



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

**Agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo en el
CADET, 2018.**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo

AUTOR: Alomoto Panoluisa Segundo Wladimir

TUTOR: M.Sc. Randon Stalin Ortiz Calle

Quito, 2020

DERECHOS DE AUTOR

Yo, **SEGUNDO WLADIMIR ALOMOTO PANOLUISA** 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 EN EL CADET, 2018** 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 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, autorizó 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.

Segundo Wladimir Alomoto Panoluisa
C.C. 1721891495
swalomoto@uce.edu.ec

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación presentado por SEGUNDO WLADIMIR ALOMOTO PANOLUISA, para optar el Grado de Ingeniero Agrónomo; cuyo título es: **AGRONOMÍA DEL RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE FRÉJOL ARBUSTIVO EN EL CADET, 2018**, 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 19 días del mes de diciembre del 2019

M.Sc. Randon Stalin Ortiz Calle

DOCENTE-TUTOR

C.C: 1102697396

**AGRONOMÍA DEL RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE FRÉJOL ARBUSTIVO EN EL CADET,
2018.**

APROBADO POR

Ing. Agr. Randon Ortiz, M.Sc.

TUTOR

Ing. Agr. Manuel Pumisacho, M.Sc.

LECTOR

Ing. Civ. Jaime Pazmiño, Mag.

LECTOR

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación lo dedico a Dios, por estar conmigo en todo momento y darle dirección a mi vida, por brindarme la sabiduría e inteligencia para tomar las mejores decisiones de acuerdo al momento que se presente y sobre todo por cuidar siempre mi camino.

A mis padres Segundo y Bertha, que han luchado con esfuerzo y dedicación para darme la oportunidad de ser la persona que soy y sobre todo por sus constantes consejos de vida.

A mis hermanos Alex, Marcia, Natali y Cristian quienes son fundamentales en mi vida y los quiero mucho.

A toda mi familia, por regalarme una vida maravillosa llena de muchas alegrías y momentos felices.

A Valeria quien es muy especial en mi vida, por estar conmigo en todo momento y brindarme su cariño y apoyo incondicional.

WLADIMIR

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por cuidar de mi vida y darme su bendición en cada momento a través de mis Padres.

A mis Padres, por su apoyo en todo momento y estar conmigo cuando más lo necesite y pensé que quizá ya no podría.

Al Ing. Randon Ortiz, por brindarme sus conocimientos, por ser un amigo, por su paciencia y confianza y por ser una gran persona. Gracias a la Ing. Maritza Chile por su apoyo durante la investigación, por su amistad y por su exigencia para que se cumpla esta investigación.

A la Universidad Central del Ecuador y a la Facultad de Ciencias Agrícolas por sus docentes quienes me brindaron el conocimiento y herramientas necesarias para mi vida profesional.

A Alan, Lizbeth, Diego, Jeysi, Andrés, Joao y Jessica por su gran amistad y con quienes he compartido los mejores momentos a lo largo de mi estancia en la universidad, amigos gracias realmente por su hermosa amistad.

WLADIMIR

ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. El riego	2
2.1.1. Riego por goteo	2
2.1.2. Riego por pulsos	6
2.2. Agronomía del riego	7
2.2.1. Bulbo húmedo	7
2.2.2. Porcentaje de sombreo.....	8
2.3. Uniformidad de distribución de agua y nutrientes	8
2.3.1. Uniformidad de emisión de agua	8
2.3.2. Uniformidad de distribución de nutrientes	9
3. MATERIALES Y METODOS.....	10
3.1. Ubicación política del sitio experimental	10
3.2. Ubicación geográfica del sitio experimental.....	10
3.3. Condiciones agroclimáticas del sitio experimental	10
3.4. Características edáficas	10
3.5. Materiales e infraestructura	10
3.5.1. Infraestructura	10
3.5.2. Herramientas de campo	10
3.5.3. Insumos de campo.....	10
3.5.4. Regulación de pH.....	11
3.5.5. Porcentaje de sombreo.....	11
3.5.6. Bulbo húmedo	11
3.5.7. Uniformidad de emisión de agua y fertilizantes	11
3.5.8. Equipos.....	11
3.6. Metodología.....	11
3.6.1. Factores en estudio	11
3.6.2. Tratamientos	11
3.6.3. Unidad experimental	12
3.6.4. Diseño experimental.....	12
3.6.5. Definición de variables.....	14
3.6.6. Manejo del cultivo	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
4.1. Agronomía del cultivo.....	18
4.1.1. Altura de la planta	18
4.1.2. Número de vainas por planta.....	20

CONTENIDO	PÁGINA
4.1.3. Número de granos por vaina.....	21
4.2. Agronomía del riego	24
4.2.1. Porcentaje de sombreo.....	24
4.2.2. Bulbo húmedo	27
4.2.3. Uniformidad de emisión de agua	29
4.2.4. Uniformidad de distribución de nutrientes	30
4.3. Fertirriego	30
4.3.1. Volumen de agua aplicado al cultivo	30
4.3.2. Monitoreo de la humedad en el suelo.....	31
4.4. Rendimiento del cultivo.....	32
4.4.1. Productividad del agua	32
4.5. Análisis económico	33
5. CONCLUSIONES	35
6. RECOMENDACIONES	36
7. REFERENCIAS	37
8. ANEXOS	44

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
Tabla 1. Valores recomendados de coeficiente de uniformidad.....	8
Tabla 2. Tratamientos para el estudio de la agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).	12
Tabla 3. Descripción de las características de la unidad experimental.	12
Tabla 4. Descripción de las características de la parcela neta.	12
Tabla 5. Modelo del análisis de la varianza (ADEVA), en parcelas divididas.....	13
Tabla 6. Cuadrados medios del ADEVA, promedios y coeficientes de variación para la variable altura de planta, como respuesta a los factores en estudio.	18
Tabla 7. Promedios de altura de planta para cada fecha por tratamiento.....	19
Tabla 8. Resultados del ADEVA para la variable número de vainas por planta	20
Tabla 9. Análisis de la varianza para el número de granos por vaina.....	21
Tabla 10: Prueba LSD al 5% y promedios realizados durante el análisis al factor 1 métodos de aplicación del agua, factor 2 niveles de fertilización y su interacción para las variables altura de planta, porcentaje de sombre, número de vainas por planta y número de granos por vaina....	23
Tabla 11. Prueba LSD al 5% y promedios realizados durante el análisis al factor 1 métodos de aplicación del agua, factor 2 niveles de fertilización y su interacción en la variable bulbo húmedo.	24
Tabla 12. Prueba de diferencia mínima significativa 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.	24
Tabla 13. Resultados del ADEVA para la variable porcentaje de sombreo.....	25
Tabla 14. Promedios de porcentaje de sombreo tomados por tratamiento según avanza el crecimiento del cultivo.....	26
Tabla 15. Resultados del ADEVA para la variable bulbo húmedo	27
Tabla 16. Resultados del ADEVA para la variable uniformidad de emisión del agua	29
Tabla 17. Análisis de la varianza (ADEVA) aplicado para la variable uniformidad de distribución de fertilizantes.....	30
Tabla 18. Cálculo de la productividad del agua en el cultivo de fréjol arbustivo.....	33
Tabla 19. Tabla resumen de los resultados obtenidos en la investigación.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1. Curva de crecimiento para el efecto de la aplicación de los métodos de riego con dos tipos de fertilización sobre la altura de la planta.....	19
Figura 2. Número de vainas por planta registrado en los diferentes tratamientos.	21
Figura 3. Número de granos por vaina registrado en los cuatro tratamientos.....	22
Figura 4. Porcentaje de sombreo en dos etapas del cultivo bajo el efecto del factor métodos de aplicación del agua.....	25
Figura 5. Porcentaje de sombreo bajo la influencia del factor niveles de fertilización en etapa de desarrollo.....	26
Figura 6. Porcentaje de sombreo durante el ciclo del cultivo de fréjol.	27
Figura 7. Influencia del factor métodos de aplicación del agua en el bulbo húmedo.....	28
Figura 8. Respuesta mostrada por el diámetro del bulbo húmedo en cada tratamiento.	28
Figura 9. Valores de las medias obtenidas para la uniformidad de emisión de agua.	29
Figura 10. Valores en promedio obtenidos de la uniformidad de distribución de fertilizantes.	30
Figura 11. Volumen de agua aplicado al cultivo de fréjol arbustivo según el método de aplicación del agua.....	31
Figura 12. Comportamiento de la humedad a través del riego por goteo	31
Figura 13. Rendimiento obtenido por tratamiento para el cultivo de fréjol arbustivo.	32
Figura 14. Relación Beneficio/costo y Tasa de rentabilidad (TR) del experimento al segundo año	33

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
Anexo 1: Esquema de experimento en campo y distribución de los tratamientos.....	44
Anexo 2. Pruebas de normalidad Saphiro wilk aplicada a las diferentes variables.....	44
Anexo 3. Contenido de Nitrógeno, fosforo y potasio obtenido de los resultados del análisis de suelo realizado antes de la siembra.....	44
Anexo 4. Contenido de Nitrógeno, fosforo y potasio obtenido de los resultados del análisis de suelo realizado al final del ciclo del cultivo	45
Anexo 5. Resultados del análisis de suelo realizado en el área de estudio al finalizar el ciclo del cultivo.....	45
Anexo 6. Análisis económico en resumen para el cultivo de fréjol arbustivo (<i>Paseolus vulgaris</i> L.) con dos método de riego por goteo y dos niveles de fertilización al primer año.....	45
Anexo 7. Análisis económico en resumen para el cultivo de fréjol arbustivo (<i>Paseolus vulgaris</i> L.) con dos método de riego por goteo y dos niveles de fertilización con proyección al segundo año.	45
Anexo 8. Fotografías de la investigación.	46

ABREVIATURAS

CADET:	Centro Académico Docente Experimental la Tola.
CE:	Conductividad Eléctrica (dS m^{-1}).
CIAT:	Centro Internacional de Agricultura Tropical.
CV:	Coeficiente de Variación.
DBCA:	Diseño de Bloques Completos al Azar.
F.V:	Fuentes de Variación.
F100%:	Dosis de fertilización al 100%.
F50%:	Dosis de fertilización al 50%.
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
GL:	Grados de libertad.
IICA:	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
IMTA:	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
INEC:	Instituto Nacional de Estadística y Censos.
INIAP:	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
MAG:	Ministerio de agricultura y ganadería.
m.s.n.m:	Metros sobre el nivel medio del mar.
pH:	Potencial hidrógeno.
PVC:	Polivinilo.
RC:	riego por goteo convencional.
RP:	riego por goteo por pulsos.
SIAR:	Sistema de Información Académica Rosarista.
SINAGAP:	Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.
UD:	Uniformidad de Distribución (%).
UE:	Uniformidad de Emisión (%).
V:	Volumen (ml).

TÍTULO: Agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo en el CADET, 2018.

Autor: Segundo Wladimir Alomoto Panoluisa

Tutor: Randon Stalin Ortiz Calle

RESUMEN

El riego por goteo permite alcanzar una alta eficiencia en el uso del agua y de los fertilizantes, así como mejores rendimientos en los cultivos. El objetivo fue evaluar la agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo, para ello se utilizó un diseño experimental de parcela dividida con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, siendo los tratamientos: T1 (RC y F100%); T2 (RCy F50%); T3 (RP y F50%) y T4 (RP y F100%). Se midió la altura de la planta, número de vainas por planta, número de granos por vaina, el bulbo húmedo, el porcentaje de sombreo y la uniformidad de distribución del agua y de los fertilizantes. Los principales resultados son: i) T1 obtuvo los mejores promedios de altura y porcentaje de sombreo; ii) T3 obtuvo un mayor promedio de número de vainas/planta y el mayor bulbo húmedo; iii) T4 obtuvo mayor número de granos/vaina; iv) la uniformidad de distribución del agua fue alta, yv) la uniformidad de distribución de los fertilizantes fue alta. Conclusiones principales: el riego por pulsos permitió obtener un mayor diámetro del bulbo de humedecimiento, un mayor número de vainas por planta y un mayor número de granos por vaina.

PALABRAS CLAVE: AGRONOMÍA DEL RIEGO / RIEGO POR GOTEO / BULBO HÚMEDO / PORCENTAJE DE SOMBREO/ UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA Y DE LOS NUTRIENTES.

TITLE: Drip irrigation agronomy in beans crop in the CADET, 2018.

Author: Segundo Wladimir Alomoto Panoluisa

Tutor: Randon Stalin Ortiz Calle

ABSTRACT

Drip irrigation lets to achieve a high efficiency of usage of water and fertilizers as well as better crop yields. The objective of the study was to evaluate the drip irrigation agronomy in beans crop, for this purpose, the experimental design of divided plot with four treatments and four repetitions was used, the treatments were: T1 (RC and F100%); T2 (RC and F50%); T3 (RP and F50%) and T4 (RP and F100%). The variables measured were plant height, number of pods per plant, number of grains per pod, the wetting bulb, the crops shading percentage and the distribution uniformity of water and fertilizers. The main results were: i) T1 obtained the best average plant height and percentage of shading; ii) T3 obtained a higher average number of pods per plant and the largest wetting bulb; iii) T4 obtained a greater number of grains per pod; iv) the water distribution uniformity was high and v) the fertilizer uniformity distribution was high. The main conclusion: drip pulse irrigation produced larger diameters of the wetting bulb, a greater number of pods per plant as well as a great number of grains per pod.

KEY WORDS: IRRIGATION AGRONOMY / DRIP IRRIGATION / WET BULB / HAT PERCENTAGE / WATER AND NUTRIENT DISTRIBUTION UNIFORMITY.

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del trabajo de graduación cuyo título es “**Agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo en el CADET, 2018**” presentado por el señor **Segundo Wladimir Alomoto Panoluisa**, previo a obtención del título de Ingeniero Agrónomo, certifico haber revisado y corregido el ABSTRACT para el trabajo de Grado, aprobado el mismo, después de realizadas las observaciones por los miembros del tribunal, por lo que apruebo el mismo, para el empastado final.

M.Sc. Randon Stalin Ortiz Calle
DOCENTE-TUTOR

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la agricultura utiliza el 11 % de la superficie de la tierra para la producción agrícola y el 70% del agua dulce para riego (FAO,2011), en este sentido, el agua es un recurso vital en los distintos procesos productivos, pero con el calentamiento global se ha visto un cambio en su ciclo natural (IPCC, 2014), afectando la disponibilidad de este recurso y los ciclos productivos agrícolas, dependientes en muchos casos de la época lluviosa del año para sembrar (Lopez-Olivari, 2016).

Estos fenómenos afectan a la producción agrícola debido a que a nivel mundial, la mayor superficie sembrada es al temporal, razón por la cual, las cosechas se vuelven más imprevisibles como consecuencia de los cambios en los regímenes de precipitación, ocasionando una baja disponibilidad en la humedad del suelo durante el período vegetativo, reduciendo la absorción de nutrientes con afectaciones en el desarrollo y rendimiento de la planta, situación que se da sobre todo en lugares donde las precipitaciones son insuficientes (FAO, 2011). A pesar de esta situación, el desarrollo de nuevas tecnologías en cuanto a riego ha brindado la posibilidad de producir en condiciones adversas haciendo un uso eficiente del agua (García *et al.*, 1996).

El manejo del agua de riego debe ser altamente eficiente, considerando que este recurso ha sufrido un desgaste a lo largo del tiempo (FAO, 2011). De esta forma la introducción de tecnología y técnicas modernas para la aplicación de riego son una oportunidad de producir de forma eficiente, permitiendo tener un mejor desarrollo agrícola, mejorar rendimientos, disminuir costos y ser más competitivos con el fin de evitar afectaciones a las propiedades del suelo o contaminación del agua subterránea (Calvache, 2002; Espinoza *et al.*, 2016; Rosales & Flores, 2017).

En Ecuador, la aplicación del riego se basa en la disponibilidad de agua mas no en el requerimiento del suelo o planta (Rosales & Flores, 2017). Esto se debe a que el agricultor tiene un criterio único para la toma de decisiones de riego basadas en su experiencia, sin contemplar los avances tecnológicos en eficiencia de riego (Rosales & Flores, 2017). En fréjol es muy común el uso de riego por surcos especialmente en la sierra, debido a que el agricultor busca aprovechar la topografía del lugar para establecer la pendiente de los surcos (Sandoval & Varas, 1989). Sin embargo, este tipo de riego es dificultoso, desperdicia una gran cantidad de agua que se pierde por evapotranspiración, tiene problemas con suelos cuya textura es muy gruesa, es lento y requiere de un elevado uso de mano de obra (Vallecillo, 1999).

Ante esta situación, la alternativa es el uso del riego por goteo, capaz de suministrar a la planta el volumen necesario de agua para cubrir su requerimiento hídrico (Lopez-Olivari, 2016). Además puede mejorar su eficiencia de aplicación al realizarlo por pulsos, lo cual está orientado a mejorar de forma significativa la eficiencia del uso del agua (Romay & Morábito, 2001), que en comparación con el manejo del riego por goteo convencional permite ahorrar hasta un 50 % de agua y fertilizantes, aumentar la producción, mejorar las características morfológicas de la planta y homogenizar la distribución del agua y los nutrientes en el perfil humedecido (Ortiz, 2008).

Respecto del riego por pulsos, en el CADET se realizó un primer ensayo en el cultivo de fréjol encontrándose los siguientes resultados: mayor número de vainas por planta, mayor número de granos por vaina y un mayor diámetro del bulbo húmedo.

La presente investigación estuvo enfocada en estudiar la agronomía del riego por goteo, evaluándose: el efecto de dos métodos de aplicación del agua de riego con dos dosis de fertilización en el cultivo de fréjol, además, se determinó el porcentaje de sombreo generado por el cultivo, el diámetro del bulbo húmedo, la uniformidad de distribución del agua y de distribución de los nutrientes.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El riego

2.1.1. Riego por goteo

Es un método de riego localizado de alta frecuencia utilizado para aplicar el agua de riego, poco a poco se ha ido perfeccionando y tiene una amplia difusión en todo el mundo (Blair, 1979), debido a su alta eficiencia en el uso del agua al reducir las pérdidas por infiltración profunda y escurrimiento superficial (Medina *et al.*, 2005).

En un sistema de riego por goteo se transporta el agua hacia el cultivo a través de una red de tuberías sub superficiales y sale en forma de gotas a través de emisores insertos en dichas tuberías (Valenzuela, 1975).

