIP / FERTILIZATION LEVELS / WET BULB / EMISSION UNIFORMITY / DISTRIBUTION UNIFORMITY

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor de trabajo de graduación cuyo título es: **AGRONOMÍA DEL RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE FRÉJOL ARBUSTIVO (*Phaseolus vulgaris* L.) EN EL CADET** presentado por la Srta. ROMERO ANCHAPANTA MABEL JUDITH, previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma, certifico haber revisado y corregido el **ABSTRACT** para el trabajo de grado.

M.Sc. Randon Stalin Ortiz Calle

DOCENTE – TUTOR

C.C. 1102697396

ABREVIATURAS

Atf: Altura del tallo en la fecha.
Bhf: Bulbo húmedo en la fecha.
CADET: Campo Académico Docente Experimental la Tola.
CE: Conductividad Eléctrica (dS m^{-1}).
CV: Coeficiente de Variación.
DBCA: Diseño de Bloques Completos al Azar
ESPAC: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua.
F.V: Fuentes de Variación.
FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
G: Gotero.
GL: Grados de libertad.
Gtf: Grosor del tallo en la fecha.
INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
INIAP: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
L: Lateral.
Lr: Largo de la raíz.
m.s.n.m: Metros sobre el nivel medio del mar.
Ngp: Numero de granos/planta.
Ngv: Numero de granos/vaina.
Nvp: Número de vainas/planta.
PE: Polietileno.
pH: Potencial hidrógeno.
PVC: Polivinilo.
Sf: Sombra en la fecha.
SINAGAP: Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.
TDS: Total de sólidos disueltos (mg l^{-1}).
UD: Uniformidad de Distribución (%).
UE: Uniformidad de Emisión (%).
V: Volumen (ml)

1. INTRODUCCIÓN

El fréjol es una leguminosa importante en América Latina y en varios países en desarrollo (García, 2009) por su alto contenido de proteína y fibra (Ulloa et al., 2011). En Ecuador y en algunos países de la región andina se cosecha en tierno y en seco, siendo el fréjol tierno el más cosechado (SINAGAP, 2012). El consumo por persona del fréjol en Ecuador es de 4 kg año⁻¹, una cifra baja en comparación con otros países como México y Brasil donde consumen más de 13 kg año⁻¹ y en África Central cuyo consumo supera a los 40 kg (FAO, 2005). Según la ESPAC, la producción de fréjol seco en el 2017 fue de 19 383 tn, aumentando un 81.6 % en relación al año 2016, donde se produjo 10 672 tn. En cuanto a la superficie cosechada y la superficie plantada en el año 2017 fueron de 30 130 ha y 34 469 ha respectivamente. El rendimiento de fréjol en el año 2017 fue de 0.64 tn ha⁻¹ en comparación con el año 2016 (ESPAC, 2018).

El Ecuador se encuentra estancado en cuanto a productividad agrícola en relación a otros países de Latinoamérica ya que no se aprovecha adecuadamente los recursos naturales como es el caso del agua y otros insumos utilizados durante el proceso productivo de los cultivos. En la Sierra se aprovecha la pendiente y las fuentes de agua de las zonas altas para realizar un riego por gravedad por ser un método de poca inversión, sin embargo presenta inconvenientes por la pérdida de agua al utilizar precarias infraestructuras ocasionando que este recurso no llegue a toda el área de plantación debido a la topografía irregular de los suelos de la Sierra (MAGAP, 2011).

El riego es de gran importancia en los cultivos, principalmente en épocas de sequía. Ante esto, el riego por goteo es una gran alternativa para mitigar estos efectos adversos sobre el suelo (Olvera et al., 2014) ya que el avance tecnológico que ha tenido el sistema de riego por goteo, ha permitido mejorar su eficiencia al realizarlo mediante pulsos, permitiendo ahorrar hasta un 50 % de agua y de fertilizantes, incrementando la producción en los cultivos, evitando la salinización del suelo y mejorando tanto el desarrollo de raíces como la parte aérea de la planta (Ortiz, 2008).

Es por esta razón que la presente investigación permitirá diseñar sistemas de riego por goteo de manera eficiente que permitan a los agricultores optimizar el recurso agua y la cantidad de fertilizantes aplicados, con el fin de incrementar la producción y mejorar su calidad de vida.

Ante esta problemática se realizó la presente investigación para evaluar la agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.) en el CADET. Específicamente, se propuso medir el efecto de dos niveles de fertilización y dos métodos de aplicación del agua de riego en el cultivo de fréjol en la parte agronómica; determinar el porcentaje de sombreado del cultivo y el bulbo húmedo de cada tratamiento y evaluar la uniformidad de emisión del agua y de los nutrientes en el riego por goteo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cultivo de fréjol

2.1.1. Origen e importancia

En el grupo de leguminosas con granos comestibles, el fréjol es el grano de mayor importancia (Ulloa et al., 2011). Los descubrimientos geológicos encontrados además de las características agronómicas, morfológicas y genéricas revelan que el fréjol común tuvo su origen en Mesoamérica y consecutivamente se domesticó en dos zonas del continente americano (Centroamérica y México) y los Andes (Sudamérica) entre los años 5000 y 2000 A.C (Hernández et al., 2013)

El fréjol es un cultivo que contribuye con el 40 y 70 % de ingresos a los pequeños agricultores con tierras cuya extensión no supera la hectárea, su producto es no perecible y se puede almacenar en lugares libres de humedad. Este grano también es muy importante en la comercialización que se efectúa a nivel de pequeños productores, incentivando a continuar con la producción y por consiguiente a mejorar su calidad de vida (Ochoa, 2013).

El fréjol aporta con un 20 % de proteína, las mismas que son similares a las proporcionadas por el huevo, cuando es consumido en porciones balanceadas con cereales. Al ser una leguminosa tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico realizando una simbiosis con bacterias del grupo de los rizobios, siendo muy importante desde el punto de vista ecológico por que ayudan a reducir el uso de fertilizantes químicos (Gianella & Pinzás, 2016).

2.1.2. Morfología

Raíz:

El sistema radical es mayormente superficial, donde se desarrollan la mayor cantidad de raíces (20 - 40 cm de profundidad y 15 – 30 cm lateralmente) (Jiménez, 2014), las raíces tienden a ser en su mayoría fasciculadas y fibrosas en algunas ocasiones, aunque existen variaciones inclusive en la misma variedad (Debouck & Hidalgo, 1985). Según Vernieri et al. (2001), en los 12 a 13 días la raíz principal tiene una medida aproximada de 10 a 20 cm mientras que las laterales tienen una medida de 0.2 a 0.8 cm.

Tallo:

El tallo es el eje principal de la planta compuesto por nudos (punto de nacimiento de las hojas) y entre nudos, el ángulo formado por la unión del peciolo al tallo se llama axila de la que nacen yemas que se desarrollan en ramas o inflorescencias; el tallo es de diámetro mayor que las ramas y puede crecer de forma postrada, semipostrada o erecto dependiendo de su hábito de crecimiento (Debouck & Hidalgo, 1985).

Hábitos de crecimiento:

Debouck & Hidalgo (1985) mencionan los siguientes hábitos de crecimiento del fréjol.

- **Tipo I:** El tallo y ramas terminan en inflorescencia, de 5 a 10 entrenudos cortos, altura de 30 a 50 cm.
- **Tipo II:** Tallo sin aptitud para trepar, termina en una guía corta, más de 12 nudos, continúa el crecimiento durante la floración a un ritmo más lento.
- **Tipo III:** Tallo postrado o semipostrado, altura de las de 80 cm.
- **Tipo IV:** De 20 a 30 nudos, altura de más de dos metros.

Hojas:

Las hojas presentan diferentes colores y pilosidades dependiendo de la variedad, posición en el tallo y edad de la planta, en la planta se desarrollan dos tipos de hojas: las hojas simples nacen del segundo nudo durante la embriogénesis, son opuestas, unifoliadas, acuminadas, cordiformes,

auriculadas y se caen antes que la planta esté totalmente desarrollada; mientras que las hojas compuestas están conformadas por tres foliolos, un raquis y un peciolo (Debouck & Hidalgo, 1985). Los mismos autores añaden que la forma de los foliolos tiende a ser ovalada o triangular con peciolulos y dos estipelas, una en cada foliolo lateral (ubicada en la base de los foliolos) y dos en el foliolo central (Debouck & Hidalgo, 1985).

Inflorescencia y Flores:

Según Debouck & Hidalgo (1985), la inflorescencia es de tipo racimo y consta de tres partes principales: el eje de la inflorescencia que está compuesta por el pedúnculo y raquis, cuya coloración y pubescencia se puede diferenciar dependiendo de la variedad, brácteas primarias permanentes redondas o trianguladas y botones florales. Además, los mismos autores señalan que el par de yemas laterales de la triada floral por lo general producen una flor, la yema central (cuando las vainas de las dos yemas laterales están formadas) produce un pequeño eje dando lugar a otra triada floral. Son flores papilionáceas. Se distingue dos estados: botón floral y flor completamente abierta. La morfología de la flor facilita la autopolinización ya que las anteras están al mismo nivel del estigma y los dos órganos están cubiertos por la quilla (Debouck & Hidalgo, 1985).

Fruto:

Es una legumbre o vaina cuya forma, tamaño y número de semillas varía de acuerdo a la variedad del cultivo, además las semillas presentan diversas formas y colores dependiendo de la variedad, pudiendo tener una coloración uniforme o con manchas (Valladares, 2010).

2.1.3. Requerimientos nutricionales

Se recomienda aplicar “200 kg de 11 – 52 – 00 de N y P₂O₅ o 4 a 5 toneladas de gallinaza por ha y 1 kg ha⁻¹ de quelatos de zinc a la floración y llenado de vainas” (Peralta, et al., 2012).

Una recomendación general para variedades arbustivas según investigaciones de Flor (1985), el fréjol absorbe altas cantidades de N, K y Ca y bajas cantidades de S, Mg y P; en el siguiente cuadro se presentan los resultados de las investigaciones realizadas en el trópico.

En Ecuador, de acuerdo con Peralta et al. (2010), la fertilización en el cultivo de fréjol arbustivo se realiza de acuerdo al resultado del análisis del suelo, sin embargo, la recomendación general que se da en la siembra es aplicar 200 kg por hectárea de 11-52-00 o 18-46-00 (4 sacos), que equivale a 22 y 104 o 36 y 92 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅; en floración y llenado de vainas, el fréjol tiene una excelente repuesta al uso de Quelatos de Zinc, aplicados en dosis de 2 kg ha⁻¹ en cada estado de desarrollo. En floración y entre el engrose o llenado de vainas se recomienda el uso de Metalosate K (250 cc ha⁻¹).

2.1.4. Características importantes del fréjol rojo del valle

Según Peralta, et al. (2012), la variedad INIAP 481 ROJO DEL VALLE muestra las siguientes características:

2.1.4.1. Origen

La variedad se obtuvo mediante “la cruce entre SEL 1308/Red Hawk/Red Hawk/Je. Ma./Parangachi, realizada en el año 2002 en Michigan State University (EEUU). De esta cruce se generó la línea TP& de fréjol arbustivo color de grano rojo moteado de hábito de crecimiento tipo 2 (con guía pequeña)”.

2.1.4.2. Características sobre la planta y siembra.

El cultivo de fréjol necesita de un correcto manejo en la preparación del terreno, la fertilización, en el suministro de agua, así como el control de malezas, plagas y enfermedades, con la adecuada

administración de macro y micro nutrientes, se logra alcanzar buenos rendimientos en los Valles del Chota, Mira y Urcuquí con 1072 kg ha⁻¹ a 1802 kg ha⁻¹.

Cuadro 1: Características morfológicas y agronómicas

Características			
Morfológicas		Agronómicas	
Hábito de crecimiento:	Indeterminado tipo II	Días para floración*:	45 a 52
Altura de la planta (cm):	45 a 50	Días para madurez fisiológica*:	85 a 95
Color de la flor:	Blanca	Días para cosecha en seco*:	100 a 110
Largo de la vaina (cm):	11 a 13	Número de vainas por planta:	10 a 12
Forma del grano:	Arriñonado	Número de granos por vaina:	4 a 5
Tamaño del grano seco:	Grande	Peso de 100 granos secos (g):	40 a 45
Color de grano seco:	Rojo moteado con crema		
Color del grano tierno:	blanco/rosado		

*Tiempo transcurrido después de la fecha de siembra

Cuadro 2: Adaptación, rendimiento, siembra y resistencia a plagas y enfermedades.

Adaptación	
Valles y estribaciones a una altura de 1400 a 2400 m s.n.m	
Rendimiento en grano seco	
1437 Kg ha ⁻¹ equivalente a 32 qq ha ⁻¹	
Siembra	
Época de siembra	Febrero a marzo y Septiembre a octubre
Peso de semillas por hectárea:	90 kg
Número de semillas por golpe:	3
Distancia entre surcos:	60 cm
Distancia entre sitios:	30 cm
Densidad (plantas ha⁻¹)	55555.56
Resistencia	
Enfermedades	Roya y pudrición de la raíz
Plagas	Empoasca y trips

2.1.5. Riego en el cultivo

Según Guamán, Andrade, & Alava (2004), el fréjol arbustivo necesita de 400 a 500 mm de agua bien distribuidos, los cuales pueden ser aportados por riego o por lluvia en todo el ciclo de cultivo. Por lo general, el tipo de riego utilizado es el riego por surcos, en el cual el agua fluye ligeramente de forma simultánea en todos los surcos y de forma moderada. Este sistema de riego, además de ser dificultoso, ocasiona daños en el suelo como erosión, lavado de nutrientes, evaporación de agua y percolación profunda (Sandoval & Varas, 1989).

La alternativa es implementar un sistema de riego eficiente, que permita ahorrar agua y evitar la erosión del suelo, siendo el riego por goteo un método con grandes ventajas como: la fácil automatización, aplicación de fertilizantes conjuntamente con el agua y pérdida de agua por evaporación y percolación casi nula.

2.2. Agronomía del riego

2.2.1. Bulbo húmedo

Es la porción del suelo humedecido por la emisión de agua de los goteros, en el que el movimiento del agua a través del suelo, vertical y horizontal da la forma y el tamaño al bulbo húmedo. En el riego convencional, el bulbo húmedo de agua es extenso con una percolación profunda y apenas el 30 % es apto para el crecimiento de raíces (parte superior), mientras que el otro 70 % se encuentra saturado, mientras que en el riego por pulsos, la zona de humedecimiento se desarrolla en los primeros 30 centímetros del perfil del suelo, parte superior del bulbo húmedo, evitando la acumulación y concentración de sales debido al manejo adecuado de la fertilización (Ortiz, 2008).

La forma del bulbo húmedo (ancho y profundidad) depende de los siguientes factores:

a) Textura

La porosidad que presenta el suelo es determinante en el movimiento del agua, en los poros grandes el agua fluye con facilidad, sin embargo en poros pequeños el agua se mueve por capilaridad en todas direcciones (FUENTES, 1990), es así que, en suelos arcillosos, el bulbo húmedo crece de forma horizontal y tiene poca profundidad debido a que la velocidad de infiltración es menor que en suelos arenosos, cuyo diámetro humedecido es menor con una mayor profundidad (Fernandez & Morillo, 2010).

b) Estratificación del suelo

Según Pizarro (1996), el suelo presenta diferentes estratos, cuyas diferencias en porosidad afectan al movimiento y retención del agua en el suelo, como se menciona a continuación:

- *Estrato arenoso*: el agua que circulaba por unos poros pequeños entra a través de los poros más grandes, los cuales no retienen el agua con tanta fuerza, es decir, que el agua antes de llegar a los poros grandes tuvo que acumularse sobre el estrato, hasta que el potencial mátrico haya disminuido y la arena pueda filtrar el agua, de manera que el bulbo se estrecha debido a que el agua se mueve con mayor facilidad gracias a la permeabilidad de la arena.
- *Estrato arcilloso*: al existir menos permeabilidad, el agua se acumula en la parte superior haciendo que el bulbo se ensanche.
- *Obstáculos impermeables*: el bulbo se extiende de forma lateral hasta que llega al borde del obstáculo que puede ser una piedra o un material impermeable.

c) Caudal del emisor

Es la cantidad de fluido que circula a través del emisor por unidad de tiempo medido en l h^{-1} , cuyos factores son: el coeficiente de descarga y la presión hidráulica de entrada del agua (m.c.a) con el exponente de descarga del emisor que expresa la sensibilidad de los goteros a las variaciones de presión (López et al., 1997). Cuando el caudal del emisor es mayor, el agua tiende a acumularse en la superficie del suelo formando charcos, lo que ocasiona que el crecimiento del bulbo húmedo sea en forma horizontal, pero cuando el caudal es menor el bulbo crece en forma vertical (FUENTES, 1990). En el mercado se pueden encontrar goteros con caudales que van desde los $0.6 - 6 \text{ l h}^{-1}$ (Rodríguez, et al., 2017). Sin embargo se recomienda que el caudal no sea mayor a 1 l h^{-1} , ya que se favorece el movimiento del agua y los nutrientes permitiendo una buena relación oxígeno – agua en el suelo lo que favorece la respiración de las raíces y microorganismos, reduciendo la presencia de enfermedades fúngicas (Ortiz, 2008).

d) Tiempo de riego

Es el periodo de tiempo en el cual se aplica un volumen de agua determinado para satisfacer las necesidades hídricas de la planta. Los tiempos de riego cortos no producen saturación en el suelo, favoreciendo el crecimiento horizontal del bulbo húmedo (Ortiz, 2008), pero cuando el tiempo de

riego es mayor, el bulbo húmedo crece en profundidad pero tiene un crecimiento mínimo en forma horizontal (FUENTES, 1990).

De acuerdo a Sánchez (2005), en el bulbo húmedo se puede encontrar 3 diferentes zonas con diferente contenido de agua y aire:

- *Zona saturada*: Se encuentra debajo y alrededor del gotero en la cual se presenta un exceso de agua y falta de aire.
- *Zona de equilibrio*: En esta zona se presenta una relación excelente entre agua y aire.
- *Zona seca*: En la cual existe carencia de humedad y exceso de aire.

2.2.2. Porcentaje de sombreo

Se refiere a la fracción de área sombreada por un cultivo respecto al marco de plantación, el cual se define como área de suelo bajo la sombra de la planta, al “medio día en el solsticio de verano, respecto a la superficie total” (Porrás, Cabrera de la Colina, & Soriano, 1995). El porcentaje de área sombreada se relaciona a la cantidad de radiación solar que es obstaculizada por la planta, el área sombreada se da por la orientación del ángulo solar, forma de la planta en relación a la altura así como su crecimiento horizontal (Allen, Pereira, Raes & Smith, 2006).

El área sombreada por el cultivo es muy importante, de esto depende la tasa de evapotranspiración y el régimen de humedad (Rincón, Abadía, & Centeno, 1987), en plantaciones jóvenes el porcentaje de suelo sombreado es menor en relación a plantas que se encuentran en su última etapa de crecimiento, mientras mayor sea el porcentaje de sombreo, la transpiración diaria del cultivo se acercará a la evapotranspiración real (Allen, Pereira, Raes & Smith, 2006).

Para el cálculo del porcentaje de sombreo se necesita un coeficiente de localización, este valor depende del área sombreada el cual debe ser de 1 y para ello el coeficiente de localización debe ser > 1 , sin embargo, en la práctica no se consigue este valor, limitándose a resultados de área sombreada entre de 0,75 – 0,80. En caso de no existir cultivo, los valores del coeficiente de localización en algunas fórmulas dan resultados nulos (Pizarro, 1996).

a) Transpiración diaria

La transpiración es la evaporación del agua que se encuentra en los tejidos de la planta hacia la atmósfera mayoritariamente a través de los estomas (Allen et al., 2006). La transpiración y la cubierta vegetal, son factores que influyen en la determinación de las necesidades hídricas del cultivo (Centeno & Rincón, 2010), la transpiración depende de la energía que se suministra, el viento, el gradiente de presión de vapor, el agua contenida en el suelo y la capacidad de conducción del agua a las raíces. La transpiración aumenta en un suelo seco, ya que, el aire que se encuentra en ese lugar es más caliente que un suelo húmedo y por la microadvección da más energía al follaje (Pizarro, 1996).

El agua que se pierde cuando el cultivo es pequeño se da por la evaporación del suelo pero cuando el cultivo ha crecido y cubre por completo el suelo la pérdida de agua se da por la transpiración. La evaporación del suelo está determinada por la radiación solar que llega al suelo, la cual va disminuyendo a medida que el cultivo crece ya que la sombra proyectada cubre mayor proporción del suelo (Allen et al., 1998).

En el riego por surcos, la humedad de suelo disminuye en los días próximos al riego dificultando la transpiración, mientras que el riego por goteo favorece la transpiración, disminuye la evaporación; el balance de estos factores disminuye la evapotranspiración misma que depende del volumen de la copa, la superficie de las hojas y la masa del follaje. El mismo autor señala que, al ser difícil la cuantificación de estas características se las representa mediante el porcentaje de sombreo, donde, a menor porcentaje de sombreo, mayor es el descenso de la evapotranspiración (Pizarro, 1996).

2.3. Sistema de riego por goteo

El riego por goteo es un método de riego localizado, donde, en periodos frecuentes se suministra pequeñas cantidades de agua en forma de gota, mediante emisores, los cuales se encuentran ensamblados a mangueras delgadas llamadas laterales (Romero, 2005). El riego por goteo conduce agua por medio de presión a través de tuberías, se denomina riego localizado ya que los goteros emiten agua en sitios específicos de manera eficiente para el desarrollo de la planta, también recibe el nombre de riego de alta frecuencia ya que se puede realizar el riego diario o en ciertos días dos o más veces al día, la frecuencia del riego depende del tipo de suelo y la necesidad del cultivo (Liotta, Carrión, Ciancaglini, & Olguín, 2015).

Este sistema de riego al administrar riego regular se disminuye el riesgo de causar estrés hídrico a la planta, ya que mantiene la humedad del suelo durante todo el ciclo de cultivo, optimizando las condiciones para el crecimiento de las plantas (Liotta et al., 2015).