En este método de riego, el agua se aplica directamente al suelo, gota a gota y los emisores o gateros necesitan cierta presión para funcionar, dicha presión es menor que la aplicada en riego por aspersión (Mendoza, 2013).

El riego por goteo permite el ahorro de agua al reducir las pérdidas por evapotranspiración, mantiene el suelo a capacidad de campo y al ser de alta frecuencia permite un lavado constante de las sales en el suelo (Medina *et al.*, 2005), al suministrar agua en la parte radicular de la planta se evita el gasto de energía buscando nutrientes y se lo aprovecha de mejor forma en el desarrollo y producción por parte de la planta (Valenzuela, 1975).

Por lo general, son sistemas fijos y automatizados que han permitido obtener altos rendimientos, uso de aguas de mala calidad y la aplicación de fertilizantes en conjunto con el riego (Rodríguez *et al.*, 2013). Su eficiencia es mayor en lugares con viento fuerte ya que se reducen las pérdidas de agua por evaporación (Demin, 2014). Esta es una tecnología rentable y sustentable capaz de hacer producir cultivos en cualquier superficie y garantizar la seguridad alimentaria (Mendoza, 2013).

2.1.1.1. Componentes de un sistema de riego por goteo

Los componentes de un sistema de riego por goteo son:

a) Fuente de energía

Es necesaria debido a que se requiere un flujo continuo de agua, evitando pérdidas de energía en el filtrado, tuberías y otros accesorios. En muchos casos la energía requerida se la obtiene de equipos de bombeo o mediante la diferencia de nivel que existe entre la fuente del agua y la parcela de riego, esta se denomina energía potencial (Mendoza, 2013).

b) Cabezal de control

Comprende un conjunto de elementos para tratar, medir y filtrar el agua a su vez comprobar su presión e inyectar los fertilizantes con el agua de riego (Fuentes, 1991). El sistema de filtrado es el principal componente de este cabezal de control (Mendoza, 2013).

Filtrado. En riego por goteo uno de los principales problemas es la obstrucción de la red de distribución de tuberías y de los emisores y si no se eliminan pueden dañar otros dispositivos con elementos móviles (Fuentes, 1991). Uno de los factores es el flujo de aguas de mala calidad y tuberías muy pequeñas, y en los emisores, estos se obstruyen al acumularse partículas minerales, orgánicas o precipitados químicos (Rodríguez *et al.*, 2013).

El tratamiento del agua de riego es importante ya que se busca combatir las obstrucciones causadas por microorganismos o precipitaciones químicas. Para evitar esto todos los sistemas

de riego por goteo tienen un sistema de filtrado, el cual busca retener cualquier partícula contaminante en el interior de una masa porosa en el caso de un filtro de arena o de una superficie filtrante en el caso de un filtro de malla o de anillas (Fuentes, 1991).

Para conseguir un filtrado adecuado del agua de riego, existen diferentes tipos de filtros que se describen a continuación:

- **Filtro de arena.** Tienen forma cilíndrica, en su interior se deposita una capa de 45 cm de arena de basalto y se ubica en el cabezal de control antes de los contadores y válvulas volumétricas ya que estos equipos requieren agua limpia para tener un funcionamiento. En general, existen tres tamaños de arena que se usan: arena fina, media y gruesa con tamaños de 0.4-0.8, 0.8-1.5 y 1.5-3 mm, respectivamente (Fuentes, 1991).

Es utilizado para retener restos orgánicos, algas o pequeñas partículas minerales que son transportadas en el agua de riego (Fuentes, 1991). Estos filtros tienen una alta capacidad de retención, aquí el agua circula bajo cierta presión dejando a su paso cualquier material pesado en el interior del filtro, el proceso pasa por tres acciones distintas: a) tamizado en la capa superior de arena, b) filtrado en profundidad por adherencia y c) sedimentación de partículas (Mendoza, 2013).

El lavado de los filtros es importante para evitar que se produzcan compactaciones o se formen grietas causadas por los materiales retenidos, por esto, es conveniente usar dos filtros de menor capacidad de esta forma el agua filtrada por uno de los filtros se utiliza para limpiar el otro (Mendoza, 2013). En la limpieza se invierte el sentido de circulación del agua (Fuentes, 1991).

- **Filtro de anillas.** Este tipo de filtro es cilíndrico y filtran el agua a través de un conjunto de anillos o ranuras impresas sobre un soporte vertical cilíndrico y poroso, aquí, el agua se filtra a través de los conductos existentes entre los anillos continuos ya que son muy pequeños. La cantidad de filtrado depende del espesor de las ranuras y su efecto es en cierta forma como en el caso del filtro de arena (Mendoza, 2013).

d) Goteros o emisores

Están constituidos por los laterales de riego (Medina *et al.*, 2005) y son los encargados de aplicar el agua a las plantas, en ellos se produce una pérdida de carga hasta tener un cierto caudal de goteo (Fuentes, 1991), esto se da debido a que el agua atraviesa pequeñas secciones en forma de laberinto perdiendo toda la presión de la tubería y la velocidad del agua a la salida es muy pequeña (Rodríguez *et al.*, 2013).

Las cintas trabajan con presiones de hasta 10 metros de columna de agua y pueden emitir caudales de 1 a 2 litros por hora (Medina *et al.*, 2005). En hortalizas, el caudal más usado es el de 2 litros por hora (Fuentes, 1991).

e) Dispositivos de control

Son elementos que permiten la regulación del funcionamiento de las instalaciones de riego (Fuentes, 1991). Entre estos dispositivos se incluyen: manómetros, reguladores de presión o de caudal. Por otro lado, también es conveniente colocar reductores de presión en sitios donde la toma sea alta (Rodríguez *et al.*, 2013).

f) Controlador de riego

Se localiza junto al cabezal de control y se encarga de operar el riego en forma secuencial. Funcionan con válvulas con solenoides conectadas al controlador y a cada válvula de campo por medio de mandos hidráulicos. De esta manera cada válvula inicia y finaliza el riego en función del orden secuencial (Lotta, 2015).

2.1.1.2. Fertirriego

Es un componente de los sistemas de riego a presión modernos como el riego por goteo, esta técnica consiste en la aplicación de fertilizantes disueltos en el agua de riego (SIAR, 2005), además, brinda la oportunidad de maximizar los rendimientos e incluso reducir la polución ambiental (Hagin *et al.*, 2002) al tener una mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes al reducir su uso y disminuir el gasto en estos (Kafkafi & Tarchitzky, 2012).

Con esta técnica se puede controlar fácilmente la parcialización, dosis, concentración y la relación de fertilizantes (Sanchez, 2000). Su principal objetivo es que el flujo de agua del sistema de riego sea aprovechado para transportar los nutrientes que necesita la planta directamente a las raíces de esta forma se optimiza el uso del agua, nutrientes y energía (SIAR, 2005).

Para darle un uso adecuado es importante conocer las características del agua de riego, esto se define con el manejo del cultivo al regar la cantidad suficiente de agua para la absorción y transporte de nutrientes, reducir la salinidad de la rizosfera y equilibrar el balance de nutrientes para manejar de forma adecuada la floración y/o la maduración de los frutos. Además, permite bajar la temperatura del suelo y oxigenar las raíces, es decir, cumplir los denominados objetivos del fertirriego (Salas y Urrestarazu, 2001).

En el Ecuador se tienen alrededor de 570 000 ha de superficie irrigada con goteo, de las cuales más del 10 % han adoptado el uso del fertirriego tanto en invernadero (12.000 has) como a campo abierto (44.000 has).

- **Inyección por venturi.** Este dispositivo tiene forma de T y el mecanismo venturi en su interior aprovecha un vacío que se genera al fluir el agua a través de un pasaje convergente. Este inyector usa la diferencia de presión entre el agua que entra y la que sale por el sistema de riego para inyectar la disolución de fertilizantes (Ferreira *et al.*, 2005).

Los fertilizantes usados en la solución deben seguir ciertos criterios a pesar de existir en un amplio rango, tal es así que se debe considerar entre otros aspectos el tipo de cultivo, la etapa fenológica, la calidad del agua de riego, las propiedades del suelo, la disponibilidad del fertilizante y su precio ya que a pesar de tener mayor facilidad de manejo con fertilizantes líquidos estos son más caros que las fuentes sólidas (Kafkafi, 2005).

Hagin y Lowengart - Aycicegi (1996), mencionan las propiedades adecuadas que conviene tomar en cuenta sobre los fertilizantes que se van a usar en fertirriego, tales como:

- **Forma.** Los fertilizantes solubles son adecuados para el fertirriego, dependiendo de la disponibilidad, precio y conveniencia.
- **Solubilidad.** Alta y completa solubilidad son prerequisites para los fertilizantes usados en fertirrigación, la cual en general aumenta con la temperatura, dependiendo del fertilizante.
- **Interacción entre los fertilizantes en la solución.** Cuando un tipo de fertilizante o más son preparados o mezclados por el agricultor o en la línea de riego, debe chequearse la compatibilidad entre ellos para evitar que se precipiten, evitar que se mezclen soluciones que contengan calcio con otras que contengan fosfatos o sulfatos, el pH en la solución no sea muy ácido o que se produzca un aumento o descenso en la temperatura de la solución madre.
- **pH.** El valor de pH óptimo de la solución nutritiva para cualquier tipo de cultivo varía entre 5,5 y 6,5 unidades, pues a estos valores existe una mayor asimilación de nutrientes por las raíces, se consigue una óptima dilución y estabilidad de la solución nutritiva y se evitan obturaciones por precipitados. Valores demasiado altos de pH disminuyen la disponibilidad del fósforo, hierro y zinc para las plantas.

- **Conductividad eléctrica.** En una disolución madre, la conductividad es mayor cuanto mayor sea su concentración en sales. Así, la conductividad eléctrica en fertirrigación se utiliza para dosificar la cantidad de sales y fertilizantes que se aportan con el riego (SIAR, 2005).

2.1.1.3. Manejo del agua de riego por goteo

A pesar de contar con riego en el sector agrícola es necesario hacer un adecuado manejo del agua de modo que se pueda ser más eficiente en su uso y aumentar la productividad de los cultivos, más aun con los resultados productivos que se ha visto en zonas desérticas o semiáridas que han sido capaces de mejorar su capacidad productiva (Rosales & Flores, 2017).

El manejo del agua de riego permite tener un mejor desarrollo agrícola, mejorar rendimientos, disminuir costos y ser más competitivos esto orientado a la sostenibilidad del negocio agrícola (Espinoza *et al.*, 2016). Lo anterior incluye mantener o aumentar los niveles productivos de los cultivos evitando causar afectaciones a las propiedades del suelo o contaminación del agua subterránea (Calvache, 2002).

2.1.1.4. Aplicación del agua

Muchas veces la aplicación de riego se basa en la disponibilidad de agua mas no en el requerimiento del suelo o planta (Rosales & Flores, 2017). El riego siempre debe reducir las pérdidas de agua y lo más importante es su eficiencia, ya que es al agua disponible para la planta después de un riego en relación a la cantidad total de agua que se aplicó (Demin, 2014).

Por ello, es necesario que la aplicación del riego sea eficaz, que se suministre solo lo necesario para cubrir el requerimiento hídrico del cultivo y para darle un uso sustentable y productivo, al optimizar su manejo debe haber una estrecha relación entre los componentes suelo, agua, planta y clima (Lopez-Olivari, 2016).

2.1.1.5. Evapotranspiración real

La evapotranspiración real es la suma de la pérdida de agua que se produce por transpiración a través de la planta y la evaporación del agua desde la superficie del suelo, y depende de factores como el clima, suelo, las características de la planta y el manejo agronómico (Comision Nacional de Riego, 1999). En la evaporación el agua se pierde desde el suelo a la atmósfera y en la transpiración el agua se pierde desde la planta igualmente hacia la atmósfera (AGROCABILDO, 2008).

A medida que el cultivo se desarrolla el agua deja de perderse por evaporación desde el suelo y comienza a perderse por transpiración, sin embargo, se mantiene el balance en la evapotranspiración y la cantidad que se requiere para reponerla. Dicha pérdida por evapotranspiración se denomina necesidad de agua del cultivo (FAO, 2006).

La evapotranspiración real de un cultivo se da en condiciones óptimas de manejo, fertilización y riego con lo cual se logra maximizar su producción dependiendo del clima y cuando no se dan estas condiciones requiere una corrección (FAO, 2006). Esta limitante, puede ser superada con la utilización de sistemas de riego localizados como es el riego por goteo que se puede establecer con éxito en suelos de topografía irregular, de poca profundidad y baja fertilidad (CNR, 1999).

En riego por goteo, el agua se pierde en cantidades muy reducidas ya que se moja una superficie muy reducida en relación a otros sistemas de riego, pero la pérdida por transpiración es mayor ya que la temperatura del suelo aumenta más cuando este permanece seco y no húmedo.

El verdadero ahorro de agua se observa ya que se eliminan las pérdidas por conducción hacia la planta, percolación o escorrentía (Fuentes, 1991).

2.1.1.6. Equipos para monitoreo de humedad en el suelo

Se debe monitorear la humedad del suelo con el objetivo de tomar mejores decisiones en cuanto a programación de riego, para así tener una mayor eficiencia y evitar pérdidas de agua.

Los métodos para medir la humedad en el suelo pueden ser directos e indirectos (Enciso *et al.*, 2007). El método directo es el gravimétrico, este es el estándar contra el cual se calibran los métodos indirectos y se realiza recolectando muestras de suelo a las cuales se determina el contenido de humedad en base a la diferencia entre su peso seco y fresco. El volumen de agua se multiplica por la densidad aparente (Enciso *et al.*, 2007).

Los métodos indirectos son en su mayoría instrumentos calibrados en base al método gravimétrico y describen a continuación:

- **La Sonda de Neutrones.** Contiene una fuente radioactiva que envía cierta cantidad de neutrones rápidos del tamaño de un átomo de hidrógeno. Cuando los neutrones chocan con los átomos de hidrógeno del agua se vuelven lentos y con la ayuda de una sonda se mide la cantidad de neutrones rápidos y lentos (Martin, 2017). Se crea un número de impulsos eléctricos por unidad de tiempo que se registra automáticamente y se relacionan de forma lineal con el contenido volumétrico de agua en el suelo (Enciso *et al.*, 2007).
- **Bloques de yeso y sensor Watermark.** Con estos instrumentos, para medir la cantidad de agua se usa la resistencia al paso de la corriente eléctrica que puede darse entre dos electrodos colocados en el suelo, por tanto entre más agua exista más baja es la resistencia ya que el agua es un conductor de electricidad (Martin, 2017). En el caso del sensor Watermark el rango que mide en la tensión de humedad va desde 0 a 199 centibares (Enciso *et al.*, 2007).
- **Tensiómetro.** Está compuesto por un tubo de plástico lleno de agua y cerrado herméticamente, equipado en la parte superior con un manómetro de vacío y en la parte inferior con una capsula de cerámica porosa, se introduce en el suelo a unos 20-30 cm de profundidad y cuando registra valores de 0 indica suelos saturados, por el contrario el valor aumenta en suelos secos (Enciso *et al.*, 2007).
Estos instrumentos miden con el vacuómetro la intensidad de la fuerza con la que el suelo retiene el agua y se da a medida que el suelo se seca y empieza a succionar agua a través del bulbo de cerámica de la columna de agua del tensiómetro (Martin, 2017). Este instrumento fue usado en la investigación y su modo de acción se describe en un capítulo posterior.
- **Los instrumentos TDR.** Aquí, el agua en el suelo afecta la velocidad con la que se propaga un pulso electromagnético enviado al suelo a través de una guía de metal haciéndola más lenta. Se mide el tiempo que le toma viajar a través de la guía de metal hacia el suelo y regresar, y dicho tiempo es transformado a una lectura de humedad en el suelo, de esta forma entre más húmedo este el suelo mayor será el tiempo que tarde la sonda en realizar el recorrido a través de la guía metálica (Martin, 2017).

2.1.2. Riego por pulsos

En este método, el agua se aplica de forma intermitente pudiendo regar el doble de superficie en comparación con la aplicación tradicional de cualquier tipo de riego generando una velocidad menor de infiltración del agua (Antuñez *et al.*, 2015). El riego por pulsos permite (Ortiz, 2008):

- Aprovechar las ventajas de la capilaridad del suelo para controlar el movimiento del agua y los fertilizantes por difusión.
- Oxigenar permanentemente la solución del suelo para favorecer la respiración de las raíces de las plantas.

- Mantener en el suelo un contenido de humedad alto para satisfacer la demanda evaporativa del aire, reducir el estrés hídrico en las plantas y uniformizar la distribución de los nutrientes en la zona humedecida.
- Reducir el potencial osmótico generado por los fertilizantes para aumentar el agua disponible para las plantas y evitar salinizaciones de tipo temporal.
- Desarrollar una masa radicular extensa, para incrementar la capacidad y la eficiencia de absorción del agua y de los nutrientes, mejorar la salud, vigorosidad y resistencia de las plantas al ataque de enfermedades, podas, heladas, etc. (Israelí, 2004).
- Regar y fertilizar de acuerdo a las necesidades de las plantas, por medio de un monitoreo continuo y en tiempo real de la actividad del sistema radicular (Israelí, 2004).

Por tal razón, la oportunidad para que el agua avance es mucho menor en riego por pulsos que en riego convencional, esto produce una baja infiltración y por tanto una menor percolación profunda, encontrando de esta forma mejores ventajas de riego (USDA-SCS, 1986).

2.1.2.1. Ventajas del riego por pulsos

- El agua se distribuye en el horizonte superficial.
- Los fertilizantes se distribuyen mejor en suelo humedecido permanentemente.
- Permite oxigenar la zona radicular en cada riego.
- Permite un mayor crecimiento radicular.
- No forma charcos en el suelo humedecido por el gotero.

Adicional a esto Romero (2019), indica que el riego por pulsos presenta mejores beneficios que el riego convencional, reduciendo hasta en un 50% el volumen de agua aplicado y obteniendo plantas con buenas características morfológicas y altos rendimientos.

2.2. Agronomía del riego

2.2.1. Bulbo húmedo

Es el volumen de suelo humedecido por un emisor y adopta la forma de bulbo cuando el agua cae gota a gota en el suelo y se mueve en forma horizontal y vertical (Rodas & Cisneros, 2000). Moya (2009), lo describe como puntos aislados de riego que no se solapan, que se mueven de forma vertical por la gravedad y horizontal por la textura del suelo adoptando una forma de bulbo o cebolla.