2.3.1. Componentes

Filtrado

El filtrado es un proceso físico en el cual se extraen partículas sólidas del agua de riego mediante un filtro. El agua de calidad es importante en el sistema de riego, de lo contrario los goteros se obstruyen por los sólidos presentes, al obstruirse los emisores se reduce el caudal de descarga causando una baja uniformidad en la distribución de agua, ocasionando problemas a la planta por falta de agua y fertilizantes (Martínez, 2001).

Según Martínez (2001), el sistema de filtrado se debe diseñar para todas las condiciones ya que la calidad de agua puede variar según la época del año y de una fuente a otra. Para seleccionar el tipo y el tamaño del filtro se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Concentración, tamaño y tipo de las partículas suspendidas en el agua.
- Calidad de agua idónea para una buena funcionalidad de los goteros
- Pérdida de carga del filtro y caudal del sistema.

En el mercado se pueden encontrar varios tipos de filtros de acuerdo a la necesidad del sistema.

- **Filtro de anillas:** Filtra el agua cuando pasa por las ranuras formadas entre dos anillas las cuales son discos de plástico con ranuras.
- **Filtro de malla:** Es usada en aguas con contaminantes inorgánicos como arenas de diferentes tamaños y mínima cantidad de residuos orgánicos.
- **Filtro de grava:** Se utilizan cuando existe mayor concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos ya que atrapan de manera eficiente los contaminantes sin aumentar la pérdida de carga significativamente, consisten en dos o más tanques conectados a una entrada y a una salida de agua, el agua entra por la parte superior del tanque pasando por la grava y colectando el agua limpia en el fondo.

Fertirrigación

El fertirriego es el suministro diario de fertilizantes y agua de acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo, por lo que se debe administrar solo la cantidad de fertilizantes y agua que la planta necesita día a día para no alterar su metabolismo y así incrementar la productividad, para incrementar la productividad es de suma importancia conocer los requerimientos nutritivos de la planta en cada estado fenológico, la calidad del agua de riego, la necesidad hídrica del cultivo, eficiencia del riego y solubilidad del fertilizante, por último la recomendaciones para una eficiente fertirrigación se basan en el tipo de suelo, etapa fenológica, variedad, clima, entre otros, teniendo en cuenta la movilidad de nutriente en el suelo así como acumulación de sales, el pH y relación NO_3/NH_4 (Calvache, 2016).

Varios equipos permiten inyectar los fertilizantes disueltos en el agua de riego, para la preparación de la solución madre se utilizan tanques de 20 a 200 litros, para luego ser inyectada al sistema de riego mediante el uso de un Venturi (Ferreyra et al., 2005).

Según Martínez (1998), el inyector tipo Venturi usa la presión del agua en las tuberías para inyectar el fertilizante, el cual consta de dos secciones unidas por una parte angosta, el agua pasa por la entrada y aumenta la velocidad creando una presión negativa en la segunda sección la cual hace que se inyecte la solución madre.

Para preparar una solución madre eficiente se deben conocer las siguientes propiedades de los fertilizantes Rodríguez & Guzman (2004):

- **La composición química:** La composición química del fertilizante depende del proceso de fabricación y muestra la composición química predominante, lo que le interesa a los fabricantes es la riqueza comercial del producto y no su composición.
- **Riqueza y pureza:** en el fertilizante comercial se muestra la concentración del elemento en porcentaje, los fertilizantes usados en fertirriego deben ser de alta pureza, pero no son sales puras por lo que se debe conocer su pureza para realizar los cálculos de fertirrigación, la riqueza del fertilizante, la riqueza del producto expresada en peso molal es importante porque muestra la cantidad de producto que se necesita para obtener una mol de sal pura, la relación pureza riqueza es de suma importancia facilitando el cálculo de la solución madre sin errores de concentración.
- **Solubilidad:** La solubilidad permite calcular la cantidad de fertilizante que se va a usar en un volumen de agua, se deben tener en cuenta la temperatura y la pureza del agua, a mayor temperatura y pureza, mayor solubilidad del fertilizante.
- **Conductividad eléctrica:** se utiliza para conocer la salinidad que causa y así poder elegir el fertilizante adecuado.
- **pH:** Cada fertilizante tiene su respectivo pH por lo que, de acuerdo con las características del agua, suelo y los requerimientos de la planta reaccionará el fertilizante que se use, la forma en que se use el pH en la preparación de la solución madre y en la administración al suelo evitará la presencia de precipitados que taponen los emisores.
- **Temperatura:** El fertilizante al ser puesto en agua presenta una reacción térmica que influye en la solubilidad de los fertilizantes que se van a mezclar.
- **Compatibilidad:** Los iones que presentan los fertilizantes, pueden mezclarse y producir precipitados reduciendo su eficiencia y taponar los emisores, la utilización de fertilizantes compatibles es de suma importancia, las incompatibilidades más importantes se presentan con $\text{Ca}^{++}/\text{HPO}_4^{--}$ y $\text{Ca}^{++}/\text{SO}_4^{--}$

El pH en el suelo influye en el tipo de fertilizante que se use, así lo describe Kafkafi & Tarchitzky (2012):

- Suelo alcalino: Estos suelos tienen un pH >7 presentan exceso de iones de Ca, baja fijación de P y gran velocidad de nitrificación, por lo que los fertilizantes nitrogenados son ideales para aplicar en la fertilización ya que el amonio es absorbido por las arcillas evitando la toxicidad en las raíces.
- Suelo ácido: son suelos que presentan iones activos de Al y baja concentración de Ca, alta fijación de P y baja velocidad de nitrificación, ya que el uso de fertilizantes nitrogenados aumenta el pH de la rizósfera, se disminuye la toxicidad por Al, permitiendo así el crecimiento de las raíces.

Automatización

La automatización facilita el manejo del sistema de riego reduciendo la mano de obra, se incrementa la producción y se facilita las labores en el campo. Según Fuentes (1991), el control del riego se puede realizar en función de:

- **Tiempo:** La automatización de acuerdo al tiempo permite programar la apertura y cierre de las válvulas en una hora determinada, sin embargo un inconveniente que se presenta, es que el volumen de riego se puede alterar por fallas en la presión, roturas en la tubería, filtros sucios, entre otros.
- **Volumen:** La automatización de acuerdo al tiempo permite controlar la cantidad de agua que se aplica a la planta, cuando ya ha sido aplicado el volumen deseado, las válvulas se cierran. La ventaja de esta automatización es que siempre se va a administrar el volumen establecido.
- **Otros factores:** Para iniciar el riego se pueden utilizar la evapotranspiración, que se mide con un tanque evaporímetro o la humedad en el suelo que se mide mediante un tensiómetro, pero el riego se detiene por tiempos o por volúmenes de agua aplicados.

2.3.2. Parcela de riego

Dentro de una parcela de riego se encuentran los siguientes componentes:

- Múltiple o distribuidora:** Son las tuberías de penúltimo orden donde se conectan los laterales de riego (tuberías de último orden), su material es de PVC o PE, la tubería se debe colocar a una profundidad adecuada para que no sufra daños, siguiendo la pendiente del terreno y si se requiere disponer de reguladores de presión (Mendoza, 2013).
- Lateral de riego:** Llamados también porta emisores, se ubican a lo largo de las hileras colocados dentro del cultivo, fabricado de polietileno de baja densidad, en general son de 16 – 20 mm, pero dependen del caudal y el largo de la hilera (Liotta et al., 2015).
- Goteros:** Según (Rodríguez et al., 2017) el agua fluye por secciones por lo general en forma de laberinto reduciendo la presión de la tubería, la velocidad del agua al salir por el orificio es pequeña, los goteros se clasifican en gotero compensantes y no compensantes.

2.4. Uniformidad de emisión de agua y distribución de fertilizantes

La eficiencia del riego se diferencia de la uniformidad de emisión, puesto que la uniformidad de emisión se refiere a la combinación eficiente entre la cantidad de agua suministrada al cultivo y el cumplimiento de sus necesidades hídricas, para lo cual se debe realizar la siguiente pregunta ¿Cuánto regar y con qué frecuencia?, esto con frecuencia, se lo conoce como programación del riego y para que exista una buena eficiencia debe haber una buena uniformidad de emisión (Rain Bird, 2010).

La determinación de la uniformidad de distribución del agua es de gran importancia porque permite hacer un diagnóstico sobre la eficiencia del sistema de riego analizando la distribución de fertilizantes y de agua para establecer medidas que permitan optimizar el uso de fertilizantes, agua, entre otros (Antúnez, Mora, & Felmer, 2010). La eficiente uniformidad permite obtener una producción rentable, incrementando la productividad y disminuyendo los gastos de producción, siendo cada elemento debidamente suministrado y usado (Ortiz, 2008).

2.4.1. Rangos de uniformidad

Según Pizarro (1996), se debe medir la uniformidad cuando la instalación esta nueva, dos veces al año y con los datos obtenidos conocer cuánto ha disminuido la eficiencia y así determinar la causa de la disminución, que puede ser por el tipo de instalación o por problemas como obstrucciones en los emisores, anomalías en los reguladores, entre otros.

Factores que influyen en la uniformidad de acuerdo a Pizarro (1996):

- Constructivos:** los procesos y materiales utilizados para fabricar los emisores, hacen que tengan pequeñas diferencias entre sí, ocasionando que los caudales emitidos, también varíen incluso utilizando la misma presión.
- Hidráulicos:** los emisores de una misma instalación están expuestos a diferentes presiones por los desniveles que tiene el suelo, así como por las pérdidas de carga.

- c) Envejecimiento y obstrucciones.
- d) Diferencias de temperatura.
- e) Presión de funcionamiento del emisor.

Cuadro 3: Valores recomendados de coeficiente de uniformidad

Emisores	Pendiente	Coeficiente de uniformidad	
		Clima húmedo	Clima árido
En cultivos perennes con emisores de más de 4 m de separación.	- Uniforme (< 2 %)	0.80 – 0.85	0.90 – 0.95
	- Uniforme (> 20 %) u ondulada	0.75 – 0.80	0.85 – 0.90
En cultivos perennes o semi-perennes con emisores de 2.5 m de separación.	- Uniforme (< 2 %)	0.75 – 0.80	0.85 – 0.90
	- Uniforme (> 20 %) u ondulada	0.70 – 0.80	0.80 – 0.90
En cultivos anuales con mangueras o cintas de exudación	- Uniforme (< 2 %)	0.70 – 0.80	0.80 – 0.90
	- Uniforme (> 20 %) u ondulada	0.65 – 0.75	0.70 – 0.85

Uniformidad de Emisión del Agua

Es una medida que permite conocer si la cantidad de agua aplicada al suelo es uniforme en todo el lateral de riego, la uniformidad de emisión se expresa en porcentaje de 0 % a 100 %, aunque resulta difícil alcanzar el 100 % en la práctica, la uniformidad de emisión de menos de 70 % se considera pobre, de 70 % a 90 % buena y > 90 % excelente (Rain Bird, 2010), la uniformidad de emisión se ve afectada por factores como el cambio de presión y la sensibilidad de los emisores a estos cambios (Mizyed & Kruse, 2008). La uniformidad de emisión del agua permite saber si todo el campo está siendo regado uniformemente y si alguna parte tiene déficit de riego, para regarla sin afectar las demás zonas, además, conocer si existen otras que tendrán un exceso de agua la cual no será aprovechado por el cultivo, lo cual provoca una disminución de la eficiencia del sistema de riego (Lozano, Ruiz, & Gavilan, 2014). La uniformidad afecta el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo, así como en el caudal que deberán tener los emisores (Pizarro, 1996). En goteros no compensados el tiempo mínimo que se establece para cada pulso es cuando la uniformidad de emisión alcanza un mínimo de 90 % (Ortiz, 2008).

Uniformidad de Distribución de Fertilizantes

Cuando la fertilización se realiza mediante el sistema de riego, a la pérdida de agua habrá que sumarle la pérdida de fertilizantes, lo que involucra un incremento innecesario de la inversión en el cultivo y el impacto medioambiental de la actividad (Lozano et al., 2014). La correcta uniformidad de distribución se da por el tipo de inyector, calibración de pH y CE, regulación del caudal de inyección, longitud del lateral, así como la velocidad del llenado, tipo de gotero, entre otros. Para obtener una buena homogenización entre los fertilizantes es indispensable la utilización de un tanque de mezclado. En goteros que no son auto compensados, el agua se drena luego del riego lo que causa una pequeña disminución en la distribución de CE y pH, por otro lado, en goteros auto compensados el agua no se drena, pero las sales se acumulan en la parte baja del múltiple o el lateral de riego y a causa de la evaporación la sales se concentran y provoca un incremento de la CE en relación a lo establecido. El porcentaje de uniformidad de nitratos y CE debe alcanzar mínimo el 95%. Para evitar el taponamiento de los goteros por la acumulación de sales o partículas que se puedan encontrar en el agua se recomienda hacer un lavado de los laterales en forma mensual para así tener una buena uniformidad de distribución (Ortiz, 2008).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

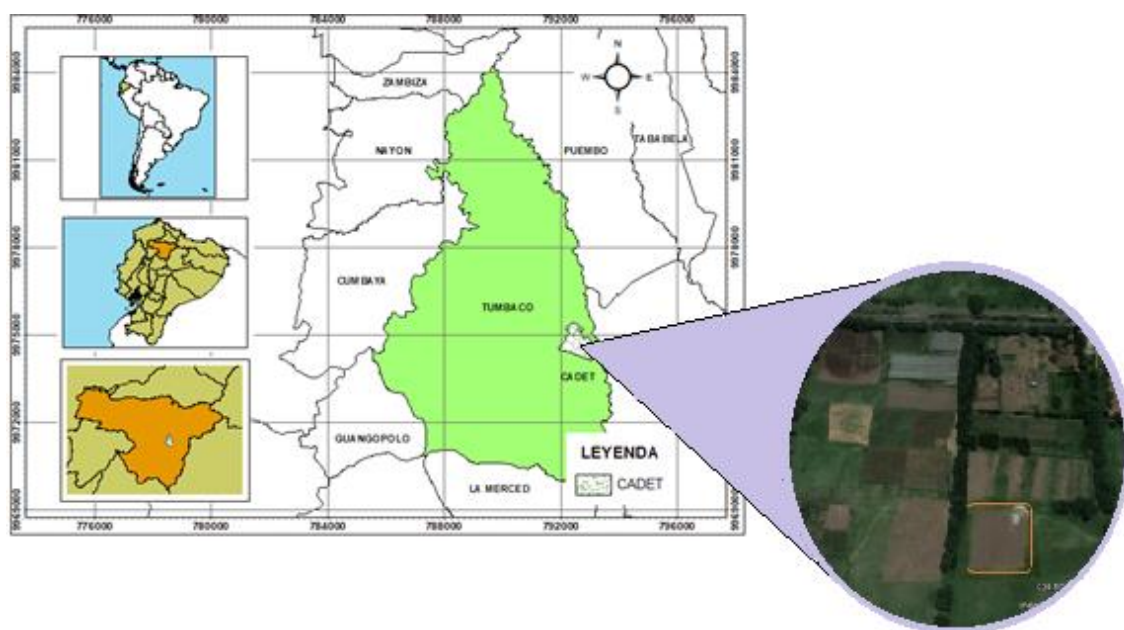


Figura 1: Vista satelital de la parcela experimental

3.1. Ubicación

La presente investigación se realizó en el Campo Académico Docente Experimental la Tola (CADET) de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador.

Lugar:	CADET
Sector:	La Morita
Parroquia:	Tumbaco
Cantón:	Quito
Provincia:	Pichincha
Coordenadas Geográficas:	Latitud: 00°13'46" S Longitud: 78°22'00" W
Elevación:	2480 m.s.n.m

3.1.1. Características climáticas

Precipitación promedio anual (mm):	693.8
Temperatura promedio anual (°C):	15.8
Humedad relativa promedio anual (%):	72

Fuente: INAMHI, 2017

3.2. Materiales

3.2.1. Agronómico

Para la siembra se usó:

- Semilla de fréjol arbustivo variedad INIAP 481 - Rojo del Valle

Para la fertilización:

- Sulfato de magnesio
- Nitrato de potasio
- Fosfato monoamónico
- Nitrato de calcio
- Nitrato de amonio
- Fertiplant (Mg, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Co, Mo, k + vitamina B1, B2, B9, B12, C + Fitohormonas)

Regulación del pH del agua de riego:

- Ácido fosfórico.

3.2.2. Uniformidad de emisión de agua y fertilizantes del gotero

- Tarrinas de plástico de 100 ml
- Jeringa de 50 ml
- Lápiz
- Libreta de campo.

3.2.3. Porcentaje de sombreo

- Lámina cuadriculada de 50x50 cm
- Lápiz
- Libreta de campo.

3.2.4. Bulbo húmedo

- Cinta métrica
- Lápiz
- Libreta de campo.

3.2.5. Equipos

- Medidor (HANNA HI 9811-5) de pH, CE y TDS, con rangos de lectura entre 0 - 14 para pH, 0 - 6000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ para CE y 0 - 3000 mg L^{-1} (ppm) para TDS.

3.3. Metodología

3.3.1. Factores en estudio

Los factores en estudio de la presente investigación fueron: dos métodos de aplicación del agua y dos niveles de fertilización, quedando:

Factor A: Métodos de aplicación del agua: **R100:** Riego por goteo convencional (100 % de agua).

R50: Riego por pulsos (50 % de agua).

Factor B: Niveles de fertilización: **F100:** Aplicación convencional de fertilizantes (100 % de Fertilizante)

F50: Aplicación del 50 % de la dosis de F100 (50 % de Fertilizante)

Cuadro 4: Cantidad de agua suministrada en el factor de estudio A

No.	Código	Cantidad de agua (m ³ ha ⁻¹)
1	R100	3381
2	R50	1650

Cuadro 5: Dosis de fertilizante suministrado en el factor de estudio B

No.	Código	Fertilizante	Dosis (kg ha ⁻¹)
1	F100	Nitrógeno	70.31
		Fosforo	34.69
		Potasio	60.31
2	F50	Nitrógeno	35.16
		Fosforo	17.34
		Potasio	30.16

3.3.2. Tratamientos

La combinación de los dos métodos de aplicación del agua y los dos niveles de fertilización dan como resultado 4 tratamientos (Cuadro 6).

Cuadro 6: Lista de tratamientos para analizar agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.).

Tratamiento	Código	Interpretación
T ₁	R100F100	100 % agua + 100 % fertilizante
T ₂	R100F50	100 % agua + 50 % fertilizante
T ₃	R50F50	50 % agua + 50 % fertilizante
T ₄	R50F100	50 % agua + 100 % fertilizante

3.3.3. Unidad Experimental

En los Cuadros 7 y 8 se explican las características del área experimental y unidad experimental. La disposición del experimento en campo se muestra en el Anexo 1.

Para el cálculo de parcela neta se eliminó 1.5 m del ancho y 1 m de largo en cada lado de la parcela, constituyendo así el efecto borde y dando un área de parcela neta de 40 m².

Cuadro 7: Características de la unidad experimental.

Característica	Descripción
Área de la parcela	10 m x 8 m = 80 m ²
Área de la parcela neta	8 m x 5 m = 40 m ²
Distancia entre plantas	0.25 m
Distancia entre hileras	0.40 m
Distancia entre laterales de riego	0.80 m
Longitud de la hilera/parcela	10 m
Longitud de la hilera/parcela neta	8 m
Número de hileras/parcela	20
Número de hileras/parcela neta	10

Cuadro 8: Características del área experimental.

Característica	Descripción
Número de Tratamientos	4
Repeticiones	3
Área Total del ensayo	12 parcelas x 80 m ² = 960 m ²
Área Total Neta del ensayo	12 parcelas x 40 m ² = 480 m ²

3.3.4. Diseño experimental

Se utilizó un diseño de parcela dividida con cuatro tratamientos y tres repeticiones, en las variables altura del tallo, grosor del tallo, porcentaje de sombreado, número de vainas/planta, número de granos/vaina, número de granos/planta, longitud de la raíz, porcentaje de bulbo húmedo. Para las variables uniformidad de emisión del agua y uniformidad de distribución de fertilizante se usó un diseño de bloques completos al azar, con dos tratamientos y tres repeticiones. El análisis estadístico se realizó usando los programas Microsoft Excel 2018 y STATA 10 (STATA, 2018).

Cuadro 9: Esquema del análisis de la varianza con diseño de parcela dividida.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad
Total	11
Repeticiones	2
Agua	1
Error A	3
Fertilizante	1
Agua x Fertilizante	1
Error B	3
Promedio = ---- unidades	
CV A = ---- %	
CV B = ---- %	

Cuadro 10: Esquema del análisis de la varianza con diseño de bloques completos al azar.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad
Total	5
Agua	1
Repetición	2
Error	2
PROMEDIO= --- unidades	
CV = --- %	

3.3.5. Análisis Funcional

Con las variables analizadas se realizó pruebas de significancia a través de la prueba Scheffé al 5 % a los resultados significativos.

3.3.6. Definición de las variables

3.3.6.1. Altura y grosor del tallo

La toma de datos se realizó cada siete días para el registro de la altura de la planta se realizó con la ayuda de una cinta métrica desde la base del tallo hasta la inserción de las últimas hojas más tiernas

de la pequeña guía que se desarrolló y el grosor del tallo con un pie de rey digital a unos tres centímetros del suelo. Por cada repetición de forma diagonal se escogieron al azar en 12 plantas distribuidas en tres grupos. La altura se registró hasta que el área foliar cubrió todo el marco de plantación.

3.3.6.2. Porcentaje de sombreo

La toma de datos se realizó al primer mes después de la siembra. Se midió el diámetro de la sombra proyectada por la planta al medio día con una lámina con cuadrículas de 1 cm, la toma de datos fue cada siete días con una repetición por cada tratamiento.

3.3.6.3. Porcentaje de bulbo húmedo

La toma de datos se realizó al primer mes de iniciada la fase en campo. Cada 7 días a las 12 del día se midió el ancho del bulbo húmedo con una cinta métrica, se tomó un lateral por cada tratamiento y de este se tomaron tres medidas, una al principio del lateral otra en la mitad y otra al final del lateral.

Para calcular el porcentaje de humedecimiento se utilizó la siguiente ecuación:

$$Pw = \frac{W}{Sl} \times 100$$

Dónde:

Fuente: Ortiz (2008)

Pw: Porcentaje de humedecimiento (>33%).

Se: Separación entre emisores (m).

W: Diámetro del bulbo de humedecimiento (m).

Sp: Separación entre plantas.

Sl: Separación entre línea de plantas o laterales de riego.

3.3.6.4. Rendimiento: Número de vainas/planta, número de granos/vaina/planta y número de granos/tratamiento

El registro de los datos se realizó cuando la planta ya estaba seca y lista para la cosecha. Se realizó de forma manual, primero contando el número de vainas por planta, se contó el número de granos de cada vaina y por último se sumó el número de granos de las vainas de toda la planta.

3.3.6.5. Longitud de la raíz

Se realizó al final del experimento y se tomó una planta por repetición. Se realizó cuadrantes de 1 m x 1 m siendo el centro la planta testigo y se remojó la tierra para facilitar la extracción de las raíces. Cuando la tierra ya estuvo remojada, con la ayuda de un chorro a presión se lavó la raíz hasta que salió por completo.

3.3.6.6. Uniformidad de emisión del agua

Se tomaron los datos solo en el tratamiento 1 (riego por goteo convencional + 100% de fertilizante) y en el tratamiento 4 (riego por pulsos + 100% fertilizante). La primera medición se realizó cuando el sistema de riego ya se encontraba calibrado y la segunda a los cuatro meses y 16 días. No se realizó una tercera medición ya que el follaje de las plantas impedía el ingreso al área cultivada. Las mediciones fueron mensuales en tarrinas de 100 ml por 2 minutos con tres repeticiones por tratamiento. De los ocho laterales que tenía cada repetición se tomaron 4, de cada lateral se colocaron las tarrinas en cuatro lugares del lateral separadas entre sí 2 metros. Para el cálculo de UE se utilizó la siguiente formula:

$$UE = \frac{V25 \%}{V \text{ promedio}} \times 100 \%$$

Fuente: Merrian y Keller (1978)

Donde:

UE: Uniformidad de emisión del agua.

V25 %: 25 % del número de muestras (cuatro últimas muestras).

V promedio: Promedio del volumen de los goteros.

3.3.6.7. Uniformidad de distribución de fertilizantes

La toma de datos fue en conjunto con la medición de uniformidad del agua, se utilizó la misma metodología. Se midió la CE del agua (ds m^{-1}) con un medidor de Electro Conductividad. Se determinó el promedio de la conductividad eléctrica de las muestras y una vez ordenado de forma descendente, se toma el 25% del número de muestras (cuatro últimas muestras) y se calcula un promedio, aplicando la siguiente formula:

$$UD = \frac{V25\%}{V \text{ promedio}} \times 100\%$$

Fuente: Merrian y Keller (1978)

Donde:

UE: Uniformidad de emisión del agua.

V25 %: 25 % del número de muestras (cuatro últimas muestras).

V promedio: Promedio de la CE de todas las muestras.

3.3.7. Manejo del experimento

3.3.7.1. Preparación del terreno

Mediante la metodología de Rodríguez & Daza (2018), se realizó la preparación de terreno con una rastra acoplada a un tractor para romper y voltear el suelo a una profundidad entre los 30 a 40 cm para lograr la distribución de los agregados, se dejó el suelo en reposo para permitir la aireación, al cabo de 8 días se pasó la rastra para eliminar pedazos de tierra grandes dejando tierra suelta, se realiza esta operación para asegurar que al momento de la siembra la semilla tenga buen contacto con el suelo, garantizando así una buena germinación y emergencia de la plántula.

3.3.7.2. Siembra

Se realizó la siembra de forma manual a una semilla por golpe con una profundidad de 2 a 3 cm, la distancia de siembra fue de 25 cm entre plantas y 40 cm entre hileras con una densidad por hectárea de 200000 plantas.

3.3.7.3. Manejo del riego

- Riego por goteo convencional

Para los tratamientos uno y dos el tiempo de riego diario va en aumento conforme la planta va creciendo y requiere de mayor suministro de agua (Cuadro 11). El riego fue automatizado con un controlador de riego cuyos tiempos de riego se calcularon de acuerdo a las necesidades hídricas diarias del cultivo (mm día^{-1}) y la pluviometría del sistema de riego por goteo.

Cuadro 11: Tiempo de riego aplicado en tratamiento 1 y 2.

Riego por goteo convencional												
Mes	Mayo				Junio				Julio			
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Tiempo de riego (minutos)	10	10	10	10	18	18	18	18	24	24	24	24

- **Riego por pulsos**

Para los tratamientos tres y cuatro el tiempo de riego diario se muestra en el Cuadro 13, el cual fue el 50 % del tiempo del riego por goteo convencional dividido en cuatro riegos diarios.

Cuadro 12: Tiempo de riego aplicado en tratamiento 3 y 4.

Riego por pulsos												
Mes	Mayo				Junio				Julio			
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Tiempo de riego (minutos)	5	5	5	5	9	9	9	9	12	12	12	12

3.3.7.4. Fertilización

La fertilización se realizó siguiendo la metodología de Ortiz (2008), teniendo en cuenta factores como el clima, tipo de suelo, manejo, calidad de agua y el cultivo. Para el cálculo de la dosis de fertilizante se basó en el análisis de suelo inicial y en recomendaciones de fertilización para el cultivo de fréjol. El suministro del fertilizante se realizó dos veces a la semana (lunes y jueves) mediante un inyector tipo venturi y la preparación de la solución madre se realizó en tanques de 250 litros.

Cuadro 13: Dosis de fertilizantes semanales

Semana	Fosfato monoamónico (kg)	Nitrato de potasio (kg)	Nitrato de amonio (kg)	Nitrato de calcio (kg)	Sulfato de magnesio (kg)	Micronutrientes (kg)
1	1.4	1	0.8			0.0833
2	1.4	1	0.8			0.0833
3	1.4	1	0.8			0.0833
4	2.22	1.56	1.22			0.0833
5	1.1	0.78	0.61			0.0833
6	1.1	0.65	0.66			0.0833
7	2.54	1.78	0.19	1.74	2.45	0.0833
8	2.54	1.78	0.19	1.74	2.45	0.0833
9	2.54	1.78	0.19	1.74	2.45	0.0833
10	2.54	1.78	0.19	1.74	2.45	0.0833
11	2.54	1.78	0.19	1.74	2.45	0.0833
12	2.54	1.78	0.19	1.74	2.45	0.0833
13	2.54	1.78	0.19	1.74	2.45	0.0833

*En la semana 13 se realizó una sola fertilización.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron pruebas de normalidad con Shapiro-Wilk para las variables altura del tallo, grosor del tallo, porcentaje de sombreado, porcentaje de bulbo húmedo, número de vainas/planta, número de granos/planta, uniformidad de emisión del agua y uniformidad de distribución de fertilizante y para la variable número de granos/vaina se realizó la prueba de Shapiro-Francia (Anexo 2).

4.1. Cultivo de fréjol

4.1.1. Altura del tallo

El análisis de la varianza para la altura del tallo (Cuadro 14), presentó diferencia significativa para el factor de estudio métodos de aplicación del agua en todas las fechas excepto para la fecha 8 (atf8), 9 (atf9) y 10 (atf10) (Gráfico 1). Para el factor niveles de fertilización mostraron diferencias significativas las fechas 2 (atf2) y 5 (atf5) (Gráfico 2) y para la interacción métodos de aplicación del agua y niveles de fertilización solamente la fecha 9 (atf9) (Gráfico 3).

Cuadro 14: Resultados del ANOVA de la variable altura del tallo (cm).

F.V.	GL	ALTURA DEL TALLO (cm)				
		Cuadrados Medios				
		atf2	atf3	atf4	atf5	atf6
TOTAL	11					
REPETICIONES	2	0.01	0.19	0.12	0.07	7.37×10^{-9}
MÉTODOS DE APLICACIÓN DEL AGUA	1	1.17^*	4.44^*	4.74^*	11.88^*	$1.17 \times 10^{-7*}$
ERROR A	3	2.27×10^{-3}	0.04	0.08	0.07	2.29×10^{-9}
NIVELES DE FERTILIZACIÓN	1	0.43^*	0.79^{ns}	1.06^{ns}	4.34^*	4.04×10^{-8ns}
INTERACCIÓN	1	3.33×10^{-3ns}	0.45^{ns}	0.01^{ns}	0.92^{ns}	4.30×10^{-8ns}
ERROR B	3	0.02	0.14	0.21	0.23	4.65×10^{-9}
PROMEDIO		0.96	3.89	6.05	8.45	0
CV (%) A		4.98	5.34	4.63	3.15	7.83
CV (%) B		13.06	9.69	7.51	5.69	11.14

(*) Diferencia significativa; (^{ns}) Diferencia no significativa.

atf: altura del tallo en la fecha

Continuación del cuadro 14.

ALTURA DEL TALLO (cm)					
Cuadrados Medios					
atf7	atf8	atf9	atf10	atf11	atf12
0.27	0.57	0.17	1.26×10^{-12}	4.2	4.08
61.24^*	0.04^{ns}	11.75^{ns}	2.04×10^{-12ns}	37.14^*	36.82^*
0.36	1.22	3.34	9.59×10^{-13}	1.34	1.41
1.65^{ns}	1.32^{ns}	3.69^{ns}	3.03×10^{-12ns}	37.00^{ns}	36.96^{ns}
9.72^{ns}	5.33^{ns}	24.21^*	2.24×10^{-12ns}	25.96^{ns}	26.28^{ns}
3.17	2.94	1.54	5.52×10^{-13}	10.2	10.23
18.67	25.93	39.97	0	56.61	56.67
3.19	4.26	4.57	15.36	2.05	2.1
9.54	6.61	3.1	11.66	5.64	5.64

(*) Diferencia significativa; (^{ns}) Diferencia no significativa.

atf: altura del tallo en la fecha

La diferencia de altura que se presentó para el factor métodos de aplicación del agua hasta la fecha 5 fueron significativamente diferentes, pero esta diferencia puede estar influenciada por distintos factores como las precipitaciones en las primeras semanas del experimento, además al ser la primera fase experimental se necesitaba calibrar el sistema de riego y partir de la fecha 6 se deben tomar en cuenta los resultados mostrando en las fechas 6, 7, 11 y 12 rangos iguales de significancia, es decir en campo se tuvo diferencias pero estadísticamente los dos tipos de riego no afectaron el crecimiento de la planta.

La mayor altura se presentó en el riego por goteo convencional y pudo haber sido influenciada por el mayor volumen de agua aplicada como se mostró en un experimento en orégano (*Lippia graveolens* HKB) realizado por Villa et al., (2011), con un sistema de aspersión tipo nebulizador donde al aplicar el mayor número de láminas de agua (cm) la altura de la planta fue mayor en comparación con un menor número de láminas de agua, esto indica que al aplicar mayor volumen se obtiene como resultado una mayor altura de plantas como lo demuestra la presente investigación donde al utilizar el método de riego por goteo convencional (R100) al final de la etapa de crecimiento se logró un promedio de altura de 58.43 cm mientras que con el método de riego por pulsos (R50) se obtuvo 54.92 cm de altura (Cuadro 20).

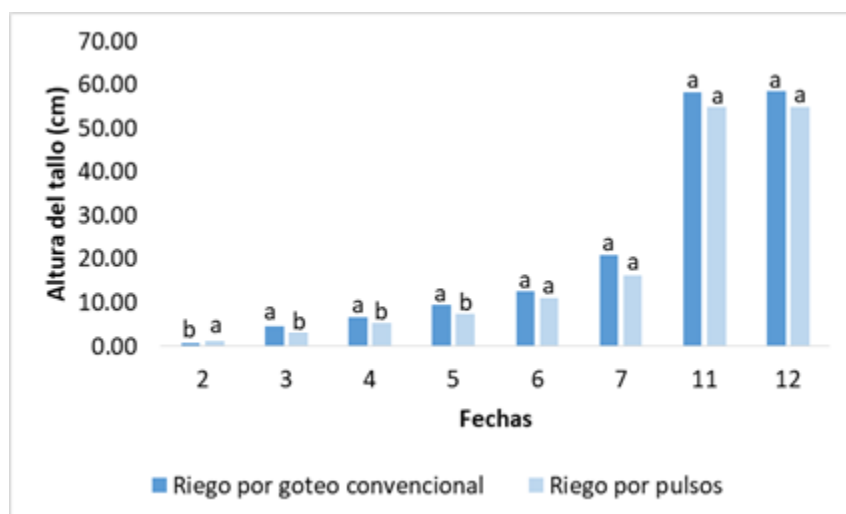


Gráfico 1: Altura del tallo por influencia del factor métodos de aplicación del agua.

La diferencia de altura de la planta bajo la influencia del factor niveles de fertilización fue afectada al igual que el factor métodos de aplicación del agua hasta la fecha 5 por la calibración del sistema de riego, sin embargo como se muestra en el gráfico 2 existió un solo rango de significancia en los dos niveles de fertilización siendo estadísticamente similares. En campo se obtuvo un mayor crecimiento de la planta al realizar la aplicación convencional de fertilizante (F100). Este mayor crecimiento se debe a la cantidad de fertilizante administrado a la planta, el cual fue absorbido y aprovechado logrando un crecimiento mayor en comparación con la aplicación del 50 % de la dosis convencional.

Al realizar una aplicación convencional de fertilizantes (F100) al final de la etapa de crecimiento se alcanzó un promedio de la altura de la planta de 58.15 cm mientras que con la aplicación del 50 % de la dosis de F100 se obtuvo 55.19 cm de altura (Cuadro 20). Resultados similares se encontraron en un experimento en fréjol realizado por Guerra & Guerrero (1995), sobre el efecto de cuatro niveles de fertilizantes en fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) donde los niveles de fertilización mostraron crecimientos similares en la altura de la planta pero presentaron una pequeña diferencia de

crecimiento; cuando aplicaron 195 kg ha⁻¹ alcanzaron mayor altura de la planta mientras que al aplicar 65 kg ha⁻¹ la altura de la planta fue menor. Resultados similares fueron encontrados en fréjol por Talavera (1988) en el que aplicaron una fertilización convencional de 50 kg ha⁻¹ alcanzando 42 cm mientras que al suministrar 100 kg ha⁻¹ lograron 54 cm de altura de la planta demostrando así que a mayor cantidad de fertilizante aplicado mayor es la altura de la planta.

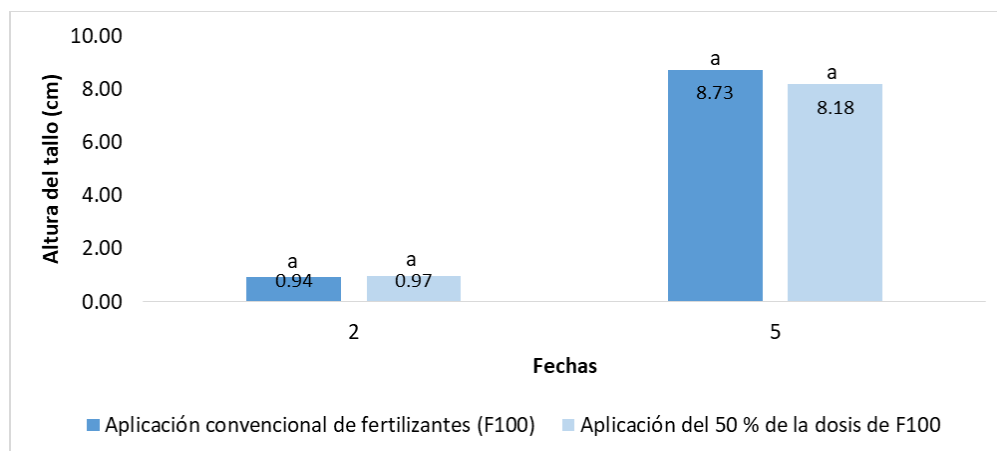


Gráfico 2: Altura del tallo por influencia de factor niveles de fertilización.

En el Gráfico 3 se muestran las diferentes alturas de los cuatro tratamientos donde en la fecha nueve se observan dos rangos de significancia. El Tratamiento 1 ocupa el primer lugar con 42.93 cm siendo significativamente diferente a los tratamientos 2 y 3 con 38.98 cm y 38.12 cm respectivamente; el Tratamiento 4 es estadísticamente similar a los tratamientos 1, 2 y 3. Al igual que en los casos anteriores, se demuestra que con un método de riego por goteo convencional más una aplicación convencional de fertilizante (F100) se obtiene un mayor promedio de altura de la planta al final de su etapa de crecimiento como se puede observar en los resultados de la presente investigación donde el Tratamiento 1 (Riego por goteo convencional + Aplicación convencional de fertilizante) alcanzó una altura de la planta de 61.66 cm (Cuadro 20) siendo mayor en comparación con los tratamientos 2, 3 y 4 donde obtuvieron una altura de 55.19 cm, 55.20 cm y 54.65 cm respectivamente.

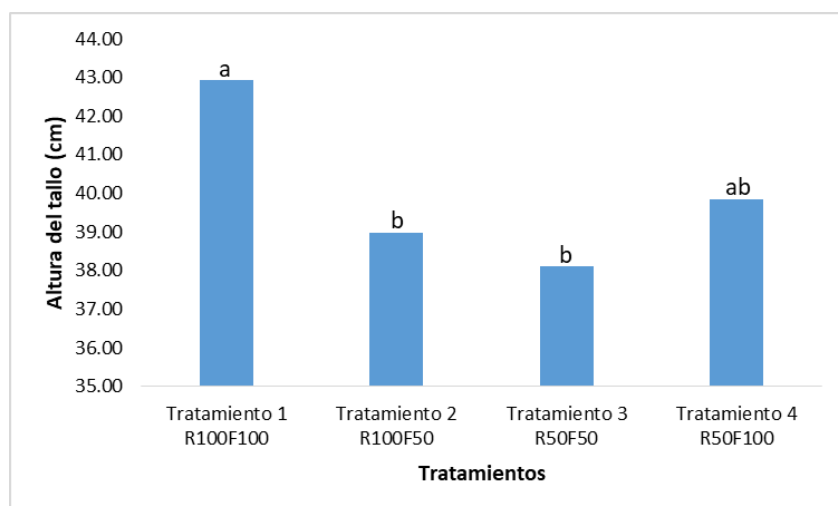


Gráfico 3: Altura del tallo de los cuatro tratamientos en la fecha nueve.

4.1.2. Grosor del tallo

El análisis de la varianza para el grosor del tallo (Cuadro 15) dio como resultados que para el factor métodos de aplicación del agua mostraron diferencia significativa las fechas 5 (gtf5) y 7 (gtf7). Para el factor niveles de fertilización mostró diferencia significativa solamente la fecha 4 (atf4) y para la interacción de los dos factores, mostró diferencia significativa únicamente la fecha 5 (atf5).

Cuadro 15: Resultados del ANOVA para la variable grosor del tallo (cm).

F.V.	GL	GROSOR DEL TALLO (cm)				
		Cuadrados Medios				
		gtf2	gtf3	gtf4	gtf5	gtf6
TOTAL	11					
REPETICIONES	2	$1.33*10^{-04}$	$2.50*10^{-5}$	$2.50*10^{-5}$	$8.33*10^{-6}$	$3.87*10^{-5}$
MÉTODOS DE APLICACIÓN DEL AGUA	1	$1.33*10^{-4ns}$	$3.33*10^{-5ns}$	$3.33*10^{-5ns}$	$3.00*10^{-4*}$	$5.56*10^{-5ns}$
ERROR A	3	2.22E-05	$3.89*10^{-5}$	$5.56*10^{-6}$	$1.67*10^{-5}$	$6.46*10^{-5}$
NIVELES DE FERTILIZACIÓN	1	$1.33E-04^{ns}$	$5.33*10^{-4ns}$	$8.33*10^{-4*}$	$1.33*10^{-4ns}$	$1.07*10^{-4ns}$
INTERACCIÓN	1	$1.33E-04^{ns}$	$1.33*10^{-4ns}$	$3.33*10^{-5ns}$	$2.70*10^{-3*}$	$1.17*10^{-4ns}$
ERROR B	3	4.44E-05	$7.78*10^{-5}$	$4.44*10^{-5}$	$8.89*10^{-5}$	$2.53*10^{-4}$
PROMEDIO		0.11	0.22	0.3	0.41	0.54
CV (%) A		4.42	2.9	0.8	0.99	1.48
CV (%) B		6.25	4.1	2.26	2.28	2.93

(*) Diferencia significativa; (^{ns}) Diferencia no significativa.

gtf: grosor del tallo en la fecha.

Continuación del Cuadro 15

GROSOR DEL TALLO (cm)					
Cuadrados Medios					
gtf7	gtf8	gtf9	gtf10	gtf11	gtf12
$1.78*10^{-4}$	$2.71*10^{-4}$	$4.67*10^{-4}$	$4.33*10^{-4}$	$3.25*10^{-4}$	$3.25*10^{-4}$
$3.28*10^{-3*}$	6.06^{-4ns}	$2.92*10^{-4ns}$	$6.30*10^{-5ns}$	$8.33*10^{-6ns}$	$8.33*10^{-6ns}$
$1.66*10^{-4}$	7.14^{-4}	$2.83*10^{-4}$	$1.71*10^{-4}$	$2.06*10^{-4}$	$2.06*10^{-4}$
$2.31*10^{-5ns}$	2.74^{-3ns}	$2.43*10^{-3ns}$	$2.76*10^{-4ns}$	$2.08*10^{-4ns}$	$2.08*10^{-4ns}$
$1.56*10^{-4ns}$	1.04^{-3ns}	$3.03*10^{-3ns}$	$5.10*10^{-3ns}$	$7.01*10^{-3ns}$	$7.01*10^{-3ns}$
$2.05*10^{-3}$	2.22^{-3}	$6.85*10^{-4}$	$2.21*10^{-3}$	$2.04*10^{-3}$	$2.04*10^{-3}$
0.61	0.3	0.75	0.8	0.83	0.83
2.12	8.84	2.24	1.63	1.73	1.73
7.45	15.58	3.49	5.86	5.46	5.46

(*) Diferencia significativa; (^{ns}) Diferencia no significativa.

gtf: grosor del tallo en la fecha.