El bulbo es importante ya que es la zona en que se desarrollan las raíces y dependiendo del tipo de suelo y porosidad, el agua se infiltra con mayor facilidad (Ortiz, 2008). El bulbo húmedo debe alcanzar en plantas hortícolas hasta el 70% de la superficie sombreada y una profundidad que alcanza la profundidad de la raíz, para mantener el tamaño del bulbo se suministra una dosis de riego igual a las necesidades de la planta (Fuentes, 1991).

La forma y el tamaño del bulbo dependen de tres factores:

a) La textura del suelo

La textura es muy influyente, debido a que facilita la infiltración del agua a través del suelo (Mendoza, 2013), de esta forma, en suelos pesados es más lenta y el bulbo adopta una forma achatada mientras que en suelos ligeros la velocidad de infiltración es mayor y el bulbo adopta una forma alargada (Moya, 2009).

b) El caudal de cada emisor

Es aquel que indica cuando el agua empieza a fluir por un emisor y se forma un pequeño charco, a la vez que el suelo empieza a absorber agua en toda la superficie del mismo (Fuentes, 1991).

Rodas & Cisneros (2000), mencionan que a mayor caudal del gotero corresponde una mayor superficie del charco y por lo tanto, un bulbo más extendido en forma horizontal.

c) El tiempo de riego.

Cuando se incrementa el tiempo de riego, la profundidad del bulbo aumenta, sin embargo, apenas aumenta en sentido horizontal suponiendo que el caudal del emisor sea constante (Fuentes, 1991).

También el exceso de agua podría perderse sin aumentar la superficie humedecida, por esta razón se debe escoger el caudal del emisor en función de la textura del suelo (Moya, 2009). Otros aspectos que resalta Moya (2009), pueden influir en la forma del bulbo húmedo son: la pendiente, presencia de una capa impermeable o la heterogeneidad del suelo.

2.2.2. Porcentaje de sombreo

El porcentaje de sombreo es la fracción de la superficie del suelo sombreada por la cubierta vegetal medida al mediodía, respecto a la superficie total (Jimenez, s.f.) y sirve para medir el efecto del riego localizado y de alta frecuencia, el cual busca disminuir la evaporación e incrementar la transpiración reduciendo el balance de evapotranspiración (ET), por tanto, cuanto menor es el área sombreada mayor es la reducción de la evapotranspiración (Pizarro, 1996).

La evapotranspiración es un proceso entre el sistema suelo-planta y se relaciona con las necesidades hídricas del cultivo (Burman y Pochov, 1994). La relación entre la evapotranspiración y el porcentaje de suelo sombreado por el cultivo muestra que, en las etapas más sensibles del cultivo, crecimiento vegetativo, prefloración, floración y llenado de vainas puede llegar a ser de hasta el 100% (Centeno *et al.*, 2019).

2.3. Uniformidad de distribución de agua y nutrientes

Son parámetros utilizados para evaluar la uniformidad con la que se distribuye el agua y los fertilizantes en el riego por goteo, de esta forma con una mayor uniformidad se alcanza mayor eficiencia en el manejo del agua y de los fertilizantes, lo que permite tener producciones más rentables (Ortiz, 2008). Según Pizarro (1996), la uniformidad puede disminuir debido a la calidad de los materiales del sistema de riego, las diferencias de presión en los distintos niveles de pendiente o por el desgaste del sistema por el uso.

Tabla 1. Valores recomendados de coeficiente de uniformidad.

Emisores	Pendiente	Coeficiente de uniformidad	
En cultivos anuales con mangueras o cintas	Uniforme (<2%)	0,70-0,80	0,80-0,90
	Uniforme u ondulada (>20%)	0,65-0,75	0,70-0,85

2.3.1. Uniformidad de emisión de agua

Permite medir la cantidad de agua suministrada al suelo y determinar si fue aplicada uniformemente a lo largo del sistema de riego y se expresa en porcentaje, por ello, se considera que en un rango de uniformidad superior al 90% es excelente, entre 70 y 90% es buena e inferior al 70% es considerada como deficiente. Sin embargo, es imposible tener el 100% de uniformidad ya que durante el transporte del agua por las tuberías y laterales se generan pérdidas de carga por el rozamiento entre el agua y la tubería (Rain Bird Corporation, 2010).

La variación en la uniformidad puede afectar el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo (Pizarro, 1996), ya que al disminuir pueden existir en campo plantas con sobrieriego y otras con déficit de riego con lo cual la eficiencia de aplicación del riego también se ve afectada (Lozano, Ruiz, & Gavilan, 2014), por tanto, es común que la uniformidad de emisión disminuya a causa del cambio en la presión del sistema de riego, la variación de los goteros a lo largo del lateral o su taponamiento y las escorrentías hacia áreas más bajas debido a la pendiente (Mizyed & Kruse, 2008).

Se recomienda hacer una evaluación de los laterales de riego al menos dos veces durante el ciclo del cultivo, en el caso de cultivos anuales (Bohórquez, Gavilán, & Contreras, 2015).

2.3.2. Uniformidad de distribución de nutrientes

Es la aplicación uniforme de fertilizantes en conjunto con el riego, por ello es fundamental que la preparación del fertilizante se realice en un tanque de mezclado y que la inyección al agua de riego no tenga variación alguna. La uniformidad se mide en la CE y su valor en porcentaje no debe ser inferior al 95% a lo largo del sistema de riego y para esto es recomendable realizar de forma periódica el lavado de los laterales y evitar taponamientos en los emisores por acumulación de sales o partículas que transporta el agua de riego (Ortiz, 2008).

3. MATERIALES Y METODOS

La presente investigación se llevó a cabo en el Centro Académico Docente Experimental la Tola (CADET), perteneciente a la facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador.

3.1. Ubicación política del sitio experimental

Provincia:	Pichincha
Cantón:	Quito
Parroquia:	Tumbaco
Sitio:	Centro Académico Docente Experimental "La Tola" (CADET)
Institución:	Universidad Central del Ecuador

3.2. Ubicación geográfica del sitio experimental

Longitud:	78°22'00"W
Latitud:	00°13'46" S
Altitud:	2465 m.s.n.m
Fuente:	Romero, 2019

3.3. Condiciones agroclimáticas del sitio experimental

Temperatura promedio anual:	16,2 °C
Precipitación promedio anual:	860 mm
Humedad relativa promedio:	75%
Evapotranspiración potencial:	62,5 %
Fuente:	INAMHI, 2015

3.4. Características edáficas

pH:	8,2 Ligeramente alcalino
Materia orgánica del suelo (MOS):	2,43% bajo
Cultivo anterior:	Fréjol
Fuente:	Calva & Espinoza, 2017

3.5. Materiales e infraestructura

3.5.1. Infraestructura

- Caseta de riego
- Computadora
- Sistema de riego por goteo
- Filtros de grava

3.5.2. Herramientas de campo

- Azadón, rastrillo
- Motocultor
- Bomba de mochila

3.5.3. Insumos de campo

- Semillas de fréjol variedad INIAP 481 Rojo del valle
- Nitrato de amonio
- fosfato mono potásico
- Nitrato de potasio
- Nitrato de calcio
- Nitrato de magnesio
- Ned combi (Fe, Mg, Mn, Cu, Zn, B + aminoácidos)

3.5.4. Regulación de pH

- Ácido fosfórico

3.5.5. Porcentaje de sombreo

- Lápiz
- Cuaderno de campo
- Lamina de acetato cuadriculada
- Marcador
- Cámara

3.5.6. Bulbo húmedo

- Bolígrafo
- Cuaderno de campo
- Cinta métrica

3.5.7. Uniformidad de emisión de agua y fertilizantes

- Vasos con un volumen de 100 ml
- Jeringas (20 ml)
- Bolígrafo
- Cuaderno de campo

3.5.8. 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.

3.6. Metodología

3.6.1. Factores en estudio

El estudio de la agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol tuvo dos factores en estudio: El factor 1(métodos de aplicación de agua) aplicado en dos formas (8-15 cbar y 4-5,5 cbar) y el factor 2 (niveles de fertilización) aplicado en dos dosis distintas de fertilización (100% y 50%).

Factor 1		Factor 2	
Métodos de aplicación del agua		Niveles de fertilización	
RC	Riego por goteo convencional (8 – 15 centibares)	F100	35 - 17,5 - 30 (Kg ha^{-1}) de NPK
RP	Riego por goteo por pulsos (4 - 5.5 centibares)	F50	17,50 - 8,75 - 15 (Kg ha^{-1}) de NPK

3.6.2. Tratamientos

Están determinados por la interacción de los dos factores en estudio (métodos de aplicación de agua y niveles de fertilización) dando como resultado cuatro tratamientos con cuatro repeticiones descritos en la Tabla 2.

Tabla 2. Tratamientos para el estudio de la agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.).

Tratamientos	Interacción	Descripción
1	RCF100	Riego por goteo convencional + 100% dosis recomendada
2	RCF50	Riego por goteo convencional + 50% de la dosis recomendada
3	RPF50	Riego por goteo por pulsos + 50% de la dosis recomendada
4	RPF100	Riego por goteo por pulsos + 100% de la dosis recomendada

3.6.3. Unidad experimental

En la Tabla 3 se detallan las características que tiene la unidad experimental y su disposición en campo se muestra en el Anexo 1.

Tabla 3. Descripción de las características de la unidad experimental.

Características de la Unidad experimental	
Número de surcos	20
Longitud del surco	10 m
Distancia entre surcos	0,40 m
Distancia entre plantas	0,20 m
Superficie unidad experimental	80 m ² (10m x 8 m)
Número de tratamientos	4
Número de repeticiones	4
Total de parcelas	16
Superficie total experimental	1280 m ² (80m ² x 16 parcelas)

3.6.3.1. Parcela neta

La parcela neta está conformada de 12 surcos centrales de 8 metros de longitud y separados a una distancia de 0,40 m, dando una superficie total de 38,40 m². La densidad de siembra fue de 480 plantas. El área omitida en la parcela neta corresponde al efecto borde, se eliminó 1.0 metros a cada extremo de la parcela neta y se eliminaron 8 surcos, 4 en la parte superior y 4 en la parte inferior de la unidad experimental.

Tabla 4. Descripción de las características de la parcela neta.

Características de la parcela neta	
Número de surcos	12
Longitud del surco	8 m
Superficie parcela neta	38,4 m ²

3.6.4. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas y recibe este nombre (DPD) ya que generalmente se asocia uno de los factores a unidades experimentales de mayor tamaño y dentro de cada parcela principal se identifican “subparcelas” o parcelas de menor tamaño sobre las cuales se asigna al azar el segundo factor (UNLP, 2018). En el Anexo 1 se presenta el croquis del diseño experimental de parcelas divididas.

a) Esquema del análisis de la varianza (ADEVA)

Tabla 5. Modelo del análisis de la varianza (ADEVA), en parcelas divididas.

F de V	Gl
Total	Trat – 1
Riego	a – 1
Error A	a(r-1)
Fertilizante	(b-1)
Riego * Fertilizante	(a-1)(b-1)
Error B	a(r-1)(b-1)
Media	
CV(%)	

a: Tipos de riego

b: Niveles de fertilización

r: Número de repeticiones

b) Análisis Funcional

Con la ayuda del software Infostat (versión estudiantil), se realizó una prueba de diferencia mínima significativa (DMS) al 5%, para el factor 1 (métodos de aplicación del agua) y para el factor 2 (niveles de fertilización) bajo el modelo estadístico designado para el diseño de parcelas divididas. Se utilizó la prueba DMS ya que los niveles de cada factor en estudio son inferiores a cuatro.

Para la interacción riego por fertilización se realizó una prueba de Bonferroni al 5 %, debido a que esta prueba lleva el mismo principio de análisis que la prueba DMS, pero acepta un número mayor de grados de libertad es decir de unidades experimentales en estudio, las mismas que pueden ser a partir de 10 en adelante.

Análisis de la varianza. Se aplicó este tipo de análisis ya que permite analizar el efecto de una o más variables o categorías en un conjunto de datos (Anónimo, s.f.), en el experimento se aplicó bajo la prueba DMS al 5%.

c) Prueba DMS

La prueba de diferencia mínima significativa (DMS) en el contexto de ADEVA, compara el valor absoluto de la diferencia de cada par de medias con DMS en base al nivel de significancia.

d) Significancia estadística

Es una regla que permite afirmar que la diferencia observada entre dos o más tratamientos o grupos es el resultado del efecto del tratamiento o de la variable de clasificación y no del azar (Fallas, 2012). En estadística, la significancia está dada por el p-valor, cuando este es menor a 0,05 existe diferencia significativa pero cuando es mayor a 0,05 no existe diferencia significativa entre tratamientos.

e) Error experimental

Es la variación natural del material experimental no controlado por el investigador. Este no es un error derivado de la aplicación errónea de técnicas de medición sino simplemente un componente propio del material experimental (Fallas, 2012). En el experimento, los análisis estadísticos realizados fueron al 5% de error experimental.

f) Cuadrados medios

Los cuadrados medios representan una estimación de la varianza de la población, se utilizan para determinar si los términos de un modelo son significativos.

g) Prueba de normalidad de Shapiro wilk

Se usa para indicar que existe normalidad en la distribución de los datos tomados en campo, hecho que se dio ya que el análisis de los valores tomados en campo muestra un p-valor superior a 0,05 y como lo indica Romero (2016) en su artículo “Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal”, con valores superiores a 0,05 en el p-valor se tiene normalidad en la población, lo cual permite analizar cada una de las variables de forma confiable (Anexo 2). Las variables analizadas son: a) altura de la planta, b) porcentaje de sombreo, c) bulbo húmedo, d) número de vainas por planta, e) número de granos por vaina por planta, f) uniformidad de distribución de agua y g) uniformidad de distribución de nutrientes.

3.6.5. Definición de variables

3.6.5.1. Altura de la planta

Se procedió a medir con una cinta métrica la altura de la planta desde el cuello de la raíz hasta el punto más alto del tallo, se midieron 12 plantas de cada repetición.

3.6.5.2. Porcentaje de sombreo

Se procedió a dibujar con un marcador de tiza líquida el contorno de la sombra proyectada por la planta al medio día sobre una lámina de acetato y se calculó el área apoyándose en las cuadrículas de la lámina, al inicio se tomaron las medidas del diámetro (D) de la circunferencia de la sombra proyectada y luego se midió el ancho (A) de la franja sombreada.

3.6.5.3. Bulbo húmedo

Para esta variable se eligieron tres laterales de riego al azar por cada tratamiento y que estén dentro del área de la parcela neta, la toma de datos fue mensual. Con una cinta métrica se realizó un mínimo de tres mediciones del diámetro humedecido por el gotero a lo largo del lateral de riego treinta minutos después de haber proporcionado riego al cultivo.

3.6.5.4. Rendimiento: Número de vainas/planta, Número de semillas/vaina

Se realizó a los 110 dds cuando la planta adoptó un color amarillento y seco. Se realizó de forma manual cortando las plantas en estudio y después arrancando las vainas para contarlas, después el número de granos y por último se midió el contenido de humedad del grano.

3.6.5.5. Uniformidad de emisión del agua

La toma de datos fue al inicio y al final del ciclo del cultivo, se eligieron cuatro laterales de riego: 1, 4, 7, 10 y del mismo modo en cada lateral de riego se eligieron cuatro emisores de agua a lo largo del lateral de riego a los cuales se tomó el volumen de agua que emitieron en un tiempo de dos minutos y con una presión también registrada. Se realizó la prueba dos veces por cada tratamiento.

Después se aplicó la metodología de Lozano, Ruiz, &Gavilán, (2014) tomado de Merrian y Keller (1978), en la cual se determina el promedio del volumen de los goteros (V promedio) y una vez ordenados de forma descendente, se tomó el 25% del número de muestras (cuatro últimas muestras) y se calculó un promedio (V25%), siendo la uniformidad de emisión (UE) igual a:

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

Donde:

UE: uniformidad de emisión (%)

Vpromedio: volumen promedio (ml)

V25%: volumen promedio del 25% de los valores más bajo (ml)

3.6.5.6. Uniformidad de distribución de fertilizantes

La toma de datos se realizó al inicio y al final del ciclo del cultivo con cuatro repeticiones por tratamiento y para ello, de las muestras tomadas para medir la emisión de agua se midió la conductividad eléctrica de la misma.

Se determinó en base a la conductividad eléctrica de las muestras (V promedio) y una vez ordenado de forma descendente, se tomó el 25% del número de muestras (cuatro últimas muestras) y se calculó su promedio (V25%), siendo la uniformidad de distribución (UD) igual a:

$$UD = \frac{CE_{25\%}}{CE \text{ promedio}} \times 100\%$$

Donde:

UD: Uniformidad de distribución

CE promedio: conductividad eléctrica promedio (dS m⁻¹)

CE 25%: conductividad eléctrica promedio del 25% de los valores más bajo (dS m⁻¹)

3.6.6. Manejo del cultivo

3.6.6.1. Muestreo y análisis de suelo

Se realizó un análisis de fertilidad del suelo tomando varias muestras en el área de estudio antes de empezar el experimento, este análisis fue la referencia tomada para determinar la cantidad que se requería para cubrir las necesidades nutricionales del cultivo.

Se tomó las muestras con la ayuda de un barreno a una profundidad de veinte centímetros, se quitó todo tipo de impurezas que puedan influir en los resultados y se tomaron varias muestras en forma de zigzag buscando de esta forma minimizar el efecto de la variabilidad.

3.6.6.2. Preparación del terreno

Para la preparación del terreno se utilizó un motocultor a una profundidad de 0,10 m con el cual se procedió a arar el suelo, se cortó las malezas y se las incorporó, dejando al suelo aflojado y listo para realizar tareas complementarias a su preparación. Después se realizó el diseño de las parcelas, fijación de laterales de riego, se realizó una limpieza de las tuberías y de los laterales de riego y se evaluó el funcionamiento del mismo por períodos cortos antes de la siembra.

3.6.6.3. Trazado de las parcelas experimentales

El área de cada parcela se realizó siguiendo sus características antes mencionadas y el diseño del experimento. Para esta labor el área se delimitó con ayuda de estacas y piola que sirven de guía para diferenciar cada uno de los tratamientos y colocar de forma apropiada los laterales de riego o mangueras en el suelo a una distancia de ochenta centímetros entre cada uno.