Estos resultados se pueden observar en los Gráficos 4, 5 y 6. La diferencia de grosor del tallo entre los métodos de aplicación del agua, muestra que en la fecha 5 el riego por goteo convencional y riego por pulsos presentaron el mismo rango de significancia siendo estadísticamente similares, pero como ya se mencionó anteriormente a partir de la fecha 6, se deben tomar en cuenta los datos analizados; es así que la fecha 7 también presentó el mismo rango de significancia con valores comprendidos entre 0.63 cm para riego por goteo convencional y 0.59 cm para riego por pulsos siendo estadísticamente similares los dos métodos de riego.

En una investigación en maíz realizada por Toruño & Flores (2013), se obtuvieron resultados similares donde a un mayor volumen de agua aplicada (4.5 lt de agua/m/día) el diámetro del tallo fue de 1.60 cm en comparación con una aplicación de un menor volumen de agua (2.5 lt de agua/m/día) donde obtuvieron 1.40 cm de diámetro del tallo, demostrando así que a mayor volumen de agua aplicado mayor será el diámetro del tallo. En la presente investigación se obtuvieron resultados similares hasta la fecha 9 (Cuadro 21) donde se alcanzaron 0.76 cm en riego por goteo convencional y 0.75 cm en riego por pulsos sin embargo al final de la etapa de crecimiento (gtf12) el grosor del tallo fue similar entre los dos métodos de riego con 0.83 cm cada uno.

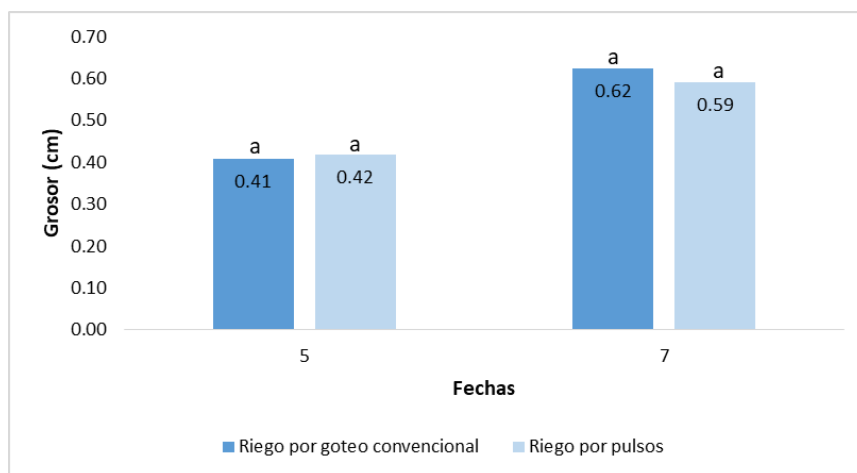


Gráfico 4: Grosor del tallo bajo la influencia del factor métodos de aplicación del agua.

El grosor del tallo depende de la disponibilidad de nutrientes en especial del Nitrógeno, variedad de la planta, condiciones climáticas y densidad de plantación ya que al haber mayor densidad existirá mayor competencia por nutrientes disminuyendo el diámetro del tallo (Torres, 1993). Como se observa en el Gráfico 5, en la fecha 4 donde los dos niveles de fertilización compartieron el mismo rango de significancia con valores comprendidos entre 0.29 cm para aplicación convencional de fertilizantes y 0.3 cm para aplicación del 50 % de la dosis de F100 siendo estadísticamente similares, pero por lo antes mencionado a partir de la fecha 6, se deben tomar en cuenta los datos analizados.

A pesar de que esta fecha no se toma en cuenta, en una investigación realizada por Guerra & Guerrero (1995) en fréjol se encontró que el grosor del tallo estadísticamente no mostró diferencia significativa, en campo obtuvieron 5.38 mm al aplicar el 100 % de la dosis de fertilización (195 kg ha⁻¹) en comparación con los 130 kg ha⁻¹ donde obtuvieron un grosor de 4.64 mm, demostrando que a mayor nivel de fertilización mayor será el grosor del tallo. En la presente investigación, a pesar de que la fecha 4 no mostró resultados parecidos, al final de la etapa de crecimiento, (gtf12) sí se encontraron resultados similares al realizar una aplicación convencional de fertilizantes (F100) alcanzando 0.85 cm mientras que al aplicar el 50 % de la dosis de F100 se obtuvo 0.80 cm de grosor del tallo (Cuadro 21).

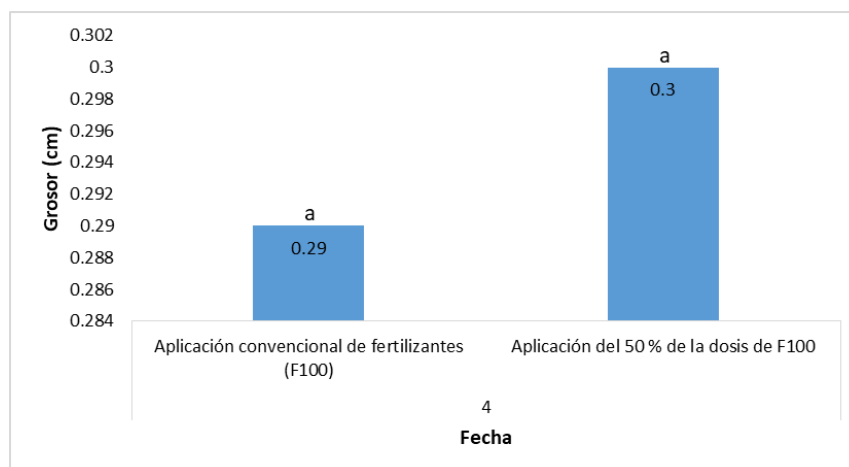


Gráfico 5: Grosor del tallo bajo la influencia del factor niveles de fertilización.

En el Gráfico 6 los tratamientos mostraron diferencia significativa en la fecha 5 donde los tratamientos 1 y 2 son estadísticamente similares entre sí con valores comprendidos entre 0.43 cm y 0.39 cm respectivamente y diferentes a los tratamientos 3 y 4 donde se obtuvo un grosor del tallo de 0.41 cm para el tratamiento 3 y 0.43 cm en el tratamiento 4 siendo estos a su vez similares entre sí, pero por lo ya mencionado con anterioridad hasta esta fecha no se toman en cuenta los resultados obtenidos. A pesar de esto al comparar con una investigación realizada en maíz por Toruño & Flores (2013), se observa que cuando aplicaron el mayor volumen de agua (4.5 lt de agua/m/día) y el 50 % de la dosis de fertilizante, obtuvieron un diámetro del tallo de 1.88 cm en comparación con 1.25 cm cuando aplicaron 2.5 lt de agua/m/día con el 100 % de fertilizante, sin embargo en la presente investigación al final de la etapa de crecimiento (gtf12), los resultados fueron parcialmente similares donde las mayores alturas se encontraron en el Tratamiento 1 (Riego por goteo convencional + Aplicación convencional de fertilizantes) con 0.85 cm y el tratamiento 4 (Riego por pulsos + Aplicación convencional de fertilizantes) con 0.86 cm (Cuadro 21).

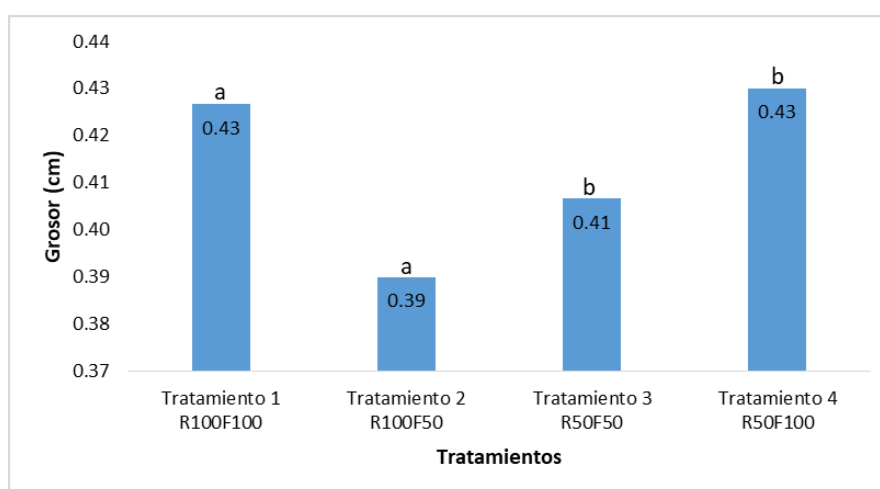


Gráfico 6: Grosor del tallo de los cuatro tratamientos en la fecha 5.

4.1.3. Número de vainas por planta

Los resultados del análisis de la varianza para el número de vainas por planta (Cuadro 16) no mostraron diferencia significativa para el factor métodos de aplicación del agua, niveles de fertilización y su interacción (tratamientos).

Cuadro 16: Resultados del ANOVA para la variable número de vainas/planta.

F.V.	GL	Número de vainas/planta
		Cuadrados medios
		Nvp
TOTAL	11	
REPETICIONES	2	12.22
MÉTODOS DE APLICACIÓN DEL AGUA	1	3.53 ^{ns}
ERROR A	3	2.92
NIVELES DE FERTILIZACIÓN	1	5.70 ^{ns}
INTERACCIÓN	1	0.93 ^{ns}
ERROR B	3	7.61
PROMEDIO		22.6
CV (%) A		4.36
CV (%) B		7.05

(^{ns}) Diferencia no significativa.

nvp: número de vainas/planta

Como se observa en el Gráfico 7 la interacción del riego por pulsos y la aplicación del 50 % de fertilizante (Tratamiento 3) tuvo mejores resultados en campo con 23.56 vainas/planta en comparación con el Tratamiento 1 (Riego por goteo convencional más aplicación convencional de fertilizantes – F100) donde se obtuvo 23.03 vainas/planta. El mayor número de vainas obtenidas en el Tratamiento 3 (Riego por pulsos más aplicación del 50 % de la dosis de F100) probablemente fue gracias a la aplicación del fertilizante mediante el riego por pulsos permitiendo que el fertilizante sea aprovechado por la planta en su totalidad al haber una mejor oxigenación en el suelo y reduciendo el riesgo de salinidad en el suelo, logrando que la planta disponga de toda su energía para la producción de vainas. En una investigación realizada por Guerrero & Suazo (1993) en fréjol obtuvieron mejores resultados al aplicar el 50 % de la dosis de fertilizante (1 qq mz^{-1}) logrando 20.7 vainas/planta mientras que al aplicar 2 qq mz^{-1} alcanzaron 20.4 vainas/planta.

En cuanto al riego, en un estudio realizado por Armijos & Ordoñez (2011) donde evaluaron el riego por pulsos en surcos demostraron que a mayor número de pulsos mayor será el número de vainas/planta y cuyos resultados fueron que al aplicar un pulso lograron 29.7 vainas/planta y al aplicar el riego en seis pulsos obtuvieron 30.5 vainas por planta, resultados similares a la presente investigación donde el Tratamiento 3 (R50F50) tuvo un mayor número de vainas con 23.56 vainas/planta en comparación con los tratamientos tratamiento 1 (R100F100) y 2 (R100F50) donde se obtuvo 23.03 vainas/planta y 21.09 vainas/planta respectivamente.

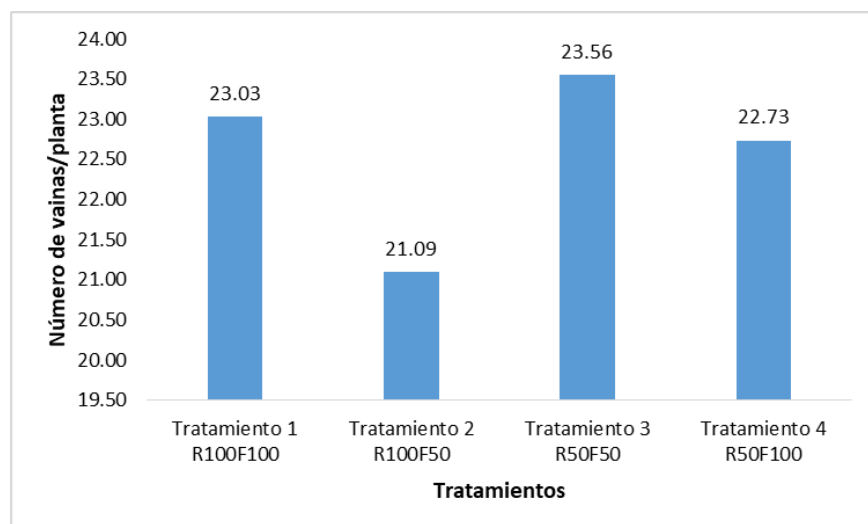


Gráfico 7: Promedio del número de vainas/planta en los cuatro tratamientos.

4.1.4. Número de granos por vaina

Los resultados del análisis de la varianza para el número de granos por vaina (Cuadro 17) no mostraron diferencia significativa para el factor métodos de aplicación del agua, niveles de fertilización y su interacción (tratamientos).

Cuadro 17: Resultados del ANOVA para la variable número de granos/vaina.

F.V.	GL	Número de granos/vaina
		Cuadrados medios
		ngv
TOTAL	11	
REPETICIONES	2	0.12
MÉTODOS DE APLICACIÓN DEL AGUA	1	0.65 ^{ns}
ERROR A	3	0.08
NIVELES DE FERTILIZACIÓN	1	0.21 ^{ns}
INTERACCIÓN	1	0.21 ^{ns}
ERROR B	3	0.06
PROMEDIO		3.77
CV (%) A		7.61
CV (%) B		6.38

(^{ns}) Diferencia no significativa.

ngv: número de granos/vaina

El riego por pulsos obtuvo los mejores resultados donde se puede observar que los pulsos fue el factor determinante para que exista una mejor respuesta del cultivo, sin embargo en el riego por goteo convencional la aplicación del fertilizante si afectó al número de granos producidos, ya que al aplicar el 50 % de fertilizante se obtuvo ligeramente una menor cantidad de granos (3.3 granos) en comparación con la aplicación convencional de fertilizantes (F100) con 3.8 granos. En un estudio

realizado por Guerra & Guerrero (1995) en frejol, la dosis de fertilizante tampoco presentó diferencia significativa en los diferentes niveles de fertilización sin embargo en campo el exceso de fertilizante causó una disminución de la producción donde al aplicar 195 kg ha^{-1} el número de granos disminuyó, sin embargo al aplicar 130 kg ha^{-1} alcanzó 5.72 granos a diferencia de la aplicación de 65 kg ha^{-1} produciendo 5.4 granos por vaina, caso similar a los datos obtenidos en los tratamientos 1 y 2 donde al realizar una aplicación convencional de fertilizante (F100) se obtuvo 3.8 granos mientras que al aplicar el 50 % de la dosis de F100 se alcanzó 3.3 granos por vaina.

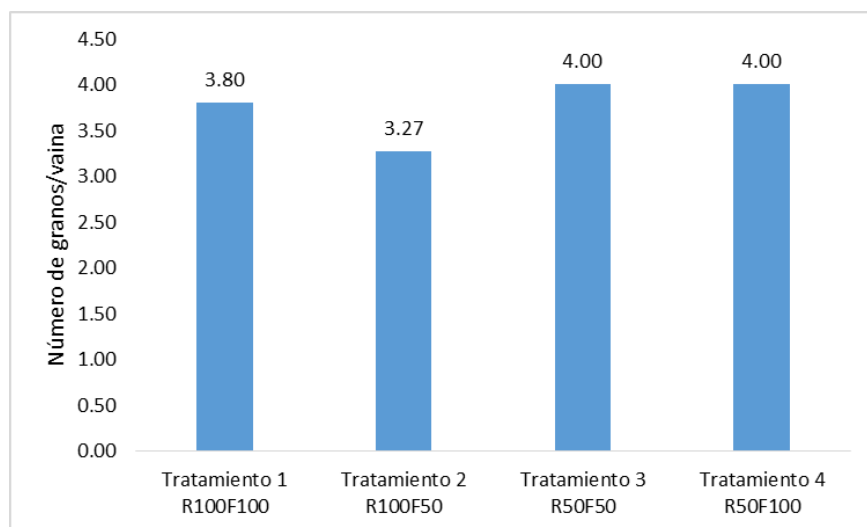


Gráfico 8: Valores promedio del número de granos/vaina en los cuatro tratamientos.

4.1.5. Número de granos por planta

Los resultados del análisis de la varianza para el número de granos por planta (Cuadro 18) no mostraron diferencia significativa para los dos factores en estudio, así como para la interacción.

Cuadro 18: Resultados del ANOVA para la variable número de granos/planta.

F.V.	GL	Número de granos/ planta
		Cuadrados medios ngp
TOTAL	11	
REPETICIONES	2	4.16
MÉTODOS DE APLICACIÓN DEL AGUA	1	6.96 ^{ns}
ERROR A	3	44.85
NIVELES DE FERTILIZACIÓN	1	901.81 ^{ns}
INTERACCIÓN	1	261.07 ^{ns}
ERROR B	3	188.37
PROMEDIO		76.62
CV (%) A		8.14
CV (%) B		17.91

(^{ns}) Diferencia no significativa.

ngp: número de granos/planta

El Tratamiento 3 (Riego por pulsos más aplicación del 50 % de la dosis de F100) alcanzó un mayor número de granos por planta con 89.19 granos seguido del Tratamiento 1 (Riego por goteo convencional más aplicación convencional de fertilizantes) con 81.39 granos por planta. El tratamiento que menor número de granos tuvo fue el Tratamiento 4 (Riego por pulsos más aplicación convencional de fertilizantes) con 62.53 granos por planta, posiblemente causado por la concentración de sales a causa de una fertilización convencional con el 50 % de agua ocasionando una mayor acumulación de sales en el suelo, a diferencia de la aplicación de un riego por goteo convencional donde esta concentración de sales en el suelo fue menor y por lo tanto no afectó al rendimiento de la planta; con esto se puede decir que a menor volumen de agua presente en el suelo mayor es la concentración de sales, aumentado el potencial osmótico dificultando a la planta la absorción de agua (FUENTES, 1990).

Cada cultivo reacciona diferente a las sales presentes en el suelo y cada uno tiene un umbral en el que, si no se sobrepasa ese nivel, la planta no tiene problemas en su rendimiento, pero si se aumenta la concentración de sales sobrepasando el umbral, la producción de la planta se ve afectado (Ferreira et al., 2005). En una tesis realizada por Vélez (2013) en papa donde evaluaron el efecto de diferentes dosis de fertilización foliar y edáfica en la que no se obtuvo diferencia significativa para la fertilización obteniendo un promedio de 27.01 tubérculos por planta por lo que las dosis de fertilizante no afectaron en esta variable al igual que en la presente investigación en la que el fertilizante tampoco tuvo influencia en el número de granos por planta.

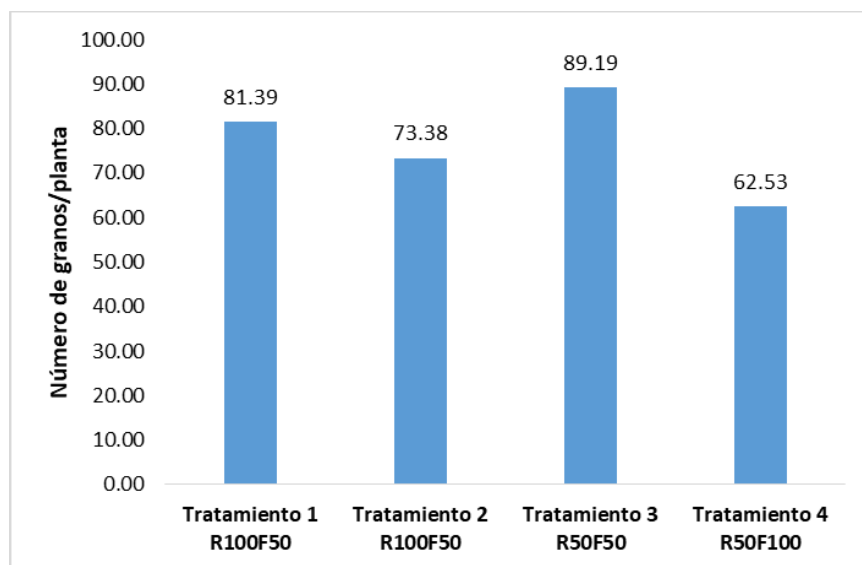


Gráfico 9: Valores promedio del número de granos/planta en los cuatro tratamientos.

4.1.6. Longitud de la raíz

Los resultados del análisis de la varianza para la longitud de la raíz (Cuadro 19) no mostraron diferencia significativa para los dos factores en estudio, así como para la interacción, lo cual nos muestra que tanto el agua como el fertilizante no afectan en el crecimiento de la raíz.

Cuadro 19: Resultados del ANOVA para la variable longitud de la raíz (cm)

F.V.	GL	Longitud de la raíz (cm)
		Cuadrados medios lr
TOTAL	11	
REPETICIONES	2	11.5
MÉTODOS DE APLICACIÓN DEL AGUA	1	6.31 ^{ns}
ERROR A	3	15.04
NIVELES DE FERTILIZACIÓN	1	311.10 ^{ns}
INTERACCIÓN	1	76.51 ^{ns}
ERROR B	3	111.02
PROMEDIO		54.13
CV (%) A		7.16
CV (%) B		19.47

(^{ns}) Diferencia no significativa.

lr: largo de la raíz

En el Gráfico 10, la mayor longitud de la raíz se encontró en el Tratamiento 1 (Riego por goteo convencional más aplicación convencional de fertilizantes – F100) con 62.47 cm, pero cabe destacar que el bulbo húmedo creció de forma vertical como se pudo observar al momento de extraer las raíces del suelo, cuyo crecimiento se dio hacia abajo en busca de agua y nutrientes mientras que las raíces sujetas al riego por pulsos al momento de extraerlas se observó que su crecimiento fue de manera horizontal con una longitud de raíz de 55.97 cm para el Tratamiento 3 (Riego por pulsos más aplicación del 50 % de la dosis de F100) y 50.83 cm para el Tratamiento 4 (Riego por pulsos más aplicación convencional de fertilizantes).

Ortiz (2008), explica que el crecimiento de las raíces bajo el riego por pulsos se concentra en los primeros 20 cm del suelo donde se ha formado el bulbo húmedo por lo que este régimen de humedad facilita el desarrollo de las raíces al haber mayor disponibilidad de oxígeno, agua y nutrientes contrario al método de riego por goteo convencional donde el bulbo húmedo es alargado encontrándose el 70 % en estado de saturación y debido a la forma del bulbo ocasiona que el crecimiento de las raíces es de forma vertical llegando a medir de 40 a 60 cm.

En un estudio realizado por Jackson et al., (1990) se establece que debido a la variabilidad espacial y temporal en la distribución del agua y sales en la parte superficial del suelo, muchas especies vegetales muestran una respuesta morfológica en el sistema radicular concentrando las raíces de absorción en las zonas donde existe una mayor disponibilidad de recursos mediante un uso eficiente de su energía lo que concuerda con la presente investigación donde la distribución de las raíces se dio de acuerdo a la disponibilidad de agua y sales establecida por cada método de aplicación del agua, además Aschan y Pfan (2003) mencionan que el crecimiento de la raíz puede ser afectada

por altas concentraciones de sales en el suelo, sin embargo en la presente investigación se observó que el Tratamiento 4 tuvo un crecimiento de la raíz menor en comparación con el tratamiento 1 debido a que al aplicar una fertilización convencional con un volumen menor de agua (Riego por pulsos) hubo una mayor cantidad de sales disueltas en el agua que ocasionó una disminución en la longitud de la raíz debido a un cierto grado de salinidad. Por otro lado en el tratamiento 2 el mayor volumen de agua aplicado al suelo junto con el 50 % de la dosis de F100 ocasionó que exista un déficit de sales influyendo en el crecimiento de la raíz.

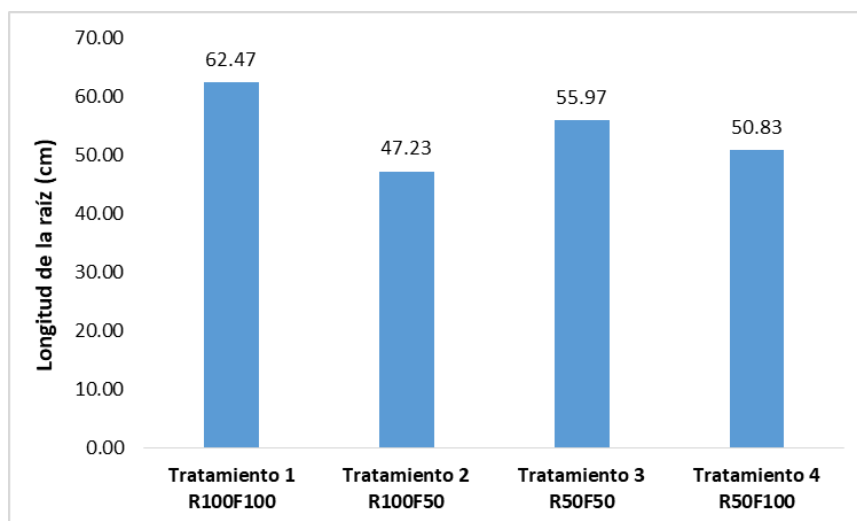


Gráfico 10: Valores promedio del largo de la raíz en los cuatro tratamientos.

Cuadro 20: Prueba de Scheffé al 5 % y promedios realizados al factor métodos de aplicación del agua, niveles de fertilización y su interacción (Tratamientos) de la variable altura del tallo.

Descripción	atf2°	atf3°	atf4°	atf5°	atf6° ⁺	atf7°	atf8°	atf9°	atf10° ⁺	atf11°	atf12°
Métodos de aplicación del agua											
R100 (Riego por goteo convencional)	0.64 b	4.50 a	6.68 a	9.45 a	5.13*10 ⁻⁴ a	20.93 a	25.99	40.96	5.96*10 ⁻⁶	58.37 a	58.425 a
R50 (Riego por pulsos)	1.27 a	3.28 b	5.49 b	7.46 b	7.11*10 ⁻⁴ a	16.41 a	25.87	38.98	6.79*10 ⁻⁶	54.86 a	54.922 a
Niveles de fertilización											
F100 (Aplicación convencional de fertilizantes)	0.94 a	4.09	6.06	8.73 a	5.52*10 ⁻⁴	19.57	26.60	41.39	5.94*10 ⁻⁶	58.09	58.153
F50 (Aplicación del 50% de la dosis de F100)	0.97 a	3.70	6.03	8.18 a	6.72*10 ⁻⁴	17.77	25.26	38.55	6.81*10 ⁻⁶	55.14	55.193
Interacción (Métodos de aplicación del agua + Niveles de fertilización)											
1 R100F100	0.44	4.95	7.00	10.33	3.95*10 ⁻⁴	22.20	26.33	42.94 a	5.03*10 ⁻⁶	61.60	61.66
2 R100F50	0.85	4.05	6.36	8.57	6.31*10 ⁻⁴	19.66	25.65	38.98 b	6.90*10 ⁻⁶	55.15	55.19
3 R50F50	1.10	3.35	5.70	7.78	7.13*10 ⁻⁴	15.88	24.87	38.12 b	6.72*10 ⁻⁶	55.14	55.20
4 R50F100	1.44	3.22	5.15	7.13	7.09*10 ⁻⁴	16.94	26.87	39.85 ab	6.86*10 ⁻⁶	54.57	54.65

Diferentes letras en una columna significan diferencia estadística

(*) Promedio de datos transformados en STATA.

°: cm

atf: altura del tallo en la fecha.

Cuadro 21: Prueba de Scheffé al 5 % y promedios realizados al factor métodos de aplicación del agua, niveles de fertilización y su interacción (Tratamientos) de la variable grosor del tallo.

Descripción	gtf2°	gtf3°	gtf4°	gtf5°	gtf6°	gtf7°	gtf8+°	gtf9°	gtf10°	gtf11°	gtf12°
Métodos de aplicación del agua											
R100 (Riego por goteo convencional)	0.10	0.22	0.29	0.41 a	0.54	0.63 a	0.31	0.76	0.80	0.83	0.83
R50 (Riego por pulsos)	0.11	0.21	0.30	0.42 a	0.55	0.59 a	0.29	0.75	0.80	0.83	0.83
Niveles de fertilización											
F100 (Aplicación convencional de fertilizantes)	0.11	0.22	0.29 a	0.43	0.55	0.61	0.31	0.77	0.82	0.85	0.85
F50 (Aplicación del 50% de la dosis de F100)	0.10	0.21	0.30 a	0.40	0.54	0.60	0.29	0.74	0.78	0.80	0.80
Interacción (Métodos de aplicación del agua + Niveles de fertilización)											
1 R100F100	0.11	0.23	0.30	0.43 a	0.54	0.63	0.33	0.79	0.82	0.85	0.85
2 R100F50	0.10	0.21	0.29	0.39 a	0.54	0.62	0.28	0.73	0.79	0.81	0.81
3 R50F50	0.11	0.22	0.31	0.41 b	0.54	0.59	0.30	0.74	0.78	0.80	0.80
4 R50F100	0.11	0.21	0.29	0.43 b	0.55	0.60	0.29	0.75	0.83	0.86	0.86

Diferentes letras en una columna significan diferencia estadística

(*) Promedio de datos transformados en STATA.

°: cm

gtf: grosor del tallo en la fecha.

Cuadro 22: Prueba de Scheffé al 5 % y promedios realizados al factor métodos de aplicación del agua, niveles de fertilización y su interacción (Tratamientos) de las variables número de vainas por planta, número de granos por vaina, número de granos por planta y longitud de la raíz.

Descripción	nvp	ngv	ngp	lr
Métodos de aplicación del agua				
R100 (Riego por goteo convencional)	22.06	3.53	77.38	54.85
R50 (Riego por pulsos)	23.14	4	75.86	53.4
Niveles de fertilización				
F100 (Aplicación convencional de fertilizantes)	22.88	3.9	71.96	56.65
F50 (Aplicación del 50% de la dosis de F100)	22.32	3.63	81.29	51.6
Interacción (Métodos de aplicación del agua + Niveles de fertilización)				
1 R100F100	23.03	3.8	81.39	62.47
2 R100F50	21.09	3.27	73.38	47.23
3 R50F50	23.56	4	89.19	55.97
4 R50F100	22.73	4	62.53	50.83

Diferentes letras en una columna significan diferencia estadística

nvp: número de vainas/planta

ngv: número de granos/vaina

ngp: número de granos/planta

lr: longitud de la raíz

4.2. Agronomía del riego

4.2.1. Porcentaje de sombreo

El análisis de la varianza para el porcentaje de sombreo (Cuadro 23) dio como resultados que para el factor métodos de aplicación del agua mostraron diferencia significativa las fechas 2 (sf2) y 3 (sf3), para el factor niveles de fertilización solamente la fecha 4 (sf4) tuvo diferencia significativa y para la interacción de los dos factores las fechas 2 (sf2) y 4 (sf4) tuvieron diferencia significativa.

Cuadro 23: Resultados del ANOVA para la variable porcentaje de sombreo.

F.V.	GL	PORCENTAJE DE SOMBREO (%)			
		Cuadrados medios			
		sf1	sf2	sf3	sf4
TOTAL	11				
REPETICIONES	2	16.28	10.95	15.25	0.23
MÉTODOS DE APLICACIÓN DEL AGUA	1	286.93 ^{ns}	114.65 [*]	300.50 [*]	0.52 ^{ns}
ERROR A	3	137.75	10.61	8.79	0.15
NIVELES DE FERTILIZACIÓN	1	198.41 ^{ns}	66.17 ^{ns}	19.75 ^{ns}	1.45 [*]
INTERACCIÓN	1	93.21 ^{ns}	375.05 [*]	1.60 ^{ns}	0.53 [*]
ERROR B	3	772.88	23.86	12.08	0.05
PROMEDIO		46.35	71.86	87.86	98.49
CV (%) A		25.32	4.53	3.37	0.4
CV (%) B		59.98	6.8	3.96	0.23

(^{*}) Diferencia significativa

(^{ns}) Diferencia no significativa.

sf: porcentaje de sombreo en la fecha.

Como se muestra en el Gráfico 11, en la fecha 2 los dos tipos de riego fueron estadísticamente similares al compartir el mismo rango de significancia con valores comprendidos entre 68.77 % para el riego por goteo convencional y 74.95 % para el riego por pulsos. En la fecha 3 los dos tipos de riego fueron estadísticamente diferentes donde el riego por pulsos obtuvo 92.86 % mientras que el riego por goteo convencional presentó un 82.85 %.

Estos resultados son diferentes a investigaciones realizadas por Villa et al., (2011), en orégano (*Lippia graveolens* HKB) donde el índice de área foliar obtuvo un promedio de 0.77 con el tratamiento que más láminas de riego tuvo (135 cm en 13 riegos); así mismo en una investigación realizada por Ferreyra et al., (2006), en vid (*Crimson Seedless*), obtuvo un porcentaje de sombreo medido a partir del índice de área foliar alrededor del 95 % con el mayor número de láminas de agua aplicadas. Esta discrepancia se debe a que las investigaciones se realizaron con riego convencional mientras que en la presente investigación se aplicó el 50 % del volumen de agua en pulsos por lo que la planta se desarrolló de manera similar a las investigaciones mencionadas, debido a que al aplicarse el agua en fracciones el suelo tuvo mayor oxigenación al no estar en constante saturación por lo que la planta tuvo buen desarrollo.

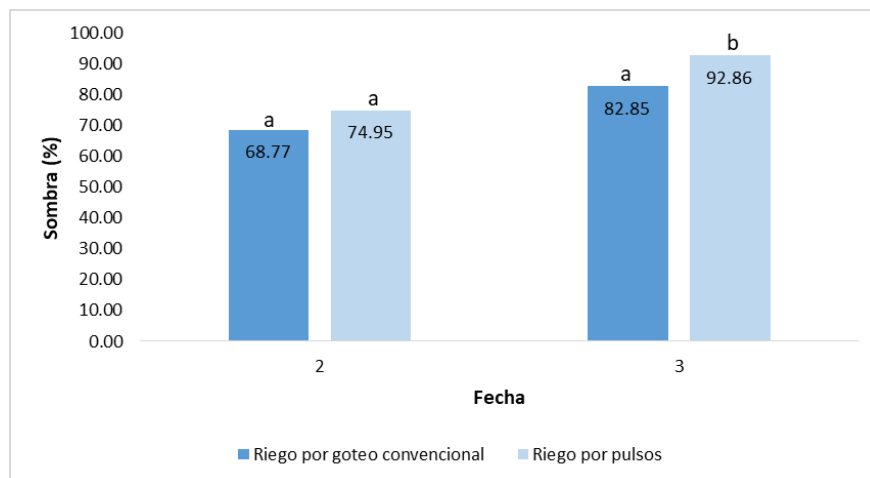


Gráfico 11: Porcentaje de sombreo bajo la influencia del factor métodos de aplicación del agua.

Como se observa en el Gráfico 12 en la fecha 4 los dos niveles de fertilización comparten el mismo rango de significancia demostrando que la aplicación de 100 % de fertilizante y 50 % de fertilizante dan resultados finales similares con 98.70 % para la fertilización convencional y 98.28 % para la aplicación del 50 % de la dosis de F100. En un estudio realizado en maíz por Torres (1993) las diferentes dosis aplicadas dieron como resultado diferencias no significativas en el área foliar de la planta al igual que en la presente investigación hasta la fecha 3, sin embargo en la fecha 4 si se presentó diferencia significativa debido a que las plantas en la etapa fenológica de pre-floración aprovecharon de mejor manera los nutrientes aplicados mediante el fertirriego mostrando un aumento en el porcentaje de sombreo, el mismo rango que comparten los dos tipos de fertilización demuestra que la planta alcanza un óptimo desarrollo a pesar de solo recibir el 50 % de su requerimiento nutricional.

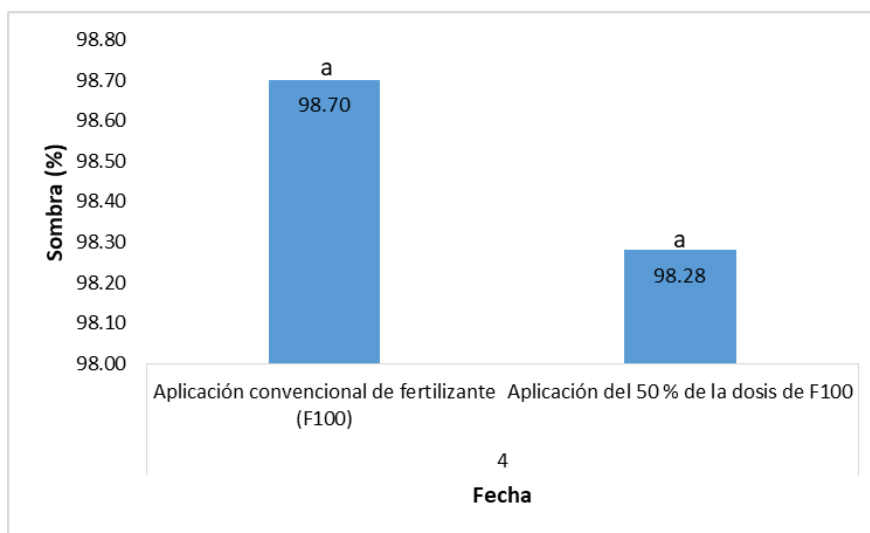


Gráfico 12: Porcentaje de sombreo bajo la influencia del factor niveles de fertilización.

En el Gráfico 13, la fecha 2 obtuvo diferencia significativa, en la cual el tratamiento 2 con 60.83 % es estadísticamente diferente a los tratamientos 1, 3 y 4, los cuales no presentan diferencias significativas entre sí, donde el Tratamiento 4 tuvo el mayor porcentaje de sombreo con 78.19 % mientras que el Tratamiento 2 tuvo el menor porcentaje con 60.83 %. En la fecha 4 se observa que

el Tratamiento 4 es estadísticamente diferente a los tratamientos 1 y 3 pero no presentó diferencias con el tratamiento 2 y al final de la investigación el tratamiento 4 tuvo un porcentaje de sombreado de 99.26 % mientras que los tratamientos 1 y 3 tuvieron menor porcentaje con 98.15 % cada uno.

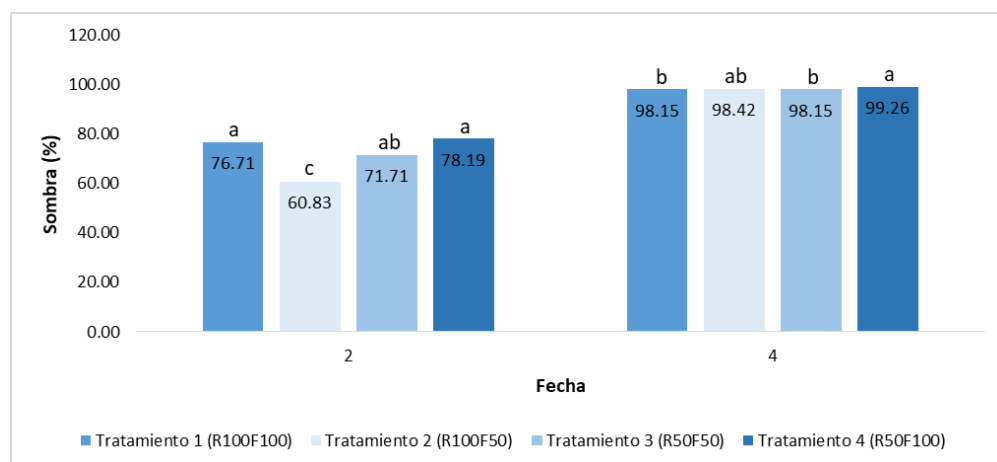


Gráfico 13: Porcentaje de sombreado de los cuatro tratamientos.

4.2.2. Porcentaje de bulbo húmedo

El análisis de la varianza para el porcentaje de bulbo húmedo (Cuadro 24) dio como resultados que para el factor métodos de aplicación del agua mostraron diferencia significativa las fechas 1 (bhf1) y 2 (bhf2). Para la interacción (Tratamientos) la fecha 4 (bhf4) tuvo diferencia significativa.

Cuadro 24: Resultados del ANOVA para la variable porcentaje de bulbo húmedo.

F.V.	GL	PORCENTAJE DE BULBO HÚMEDO (%)			
		Cuadrados medios			
		bhf1	bhf2	bhf3	bhf4
TOTAL	11				
REPETICIONES	2	25.29	11.85	189.97	5.11
MÉTODOS DE APLICACIÓN DEL AGUA	1	1114.10*	484.51*	102.08 ^{ns}	17.22 ^{ns}
ERROR A	3	12.52	8.42	37.59	2.89
NIVELES DE FERTILIZACIÓN	1	193.00 ^{ns}	198.05 ^{ns}	18.75 ^{ns}	1.60 ^{ns}
INTERACCIÓN	1	137.53 ^{ns}	693.88 ^{ns}	18.75 ^{ns}	525.03*
ERROR B	3	33.38	93.06	76.04	47.7
PROMEDIO		42.34	40.73	53.33	37.14
CV (%) A		8.36	7.12	11.5	4.57
CV (%) B		13.64	23.68	16.35	18.6

(*) Diferencia significativa

(^{ns}) Diferencia no significativa.

bhf: porcentaje de bulbo húmedo en la fecha.

Como se observa en el Gráfico 14, los datos obtenidos en la fecha uno son significativamente diferentes, notándose que el riego por pulsos tuvo mayor porcentaje de bulbo húmedo con 51.98 % en comparación con el riego por goteo convencional donde se obtuvo 32.71 %. En la fecha 2, los datos obtenidos comparten el mismo rango de significancia mostrando que los dos métodos de

aplicación del agua son estadísticamente similares, con 47.08 % para el riego por pulsos y 34.38 % para el riego por goteo convencional. El riego por pulsos favorece el crecimiento del bulbo húmedo mayoritariamente en forma horizontal que en forma vertical (Pizarro, 1996).

En estudios realizados por Cruz et al., (2015), se muestra que a diferentes volúmenes de agua aplicados al suelo en los mismos tiempos de riego, el bulbo húmedo cambia de tamaño, obteniendo un crecimiento horizontal al aplicar volúmenes pequeños de agua con goteros de un caudal de 2 lph pero al aumentar el volumen de agua el bulbo con goteros de 4 y 8 lph, el bulbo húmedo crece de forma vertical, resultados similares obtenidos en la presente investigación donde se utilizaron goteros de 2.18 lph y la forma en que se aplica el agua mediante el riego por pulsos hizo que el bulbo húmedo crezca mayormente en forma horizontal mientras que el manejo del agua mediante el riego por goteo convencional provocó que el bulbo húmedo no tenga este comportamiento.

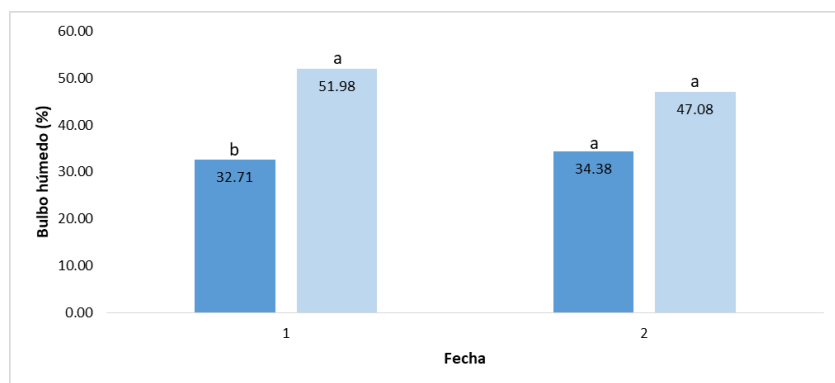


Gráfico 14: Porcentaje de bulbo húmedo bajo la influencia del factor métodos de aplicación del agua.