3.6.6.4. Siembra

Para la siembra se utilizó semilla de fréjol de la variedad INIAP 581 rojo del valle y se realizó de forma manual, colocando una semilla por golpe a una profundidad de dos a tres centímetros, con una distancia entre plantas de 0,20 m y entre hileras o surcos de 0,40 m estableciendo una densidad de 150 000 plantas por hectárea.

a) Resiembra

Se observó en principio que el porcentaje de germinación del cultivo no pasó del 90 %, ante esto se procedió a resembrar los espacios faltantes entre plantas, colocando una semilla por golpe. Se realizó la resiembra los días 5 y 6 de noviembre de 2018.

3.6.6.5. Volumen de riego

El agua empleada para el riego proviene del sistema de riego Tumbaco. En la parcela experimental, se dispuso de un sistema de riego por goteo localizado provisto de un lateral de riego por cada dos líneas o surcos de fréjol. Se utilizaron laterales de riego de polietileno de 16mm de diámetro exterior y situados entre dos surcos y superficialmente. La cantidad aplicada de agua se midió cada tercer día a través un hidrómetro el cual permite medir el volumen de agua diario que se obtiene restándolo del dato del día anterior. Cada tanque tiene su propio hidrómetro ubicado en la salida del fertirriego a través de la tubería para cada tratamiento.

3.6.6.6. Aplicación del riego

Para la aplicación del riego se utilizó dos tensiómetros ubicados en el área del experimento y enterrados a una profundidad de veinte centímetros, estos registran la tensión de humedad del suelo en tiempo real.

Para el riego por goteo convencional se estableció un rango en la tensión de humedad de 8-15 centibares y cuando esta tensión alcanza el valor más alto se realiza una aplicación de riego de forma automática hasta que la tensión se reduzca hasta los 8 centibares para reponer el agua. El tiempo de riego fue de 18 minutos y la cantidad de agua que se repone es de 2,53 mm día⁻¹ en promedio.

Por otro lado, para el riego por goteo por pulsos, el rango en la tensión de humedad establecida fue de 4-5.5 centibares y de igual forma cuando el valor en la tensión de humedad del suelo alcanzó los 5.5 centibares, el sistema aplica un riego hasta reducir la tensión de humedad hasta los 4 centibares y este riego está programado en 2 minutos.

a) Cortes de riego

Durante los meses de noviembre y diciembre se realizaron varios cortes de riego debido al temporal ocasionado en estos meses, el cual fue con lluvias constantes y en enero debido a la baja en la presión del sistema de riego no se pudo inyectar los fertilizantes.

3.6.6.7. Fertilización

Se realizó por fertirriego en base al régimen de humedad en el suelo indicado por los tensiómetros localizados en campo. El cálculo de los fertilizantes se realizó en base al análisis de suelo y a las recomendaciones encontradas para el cultivo de fréjol. La fertilización no se completó en su totalidad por falta de presión en el sistema de riego.

3.6.6.8. Control fitosanitario

a) Plagas

- En las primeras semanas el cultivo fue afectado por el gusano trozador (*Agrotis sp.*), el cual ataca al tallo y se sitúa en el sistema vascular en donde se alimenta, provocando que se observen tallos débiles, huecos y amarillentos. Además, se observaron algunos individuos de esta especie en estado larval y de pupa.
- Otras plagas observadas en el envés de la hoja fueron el lorito verde (*Empoasca kraemeri*) y mosca blanca (*Bemisia tabaci*) pertenecientes al orden de los hemípteros, estas plagas son vectores de enfermedades por lo que su crecimiento poblacional desmedido aceleró estos procesos de infección y se observó en mayor proporción al comenzar la etapa de floración del cultivo.

b) Enfermedades

- **Antracnosis.** Se observó cierta incidencia de esta enfermedad causada por *Colletotrichum lindemuthianum* en etapa de llenado de la vaina, donde se pudo observar vainas con algunos círculos de color marrón en la parte baja de las plantas.
- **Mosaico amarillo del fréjol (BMSV).** Se observó en menor grado en algunas fases del cultivo, teniendo plantas con hojas con puntos amarillos pero su incidencia se controló a tiempo y sus posibles vectores también. La medida de control usada fue eliminar las plantas que presentaban estos síntomas.

3.6.6.9. Control de malezas

Esta actividad se realizó para evitar competencia por agua, nutrientes o que las malezas sean vectores de enfermedades, esto cuando el cultivo entra en la etapa de envainado o de crecimiento vegetativo. Se programó hacer dos deshierbas, a los 30 y 60 días del ciclo del cultivo. Se utilizaron las siguientes herramientas para la deshierba: Azada, deshierbadora y de forma manual.

3.6.6.10. Cosecha y poscosecha

En la cosechase arrancó las plantas de fréjol desde la raíz, se procedió a arrancar en forma manual las vainas y luego con el desgranado del fréjol.

La cosecha se realizó cuando el contenido de humedad del grano registró un valor cercano al 20% y cuando las vainas están ya lo suficientemente maduras visualmente.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Agronomía del cultivo

4.1.1. Altura de la planta

En el estudio referente a la altura de la planta, se obtuvo un valor medio comprendido entre 56 y 58 cm para todos los tratamientos en estudio. El cultivo presentó un crecimiento uniforme durante la fase de germinación entre los primeros 23 y 38 días del ciclo vegetativo (Tabla 7) y es en donde se empiezan a expresar las primeras diferencias en cuanto a la altura de las plantas.

En la Tabla 6 se muestra el resultado del análisis de la varianza y se observa que para el factor métodos de aplicación del agua con respecto a la variable altura de la planta, este presenta diferencia significativa para la etapa de crecimiento vegetativo y diferencia altamente significativa para la etapa de floración en contraste con la etapa de maduración que mostró un solo rango de significancia, es decir, en campo se tuvo diferencias pero estadísticamente los dos tipos de riego no afectaron el crecimiento de la planta. Para el factor en estudio niveles de fertilización con respecto a la altura de la planta, el ADEVA no presenta diferencia significativa en ninguna de las fases fenológicas del cultivo y para la interacción entre el método de aplicación del agua y los niveles de fertilización el análisis tampoco muestra diferencias significativas.

Tabla 6. Cuadrados medios del ADEVA, promedios y coeficientes de variación para la variable altura de planta, como respuesta a los factores en estudio.

F de V	Gl	Altura de la planta (cm)		
		Cuadrados medios		
		Altura desarrollo	Altura floración	Altura envainado
Total	15			
Método de aplicación del agua	1	286,46 *	182,25 **	0,03 ^{ns}
Error A	6	33,74	6,83	16,27
Niveles de fertilización	1	94,58 ^{ns}	9,00 ^{ns}	0,86 ^{ns}
Riego * Fertilizante	1	0,77 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Error B	6	22,81	6,95	9,55
Media		29,71	42,79	53,37
CV (%)		16,8	6,16	5,79

F de V: Fuente de variabilidad.

(GL) Grados de libertad.

(*)Diferencia significativa, donde el p-valor es menor a 0,05.

(**) Diferencia altamente significativa donde el p-valor es menor a 0,01,

(ns) Diferencia no significativa donde el p-valor es mayor a 0,05.

Estos resultados muestran que el manejo del agua mediante riego por goteo convencional presenta los mejores beneficios que la aplicación del agua de riego por pulsos hecho que puede estar asociado al efecto positivo de aplicar un volumen mayor de agua, ya que según lo menciona Méndez *et al.* (2007), al tener un incremento en el volumen de agua se puede dar un incremento en la altura de la planta y mayor precocidad.

En campo, en el tratamiento 1 (RCF100) se observó la mayor altura con 57.7cm, esto se puede dar debido a que se aplica un mayor volumen de agua al cultivo como se demuestra en el experimento realizado en fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) realizado por Romero (2019), donde menciona que la altura puede estar influenciada por un mayor volumen de agua aplicada al cultivo. Por otro lado, para los niveles de fertilización se encontró un solo rango de

significancia entre las fases del cultivo siendo estadísticamente similares, sin embargo, en campo se encontró mejor respuesta en los tratamientos 1 y 4 con una fertilización al 100 % de la dosis recomendada, lo que indica el efecto de este factor sobre la altura de la planta.

En la Tabla 7 se observan los promedios registrados para la altura de la planta durante el ciclo del cultivo, encontrando que el tratamiento 1 (RCF100) con un valor promedio de 57,7 cm es el que mayor altura presenta respecto al resto de tratamientos. Resultado similar se presentó en el primer ensayo en el tratamiento 1 (RCF100) con una altura promedio de 61,66 cm en el CADET (Romero, 2019). Contrario a esto se muestra que el tratamiento 3 (RPF50) con una altura promedio de 56.5 cm, es el tratamiento que menor promedio de altura presenta en relación a los otros tratamientos. Este resultado es muy similar al encontrado en el primer ensayo en el tratamiento 3 (RPF100) con una altura promedio de 54,65 cm en el CADET (Romero, 2019).

Tabla 7. Promedios de altura de planta para cada fecha por tratamiento.

Días de desarrollo	Altura de la planta (cm)			
	RCF100	RCF50	RPF50	RPF100
8	3,0	2,9	3,0	2,9
23	7,2	7,1	6,8	7,0
38	18,3	17,4	12,9	16,2
53	36,2	31,7	22,8	30,2
68	47,0	45,3	38,8	43,7
83	53,6	53,1	53,2	53,3
98	57,7	57,0	56,5	57,1

En la Figura 1 se muestra la dinámica de crecimiento para la altura de la planta y se observa que su forma se asemeja a una S oblicua, denominada curva de crecimiento sigmoide según lo indicado por Fogg (1967) y Salisbury & Ross (1994) para diferentes cultivos, las curvas sugieren un crecimiento a partir de los 23 días después de la siembra (Barrasa & Fischer, 2004). Esta dinámica es muy similar en todos los tratamientos excepto el tratamiento 3 (RPF50) y puede estar asociado a que se disminuyó el suministro de agua y de fertilización al 50% para este tratamiento, a pesar de tener como novedades la aplicación incompleta de los fertilizantes por falta de presión en el sistema de riego.

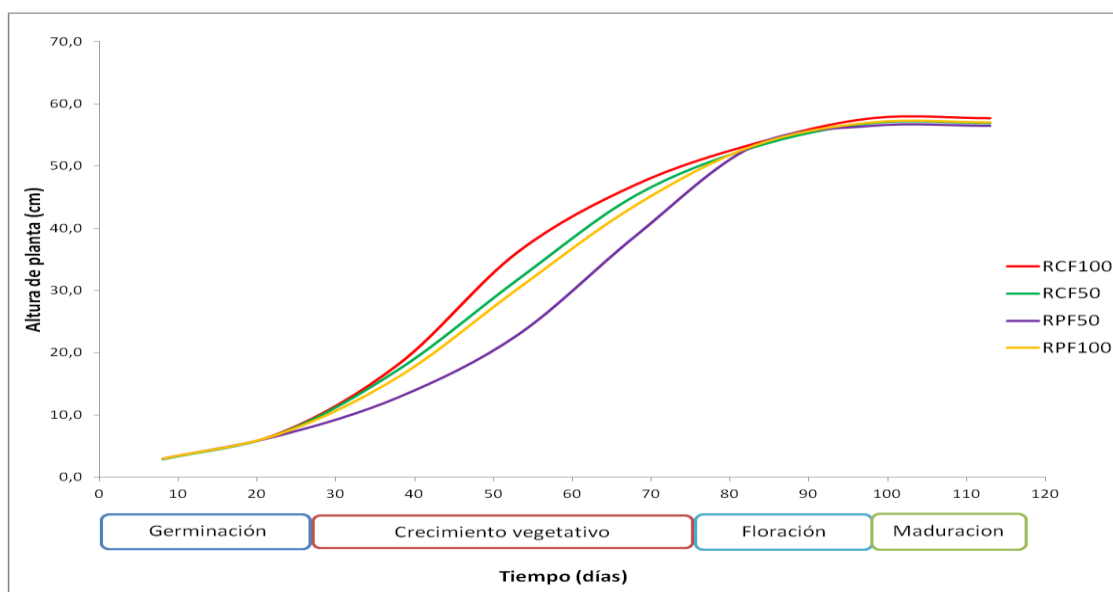


Figura 1. Curva de crecimiento para el efecto de la aplicación de los métodos de riego con dos tipos de fertilización sobre la altura de la planta.

4.1.2. Número de vainas por planta

El ADEVA (Tabla 8) para el número de vainas por planta no muestra diferencia significativa para el factor métodos de aplicación del agua, tampoco para el factor niveles de fertilización y su interacción.

Tabla 8. Resultados del ADEVA para la variable número de vainas por planta

F de V	Gl	Cuadrados medios
		Número de vainas /planta
Total	15	
Riego	1	5,06 ^{ns}
Error A	6	
Fertilizante	1	3,06 ^{ns}
Riego * Fertilizante	1	0,56 ^{ns}
Error B	6	9,15
Media		23,31
CV (%)		12,97

F de V: Fuente de variabilidad.

(GL): Grados de libertad.

(ns): Diferencia no significativa donde el p-valor es mayor a 0,05.

En campo, el resultado del análisis para esta variable indica que el tratamiento 3 (RPF50) con un promedio de 24,50 vainas por planta presentó una mejor respuesta en relación al resto de tratamientos (Figura 3), resultado muy similar al encontrado durante el primer ensayo en el tratamiento 3 (RPF50) con un promedio de 23,56 vainas por planta (Romero, 2019). Estos resultados indican que el manejo del riego por goteo mediante pulsos proporciona mayor beneficio que el riego por goteo aplicado de forma convencional. Esto se debe a que la aplicación de riego por pulsos proporciona pequeñas cantidades de agua para mantener el suelo a capacidad de campo durante las horas críticas del día, lo que reduce el volumen de aplicación como se demuestra en trabajos realizados por Lavin (1984), en viñedos con riego tecnificado, donde demostró que un volumen de agua menor es suficiente para obtener buenos resultados. Al mismo tiempo, la aplicación de riego por pulsos proporciona a más de agua una dosis de fertilizantes que son aprovechados por la planta y que están siendo suministrados constantemente en las cercanías a la raíz, por lo cual, la planta no desperdicia energía buscándolos y la aprovecha de mejor forma para su propia producción (Fuentes, 1991).

En la Figura 2 se observa el comportamiento del número de vainas por planta y muestra una mejor respuesta en el tratamiento 3 (RPF50) con un promedio de 24,5 vainas por planta y con menor respuesta el tratamiento 1 (RCF100) con un promedio de 22,5 vainas por planta.

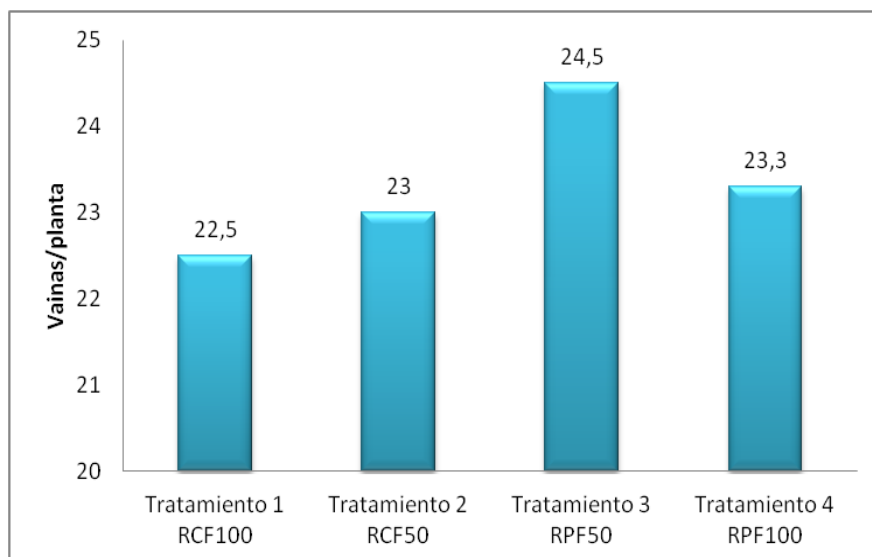


Figura 2. Número de vainas por planta registrado en los diferentes tratamientos.

4.1.3. Número de granos por vaina

El análisis de varianza muestra que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos, para el factor métodos de aplicación del agua y niveles de fertilización, como lo muestra la Tabla 9, con relación a la variable número de granos por vaina.

Tabla 9. Análisis de la varianza para el número de granos por vaina.

F de V	GL	Cuadrados medios
		Granos/Vaina
Total	15	
Riego	1	0.25 ^{ns}
Error A	6	
Fertilizante	1	0.00 ^{ns}
Riego * Fertilizante	1	1.00 ^{ns}
Error B	6	0.17
Media		4.13
CV (%)		9.90

F de V: Fuente de variabilidad.

(GL): Grados de libertad.

(ns): Diferencia no significativa donde el p-valor es mayor a 0,05.

El análisis referente al número de granos por vaina (Figura 3), el mejor resultado se presentó en el tratamiento 4 (RPF100) con un promedio de 4.08 granos por vaina. Resultado similar se encontró en el tratamiento 3 (RPF50) y 4 (RPF100) en el primer ensayo realizado en el CADET. Esto indica que el manejo del riego mediante pulsos tuvo un mejor beneficio que la aplicación convencional y esto se puede asociar a que entre sus beneficios el riego por pulsos brinda oxígeno al suelo hasta en un 16% (Vásquez, 2019), y según Slowik *et al.* (1979), las plantas sometidas a una concentración baja de oxígeno en el suelo, disminuyen el peso total y seco de cada una de sus partes. Resultados similares se han encontrado en el experimento realizado por Armijos & Ordoñez (2019), en fréjol con riego aplicado por pulsos donde se obtienen buenas respuestas entre más pulsos se aplique.

Contrario a esto se encontró que el tratamiento 3 (RPF50) con un promedio de 3,75 vainas por planta es el que menor respuesta mostró, en contraste con el resultado encontrado en el tratamiento 2 (RGF50) del primer ensayo realizado en el CADET. En este caso se puede apreciar que posiblemente fue la forma de aplicar la fertilización y no el método de aplicación del agua lo que incidió en el bajo número de granos por vaina, algo similar a lo encontrado en el ensayo realizado por Guerra & Guerrero (1995), donde la fertilización no muestra respuesta significativa, pero en las observaciones en campo se determinó que el mal manejo de la dosis de fertilizante influye en el rendimiento.

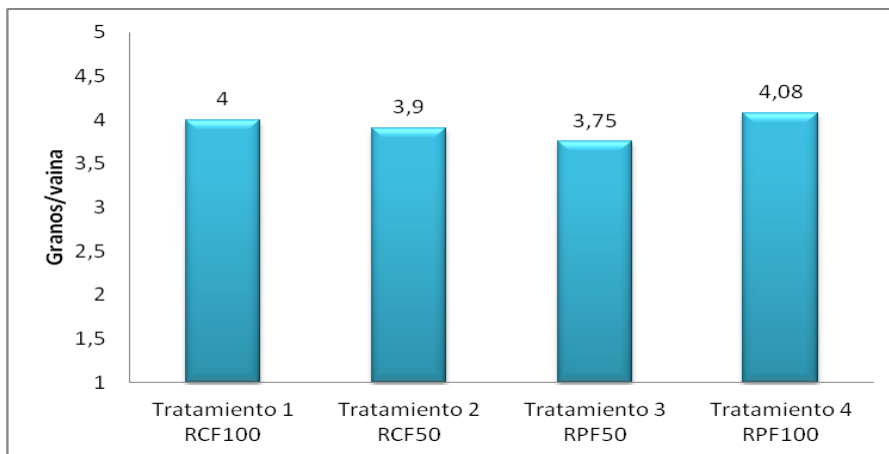


Figura 3. Número de granos por vaina registrado en los cuatro tratamientos.

Tabla 10: Prueba LSD al 5% y promedios realizados durante el análisis al factor 1 métodos de aplicación del agua, factor 2 niveles de fertilización y su interacción para las variables altura de planta, porcentaje de sombre, número de vainas por planta y número de granos por vaina.

Factores en estudio	Altura desarrollo	Altura floración	Altura envainado	Sombreo desarrollo	Sombreo floración	Sombreo envainado	Vainas por planta	Granos por vaina
Métodos de aplicación del agua								
R100 Riego por Goteo convencional	33,94 a	46,16 a	53,33 a	42,97 a	75,25 a	86,35 a	22,75 a	4,25 a
R50 Riego por goteo por pulsos	25,48 b	39,45 b	53,41 a	44,92 a	69,26 b	82,51 b	23,88 a	4,00 a
Niveles de Fertilización								
100% de la dosis recomendada	32,14 a	43,54 a	53,60 a	45,69 a	74,10 a	85,37 a	22,88 a	4,13 a
50% de la dosis recomendada	27,28 a	42,04 a	53,14 a	42,20 a	67,41 b	83,50 a	23,75 a	4,13 a
Interacción(Método de aplicación del agua + Niveles de fertilización)								
RCF100	36,15 a	47,03 a	53,60 a	46,23 a	74,43 a	86,16 ab	22,50 a	4,00 a
RCF50	31,73 a	45,30 ab	53,60 a	45,14 a	70,08 a	86,55 a	23,00 a	4,50 a
RPF50	28,13 ab	40,05 ab	53,23 a	43,61 a	64,75 a	84,57 ab	24,50 a	3,75 a
RPF100	22,83 b	38,78 b	53,05 a	40,80 a	73,78 a	80,45 b	23,25 a	4,25 a

Diferentes letras en una columna significan diferencia estadística.

Tabla 11. Prueba LSD al 5% y promedios realizados durante el análisis al factor 1 métodos de aplicación del agua, factor 2 niveles de fertilización y su interacción en la variable bulbo húmedo.

Factor en estudio	Bulbo húmedo
Métodos de aplicación del agua	
R100 Riego por Goteo convencional	27,58 b
R50 Riego por goteo por pulsos	29,81 a
Niveles de Fertilización	
100% de la dosis recomendada	28,52 a
50% de la dosis recomendada	28,87 a
Interacción(Método de aplicación del agua + Niveles de fertilización)	
RCF100	27,90 b
RCF50	27,26 b
RPF50	30,48 a
RPF100	29,15 ab

Diferentes letras en una columna significan diferencia estadística

Tabla 12. Prueba de diferencia mínima significativa 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	ueaf1	ueaf2	Udf
Métodos de aplicación del agua			
Riego por goteo convencional	95,73	94,26	89,75
Riego por pulsos	91,81	93,57	90,02

uea: Uniformidad de emisión de agua en la fecha

udf: Uniformidad de distribución de fertilizantes

4.2. Agronomía del riego

4.2.1. Porcentaje de sombreo

Esta variable está relacionada directamente con la evapotranspiración real del cultivo en base a la sombra que proyecta el follaje del cultivo, en este sentido, a medida que aumenta el desarrollo del cultivo, el porcentaje de sombreo se incrementa produciendo una mayor área de sombra, disminuyendo el proceso de la evaporación del agua desde la superficie del suelo. El estudio de esta variable muestra un promedio en el porcentaje de sombreo entre 92 y 96% al finalizar el ciclo del cultivo, los valores se presentan en la Tabla 14.

El análisis estadístico realizado para esta variable se presenta en la Tabla 13 donde muestra que para el factor métodos de aplicación del agua no tuvo significancia en la fase de desarrollo con respecto al porcentaje de sombreo.

Tabla 13.Resultados del ADEVA para la variable porcentaje de sombreo

F de V	Gl	Porcentaje de sombreo		
		Cuadrados medios		
		Fase de desarrollo	Fase de floración	Fase de maduración
Total	15			
Riego	1	15.15 ^{ns}	35.70 *	59.06 *
Error A	6	3.92	3.00	8.79
Fertilizante	1	48.55 ^{ns}	178.89 *	13.99 ^{ns}
Riego * Fertilizante	1	2.93 ^{ns}	21.90 ^{ns}	20.39 ^{ns}
Error B	6	16.87	18.08	4.59
Media		43.95	70.76	84.46
CV(%)		9.35	6.01	2.54

F de V: Fuente de variabilidad.

(GL) Grados de libertad.

(*)Diferencia significativa, donde el p-valor es menor a 0,05.

(ns) Diferencia no significativa donde el p-valor es mayor a 0,05.

Sin embargo, los dos tipos de riego tuvieron valores significativos para las fases de floración con un 72,25% para el riego convencional y del 69,26% para el riego por pulsos; en la fase de maduración con un 86,23% para el riego convencional y del 82,52 % para el riego por pulsos (Figura 4) lo que indica una mejor respuesta de esta variable con la aplicación de riego convencional en relación a la aplicación del riego por pulsos, respuesta que también la reporta Ledesma (2012), en tabaco con varias formas de aplicación de riego y donde se ha encontrado mejor respuesta al aplicar un mayor volumen de riego .

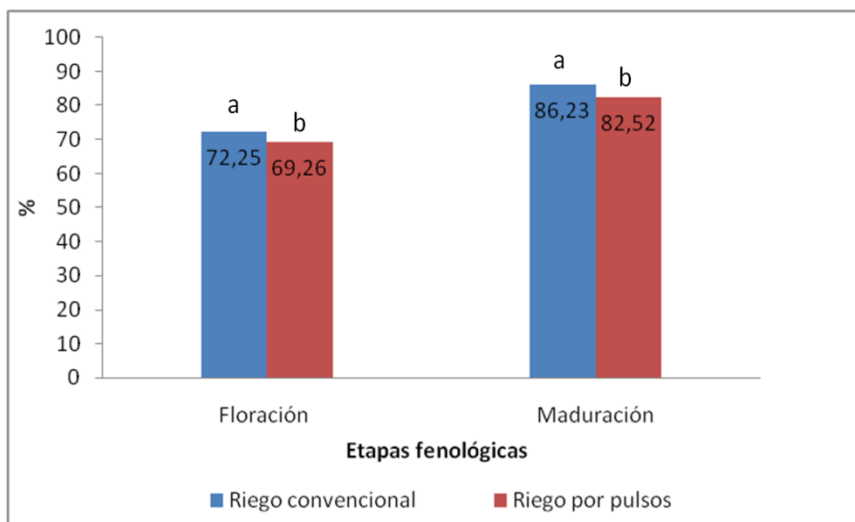


Figura 4. Porcentaje de sombreo en dos etapas del cultivo bajo el efecto del factor métodos de aplicación del agua

Para el factor niveles de fertilización solo se encontró significancia en la etapa de floración en el tratamiento 1 (RC100) con la dosis al 100 % de fertilizantes (Figura 5). Esto demuestra el efecto de este factor sobre el porcentaje de sombreo como lo reporta (Díaz *et al.*, 2007) en maíz con diferentes niveles de fertilización, donde menciona el efecto positivo de la aplicación de fertilizantes sobre el área foliar. Por otro lado, el análisis estadístico no muestra un valor significativo para la interacción de los factores en estudio, factor 1 métodos de aplicación del agua y factor 2 niveles de fertilización con respecto a la variable.

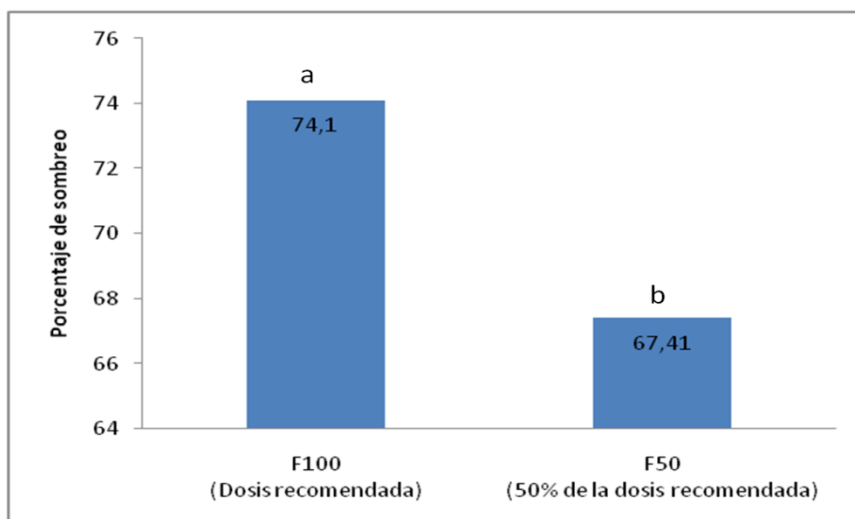


Figura 5. Porcentaje de sombreo bajo la influencia del factor niveles de fertilización en etapa de floración.

El promedio registrado para el porcentaje de sombreo (Tabla 14) muestra al tratamiento 1 (RCF100) con un valor promedio de 95,06 % como el tratamiento que mejor respuesta presentó respecto al resto de tratamientos. Resultado similar se presentó en el primer ensayo, pero en el tratamiento 4 (RPF100) con una media de 99,26 en el porcentaje de sombreo en el CADET (Romero, 2019). Estos resultados demuestran que el manejo del agua a través de riego convencional presenta mejores beneficios que la aplicación de riego por pulsos, esto se puede dar debido a una aplicación mayor de volumen de agua que según lo mencionado por (Alvez *et al.*, 2005), la reposición del 100% del agua evapotranspirada ocasiona un mejor crecimiento vegetativo y reproductivo de las plantas. En otros estudios realizados por Ferreira *et al.* (2006), se menciona que, el área foliar presenta una mayor respuesta con un riego adecuado que al omitir el requerimiento necesario de riego, respuesta encontrada en la presente investigación en el tratamiento 1.

En contraste con lo anterior, se observa que el tratamiento 3 (RPF50) con un promedio de 92,24 en el porcentaje de sombreo es el tratamiento que menor promedio de sombreo presenta. Este es un resultado similar al presentado en el primer ensayo en el tratamiento 3 con una media de 98,15 en el porcentaje de sombreo en el CADET. Esto demuestra los inconvenientes de aplicar riego por pulsos con relación a esta variable, por tanto, los resultados pueden estar asociados al número de pulsos aplicados y volumen aplicado durante cada pulso y según Escobar (2003), con un número mayor de pulsos, el suelo se puede saturar en distintas profundidades causando un estado de estrés alrededor de la parte radicular de la planta.

Tabla 14. Promedios de porcentaje de sombreo tomados por tratamiento según avanza el crecimiento del cultivo.

Días de desarrollo	Porcentaje de sombreo (%)			
	RCF100	RCF50	RPF50	RPF100
38	45,14	40,80	43,61	46,23
53	74,42	70,08	64,75	73,78
68	86,16	86,54	80,45	84,57
98	95,06	94,41	92,24	94,54

En la Figura 6 se muestra el incremento del porcentaje de sombreado en función del ciclo vegetativo del cultivo y se observa que los tratamientos 1 y 4 con fertilización al 100% de la dosis recomendada tuvieron la mejor respuesta durante todo el ciclo del cultivo y por el contrario, en los tratamientos 2 y 3 con fertilización al 50% de la dosis recomendada se observa un comportamiento retardado en las primeras semanas, pero a medida que avanza el ciclo el cultivo muestra una mejor respuesta hasta casi los 60 días en donde el cultivo encuentra un equilibrio en todos sus tratamientos y por ende estos alcanzan sino valores iguales valores muy similares en cuanto al porcentaje de sombra que tienen respecto al tratamiento 1 con el mayor porcentaje de sombreado.

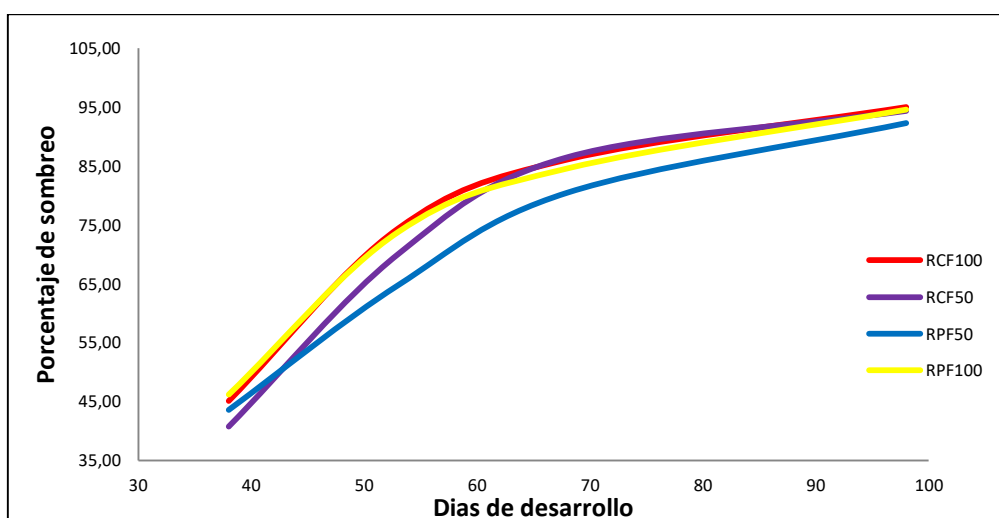


Figura 6. Porcentaje de sombreado durante el ciclo del cultivo de fréjol.

4.2.2. Bulbo húmedo

Esta variable permite determinar el alcance de la superficie mojada por el sistema de riego y su forma depende de la forma de aplicación del riego, de esta forma influye también en el crecimiento radicular de las plantas que puede ser superficial o profundo dependiendo de cómo se forme el bulbo.

Para el análisis de la varianza (ADEVA) se encontró diferencias estadísticas altamente significativas (Tabla 15) para el factor 1 métodos de aplicación del agua con respecto a la variable en estudio.

Tabla 15. Resultados del ADEVA para la variable bulbo húmedo

F de V	Gl	Cuadrados medios
		Bulbo húmedo
Total	15	
Riego	1	20,00 **
Error A	6	
Fertilizante	1	0,47 ns
Riego * Fertilizante	1	3,89 ns
Error B	6	0,74
Media		28,69
CV(%)		3,02

F de V: Fuente de variabilidad.

(GL) Grados de libertad.

(**) Diferencia altamente significativa donde el p-valor es menor a 0,01,

(ns) Diferencia no significativa donde el p-valor es mayor a 0,05.

Esta diferencia significativa indica que el riego por pulsos tuvo un mayor efecto en el diámetro del bulbo de humedad (Figura 7) con un 29,81% con relación al riego convencional con un 27,58%. Así lo demuestra en su trabajo Apaza (2013), quien menciona que el bulbo de humedad puede ser mayor cuando se prolonga el tiempo de riego y en riego por pulsos su crecimiento es horizontal.

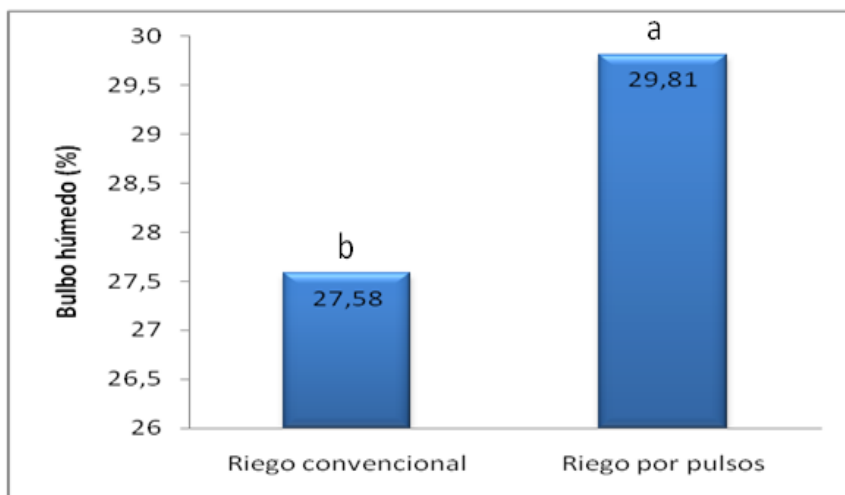


Figura 7. Influencia del factor métodos de aplicación del agua en el bulbo húmedo.

Para el factor 2 niveles de fertilización no se encontró diferencias significativas, por lo tanto, este factor no es influyente para esta variable. En cuanto a la interacción de los factores en estudio tampoco existió diferencia significativa.

Como se observa en la Figura 8, el tratamiento 3 (RPF50) es el que mejor respuesta presentó para esta variable con un diámetro de 43,22 cm respecto a los otros tratamientos. Resultado similar se presentó en el primer ensayo en el tratamiento 3 con diámetro de bulbo húmedo que registra un valor promedio de 61,66 cm en el CADET (Romero, 2019). Estos resultados muestran que el manejo del agua de riego por pulsos ocasiona un mayor porcentaje de bulbo húmedo en relación al riego por goteo convencional, esto se comprueba por su forma de aplicación del agua ya que prolonga el tiempo de riego de forma intermitente durante el día y según lo reportado por Mujica *et al.* (2012), en su experimento en caña de azúcar con riego subsuperficial menciona que la forma de aplicación del agua es un factor que influye en el bulbo, algo muy similar a lo expuesto también por Génova *et al.* (2013), quien en su experimento en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con riego por goteo concluye que un factor determinante en el crecimiento del bulbo de humedad es el método de aplicación del agua.