El Gráfico 15 muestra que en la fecha 4 existe diferencia significativa donde el Tratamiento 1 es significativamente diferente a los tratamientos 2 y 3 y estadísticamente similar al tratamiento 4 en el cual se obtuvo un 32.08 % de bulbo húmedo en comparación con el Tratamiento 1 donde se alcanzó un 28.96 %. En campo el porcentaje de bulbo húmedo fue mayor en el tratamiento 3 el cual fue la combinación de riego por pulsos y el 50 % de fertilizante con 44.58 %, concordando con lo mencionado por Hurtado y Espinoza (2013) quienes establecieron que el ancho del bulbo húmedo es progresivo y por ello en el tratamiento uno se tuvo un crecimiento de bulbo húmedo de forma vertical y en riego por pulsos fue de forma horizontal demostrando así que el factor que influye es el agua.

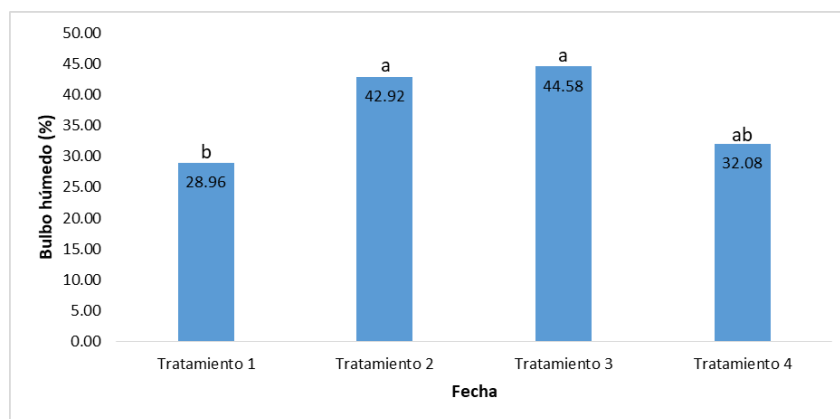


Gráfico 15: Porcentaje de bulbo húmedo de los cuatro tratamientos

4.2.3. Uniformidad de emisión del agua

Los resultados del análisis de la varianza para la uniformidad de emisión del agua (Cuadro 25) no mostraron diferencias significativas para los factores de estudio y para su interacción (Tratamientos).

Cuadro 25: Resultados del ANOVA para la variable uniformidad de emisión del agua

F.V.	GL	UNIFORMIDAD DE EMISIÓN	
		Cuadros medios	
		uef1	uef2
TOTAL	5	5.13	5.66
MÉTODOS DE APLICACIÓN DEL AGUA	1	2.10 ^{ns}	7.48 ^{ns}
REPETICIÓN	2	3.7	5.45
ERROR	2	8.07	4.95
PROMEDIO		94.28	92.42
CV (%)		3.01	2.41

(^{ns}) Diferencia no significativa.

uef: uniformidad de emisión en la fecha.

La variación de la uniformidad en el riego se observa en las Gráficas 16 y 17 para el Riego por goteo convencional y los Gráficos 18 y 19 para el Riego por pulsos, donde el color azul oscuro indica exceso de agua, el color celeste muestra una cantidad de agua adecuado y el color celeste claro muestra la deficiencia de agua en la parcela. En la fecha 1 la uniformidad de emisión del agua en el riego por goteo convencional fue de 93.69 ml mientras que en la fecha 2 disminuyó a 91.30 ml, esto probablemente sucedió porque al aplicar un mayor volumen de agua en un tiempo de riego mayor, ocasionó que el taponamiento de los emisores sea mucho más rápido que en el riego por pulsos, provocando que la eficiencia del sistema de riego disminuya.

Este taponamiento probablemente fue producto de la mala calidad del agua de riego que en ocasiones contenía gran cantidad de sedimento que a pesar de tener filtros de anillas no se lograba retirar estas partículas al 100 %, las cuales mediante el uso continuo del sistema de riego ocasionaron la obstrucción de los goteros. El exceso de agua aportado en el riego por pulsos se observa en el final del lateral y cercano a este por lo que posiblemente este exceso se deba al agua acumulada en el lateral que seguirá drenando hasta que la tubería se vacíe.

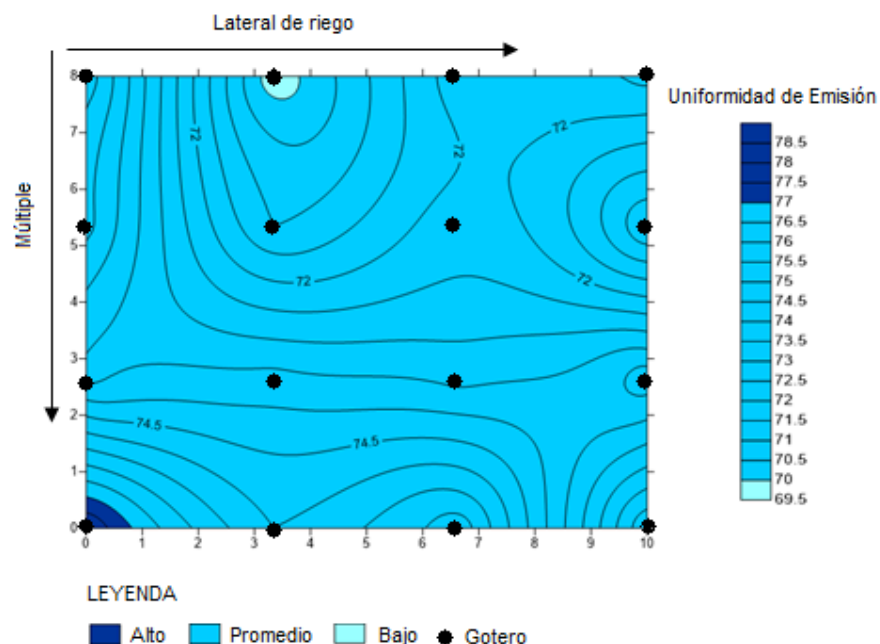


Gráfico 16: Uniformidad de emisión del agua en el riego por goteo convencional en la fecha 1.

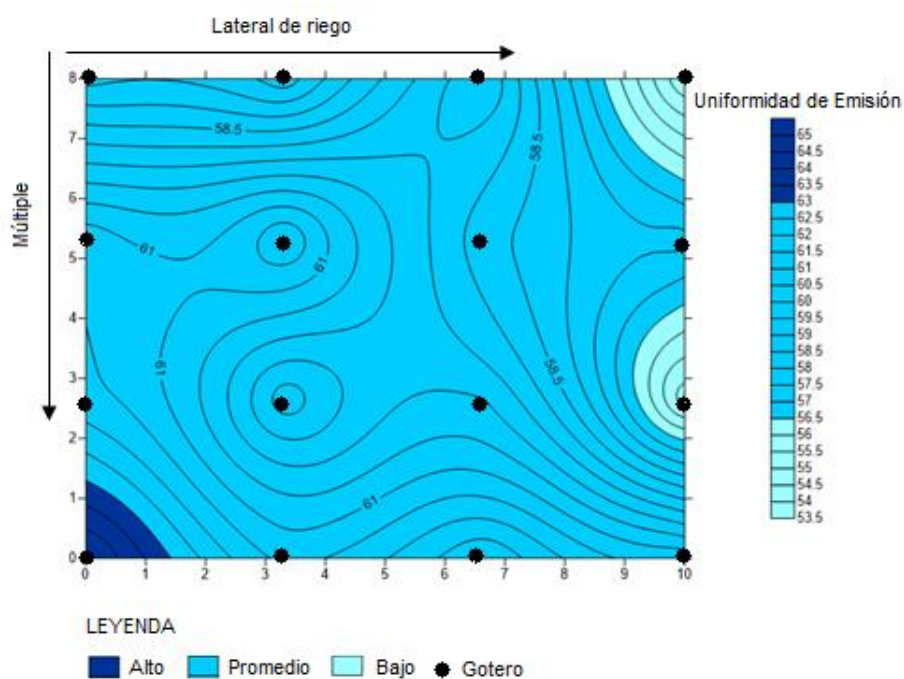


Gráfico 17: Uniformidad de emisión del agua en el riego por goteo convencional en la fecha 2.

En la fecha 1 la uniformidad de emisión del agua en el riego por pulsos fue de 94.87 ml mientras que en la fecha 2 disminuyó a 93.53 ml, esto probablemente sucedió porque de acuerdo a Burt (2004) la uniformidad de emisión de agua se ve afectada por la diferencia de presiones en diferentes puntos de la parcela, variación en la fabricación de los goteros, llenado de los laterales de riego mientras que Lozano et al., (2014) manifiestan que el drenaje de los goteros después de cada riego es un

factor importante en campos de cultivo con pulsos de riego de corta duración como se observa en el Gráfico 19 donde existió un exceso de agua en ciertos puntos de los laterales. Los resultados de la presente investigación son superiores al 90 % en la fecha 1 concordando con las mediciones realizadas por Lozano et al., (2014) donde obtuvieron una UE superiores al 90 % para pulsos de riego de 15 minutos.

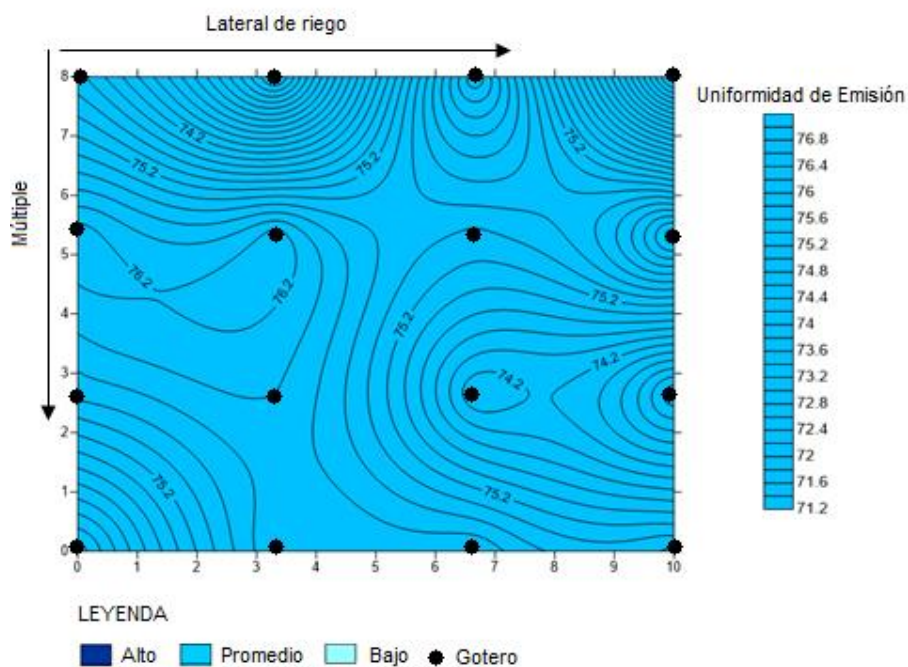


Gráfico 18: Uniformidad de emisión del agua en el riego por pulsos en la fecha 1.

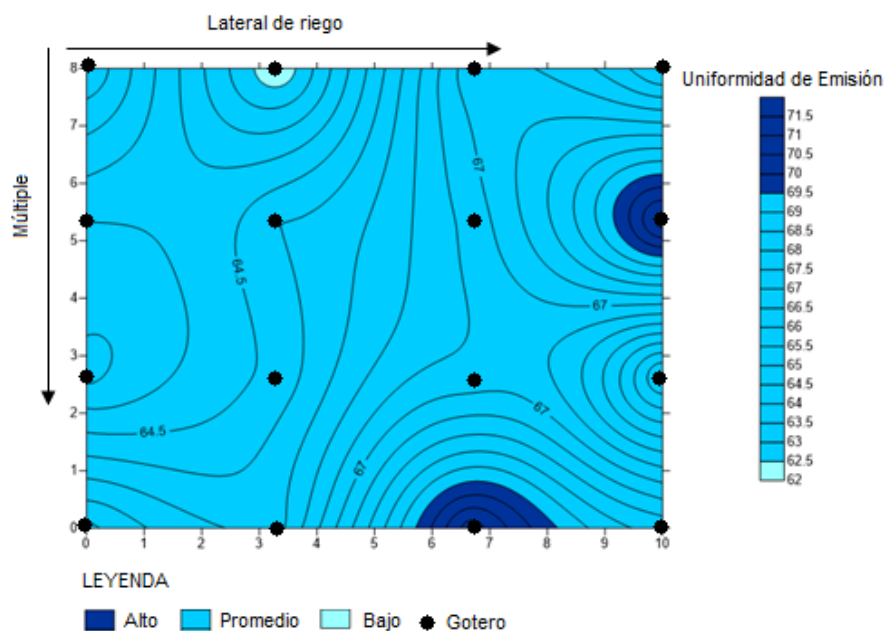


Gráfico 19: Uniformidad de emisión del agua en el riego por pulsos en la fecha 2.

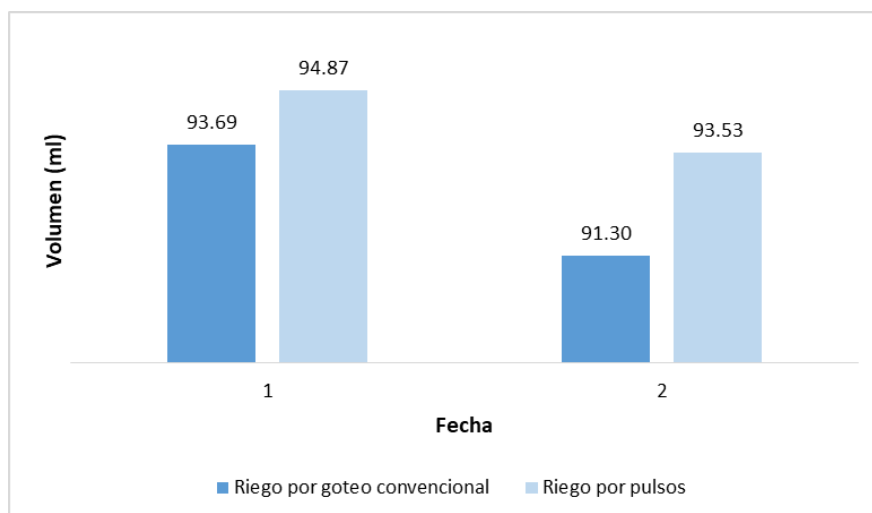


Gráfico 20: Valores promedio de la uniformidad de emisión del agua.

4.2.4. Uniformidad de distribución de los fertilizantes

Los resultados del análisis de la varianza para la uniformidad de distribución de fertilizantes (Cuadro 26) no mostraron diferencias significativas para los factores de estudio y para su interacción (Tratamientos).

Cuadro 26: Resultados del ANOVA para la variable uniformidad de distribución de los fertilizantes.

F.V.	UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN	
	GL	Cuadros medios
		ud
TOTAL	5	5.45
MÉTODOS DE APLICACIÓN DEL AGUA	1	16.53 ^{ns}
REPETICIÓN	2	3.72
ERROR	2	1.64
PROMEDIO		94.25
CV (%)		1.36

(^{ns}) Diferencia no significativa.

ud: uniformidad de distribución.

La variación de la uniformidad de distribución de los fertilizantes se observa en las Gráficas 21 y 22 para el Riego por goteo convencional y el Riego por pulsos, donde el color verde claro muestra una distribución uniforme de los fertilizantes mientras que el verde oscuro muestra el exceso de sales disueltas y el color verde blanquecino representa el déficit de sales. Cuando la uniformidad es del 90 % se considera que la uniformidad de distribución de fertilizantes es buena y para poder observar la distribución real del fertilizante en campo, se debe hacer una estimación del ± 5 %.

El riego por pulsos tuvo una baja uniformidad (Gráfico 22) con 92.59 % ya que se encontró lugares con valores altos y bajos de sales, indicando un déficit o exceso de la cantidad de fertilizante

aplicado. La baja uniformidad presentada en el riego por pulsos puede ser a causa de los tiempos de riego, pues al aplicar el riego a diferentes horas del día, las sales tienden a acumularse en los laterales de riego al igual que en el múltiple donde las sales se disuelven en el agua de riego y obstruyen los emisores, provocando que la sedimentación de las sales en la tubería aumente con el tiempo ocasionando así la baja uniformidad de distribución.

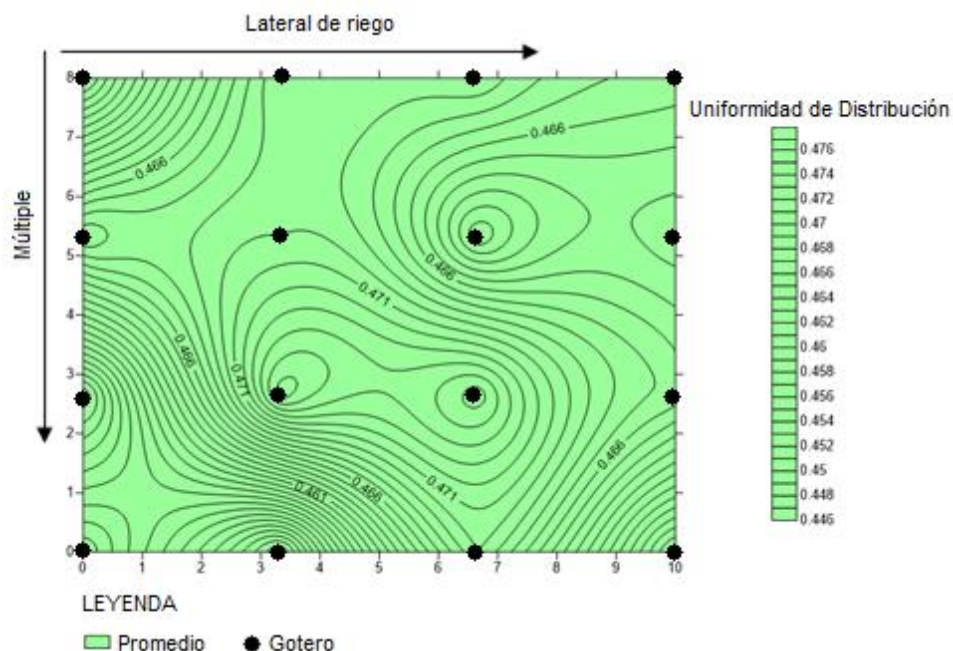


Gráfico 21: Uniformidad de distribución de fertilizante en el riego convencional.

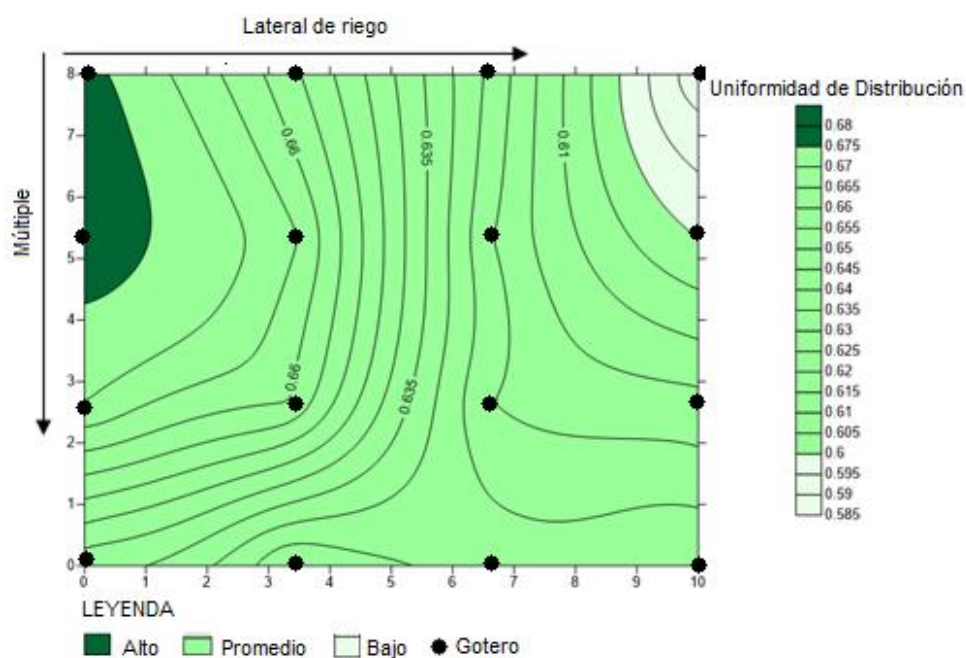


Gráfico 22: Uniformidad de distribución de fertilizante en el riego por pulsos.

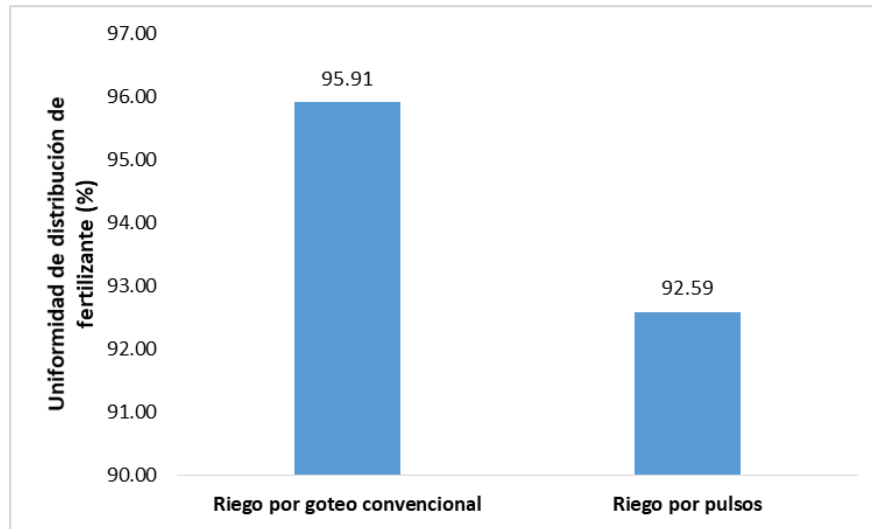


Gráfico 23: Uniformidad de distribución de fertilizantes.