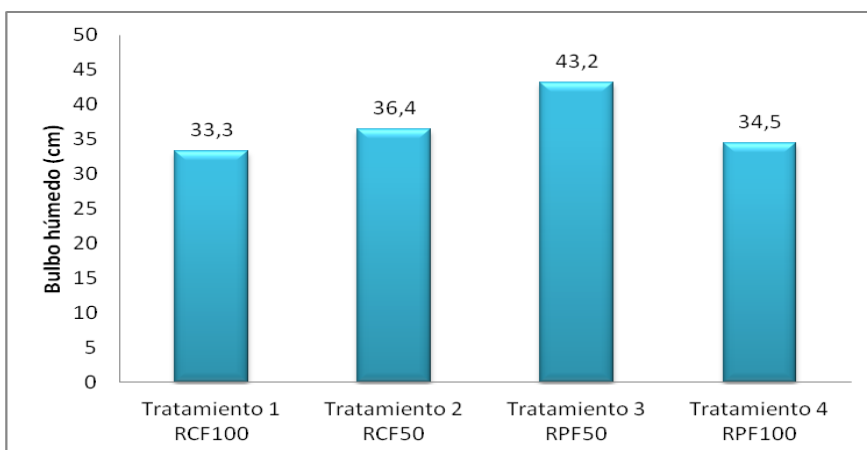


Figura 8. Respuesta mostrada por el diámetro del bulbo húmedo en cada tratamiento.

Contrario a esto, el tratamiento 1 registra el menor valor para el bulbo húmedo con un promedio de 33,31% respecto a los otros tratamientos. Resultado similar se presentó en el primer ensayo en el tratamiento 1 con un bulbo húmedo que registra un valor promedio de 28,26% (Romero, 2019). Estos resultados indican que el manejo del agua a través de pulsos genera una mejor respuesta que la aplicación convencional de riego por goteo.

4.2.3. Uniformidad de emisión de agua

El análisis estadístico (Tabla 16) para esta variable no mostró diferencia significativa para los factores en estudio y para su interacción por tanto no existe diferencia entre los tratamientos respecto a esta variable. A pesar de esto, el promedio de uniformidad es bueno al tener una media de 93,77% y según Rain Bird Corporation (2018), menciona que es imposible tener el 100 de uniformidad debido a las pérdidas de carga que se producen por el rozamiento entre el agua y la tubería, por ello, una uniformidad inferior al 70% es considerada deficiente, entre 70 y 90% es buena y superior al 90% es excelente.

Tabla 16. Resultados del ADEVA para la variable uniformidad de emisión del agua

F de V	GL	Uniformidad de emisión del agua	
		Cuadrados medios	
		uea-1	uea-2
Total	7		
Métodos de aplicación del agua	1	30,77 ^{ns}	0,93 ^{ns}
Repetición	3	6,66	1,17
Error	3	5,04	1,81
Promedio		93,77	93,91
CV (%)		2,39	1,43

F de V: Fuente de variabilidad.

(GL) Grados de libertad.

(ns) Diferencia no significativa donde el p-valor es mayor a 0,05.

En la Figura 9 se pueden observar las medias de la uniformidad de distribución de nutrientes en las dos fechas analizadas observando un mejor comportamiento en los tratamientos con riego por goteo convencional, esto se puede dar debido a que se aplicó un solo riego por día.

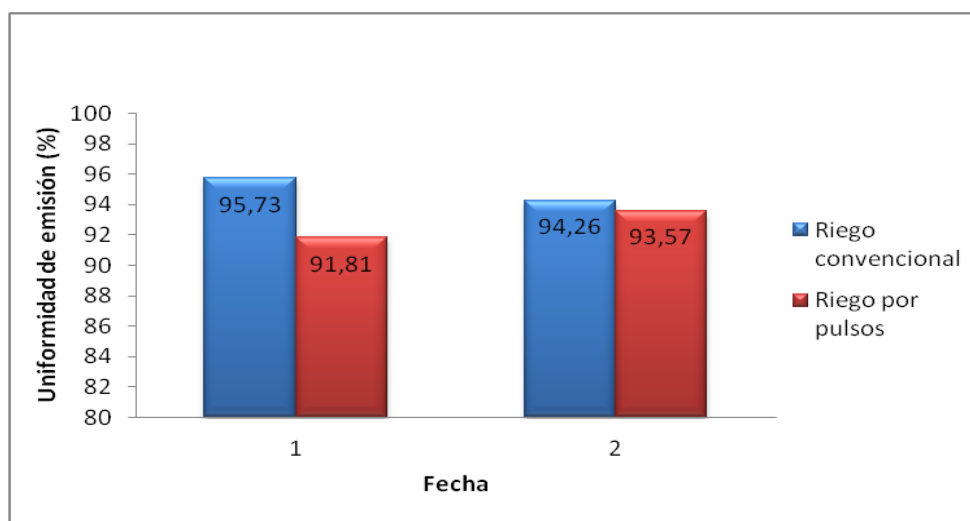


Figura 9. Valores de las medias obtenidas para la uniformidad de emisión de agua.

4.2.4. Uniformidad de distribución de nutrientes

Los resultados obtenidos del análisis estadístico (Tabla 17) no mostraron diferencia significativa tanto en el factor 1 métodos de aplicación del agua como en el factor 2 niveles de fertilización ni en su interacción con respecto a la variable uniformidad de distribución de nutrientes.

Tabla 17. Análisis de la varianza (ADEVA) aplicado para la variable uniformidad de distribución de fertilizantes.

F DE V	GL	Uniformidad de distribución de nutrientes
		Cuadrados medios
		Udn
Total	7	
Métodos de aplicación del agua	1	0,15 ^{ns}
Repetición	3	17,44
Error	3	4,85
Promedio		89,89
CV (%)		2,45

F de V: Fuente de variabilidad.

(GL) Grados de libertad.

(ns) Diferencia no significativa donde el p-valor es mayor a 0,05.

En la Figura 10 se observa las medias para la uniformidad de distribución de nutrientes las cuales están dentro del porcentaje aceptable para dicha variable, con el objetivo de suministrar de forma uniforme la misma cantidad de fertilizantes a través de los emisores de riego.

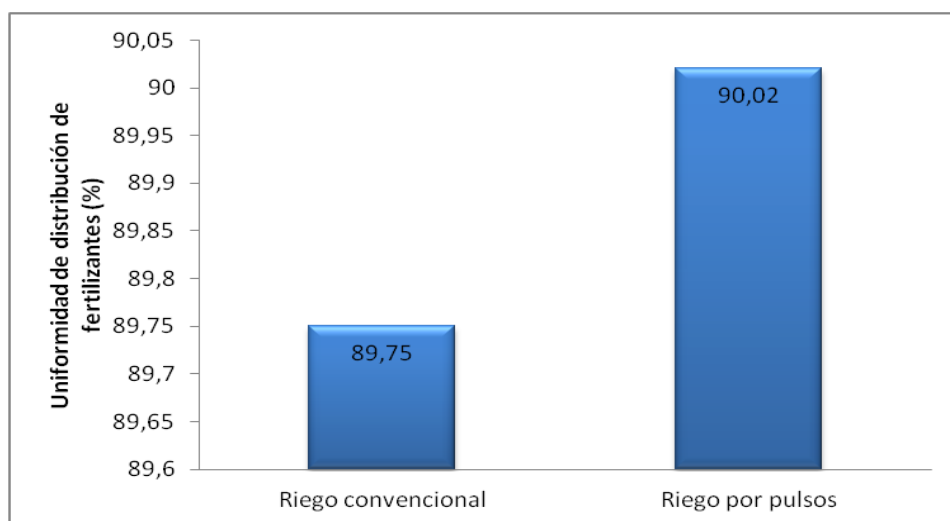


Figura 10. Valores en promedio obtenidos de la uniformidad de distribución de fertilizantes.

4.3. Fertirriego

4.3.1. Volumen de agua aplicado al cultivo

En la Figura 11 se muestra el volumen de agua aplicado en riego por goteo a través de dos métodos durante el período de evaluación en el cultivo. Los tratamientos que consumieron una mayor cantidad de agua fueron el tratamiento 1(RCF100) y 2 (RCF50) con un promedio de 368,6mm mientras que los tratamientos 3 (RPF50) y 4 (RPF100) sumaron un total de 253,7 mm reduciendo en un 31,17% el consumo de agua.

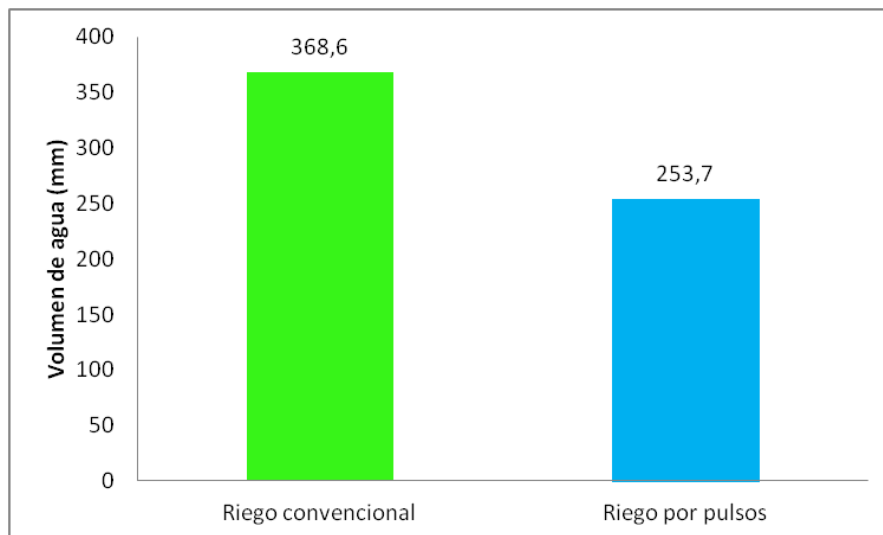


Figura 11. Volumen de agua aplicado al cultivo de fréjol arbustivo según el método de aplicación del agua

4.3.2. Monitoreo de la humedad en el suelo

En la Figura 12 se observa el comportamiento registrado de la tensión de humedad durante 24 horas en un rango de 8-15 centibares (línea roja) y muestra cuando esta aumenta hasta los 15 centibares (150 milibares) y como con una aplicación de riego se reduce hasta 8 centibares (80 milibares) durante el día y un rango más amplio en la tensión de humedad, la frecuencia de riego es menor, lo que genera una menor disponibilidad de agua para la planta al existir pérdidas también por infiltración y escorrentía muy leves. Cabe recalcar que los datos se registran en milibares y para obtener el valor en centibares se divide para 10.

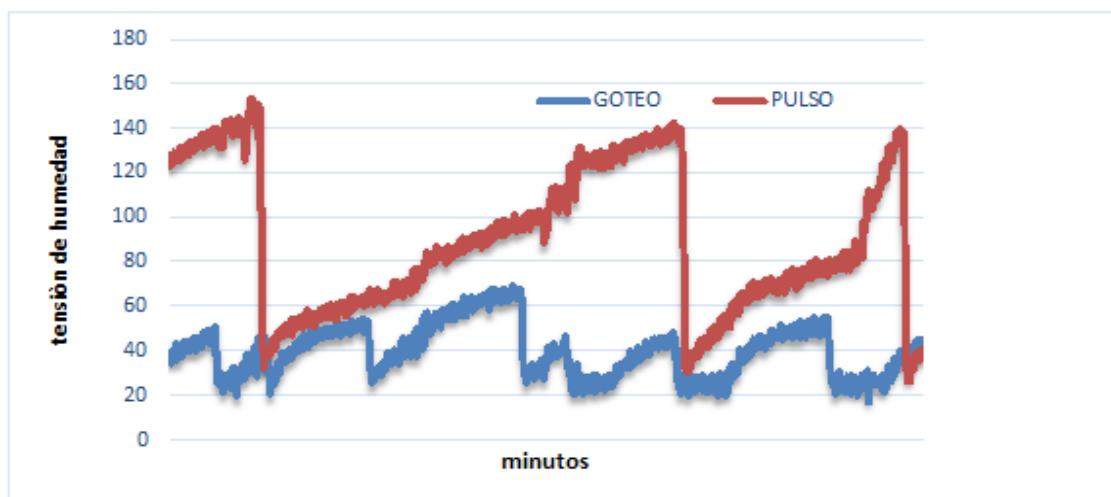


Figura 12. Comportamiento de la humedad a través del riego por goteo y por pulsos.

Por otro lado se observa el comportamiento registrado de la tensión de humedad durante 24 horas en un rango de 4-5,5 centibares (línea azul). Se muestra cuando la tensión de humedad se incrementa hasta los 5,5 centibares (55 milibares) y como con una aplicación de riego se reduce hasta los 4 centibares (40 milibares). Al ser más bajo el nivel en el rango de la tensión de humedad en el suelo, se observa una cantidad mayor de riegos aplicados. Cabe recalcar que los datos se registraron en milibares y para obtener el valor en centibares se divide para 10.

4.4. Rendimiento del cultivo

En la Figura 13 se observa el rendimiento promedio obtenido por los cuatro tratamientos al finalizar el ciclo del cultivo, encontrando que el tratamiento 4 con un rendimiento de $2,18 \text{ t ha}^{-1}$ es el que presentó una mejor respuesta; resultado similar se presentó en el primer ensayo con un rendimiento de $3,5 \text{ t ha}^{-1}$ en el CADET (Vásquez, 2019). Estos resultados muestran que el manejo del agua de riego por pulsos presenta una mayor ventaja que la aplicación convencional del agua, la cual puede estar asociada con una mayor disponibilidad de oxígeno en la solución del suelo, permitiendo que la planta presente un mejor rendimiento.

Por otro lado, en el riego por pulsos se determinó que el bulbo de humedecimiento es superficial y distribuido horizontalmente, mientras que en el riego convencional el bulbo de humedecimiento fue más profundo. De la misma forma se determinó que en riego por pulsos el número de vainas por planta es mayor que en el riego convencional, caso similar a la respuesta encontrada en el número de granos por vaina. Adicional a esto, se encontró que en el riego convencional hubo mejor respuesta del porcentaje de sombreo a diferencia del riego por pulsos, resultado similar se encontró también para la altura de la planta.

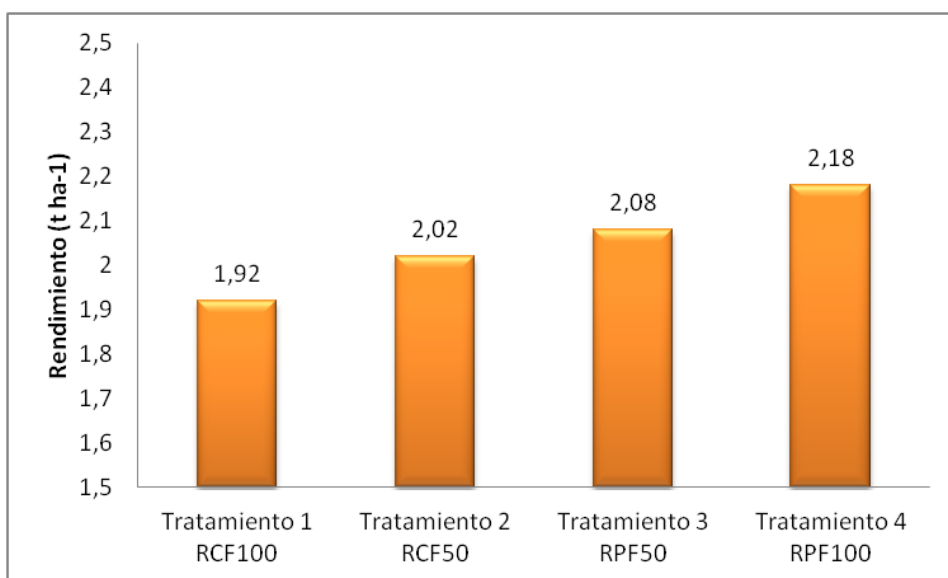


Figura 13. Rendimiento obtenido por tratamiento para el cultivo de fréjol arbustivo.

4.4.1. Productividad del agua

Se ha realizado el cálculo de la productividad del agua debido a que es un parámetro que permite conocer el rendimiento del cultivo por unidad de agua consumida y el valor se expresa en Kg m^{-3} (Molden, 1997).

$$\text{Productividad del agua} = \frac{\text{Rendimiento (Kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{agua aplicada (m}^3\text{)}}$$

Fuente: Molden (1997).

Según Molden *et al.* (2003), citado por Gonzales *et al.* (2015), la productividad del agua es un parámetro de utilidad cuando se la compara en diferentes partes del mismo sistema de riego. En este caso, las diferentes partes están definidas por los tratamientos y permite diferenciar que tratamiento tuvo mejor respuesta. Por tanto, este es un elemento que sirve como medio de control para generar un uso más eficiente del agua en el riego (Gonzales *et al.*, 2015).

La productividad del agua se presenta en la Tabla 18 donde se observa los valores más altos en los tratamientos 3 (RPF50) y 4 (RPF100) con $0,69 \text{ kg m}^{-3}$ y $0,73 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente. Esto demuestra que la aplicación del riego por goteo a través de pulsos es más eficiente y disminuye el volumen de agua aplicado con un mejor valor en la productividad del agua en relación a la aplicación convencional cuyos tratamientos 1 (RCF100) Y 2 (RCF50) presentaron valores menores de productividad del agua con $0,32 \text{ kg m}^{-3}$ y $0,34 \text{ kg m}^{-3}$.

En el trabajo realizado por Felicita *et al.* (2014), se establecieron valores en un rango de $0,6 \text{ kg m}^{-3}$ y $1,91 \text{ kg m}^{-3}$ de productividad de agua y dentro de la presente investigación estos valores se han encontrado en mayor proporción en la aplicación del riego por goteo a través de pulsos, por lo tanto, esto demuestra el beneficio en cuanto a eficiencia de aplicar el riego por pulsos. Esto fundamenta la importancia de realizar un manejo adecuado de los recursos para de esta forma poder garantizar la producción agrícola de una forma óptima y eficiente (Alvarez, 2011).

Tabla 18. Cálculo de la productividad del agua en el cultivo de fréjol arbustivo.

Tratamientos	Área neta (m^2)	Agua aplicada por tratamiento (mm)	Rendimiento (Kg ha^{-1})	Agua aplicada ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Productividad (Kg m^{-3})
1	320	309,67	1920	3096,7	0,62
2	320	327,53	2020	3275,3	0,62
3	320	196,34	2080	1963,4	1,06
4	320	203,05	2180	2030,5	1,07

4.5. Análisis económico

En la figura 14 se observan los valores obtenidos para la relación beneficio/costo de cada uno de los tratamientos, siendo el mejor el tratamiento 4 con una relación B/C de 1,87, seguido del tratamiento 1 con una relación B/C de 1,84 mientras que el tratamiento 2 tuvo una relación B/C de 1,73 y finalmente el tratamiento 3 con 1,43.

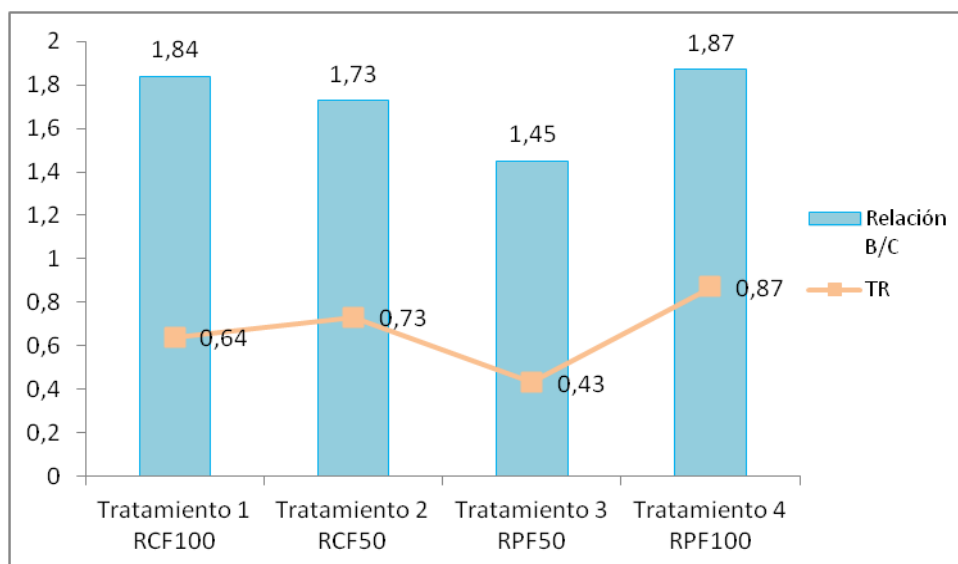


Figura 14. Relación Beneficio/costo y Tasa de rentabilidad (TR) del experimento al segundo año.

Tabla 19. Tabla resumen de los resultados obtenidos en la investigación.

Variable Tratamiento	Altura de planta	Vainas/ planta	Granos/ vaina	Porcentaje de sombreo	Bulbo húmedo	Uea	Udf	Discusión
1 (RCF100)	(1*)	ns	ns	(1*); (2*)	ns	ns	Ns	El factor 1 aplicado en la forma convencional, tiene una mayor influencia en el desarrollo morfológico, ya que la planta durante su crecimiento está formando continuamente nuevas moléculas y para ello requiere de agua pero también de nutrientes, que le ayudan a desarrollar y crecer.
	Se muestra diferencia debido a la influencia del factor 1 y según Méndez <i>et al.</i> (2007), la aplicación de un mayor volumen de agua puede ocasionar una mayor altura de la planta.	—	—	Se observa diferencia significativa para los dos factores. Para el factor 1, puede darse debido a la aplicación continua del riego por goteo (Ferreira <i>et al.</i> , 2006) y para el factor 2 debido a su influencia en el metabolismo de la planta.	—	—	—	
2 (RCF50)	Ns	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	En este tratamiento ninguno de los factores incidió para que muestre una respuesta significativa respecto al resto de tratamientos.
	—	—	—	—	—	—	—	
3 (RPF50)	Ns	ns	ns	Ns	(1**)	ns	ns	En este tratamiento el factor 1 incide de forma altamente significativa en el bulbo húmedo, concluyendo que se debe que el espacio poroso del suelo se satura de forma horizontal.
	—	—	—	—	El factor 1 es determinante al evaluar esta variable y ocurre debido a la forma de aplicar el riego por goteo, que al ser por pulsos incrementa el bulbo de humedad.	—	—	
4 (RPF100)	Ns	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	En este tratamiento ninguno de los factores incidió para que muestre una respuesta significativa respecto al resto de tratamientos.
	—	—	—	—	—	—	—	

1: Factor métodos de aplicación de agua; 2: Factor niveles de fertilización; (*) Diferencia estadística significativa; (ns) Diferencia estadística no significativa: (Uea) Uniformidad de emisión de agua; (Udn) Uniformidad de distribución de nutrientes.

5. CONCLUSIONES

En las variables agronómicas se encontraron los siguientes resultados: En altura de la planta, el tratamiento 1 (RCF100) fue el que mostró una mejor respuesta con un promedio de 57,7 cm, mientras que en el número de vainas por planta, el tratamiento 3 (RPF50) presentó la mejor respuesta con un promedio de 24,5 vainas por planta y finalmente en el número de granos por vaina, el tratamiento 4 (RPF100) presentó los mejores resultados con un promedio de 4,08 granos por vaina. Esto demuestra que el riego por pulsos presenta mejores beneficios que la aplicación convencional del riego, con un mayor número de vainas y granos por planta. Esto se debe al suministro adicional de oxígeno para la respiración de la planta que proporciona el riego por pulsos, influyendo de forma positiva en las fases del cultivo y el rendimiento. Por otro lado para la altura de la planta se encontró una mejor respuesta con el riego convencional debido a un mayor volumen de agua aplicado.

En cuanto al bulbo húmedo, el tratamiento 3 (RPF50) fue el que mostró una mejor respuesta con un promedio de 43,22 cm y contrario a esto el tratamiento 1 (RCF100) presentó una baja respuesta con un promedio de 33,31 cm. Esto indica la ventaja del riego por pulsos debido a que favorece el crecimiento de las raíces sobre todo en la parte superficial del suelo, lo cual es un beneficio puesto que no se pierde energía por parte de la planta en busca de nutrientes o agua y más bien se la utiliza para la producción y engrosamiento de las vainas. Por otro lado, en cuanto al porcentaje de sombreado se observó una mejor respuesta en el tratamiento 1 (RCF100) con un promedio de 95,06 %, algo que contrasta con lo observado en el tratamiento 3 (RCF50) con un promedio de 92,24 %. Por tal razón, la aplicación de un mayor volumen de agua permite incrementar la tasa de transpiración en la planta y por ende un mayor desarrollo del área foliar de la planta, produciendo una mayor área sombreada.

La uniformidad de emisión de agua se mostró de mejor manera en el riego por goteo convencional con un 94,26 %, mientras que la uniformidad de distribución de nutrientes fue mejor con riego por pulsos con un 90,02 %. Los altos porcentajes de uniformidad indican el buen funcionamiento del sistema de riego; sin embargo, se observa que se han reducido las uniformidades de distribución del agua, debido a los sólidos presentes en el agua de riego y los fertilizantes precipitados los cuales ocasionan taponamientos en los goteros.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda dar continuidad a la investigación y como opción aumentar la medición de variables como la distancia entre nudos, el número de hojas por planta, peso fresco y seco de la planta y de sus partes y volver a medir otras como la longitud de la raíz, esto brindará una mejor visión del efecto de los factores en estudio sobre la morfología de la planta. Adicional a esto es recomendable analizar como variable el porcentaje de incidencia de plagas y enfermedades ya que debido a las condiciones climáticas existentes durante la investigación propiciaron un ambiente favorable para el desarrollo de estos elementos y por tanto no se sabe cuál es su efecto sobre el rendimiento del cultivo.

Se debe hacer uso de la información generada en esta investigación con una orientación inclusiva haciendo uso del extensionismo y que la información pueda ser mostrada a quienes más lo requieren, así como también dar mayor importancia al manejo del agua ya que es un recurso muy importante a nivel mundial y que merece toda la importancia del caso.

7. REFERENCIAS

- AGROCABILDO. (2008). *Evapotranspiración Penman- Monteith*. Tenerife.
- Aidar, H. (2003). Cultivo de frijol.
- Alvez, J., Da Silva, C., Ribeiro, R., Da Silva, T., & Folegatti, M. (2005). Crecimiento de plantas jovens de limeira ácida 'Tahiti' sob lâminas de irrigação. *Engenharia Agrícola*.
- Antúnez, A., Carvallo, E., & Otárola, J. (2011). *Uso de sensores de capacitancia para el monitoreo del agua en el suelo*. Arica.
- Antúnez, A., Vidal, M., Felmer, S., & Gonzales, M. (2015). *Riego por pulsos en maíz grano*.
- Apaza, Y. (2013). *"determinación del bulbo húmedo con goteros de diferente caudal en dos suelos, LA MOLINA -LIMA y VIRU-TRUJILLO*. La Molina.
- Arcos, J., & Rojas, D. (2019). *Recomendaciones para la producción de grano de frijol biofortificado en Colombia*. Cali.
- Arias, J., Rengifo, T., & Jaramillo, M. (2007). *Buenas prácticas agrícolas en la producción de frijol voluble*. Antioquia.
- 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*. Loja.
- Barrasa, F., & Fischer, G. (2004). Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle de Sinu medio, Colombia. 22(1).
- Basantes, E. (2015). *Manejo de cultivos andinos en el Ecuador*. Quito: Autor.
- Blair, E. (1979). *Riego por goteo*. Costa Rica.
- Bohórquez, J., Gavilán, P., & Contreras, J. (2015). Análisis de la uniformidad del riego en cultivos de fresa. *Agricultura*, 710-718.
- Cabrera, A., & Reyes, C. (2008). *Guía técnica para el manejo de variedades de granos de frijol*. El salvador.
- Calva, C., & Espinoza, J. (2017). Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana. *Revista Siembra*, 111-120.
- Calvache, M. (2002). Manejo del agua: principios fundamentales. *VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*, (pág. 28). Quito.
- Castillo, J. E., F. Herrera, R. J. López B., L. López B., and E. J. Fernández. (2004). Municipal solid waste (MSW) compost as a tomato transplant medium. *Compost Sci. Util.* 21: 86-92.
- Centeno, E., Rincón, L., & Abadia, A. (2019). *Evaluación de la evapotranspiración y de los coeficientes Kc y su relación con el porcentaje de área sombreada del suelo en un cultivo de brócoli con riego por goteo*. Obtenido de SECH: <http://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2054.%20VI%20Congreso%20Ib%C3%A9rico%20de%20Ciencias%20Hort%C3%ADcolas.%20XII%20Congreso%20Nacional>

%20de%20Ciencias%20Hort%C3%ADcolas/Comunicaciones/Evaluaci%C3%B3n%20de
%20la%20evapotranspiraci%C3%B3n%20y%20de%20l

- CFCPS. (2007). *Sistemas de riego por aspersión familiar en la alta montaña*. Espinar.
- Charles, M., & Burt, P. (2002). Riego por goteo y por micro aspersión para árboles, vides y cultivos anuales. *Vida rural*, 744-760.
- CIAT. (1984). *Morfología de la planta de frijol común*. Cali.
- Cisneros, R. (2003). *Apuntes de la materia de riego y drenaje*. Potosí.
- Comisión Nacional de Riego. (1999). *Programación del Riego*. Obtenido de CIREN: <http://bosques.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/9924/CNR-0287.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Coolidge, P., Walker, W., & Bishop, A. (1982). Advance and runoff-surge flow furrow irrigation. *ASCE Journal of the Irrigation and Drainage Division* , 35-42.
- Cornejo, J. (1991). *Riego superficial de alta eficiencia agronómica*. Santiago.
- Cun, R., Puig, O., Morales, C., & Duarte, C. (2011). Evaluación de la uniformidad del riego por goteo en condiciones de casas de cultivo en explotación. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*.
- Debouck, D., & Hidalgo, R. (1985). Morfología de la planta de frijol común. *Frijol: Investigación Y Promoción*. CIAT, Calí, Colombia. P, 61–68.
- Delgado, H., Pinzón, E., Blair, M., & Izquierdo, P. (2013). Evaluación de líneas de frijol 8Phaseolus vulgaris L.) de retro cruce avanzado entre una accesión silvestre y radical cerina. *U.D.C.A*, 79-86.
- Dell'áamico, J. (2017). Efecto de dos variantes de riego y aplicaciones foliares de pectimorf® en el desarrollo del frijol (Phaseolus vulgaris L.). *Cultrop*.
- Demin, P. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego*. Catamarca.
- Díaz, T., Pérez, N., Páez, F., López, A., & Partidas, L. (2007). Evaluación del crecimiento del maíz (Zea mays L.) en función de dos técnicas de riego y diferentes niveles de nitrógeno. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*.
- Enciso, J., Porter, D., & Peries, X. (2007). *Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego*. Texas.
- Escobar, C. (2003). *Evaluación del riego por pulsos sobre el crecimiento y la productividad en palto (Persea americana Mill) cv. HASS*. Quillota.
- FAO. (2001). *Fréjol*.
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*.
- Felicita, R., Herrera, J., López, T., & Cid, G. (2014). Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4), 21-27.
- Fernández, F., Gepts, P., & López, M. (1986). *Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)*. Retrieved from [38](http://ciat-</p></div><div data-bbox=)

- FernándezGómez, R. (2010). *Riego por aspersión*. Sevilla: Signature ediciones de Andalucía.
- 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 'CrimsonSeedless'. *Pesq. Agropec.*, 1109-1118.
- Flor, M. (1985). Revisión de algunos criterios sobre la recomendación de fertilizantes en frijol. Retrieved from <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/81873/revision-2d5c6644.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fogg, G. (1967). *El crecimiento de las plantas*. Buenos Aires: Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- García, R., Dehogues, E., & Tzenova, L. (1996). *El riego*. Habana.
- García, E. (2009). Guía Técnica Para El Cultivo De Frijol. *IICA-Red Sicta - Cosudde -Asoprol*, (1), 28. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Garver, E., Falconi, E., Peralta, E., & Kelly, J. (2008). Encuesta a productores para orientar el fitomejoramiento de frijol en Ecuador. *Agronomía mesoamericana*, 7-18.
- Genova, L., Andreau, R., Etchevers, P., Zabala, S., Chale, W., Etcheverry, M.,... Salgado, H. (2013). Respuesta productiva del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo cubierta a la distribución de la humedad generada por riego por goteo subterráneo y superficial. *Facultad de Agronomía*, 18-26.
- Guerra, D., & Guerrero, C. (1995). Efecto de cuatro niveles de fertilizantes sobre el crecimiento y rendimiento de cinco variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo el sistema de cero labranza.
- Gianella, T., & Pinzás, T. (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>
- González, B., Torres, E., Giunta, I., Muñoz, J.P., Díaz, G. 2007. Respuestas Campesinas frente a la apertura comercial: Evaluación situacional de la agricultura a nivel de pequeños productores en la zona central de la Costa ecuatoriana. Los Ríos Ecuador. 112p.
- Gonzales Robaina, F., López Seijas, T., & Herrera Puebla, J. (2015). Indicadores de productividad del agua por cultivos y técnicas de riego en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 57-63.
- Guamán, R., & Andrade, C. (2004). *Guía para el cultivo de fréjol en el litoral ecuatoriano*. Guayaquil.
- Hagin, J y A. Lowengart. (1996). " Fertirrigation form in imizing environmental pollution by fertilizers ". *Fert. Res.*, 43:5-7.
- Hernández, J., & López, J. (1977). *El riego por goteo*. Madrid.
- 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

IICA. (2009). *Guía técnica para el cultivo de fréjol*. Boaco.

IMTA. (2010). *Riego por gravedad*. México.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Israelsen, O., & Hansen, V. (1964). *Principios y aplicaciones del riego*. Barcelona: Editorial Reverte.

Jiménez, A. (s.f.). Diseño agronómico. 152-165.

Kafkafi, U., & Tarchitzky, J. (2012). *Fertirrigación una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua*. París.

Keller, J., & Karmeli, D. (1974). Trickle Irrigation Design Parameters. *American Society of Agricultural Engineers*, 17(4), 678–684. <https://doi.org/10.13031/2013.36936>

Lavin, A. (1984). Riego por goteo sobre dos tipos de viñedos c.v.país, en el secano interior de cauquenes y efecto sobre producción y crecimiento de las plantas. *Agricultura técnica*.

Lamo, J. (s.f.). *Métodos de riego*. Obtenido de Fundación suna: <http://fundacionsuna.org/wp-content/uploads/PDF/Jaime-Lamo/MANUAL-M%C3%89TODOS-DE-SISTEMAS-DE-RIEGO.pdf>

Ledesma, F. (2012). *Evaluación del efecto de distintos regímenes de riego como estrategia de riego deficitario controlado en tabaco (Nicotiana tabacum L.)*. Mendoza.

Liotta, M., Carrión, R., Ciancaglini, N., & Olguin, A. (2015). *Riego por goteo*.

López-Olivari, R. (2016). *Conceptos y consideraciones básicas en métodos y programación de riego para optimizar el recurso hídrico*. Temuco.

Lozano, D., Ruiz, N., & Gavilán, P. (2014). Evaluación del campo de cintas de riego por goteo de diferente caudal en un cultivo de fresa. *Agricultura*, (978), 778–781.

MAG. (2016). *Fréjol tierno y seco*. Obtenido de Sistema de información pública agropecuaria: http://sipa.agricultura.gob.ec/biblioteca/boletines_situacionales/2016/fréjol/boletin_situacional_fréjol_2016.pdf

Martin, E. (2017). *Métodos para medir la humedad del suelo para la programación del riego ¿Cuándo?* Tucson.