Cuadro 27: Prueba de Scheffé al 5 % y promedios realizados al factor métodos de aplicación del agua, niveles de fertilización y su interacción (Tratamientos) de las variables porcentaje de sombreo y porcentaje de bulbo húmedo.

Descripción	sf1	sf2	sf3	sf4	bhf1	bhf2	bhf3	bhf4
Métodos de aplicación del agua								
R100 (Riego por goteo convencional)	41.76	68.77 a	82.85 a	98.29	32.71 b	34.38 a	50.42	35.94
R50 (Riego por pulsos)	57.29	74.95 a	92.86 b	98.7	51.98 a	47.08 a	56.25	38.33
Niveles de fertilización								
F100 (Aplicación convencional de fertilizantes)	54.23	77.45	87.49	98.70 a	38.958	33.125	52.083	30.522
F50 (Aplicación del 50% de la dosis de F100)	44.81	66.27	88.22	98.28 a	45.73	48.333	54.583	43.752
Interacción (Métodos de aplicación del agua + Niveles de fertilización)								
1 R100F100	47.33	76.71 a	81.2	98.15 b	33.33	30.83	50.42	28.96 b
2 R100F50	36.18	60.83 c	84.5	98.42 ab	32.08	37.92	50.42	42.92 a
3 R50F50	53.44	71.71 ab	91.94	98.15 b	59.38	58.75	58.75	44.58 a
4 R50F100	61.13	78.19 a	93.78	99.26 a	44.58	35.42	53.75	32.08 ab

Diferentes letras en una columna significan diferencia estadística

sf: porcentaje de sombreo en la fecha (%).

bhf: porcentaje de bulbo húmedo en la fecha (%).

Cuadro 28: Prueba de Scheffé al 5 % y promedios realizados al factor métodos de aplicación del agua, niveles de fertilización y su interacción (Tratamientos) de las variables uniformidad de emisión del agua y uniformidad de distribución de fertilizante.

Descripción	uef1 ⁺	uef2 ⁺	ud°
Métodos de aplicación del agua			
Riego por goteo convencional	93.69	91.3	95.91
Riego por pulsos	94.87	93.53	92.59

uef: uniformidad de emisión en la fecha

ud: uniformidad de distribución.

°: dS m⁻¹

⁺: %

5. CONCLUSIONES

Los efectos que tuvieron los niveles de fertilización y los dos métodos de aplicación del agua en el cultivo de fréjol fueron: la morfología de la planta tanto la altura como el grosor del tallo y la longitud de la raíz tuvieron mejores respuestas con la aplicación convencional de fertilizantes tratamiento 1 (R100F100), debido a que la planta al estar en un ambiente con suficiente cantidad de agua, así como una dosis completa de su requerimiento nutricional reaccionó eficientemente, dando como resultado una planta grande y vigorosa, siendo la altura del tallo de 42.93 cm, un grosor de 0.43 cm y una longitud de raíz de 62.47 cm; sin embargo, las raíces en los tratamiento 3 y 4 presentaron longitudes de 55.97 cm y 50.83 cm respectivamente, siendo su crecimiento horizontal lo que permitió aprovechar de mejor manera el agua y los nutrientes aportados produciendo un mejor rendimiento. El tratamiento 3 tuvo el mayor número de vainas/planta (23.56 vainas), granos/vaina (4 granos), granos/planta (89.19 granos), demostrando la eficacia del riego por pulsos en el rendimiento del cultivo de fréjol, ya que la planta pudo absorber y aprovechar de mejor manera el agua y los nutrientes aportados mediante el fertirriego.

El mayor porcentaje de sombreado se presentó en el Tratamiento 4 (Riego por pulsos más aplicación convencional de fertilizantes) con un 99.26 %, mientras que los tratamientos 1 (Riego por goteo convencional más aplicación convencional de fertilizantes) y 3 (Riego por pulsos más aplicación del 50 % de la dosis de F100) tuvieron un menor porcentaje con 98.15 % cada uno, demostrando que el riego por pulsos propicia un ambiente ideal para el desarrollo de la planta. En cuanto al bulbo húmedo se obtuvo un mayor porcentaje en el Tratamiento 3 (Riego por pulsos más aplicación del 50 % de la dosis de F100) con un 44.58 %, observándose que el crecimiento del bulbo fue de manera horizontal, facilitando la absorción del agua por las raíces.

La mala calidad del agua de riego fue un factor importante que afecta la eficiencia de los goteros, reduciendo la uniformidad de emisión del agua y los fertilizantes, debido a la presencia de sólidos en suspensión (algas y arcillas), que ocasionan el taponamiento de los goteros, provocando que la planta tenga problemas por estrés hídrico por la baja distribución del agua. La mejor Uniformidad de distribución de fertilizantes se obtuvo mediante el método de riego por goteo convencional con un 95.91 %, mientras que, el riego por pulsos obtuvo la mejor uniformidad de emisión del agua con un promedio de 94.20 %.

6. RECOMENDACIONES

En el CADET se debería organizar el riego por turnos para evitar la caída de presión, la cual afecta al proyecto de investigación debido a que no se pueden inyectar los fertilizantes.

Con base en los resultados obtenidos, se debería analizar la posibilidad de regar por pulsos todos los cultivos que tengan riego por goteo en el CADET.

Se recomienda realizar el análisis de uniformidad con el 50% de la dosis de fertilizante para observar si la uniformidad de distribución de los fertilizantes es similar o diferente que la obtenida en el riego por pulsos.

7. RESUMEN

El fréjol es una leguminosa importante en América Latina y en varios países en desarrollo (García, 2009) por su alto contenido de proteína y fibra (Ulloa et al., 2011). El consumo por persona del fréjol en Ecuador es de 4 kg año⁻¹, una cifra baja en comparación con otros países como México y Brasil donde consumen más de 13 kg año⁻¹ y en África Central cuyo consumo supera a los 40 kg (FAO, 2005). El Ecuador se encuentra estancado en cuanto a productividad agrícola en relación a otros países de Latinoamérica ya que no se aprovecha adecuadamente los recursos naturales como es el caso del agua y otros insumos utilizados durante el proceso productivo de los cultivos.

El riego es de gran importancia en los cultivos, principalmente en épocas de sequía. Ante esto, el riego por goteo es una gran alternativa para mitigar estos efectos adversos sobre el suelo (Olvera et al., 2014) ya que el avance tecnológico que ha tenido el sistema de riego por goteo, ha permitido mejorar su eficiencia al realizarlo mediante pulsos, permitiendo ahorrar hasta un 50 % de agua y de fertilizantes, incrementando la producción en los cultivos, evitando la salinización del suelo y mejorando tanto el desarrollo de raíces como la parte aérea de la planta (Ortiz, 2008).

Para ello se evaluó la agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.) en el CADET de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador en la provincia de Pichincha, Ecuador, con dos métodos de aplicación del agua (R100: Riego por goteo convencional y R50: Riego por pulsos) y dos niveles de fertilización (F100: Aplicación convencional de fertilizantes y F50: Aplicación del 50 % de la dosis de F100). Las variables evaluadas incluyeron altura del tallo, grosor del tallo, porcentaje de sombreo, número de vainas/planta, número de granos/vaina, número de granos/planta, largo de la raíz, porcentaje de bulbo húmedo, uniformidad de emisión del agua y uniformidad de distribución de fertilizante.

Los resultados indicaron una diferencia significativa para los dos factores en estudio, métodos de aplicación del agua y niveles de fertilización, así como para su interacción, en las variables altura del tallo, grosor del tallo y porcentaje de sombreo, sin embargo, las variables número de vainas/planta, número de granos/vaina, número de granos/planta, longitud de la raíz, uniformidad de emisión del agua y uniformidad de distribución de fertilizantes, no mostraron diferencia significativa tanto para los dos factores en estudio como para su interacción. La variable porcentaje de bulbo húmedo mostró diferencia significativa para el factor métodos de aplicación del agua y para la interacción de los dos factores.

Los resultados de las variables altura, grosor del tallo y longitud de la raíz fueron mayores con en riego por goteo convencional y una aplicación convencional del fertilizante (T₁) con promedios de 61.66 cm, 0.85 cm y 62.47 cm respectivamente. El número de granos/planta y bulbo húmedo obtuvieron mejores resultados al utilizar el riego por pulsos con una aplicación del 50 % de la dosis de F100 (T₃) donde con un 89.19 granos y un 44.58 % respectivamente. El porcentaje de sombreo se fue mayor con el uso del riego por pulsos y una aplicación convencional de fertilizantes (T₄) con un 99.26 %. El número de vainas por planta fue mayor con el uso del riego por pulsos y la aplicación del 50 % de la dosis de F100 (T₃) con un 23.56 vainas. En el número de granos por vaina se obtuvo mejores resultados con el uso del riego por pulsos tanto con la aplicación convencional de fertilizantes como con la fertilización del 50 % de la dosis de F100 obteniendo un promedio de 4 granos tanto para el tratamiento 3 (T₃) como para el tratamiento 4 (T₄). El tamaño del bulbo húmedo fue mayor en el tratamiento 3 (T₃) ya que con el uso del riego por pulsos la forma del bulbo

húmedo crece de manera horizontal. La Uniformidad de Emisión del agua (UE) al inicio en riego convencional fue de 93.69 ml, terminando con 91.30 ml y la UE en el riego por pulsos fue de 94.87 ml terminando con 93.53 ml mientras que La Uniformidad de Distribución de fertilizante en riego convencional fue de 95.91 % y en riego por pulsos de 92.5 %.

La conclusión principal fue que agronómica y fisiológicamente, con el uso del riego por pulsos con una fertilización del 50 % de la dosis de F100 (T₃) se obtienen mejores respuestas por parte de la planta con relación al manejo convencional. Se requiere de investigaciones que analicen la uniformidad de fertilizantes con el 50 % de la dosis de fertilizante para observar si la uniformidad es similar o diferente que la obtenida en el riego por pulsos.

SUMMARY

Beans are an important legume in Latin America and in several developing countries (García, 2009) because of their high protein and fiber content (Ulloa et al., 2011). Consumption per person of beans in Ecuador is 4 kg year⁻¹, a low figure compared to other countries such as Mexico and Brazil where they consume more than 13 kg year⁻¹ and in Central Africa whose consumption exceeds 40 kg (FAO, 2005). Ecuador is stagnating in terms of agricultural productivity in relation to other countries in Latin America because natural resources are not adequately used, as is the case of water and other inputs used during the production process of crops.

Irrigation is very important for crops, mainly in times of drought. Given this, drip irrigation is a great alternative to mitigate these adverse effects on the soil (Olvera et al., 2014) since the technological advance that the drip irrigation system has had, has made it possible to improve its efficiency by doing so through pulses, allowing to save up to 50 % of water and fertilizers, increasing production in crops, avoiding soil salinization and improving both the development of roots and the aerial part of the plant (Ortiz, 2008).

To this end, the agronomy of drip irrigation in the shrubby bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.) was evaluated in the CADET of the Faculty of Agricultural Sciences of the Central University of Ecuador in the province of Pichincha, Ecuador, with two methods of application of water (R100: Conventional drip irrigation and R50: Pulse irrigation) and two levels of fertilization (F100: Conventional application of fertilizers and F50: Application of 50 % of the dose of F100). The evaluated variables included stem height, stem thickness, percentage of shade, number of pods / plant, number of grains / pod, number of grains / plant, length of root, percentage of wet bulb, uniformity of water emission and uniformity of fertilizer distribution.

The results indicated a significant difference for the two factors under study, water application methods and fertilization levels, as well as for their interaction, in the variables stem height, stem thickness and shade percentage. However, the variables number of pods / plant, number of grains / pod, number of grains / plant, root length, uniformity of water emission and uniformity of fertilizer distribution, showed no significant difference for the two factors under study and for their interaction. The variable percentage of the wet bulb showed a significant difference for the water application methods factor and for the interaction of the two factors.

The results of the variables height, stem thickness and root length were greater with conventional drip irrigation and with a conventional application of fertilizer (T₁) with averages of 61.66 cm, 0.85 cm and 62.47 cm respectively. The number of grains / plant and wet bulb obtained better results with pulse irrigation and the application of 50 % of the dose of F100 (T₃) with 89.19 grains and 44.58 % respectively. The percentage of shade was higher with the use of pulse irrigation and a conventional application of fertilizers (T₄) with 99.26 %. The number of pods per plant was greater with the use of pulse irrigation and the application of 50 % of the dose of F100 (T₃) with 23.56 pods. In the number of grains per pod, better results were obtained with the use of pulse irrigation both with the conventional application of fertilizers and with the fertilization of 50 % of the F100 dose, obtaining an average of 4 grains for both treatment 3 (T₃) as for treatment 4 (T₄). The size of the wet bulb was greater in treatment 3 (T₃) since with the use of pulse irrigation the shape of the moist bulb grows horizontally. The Uniformity of Emission of the water (EU) at the start of conventional irrigation was 93.69 ml, ending with 91.30 ml and the EU in the irrigation by pulses was 94.87 ml

finishing with 93.53 ml while the Uniformity of Distribution of fertilizer in conventional irrigation was 95.91 % and in irrigation by pulse of 92.5 %.

The main conclusion was that agronomically and physiologically, the use of pulse irrigation with a fertilization of 50 % of the dose of F100 (T_3), obtained better responses from the plant in relation to conventional management. Research is required to analyze the uniformity of fertilizers with 50 % of the fertilizer dose to observe if the uniformity is similar or different than that obtained in the irrigation by pulse.

8. REFERENCIAS

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration : guidelines for computing crop water requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm#Contents>
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.
- Antúñez, A., Mora, D., & Felmer, S. (2010). Eficiencia en sistemas de riego por goteo en el secano. INIA Tierra Adentro, 40–43.
- Armijos, D., & Ordoñez, E. (2011). DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL SISTEMA DE RIEGO POR PULSOS EN SURCOS Y SU INCIDENCIA EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE FRÉJOL (*Phaseolus vulgaris*) EN LA QUINTA EXPERIMENTAL “LA ARGELIA” DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.
- BENITES, J. (2016). Leguminosas y plantas silvestres en la alimentación y la agricultura. Leisa. Revista de Agroecología, 32(2), 36. Retrieved from <http://www.leisa-al.org/web/images/stories/revistapdf/vol32n2.pdf>
- Calvache, A. (2016). FERTIRRIEGO EN EL ECUADOR, (May).
- Centeno, E., & Rincón, L. (2010). Necesidades de riego por goteo de variedades de lechuga tipo romana.
- Cruz, F., Zermeño, A., Álvarez, V., Cano, P., Rivera, M., & Siller, M. (2015). Modelo para estimar la extensión del bulbo de humedecimiento del suelo en riego por goteo, VI, 131–140.
- Debouck, D., & Hidalgo, R. (1985). Morfología de la planta de frijol común (pp. 61–68).
- ESPAC. (2018). Estadísticas Agropecuarias. Retrieved January 4, 2019, from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- FAO. (2005). World crop and livestock statistics 1948-85. Retrieved from <http://www.fao.org/ag/agl/rla128/iiiap2/capituloiii.com>
- Fernandez, G. & R., & Morillo, Y. (2010). Riego Localizado. Manual de Riego para agricultores. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ferreira, R., Sellés, G., Ahumada, R., Maldonado, P., Gil, P., & Barrera, C. (2005). MANEJO DEL RIEGO LOCALIZADO Y FERTIRRIGACIÓN.
- Ferreira, R., Selles, G., Silva, H., Ahumada, R., Muñoz, I., & Muñoz, V. (2006). Efecto del agua aplicada en las relaciones hídricas y productividad de la vid “Crimson Seedless.” Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 41(7), 1109–1118. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000700006>
- Flor, M. (1985). REVISION CE ALGUNOS CRITERIOS SOBRE LA RECOMENDACION DE FERTILIZANTES EN FRIJOL. Retrieved from <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/81873/revision-2d5c6644.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fuentes, J. L. (1991). INSTALACION DE RIEGO POR GOTEO. 5, 31. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr094>

- FUENTES, J. L. (1990). CARACTERISTICAS AGRONOMICAS DEL RIEGO POR GOTE0.
- García, E. (2009). Guia Tecnica Para El Cultivo De Frijol. Ilica-Red Sicta - Cosudde -Asoprol, (1), 28. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Guamán, R., Andrade, C., & Alava, J. (2004). Guia para el cultivo de Frejol enl Litoral ecuatoriano. Retrieved from <http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/bitstream/41000/1996/1/iniaplbsd316.pdf>
- Guerra, D., & Guerrero, C. (1995). EFECTO DE CUATRO NIVELES DE FERTILIZANTES SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE CINCO VARIEDADES DE FRIJOL COMUN (Phaseolus vulgaris L.) BAJO EL SISTEMA DE CERO LABRANZA.
- Guerrero, D., & Suazo, I. (1993). Efecto de diferentes dosis de fertilizante de la formula 18-46-0 y densidades de simbra sobre el crecimiento y rendimiento del frijol común (Phaseolus vulgaris L.) y la dinámica de las malezas.
- Hernández-López, V. M., Vargas-Vázquez, M. L. P., Muruaga-Martínez, J. S., Hernández-Delgado, S., & Mayek-Pérez, y. N. (2013). Origen, domesticación y diversificación del frijol común. avances y perspectivas. Revista Fitotecnia Mexicana, 36(2), 95–104. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/262707481_Origen_domesticacion_y_diversificacion_del_frijol_comun_Avances_y_perspectivas
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2017). Anuario Meteorológico N° 53-2013. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. Retrieved from http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf
- Jiménez, J. (2014). Respuesta agronómica de variedades de frijol (Phaseolus vulgaris L) en la localidad de General Carrillo, Villa Clara.
- Kafkafi, U., & Tarchitzky, J. (2012). Fertirrigación Una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua.
- Liotta, M., Carrión, R., Ciancaglini, N., & Olguín, A. (2015). Riego Por Goteo, 158. Retrieved from https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf
- López, R., Hernández, J., Pérez, A., & González, J. (1997). Riego localizado (2ª Edición). Mundi Prensa Libros SA – MAPA.
- Lozano, D., Ruiz, N., & Gavilan, P. (2014). Evaluación del campo de cintas de riego por goteo de diferente caudal en un cultivo de fresa. Agricultura, (978), 778–781.
- MAGAP. (2011). Plan Nacional De Riego Y Drenaje 2011 - 2026. Subsecretaria de Riego y Drenaje.
- Martínez, L. (1998). MANUAL DE FERTIRRIGACIÓN, (56).
- Martínez, L. (2001). MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DE EQUIPOS DE RIEGO PRESURIZADO.
- Mendoza, A. E. (2013). RIEGO POR GOTE0.
- Mizyed, N., & Kruse, E. (2008). Transaction of the ASAE.
- Ochoa Tarira, E. J. (2013). EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE 120 CULTIVARES DE FRÉJOL ARBUSTIVO (Phaseolus vulgaris L.) EN LA ZONA DE TAURA, PROVINCIA DEL GUAYAS. Retrieved from

[http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/3501/1/tesis final Emilio Ochoa T..pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/3501/1/tesis%20final%20Emilio%20Ochoa%20T..pdf)

- Olvera-Salgado, M. D., Bahena-Delgado, G., Alpuche Garcés, Ó., & García Matías, F. (2014). La tecnificación del riego ante la escasez del agua para la generación de alimentos. Estudio de caso en Chihuahua, México. *Ambiente y Desarrollo*, 18(35), 23. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.AyD18-35.trea>
- Ortiz, R. (2008). *Hidroponía en el suelo (Primera)*. Quito - Ecuador: ABYA-YALA.
- Peralta E. Á. Murillo N. Manzón J. Pinzón & Ernest, E. (2012). INIAP 481 ROJO DEL VALLE.
- Peralta, E., Murillo, A., Mazon, N., Monar, C., & Rivera, M. (2010). Manual agrícola de fréjol y otras leguminosas. Iniap, 135(135), 78. Retrieved from <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/MANUAL FREJOL Y LEGUMIN 2010.pdf>
- Pizarro, F. (1996). *Riegos Localizados de Alta Frecuencia (Primera)*. Barcelona: Mundi-Prensa.
- Porras Piedra, A., Cabrera de la Colina, J., & Soriano Martín, M. L. (1995). *Olivicultura y elaiotecnia*. Universidad de Castilla-La Mancha. Retrieved from https://books.google.com.ec/books?id=KiFbyUYuWk4C&pg=PA110&lpg=PA110&dq=A+efectos+prácticos+se+hacer+coincidir+la+superficie+sombreada+con+la+proyección+sobre+el+terreno+del+perímetro+de+la+cubierta+vegetal:&source=bl&ots=Un-3c6bRuh&sig=sN7u538fr8K_0QH77G
- Rain Bird. (2010). *Distribution uniformity*.
- Rincón, L., Abadía, E., & Centeno, A. (1987). Evaluación de la evapotranspiración y los coeficientes de cultivo y su relación con el porcentaje de suelo sombreado en un cultivo de lechuga con riego por goteo, (Fereres).
- Rodríguez, C., & Daza, O. (2018). *Preparación de Suelos*, (March).
- Rodríguez, E., & Guzman, M. (2004). Características de los fertilizantes para su uso en la fertirrigación, (May 2014).
- Rodríguez, L., Sobrino, F., Alvarez, R., & Garrido, J. C. (2017). Taller : Instalación de sistema de riego por goteo en itdUPM Leonor Rodríguez Sinobas , Juan Carlos Garrido del Riego ”, 1–10.
- Romero, J. (2005). *Manual de operación y mantenimiento de un sistema de Riego por Goteo (Primera Ed)*. ©PREDES, Fondo Editorial.
- Sandoval, J., & Varas, E. (1989). RIEGO POR SURCOS. Retrieved from <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/seriesinia/NR08935.pdf>
- SINAGAP. (2012). Frejol Tierno y Seco. Boletín Situacional, 1–5. Retrieved from <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2013/frejol.pdf>
- Talavera, F. (1988). Efecto de diferentes niveles y formas de aplicación del fertilizante fosfórico en el rendimiento del frijol común (*phaseolus vulgaris* L.).
- Torres, M. (1993). Evaluación de diferentes niveles de nitrógeno y densidades sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.).
- Toruño, Y., & Flores, J. (2013). Efecto de diferentes láminas de riego por goteo y aplicación fraccionada del nitrógeno, sobre el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) en su rendimiento de chilote.