Martínez, A. M. B., & Martínez, A. M. B. (2012). La Educación Alimentaria Y Nutricional Desde Una Dimensión Sociocultural Como Contribución a La Seguridad Alimentaria Y Nutricional. Retrieved from <http://www.eumed.net/rev/cccss/16/bmbm.html>

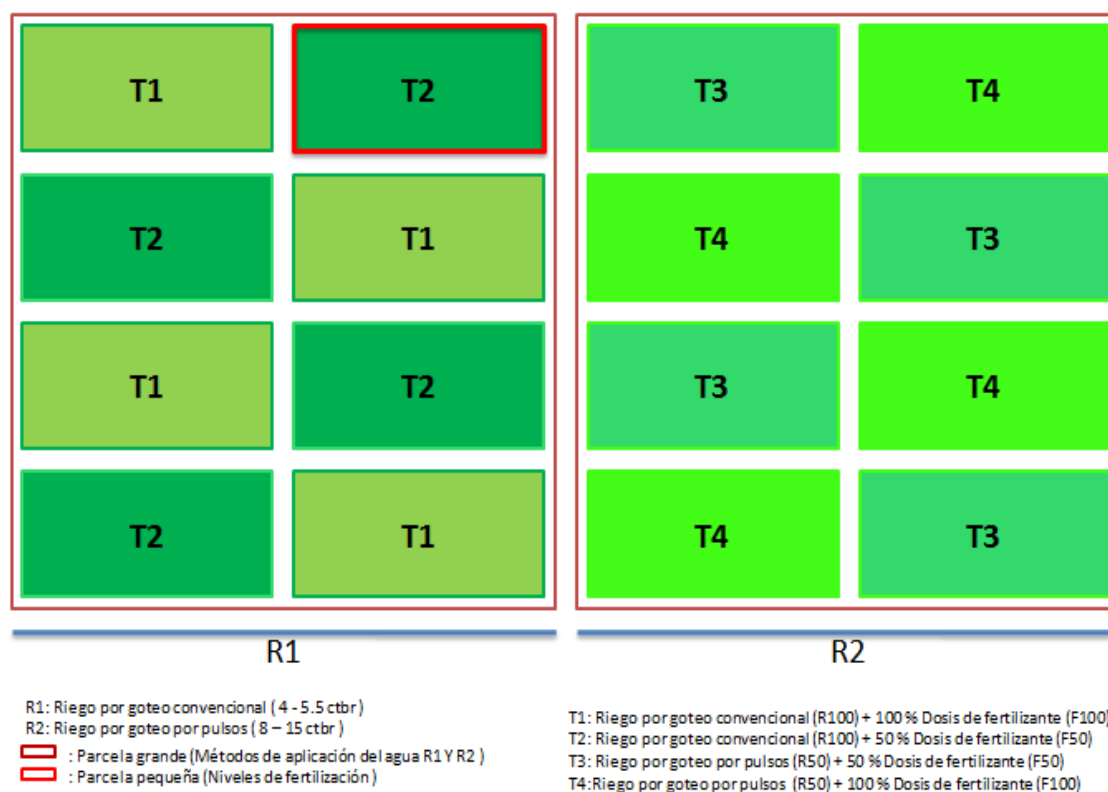
- Medina, J., Himeour, Y., Romero, L., Zúñiga, C., & Alvarado, L. (2005). *Manual de operación y funcionamiento de un sistema de riego por goteo*. Arequipa.
- Méndez, J., Lara, L., & Gil-Marín, J. (2017). Efecto del riego por goteo en el crecimiento inicial de tres cultivares de algodón (*Gossypium hirsutum* L.). *Idesia*, 7-15.
- Mendoza, A. (2013). *Riego por goteo*.
- Mizyed, N., & Kruse, E. (2008). Transaction of the ASAE.
- Molden, D. (1997). Accounting for Water Use and Productivity. Colombo, Sri Lanka: SWIM Paper 1. International Irrigation Management Institute.
- Mora, M. (2004). *Guía para producir frijol con fertirriego por goteo y labranza de conservación en Querétaro*.
- Morabito, J., & Romay, C. (2001). *Evaluación de los sistemas de riego por superficie técnica de caudal discontinuo*. Mendoza.
- Moya, J. (2009). *Riego localizado y fertirrigación*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Mujica, A., Crmenates, D., & Paneque, P. (2012). Determinación de la forma y dimensiones del bulbo húmedo en el riego subsuperficial para el cultivo de la caña de azúcar. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 59-62.
- Muenala, J. (2014). *Respuesta a la aplicación de tres fertilizantes químicos y un abono orgánico en la producción de jícama (smallanthus sonchifolius rob.) en la zona de Otavalo, provincia de Imbabura*. Carchi.
- Murillo, A., Falconí, E., Mazón, N., Peralta, E. 2005. Resistance sources for rust, angular leaf spot and common bacterial blight in common bean for Ecuador. Annual report of the Bean Improvement Cooperative. p 229-230.
- Ochoa, P., & Peña, M. (2012). Efecto del riego subsuperficial en la microinjertación del cacao. *Ciencias técnicas agropecuarias*, 54-58.
- 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>
- Osorio U., A., & Céspedes R., R. (2000). Efecto de métodos de riego localizado en la salinidad del perfil de suelo en vid de mesa: conductividad eléctrica, sodio, cloro y boro en distintos puntos del perfil. *Agricultura Técnica*, 60(2), 178–194. <https://doi.org/10.4067/S0365-28072000000200008>
- Ortiz R. (2008). Hidroponía en el Suelo. La reingeniería del manejo del agua de riego y de la fertilización de los cultivos. Quito - Ecuador: Ed. ABYA-YALA.
- Peralta, E. (1996). *El cultivo de fréjol común en los valles de la provincia de Loja - Agronomía y manejo de plagas*. Quito.

- 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 FRÉJOL Y LEGUMIN 2010.pdf>
- Peralta, E., Murillo, A., Mazon, N., & Rodríguez, D. (2014). *Catálogo de variedades mejoradas de fréjol arbustivo (Phaseolus vulgaris L.) para los valles y estribaciones de la sierra ecuatoriana*. Quito.
- Pérez Herrera, P., Esquivel Esquivel, G., Rosales Serna, R., & Acosta-Gallegos, J. (2002). Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano subhúmedo de México. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*.
- Pizarro, F. (1996). *Riego localizado de alta frecuencia*. Madrid: Mundi-Prensa.
- PROFRIZA (Proyecto Regional de Fríjol para la Zona Andina). (2000). *Un cultivo ancestral avanza hacia la modernidad*. Cali.
- Pustrana, F., Alviz, H., & Salcedo, J. (2014). Respuesta de dos cultivares de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) (CM 3306–4 y MCOL 2215) a la aplicación de riego en condiciones hídricas diferentes. *Acta agronómica*, 48.
- Rain Bird Corporation. (2010). *Distribution Uniformity*
- Reyes, E., Padilla, L., Pérez, O., & López, P. (2008). Historia, naturaleza y cualidades alimentarias del fréjol. *Investigación científica*, 1-21.
- Rodas, H., & Cisneros, P. (2000). *Principios de riego por goteo*.
- Rodríguez, L., Sobrino, F., Álvarez, R., & Garrido, J. C. (2013). *Instalación de sistema de riego por goteo en itdUPM*. Madrid.
- Romero, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Enfermería del trabajo*, 105-114.
- Romero, M. (2019). *Agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo (Phaseolus vulgaris L.) en el CADET*. Quito.
- Rosales, R., & Flores, H. (2017). *Importancia del agua de riego para la producción sostenible de frijol en Durango*. México.
- Ruiz, J. (1988). *Explotación de los sistemas de riego localizado*. La Habana.
- Salas, M. d., & Urrestarauz, M. (2001). *Técnicas de fertirrigación en cultivo sin suelo*. Almería.
- Salisbury, F., & C, R. (1994). *Fisiología vegetal*. México: Grupo editorial Iberoamérica S.A.
- Sandoval, J., & Varas, E. (1989). Riego por surcos. Retrieved from <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/seriesinia/NR08935.pdf>
- Sánchez, J. (2000). *Fertirrigación- Principios, factores, aplicaciones*. Lima.
- Sangerman, M., Acosta, J., Schwenstesius, R., Huato, M., & Larque, B. (2010). Consideraciones e importancia social en torno al cultivo del frijol en el centro de México. *Ciencias Agrícolas*.
- Santos Pereira, L. (2010). *El riego y sus tecnologías*. Albacete: Europa-América.

- SIAR. (2005). *Fertirrigación*.
- SINAGAP. (2012). Fréjol Tierno y Seco. *Boletín Situacional*, 1–5. Retrieved from [http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2013/fréjol .pdf](http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2013/fréjol.pdf)
- SINAGAP. (2017). Productividad de fréjol seco. Retrieved November 12, 2017, from <http://sinagap.agricultura.gob.ec/index.php/compendio-agro>
- SIPA, (2018). Recuperado de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Tapia, D. (2015). Determinación de la viabilidad de la aplicación de la soberanía alimentaria en el Ecuador: un análisis desde la perspectiva de la producción, comercio y consumo de alimentos a nivel nacional, 93. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Tarjuelo, J. (2005). *El riego por aspersión*.
- Torres Navarrete, E., Quishpe Caiza, D., Sánchez Laiño, A., Reyes Bermeo, M., Gonzales Osorio, B., Torres Navarrete, A.,... Haro Chong, A. (2013). Caracterización de la producción de frijol en la provincia de Cotopaxi Ecuador: caso comuna Panyatug. *Ciencia y Tecnología*, 9.
- Ugalde, J., Villar, B., López, E., & Tosquy, O. (2005). Verificación de tecnología para frijol de riego en la región centro del estado de Veracruz, México. *Terra latinoamericana*, 599-604.
- United States Department of Agriculture – Soil conservation service. (1986). *Surge Irrigation*.
- UNLP, (2018). Recuperado de http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/4850/mod_resource/content/0/TP_-_Diseno_de_Parcela_Dividida.pdf
- Ulloa, J., Rosas, P., Ramírez, J., & Ulloa, B. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Fuente*.
- Valenzuela, T. (1975). *Principios básicos de riego por goteo y experiencias de su aplicación en la república Mexicana*. Mendoza.
- 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
- Vallecillo, H. (1999). *El riego por surcos*.
- Vásquez, C. (2019). *Evaluación del manejo del riego en el cultivo de fréjol arbustivo con dos dosis de fertilización en el CADET*. Quito.
- Velásquez, J., Giraldo, P. (2005). Posibilidades competitivas de productos prioritarias de Antioquia frente a los acuerdos de integración y nuevos acuerdos comerciales. Gobernación de Antioquia, Departamento de Planificación- Secretaría de productividad y competitividad. Informe, 92 p.

8. ANEXOS

Anexo 1: Esquema del experimento en campo y distribución de los tratamientos.



Anexo 2. Pruebas de normalidad Saphiro wilk aplicada a las diferentes variables.

Prueba de normalidad	
Variable Agronómica	P-valor
Altura desarrollo	0,8801
Altura floración	0,3272
Altura envainado	0,6903
Sombreo desarrollo	0,9757
Sombreo floración	0,2206
Sombreo envainado	0,2382
Vainas por planta	0,6858
Bulbo húmedo	0,9143
Uniformidad de emisión de agua	0,6304
Uniformidad de distribución de nutrientes	0,9747

Anexo 3. Contenido de Nitrógeno, fósforo y potasio obtenido de los resultados del análisis de suelo realizado antes de la siembra.

Tratamiento	Interacción	%	Mg kg ⁻¹	Cmol kg ⁻¹
		N	P	K
1	RCF100	0,15 B	45,9 A	0,92 A
2	RCF50	0,17 M	40,7 A	0,77 A
3	RPF50	0,15 B	42,8 A	0,74 A
4	RPF100	0,39 A	39,0 A	0,57 A

A=Alto, M=Medio, B=Bajo

Anexo 4. Contenido de Nitrógeno, fósforo y potasio obtenido de los resultados del análisis de suelo realizado al final del ciclo del cultivo.

Tratamiento	Interacción	Ppm	ppm	Meq 100ml ⁻¹
		N	P	K
1	RCF100	36 M	38 A	56 A
2	RCF50	46 M	71 A	46 A
3	RPF50	46 M	43 A	83 A
4	RPF100	46 M	105 A	68 A

A=Alto, M=Medio

Anexo 5. Resultados del análisis de suelo realizado en el área de estudio al finalizar el ciclo del cultivo.

 INIAP INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	 MINISTERIO DE AGRICULTURA
--	---	---

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : Rendon Ortiz Dirección : Quito Ciudad : Teléfono : Fax :	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : La Morita Provincia : Pichincha Cantón : Quito Parroquia : Tumbaco Ubicación :	PARA USO DEL LABORATORIO Cultivo Actual : Fecha de Muestreo : 08/02/2019 Fecha de Ingreso : 11/02/2019 Fecha de Salida : 21/02/2019
---	---	--

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm				
			NH4	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
04971	T1	7,07 PN	36,00 M	38,00 A	7,00 B	0,56 A	8,20 A	4,70 A	0,5 B	8,8 A	108,0 A	9,0 M	1,00 M
04972	T2	6,66 PN	46,00 M	71,00 A	7,00 B	0,46 A	8,20 A	4,80 A	0,7 B	8,1 A	176,0 A	9,5 M	1,20 M
04973	T3	6,76 PN	46,00 M	43,00 A	9,20 B	0,83 A	8,20 A	4,60 A	0,8 B	8,4 A	164,0 A	10,5 M	1,20 M
04974	T4	6,81 PN	46,00 M	105,00 A	5,40 B	0,68 A	8,50 A	5,00 A	0,8 B	9,2 A	176,0 A	7,7 M	1,20 M

INTERPRETACION			
pH		Elementos	
Ac	= Acido	N	= Neutro
LAc	= Liger. Acido	LAI	= Lige. Alcalino
PN	= Prac. Neutro	AI	= Alcalino
RC	= Requieren Cal		
		B	= Bajo
		M	= Medio
		A	= Alto
		T	= Tóxico (Boro)

METODOLOGIA USADA			
pH	= Suelo: agua (1:2,5)	P K Ca Mg	= Olsen Modificado
S, B	= Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn	= Olsen Modificado
		B	= Curcumina

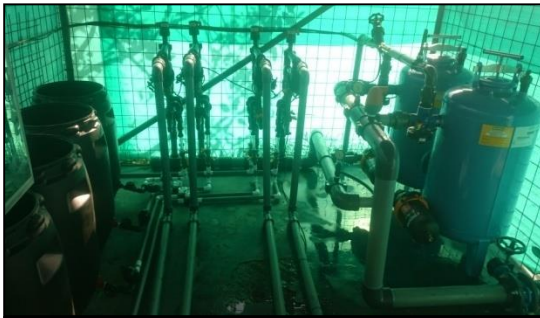
Anexo 6. Análisis económico en resumen para el cultivo de fréjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.) con dos métodos de riego por goteo y dos niveles de fertilización al primer año.

Tratamiento	Interacción	Egresos	Ingresos	Beneficio neto	Relación B/C	Tasa de rentabilidad
1	RGF100	4203,50	3456	-747,5	0,82	-0,17
2	RGF100	4203,50	3636	-567,5	0,13	-0,13
3	RPF50	4203,50	3006	-1197,5	0,28	-0,28
4	RPF50	4203,50	3924	-279,5	0,06	-0,06

Anexo 7. Análisis económico en resumen para el cultivo de fréjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.) con dos métodos de riego por goteo y dos niveles de fertilización con proyección al segundo año.

Tratamiento	Interacción	Egresos	Ingresos	Beneficio neto	Relación B/C	Tasa de rentabilidad
1	RGF100	2101,75	3456	1354,25	1,84	0,64
2	RGF100	2101,75	3636	1534,25	1,73	0,73
3	RPF50	2101,75	3006	904,25	1,43	0,43
4	RPF50	2101,75	3924	1822,25	1,87	0,87

Anexo 8.Fotografías de la investigación.



Fotografía 1.- Estructura del sistema de riego por goteo implementado para la investigación.



Fotografía 2.- Fertilizantes compuestos usados en la investigación.



Fotografía 3.- Área de la investigación previo a la siembra.



Fotografía 4.- Área de la investigación preparada para la siembra y pruebas de confiabilidad del buen estado del sistema de riego por goteo.



Fotografía 5.- Cultivo en los primeros días después de la siembra, se observan algunos vacíos haciéndose necesaria una resiembra.



Fotografía 6.- Se observa el cultivo después de tener constantes días lluviosos e incluso con granizo.



Fotografía 7.- Cultivo en etapa de crecimiento vegetativo, se observa también que cada dos líneas de cultivo son regadas por un lateral de riego.



Fotografía 8.- Cultivo en etapa de floración.



Fotografía 9.- Se observan las primeras vainas en el cultivo, dato registrado el 7 de enero del 2019.



Fotografía 10.- Se observa los tratamientos delimitados.



Fotografía 11.- Preparación de los fertilizantes en recipientes de veinte litros, antes de colocarlos en los tanques para cada tratamiento.



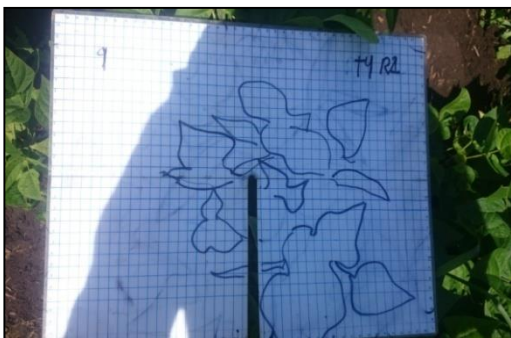
Fotografía 12.- Sustancias usadas en la preparación de la solución insecticida.



Fotografía 13.- Aplicación de insecticida en el cultivo, para mitigar poblaciones crecientes de Empoasca.



Fotografía 14.- Equipos usados en la medición de pH y conductividad eléctrica de la solución del suelo y del agua de riego.



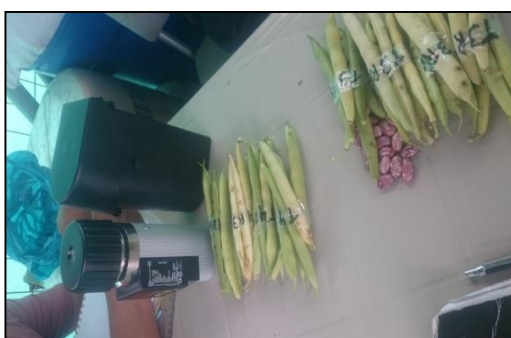
Fotografía 15.- Toma de datos de la variable porcentaje de sombreado, se ha dibujado el contorno de la sombra de la planta en una lámina de acetato.



Fotografía 16.- Toma de datos de la variable uniformidad de emisión del agua y nutrientes.



Fotografía 17.- Toma de datos de la variable bulbo húmedo con la ayuda de una cinta métrica.



Fotografía 18.- Toma de datos de las variables número de vainas y número de granos.



Fotografía 19.- Vista frontal del experimento con sus tratamientos en etapa de crecimiento vegetativo, donde se muestra en la parte izquierda el método de aplicación del agua tradicional y en la parte derecha el método de aplicación del agua por pulsos.