- Ulloa, J. A., Petra, M. C., Ulloa, R., Carmen, J., Ramírez, R., Blanca, I. B. Q., & Ulloa, E. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Revista Fuente*, 3(8), 5–9. Retrieved from <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-08/1.pdf>
- Valladares, C. (2010). Taxonomía y Botánica de los Cultivos de Grano, 3–9. Retrieved from http://institutorubino.edu.uy/materiales/Federico_Franco/6toBot/unidad-ii-taxonomia-botanica-y-fisiologia-de-los-cultivos-de-grano-agosto-2010.pdf
- Vélez, A. (2013). Efecto de la fertilización foliar y edáfica con hierro y zinc para la biofortificación agronómica del tubérculo de papa (*solanum tuberosum* L.) bajo invernadero. *cutuglagua, pichincha*, 1–132.
- Vernieri, P., Lenzi, A., Figaro, M., Tognoni, F. & Pardossi, A. (2001). How the roots contribute to the ability of *Phaseolus vulgaris* L. to cope with chilling-induced water stress. *Journal of Experimental Botany*, 52(364), 2199–2206. <https://doi.org/10.1093/jexbot/52.364.2199>
- Villa, M., Catalán, E., Arreola, J., Inzunza, M., & Román, A. (2011). INFLUENCIA DE LA FRECUENCIA DEL RIEGO EN EL CRECIMIENTO DE ORÉGANO (*Lippia graveolens* HKB). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, XVII. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa>.

GLOSARIO DE TÉRMINOS DE LA COMISIÓN INTERNACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE (ICID)

Agua de riego: Agua aplicada a los suelos para satisfacer las necesidades de los cultivos. No incluye precipitación.

Canal de derivación, lateral o canal primario: Subdivisión del canal principal del cual los distribuidores obtienen sus suministros. Normalmente, ni el canal principal ni los laterales tienen salidas de campo. Los laterales para grandes áreas pueden estar subdivididos en laterales y sublaterales principales.

Canal principal, Línea principal, Tubería principal o Canal principal: Un canal que recibe sus suministros de las obras de cabecera y, a su vez, suministra agua a los laterales, canales de derivación o distribuidores.

Coefficiente de uniformidad: Una medida del grado de uniformidad de los tamaños de partículas en un material granular. Algunas veces se define como: el cociente del diámetro de un grano de tamaño tal que el 60 por ciento en peso de la muestra es más pequeño, dividido por el diámetro de un grano tal que el 10 por ciento es más pequeño.

Controlador, Programador: Un aparato para automatizar el inicio y la detención de aplicaciones de riego de acuerdo con un programa preestablecido. Puede tener otras funciones, como controlar la inyección de fertilizantes o detener el riego después de los eventos de precipitación. Útil para sistemas de rociadores y tal vez es esencial para la microirrigación debido a la alta frecuencia de riegos.

Déficit crítico de agua: El déficit máximo de humedad del suelo que se puede acumular sin verificar la transpiración.

Demanda: Cantidad de agua necesaria para el riego basada en elementos de tiempo y cantidad, y relacionada con un punto particular a lo largo del sistema de riego, como "demanda en la granja", "demanda en el punto de venta", "demanda en la cabecera de distribución", "demanda a cabeza de canal".

Distribuidoras o canales secundarios: canales que reciben suministros del canal principal o laterales o de sus sucursales y que suministran agua a los menores, así como a ciertos puntos de salidas.

Dosis de inyección: El volumen de solución química inyectada en el tubo principal en una unidad de tiempo o en un ciclo del equipo de inyección.

Dosis de riego: Profundidad equivalente de aplicación de irrigación, expresada en m³ / ha, en mm u otras unidades de longitud.

Eficacia de la aplicación de agua: La relación entre el volumen de agua almacenada en la zona de la raíz del suelo por riego y el volumen entregado en la granja.

Eficacia de la aplicación en el campo: La relación entre el agua de riego disponible y el cultivo al agua recibida en la entrada del campo.

Eficiencia agronómica del riego o productividad agronómica del riego: En el caso de un campo y un cultivo, la eficiencia agronómica o la productividad agronómica es la producción adicional en términos de dólares o toneladas (con respecto a un cultivo sin riego) obtenida por m³ de agua consumida en el proceso de riego.

Eficiencia de distribución: La relación de agua recibida en las entradas de campo, a la salida total del sistema de suministro.

Eficiencia de riego: La relación entre el volumen de agua utilizada de manera beneficiosa y el volumen de agua entregada al campo. Durante cada etapa del suministro de agua de riego desde la fuente hasta el suelo, hay una pérdida de agua y el volumen que sale es menor que el volumen que ingresa.

Eficiencia del uso del agua en el cultivo o índice de uso del agua del cultivo: La relación entre la producción del cultivo (kg) y la evapotranspiración (mm).

Eficiencia económica del riego: A nivel de un campo y su sistema individual, la eficiencia económica del riego es la relación entre el costo de la producción adicional obtenida debido al riego y el costo total correspondiente del riego.

Eficiencia en el uso del agua de riego: Relación entre la producción total de cultivos (kg) y el agua de riego aplicada (Mega litros).

Estación principal, Instalación del cabezal, Cabezal de control o Unidad principal: Todo el equipo instalado en el extremo corriente arriba de un sistema de riego presurizado para cumplir funciones como iniciar y detener, tal vez programar, irrigar; regulación de presión y caudal; medir y totalizar el uso del agua; filtrando el suministro de agua; introducción de fertilizantes; y emitir alertas o detener el sistema en caso de mal funcionamiento.

Estrés hídrico del suelo: Suma de la tensión del agua del suelo y la presión osmótica a la que debe someterse el agua para estar en equilibrio con el agua del suelo.

Evaporación: El proceso físico mediante el cual el agua se transforma a un estado gaseoso. En el riego, la evaporación es la pérdida de vapor de agua de las superficies del suelo y del agua. Puede expresarse como un total o como una tasa media, en unidades de masa, volumen o profundidad equivalente de agua. Es idéntico a la transpiración si la única pérdida de agua proviene de los estomas de las plantas y con la evapotranspiración cuando se incluyen tanto la transpiración como la evaporación de otras plantas y las superficies del suelo.

Fertirrigación: aplicación de fertilizantes al introducirlos en el agua de riego antes de aplicarlos al campo.

Goterros: Emisores que aplican agua gota a gota, con caudales de 2 a 8 l / h, para humedecer un volumen limitado de suelo (llamado bulbo).

Intervalo de riego: cálculo del tiempo desde el inicio de un riego hasta el inicio del siguiente en el mismo campo. La frecuencia de riego es una noción muy cercana que expresa el número de riegos sucesivos realizados en un período de tiempo determinado.

Intervalo ideal de riego: intervalo correspondiente a los riegos que satisfacen los requisitos reales del cultivo sin escasez ni exceso de agua

Línea principal: tubería de un sistema de riego bajo presión que va desde la fuente de agua a los sub-conductos o a las líneas de distribución de las boquillas.

Manguera: un conducto para agua a presión, cuya flexibilidad permite conectar fácilmente el suministro de agua a una máquina de irrigación (estacionaria o en movimiento). La manguera puede ser rígida o aplanarse cuando no está bajo presión. A menudo se fabrica con un tubo interior cubierto con un refuerzo y una capa protectora externa.

Medidor de tensión, tensiómetro o Irrometer: Un dispositivo para medir la tensión del agua en el suelo, es decir, la presión negativa del agua del suelo (no saturada) y, por lo tanto, indirectamente, el contenido de agua del suelo. Por lo general, consta de un tubo vertical con una bombilla porosa (a menudo cerámica) en su extremo inferior y un medidor de vacío, manómetro o transductor de presión en su extremo superior. El bulbo se coloca a la profundidad del suelo donde se desea la lectura. El dispositivo está lleno de agua desaireada que, con el tiempo, se equilibra con el agua del suelo, cuyo estado se indica en el medidor.

Medidor Venturi o tubo Venturi: Un medidor de flujo de tipo constricción que consiste en una sección circular paralela corta (denominada garganta) coaxial con el tubo en el que se inserta, una sección cónica convergente hacia arriba y una sección divergente de un ángulo menor hacia abajo. Los piezómetros conectados a la tubería por encima de la sección convergente y en la garganta indican la caída en el cabezal de presión que se puede correlacionar con el caudal. Las definiciones no se aplicarían si el tubo tiene una longitud de garganta cero.

Microirrigación, riego localizado, riego por goteo: un método de irrigación mediante el cual el agua se aplica en cantidades pequeñas pero frecuentes, de manera tal de mantener la parte más activa de la zona de la raíz del cultivo en un nivel casi óptimo humedad. Las líneas de las boquillas de irrigación, cerca de las hileras de cultivo, distribuyen el agua a través de vainas, tubos porosos o perforados, o tubos de plástico de pequeño diámetro y grosor, equipados con pequeñas piezas de salida llamadas emisores que descargan hasta 24 litros / hora a presiones de operación generalmente de 1 bar o menos. El espacio entre las filas de cultivo generalmente permanece seco. Las líneas de la boquilla o las líneas de goteo pueden colocarse sobre la superficie del suelo, enterrarse dentro de la zona de la raíz o suspenderse, como en los enrejados de viñedos.

Porcentaje de suelo húmedo: la relación, expresada como porcentaje, entre el volumen de suelo húmedo para un sistema de microirrigación y el volumen total de suelo en la zona de la raíz de un cultivo determinado. El cálculo se puede realizar en todo el campo, para el área de campo servida por una sola línea de boquilla o en un huerto, para el área ocupada por un solo árbol.

Potencial de transpiración: La cantidad de agua transpirada por un cultivo que cubre completamente el suelo y que tiene un suministro adecuado de agua.

Presión nominal: presión de servicio prescrita a la que debe funcionar un equipo.

Programación automática: control de aplicación de agua por un aparato, como una computadora, capaz de determinar los requisitos de agua a través de 1) mediciones climáticas que permiten el cálculo de la evapo-transpiración; 2) sensores capaces de medir el grado de estrés hídrico en el suelo (por ejemplo, un medidor de esfuerzo); o 3) mediciones directas del estado hídrico del cultivo.

Pulso: Un cambio en la intensidad o nivel de algún medio, generalmente durante un período de tiempo relativamente corto.

Punto crítico: Porcentaje del total de agua disponible que permanece en el suelo después del consumo máximo permitido.

Punto de goteo: Un punto en el suelo donde el agua cae gota a gota desde la salida de un gotero.

Punto de marchitez: Contenido de agua del suelo por debajo del cual una planta no puede obtener agua del suelo de manera efectiva; contenido de agua a 16 atmósferas del suelo. El agua disponible en el suelo es nula.

Regulador de presión: Una válvula en la cual la sección de paso se ensancha o se contrae automáticamente para mantener la presión de salida cerca de un valor predeterminado a pesar de las variaciones en la presión y / o descarga en la entrada del aparato. El valor de la presión de salida se puede regular externamente o al reemplazar dentro del regulador un resorte o disco de espesor.

Requerimiento de agua para riego: La cantidad de agua requerida por un cultivo que no es proporcionada por la precipitación, el agotamiento del agua del suelo o el flujo ascendente de agua a la zona de la raíz desde una zona saturada.

Riego por pulsos: Técnica de irrigación compuesta por una serie de ciclos de tiempo de irrigación, generalmente entre 5 y 10, donde cada ciclo incluye dos fases: la fase operativa seguida de la fase de reposo o no operativa. Este método es capaz de lograr una tasa de aplicación relativamente baja mientras se usa un dispositivo de irrigación con una tasa de aplicación más alta.

Tapón final: una tapa en el extremo de un conducto, que se puede quitar para drenar el agua o para limpiar los sedimentos, etc.

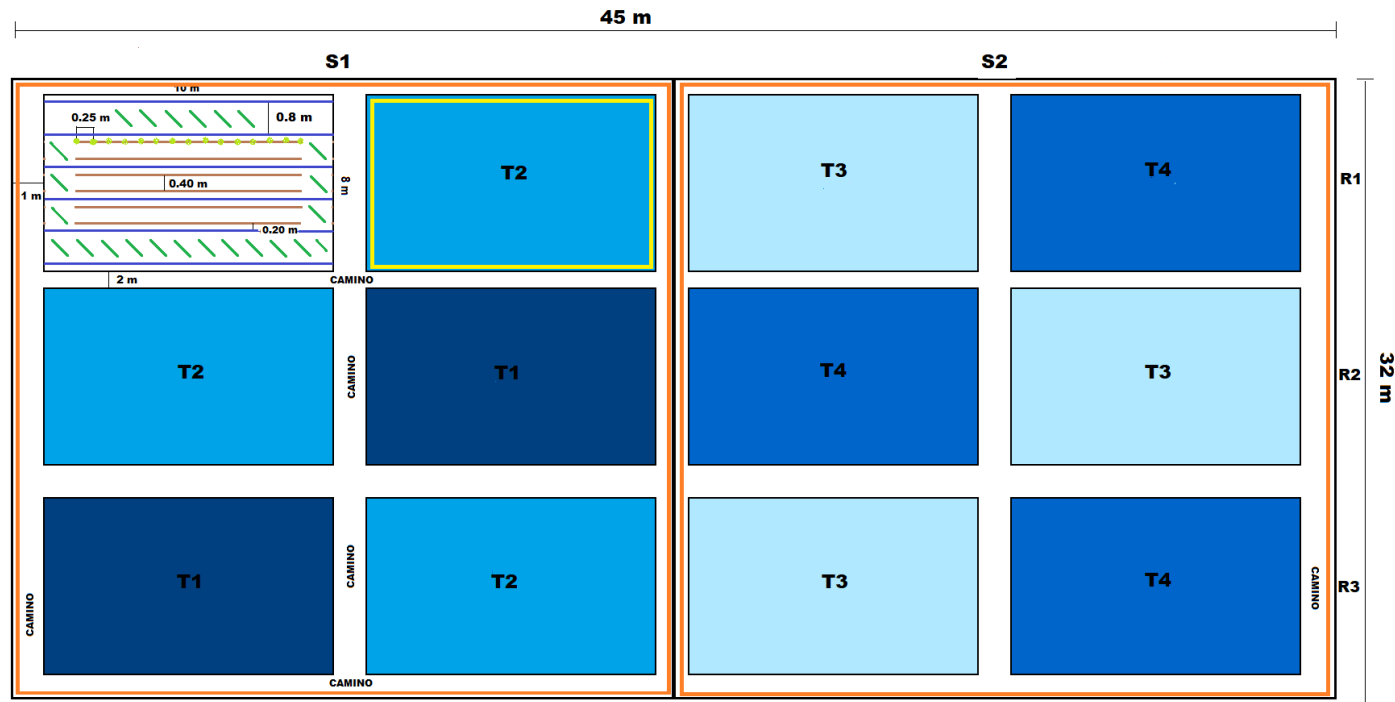
Tensiómetro: Un dispositivo para medir la tensión del agua del suelo en el suelo que consiste en una taza de cerámica porosa permeable conectada a través de un tubo a un manómetro.

Transpiración: Evaporación de los estomas de las plantas vivas, cuya velocidad está regulada por procesos físicos y fisiológicos.

Válvula de salida: Cualquier tipo de válvula instalada en la cabeza de un sistema de riego bajo presión y utilizada para abrirla o cerrarla. Puede ser manual, hidráulico, volumétrico etc.

9. ANEXOS

Anexo 1: Disposición del experimento en campo



S2: Riego por pulsos

S1: Riego por goteo convencional

—: Lateral de riego

—: Surco

- **Planta**

: Efecto borde

T1: Riego por goteo convencional (100% agua) + Fertilización convencional (100% fertilizante).

T2: Riego por goteo convencional (100% agua) + Fertilización al 50%

T3: Riego por pulsos (50% agua) + Fertilización al 50%

T4: Riego por pulsos (50% agua) + Fertilización convencional (100% fertilizante)

 : Parcela Grande (Métodos de aplicación del agua S1 y S2)

☐ : Parcela Pequeña (Niveles de fertilización)

Anexo 2: Análisis de la normalidad para las variables altura del tallo, grosor del tallo, porcentaje de sombreado, porcentaje de bulbo húmedo, número de vainas/planta, número de granos/planta, número de granos/vaina/planta, uniformidad de emisión del agua y uniformidad de distribución de fertilizante.

Variable	Codificación	Observaciones	Prob>chi²
Altura del tallo	atf2	12	0.67
	atf3	12	0.66
	atf4	12	0.92
	atf5	12	0.23
	atf6	12	0.11
	atf7	12	0.96
	atf8	12	0.91
	atf9	12	0.23
	atf10	12	0.15
	atf11	12	0.12
	atf12	12	0.11
Grosor del tallo	gtf2	12	0.66
	gtf3	12	1.00
	gtf4	12	1.00
	gtf5	12	0.43
	gtf6	12	0.83
	gtf7	12	0.52
	gtf8	12	0.08
	gtf9	12	0.89
	gtf10	12	0.32
	gtf11	12	0.63
	gtf12	12	0.63
Porcentaje de sombreado	sf1	12	0.55
	sf2	12	0.08
	sf3	12	0.58
	sf4	12	0.26
Porcentaje de bulbo húmedo	bhf1	12	0.13
	bhf2	12	0.33
	bhf3	12	0.36
	bhf4	12	0.11
Largo de la raíz	lrf1	12	0.86
Número de vainas/planta	nvp	12	0.23
Número de granos/planta	ngp	12	0.38
Número de granos/vaina	ngvp	12	0.44
Uniformidad de emisión de agua	uef1	6	0.54
	uef2	6	0.23
Uniformidad de distribución de fertilizante	ud	6	0.56

Anexo 3: Zanjas para colocación de la tubería principal y múltiples



Anexo 4: Preparación del terreno



Anexo 5: Instalación de los laterales de riego



Anexo 6: siembra



Anexo 7: Medición de la altura y grosor del tallo



Anexo 8: Bulbo húmedo del suelo



Anexo 9: Medición de uniformidad de emisión de agua y distribución de fertilizante



Anexo 10: Extracción de la raíz



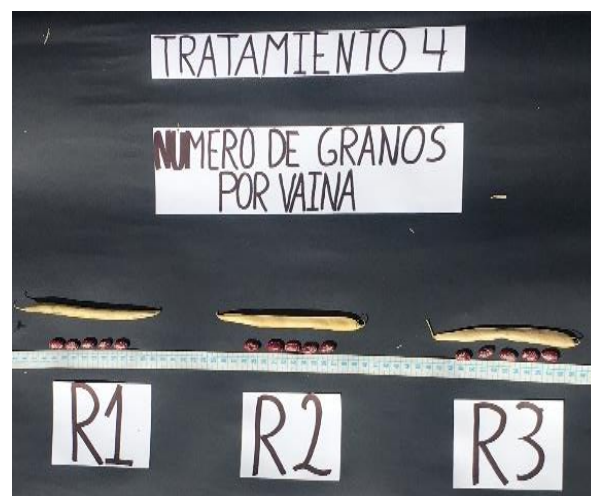
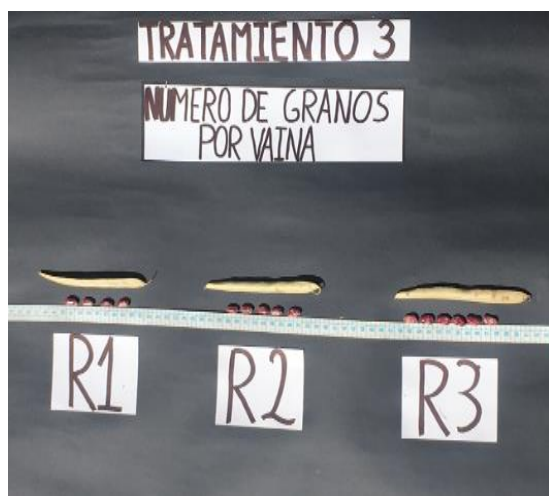
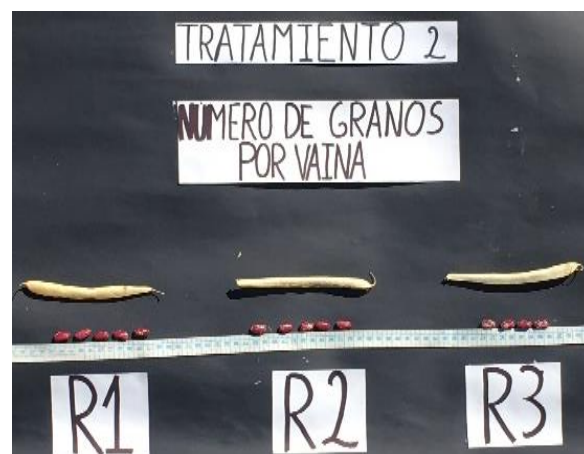
Anexo 11: Cosecha



Anexo 12: Número de vainas por planta



Anexo 13: Número de granos por vaina



Anexo 14: Longitud de la raíz



Anexo 15: Inyector tipo venturi



Anexo 16: Filtros de grava



Anexo 17: Filtro de anillas



Anexo 18: Limpieza del filtro de anillas



Anexo 19: Controladores de riego



Anexo 20: Tanques para preparar la solución madre del fertilizante y regulación del pH del agua de riego.

