



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

**Evaluación de dos métodos de aplicación de agua en el cultivo de fréjol
arbustivo, con dos dosis de fertilización en el CADET**

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

AUTOR: Erique Agila Diego Ricardo

TUTOR: M.Sc. Randon Stalin Ortiz Calle

Quito, 2020

© DERECHOS DE AUTOR

Yo, **DIEGO RICARDO ERIQUE AGILA** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: **EVALUACIÓN DE DOS MÉTODOS DE APLICACIÓN DE AGUA EN EL CULTIVO DE FRÉJOL ARBUSTIVO CON DOS DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN EL CADET**, modalidad presencial, 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 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, autorizo a la Universidad Central del Ecuador para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

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

Diego Ricardo Erique Agila
C.C.: 1719851642
drerique@uce.edu.ec

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación, presentado por DIEGO RICARDO ERIQUE AGILA para optar por el Grado de Ingeniero Agrónomo, cuyo título es: **EVALUACIÓN DE DOS MÉTODOS DE APLICACIÓN DE AGUA EN EL CULTIVO DE FRÉJOL ARBUSTIVO, CON DOS DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN EL CADET**, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

En la ciudad de Quito, a los 12 días del mes de febrero del 2020

M.Sc. Randon Stalin Ortiz Calle
DOCENTE-TUTOR
C.C.: 1102697396

**EVALUACIÓN DE DOS MÉTODOS DE APLICACIÓN DE AGUA EN EL CULTIVO DE FRÉJOL
ARBUSTIVO CON DOS DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN EL CADET.**

APROBADO POR

Ing. Agr. Randon Ortiz, MSc.

TUTOR DE LA INVESTIGACION

Ing. Agr. Manuel Pumisacho, M.Sc.

LECTOR – EVALUADOR 1

Ing. Agr. Edwin Cáceres, M.Sc.

LECTOR – EVALUADOR 2

DEDICATORIA

Dedicado al todo poderoso Dios quien me ha permitido terminar esta etapa linda de mi vida, acompañándome en buenos y malos momentos, bendiciéndome con salud, sabiduría, inteligencia y sobre todo humildad para lograr que yo pueda ser una herramienta de ayuda con los menos favorecidos.

A mi madre María por ser esa persona que se ha sacrificado por mí y lo ha dado todo, convirtiéndose en mi mejor amiga dándome todo su amor formando parte de esta etapa de mi vida.

A mi padre Juan quien lo ha dado todo por el bienestar mío con sus consejos y apoyo incondicional.

A mi mejor amigo y hermano Alejandro quien ha sido mi ejemplo y apoyo en todas las actividades que he realizado y en especial en la culminación de esta etapa de mi vida.

A mi hermana Janina por compartir sus alegrías en todo momento.

AGRADECIMIENTO

Agradecido con Dios por darme la oportunidad de permitirme culminar mis estudios universitarios.

A mi familia quien siempre ha estado en todos los momentos de mi vida y en especial en este.

Al Ing. Randon Ortiz, por ser un gran amigo y por el apoyo brindado, compartiéndome siempre sus ideas y conocimiento siendo participe de este proyecto.

A la Ing. Maritza Chile por su apoyo y sus consejos durante la investigación.

Al Ing. Manuel Pumisacho por su colaboración y consejos en la elaboración de la investigación.

Al Ing. Edwin Cáceres por su colaboración en la elaboración de la investigación.

A la Universidad Central del Ecuador y en especial a la Facultad de Ciencias Agrícolas por sus autoridades, docentes, administrativos, trabajadores y compañeros quienes me brindaron el conocimiento y herramientas necesarias para mi vida profesional.

A mi compañera de aventuras, Fernanda Echeverría gracias por su apoyo y amor incondicional a lo largo de mi carrera y mi vida. Gracias también a su familia por formar parte de mi vida.

A mis amigos Wladi, Alan, Jorge, Lisbeth, Andrés, Edu, Joao, Pao, Riky, Edy, Efra, Cris, Esteban, Jonathan, Israel, Dany, Diego, Byron y al club atlético La Morita, Gracias por su amistad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Riego.....	2
2.1.1. Técnicas de riego.....	2
2.2. Riego por goteo	2
2.2.1. Importancia	2
2.2.2. Ventajas del riego por goteo	2
2.2.3. Desventajas	2
2.2.4. Componentes del riego por goteo	3
2.2.5. Tipos de goteros para el sistema de riego por goteo.....	3
2.3. Riego por pulsos	3
2.3.1. Importancia	3
2.3.2. Ventajas del riego por pulsos	3
2.3.3. Desventajas	3
2.3.4. Distribución del agua en el perfil del suelo	4
2.3.5. Programación del riego	4
2.3.6. Lámina de riego de un pulso	4
2.3.7. Frecuencia de riego	4
2.4. Fertirrigación	5
2.4.1. Ventajas.....	5
2.4.2. Inyector Venturi	5
2.5. Fertilidad del suelo	5
2.5.1. pH	5
2.5.2. Conductividad eléctrica.....	6
2.5.3. Nitratos.....	7
2.6. Contenido de humedad.....	7
2.6.1. Movimiento del agua en el suelo	7
2.6.2. Disponibilidad de agua en el suelo.....	8
2.6.3. Tensión de humedad	8
2.7. Características del fréjol arbustivo INIAP 481 Rojo del Valle	8
2.7.1. Características Morfológicas	8
2.7.2. Características Agronómicas	8
2.8. Cultivo de fréjol	8
2.8.1. Textura del suelo	9

Contenido	Pág.
2.8.2. Fertilización	9
2.8.3. Requerimientos hídricos del cultivo de fréjol:	9
2.9. Análisis financiero	9
2.9.1. Beneficio – Costo (B/C).....	9
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
3.1. Ubicación del estudio	10
3.2. Características agroclimáticas	10
3.3. Materiales	10
3.4. Métodos	10
3.4.1. Factores en estudio	10
3.5. Tratamientos	11
3.6. Unidad experimental.....	11
3.6.1. Características del Sitio Experimental	11
3.6.2. Parcela Neta	11
3.7. Diseño Experimental	11
3.8. Variables y métodos de evaluación.....	12
3.8.1. Número de vainas por planta.....	12
3.8.2. Número de semillas por vaina.....	12
3.8.3. Rendimiento del cultivo	12
3.8.4. Volumen diario de agua aplicado.....	12
3.8.5. Nitratos.....	12
3.8.6. Tensión de humedad.....	12
3.8.7. pH	13
3.8.8. Conductividad eléctrica.....	13
3.9. Manejo del experimento.....	13
3.9.1. Muestras de suelos	13
3.9.2. Preparación del terreno	13
3.9.3. Trazado de la parcela	13
3.9.4. Siembra	13
3.9.5. Resiembra.....	14
3.9.6. Fertilización	14
3.10. Manejo del riego	14
3.10.1. Riego por goteo convencional.....	14
3.10.2. Riego por pulsos	14
3.11. Control fitosanitario	14

Contenido	Pág.
3.11.1. Plagas.....	14
3.11.2. Enfermedades	14
3.12. Toma de muestras de plantas	15
3.13. Control de malezas.....	15
3.14. Cosecha	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
4.1. Número de vainas por planta.....	16
4.2. Número de semillas/vaina/planta.....	17
4.3. Rendimiento	18
4.4. Volumen de agua aplicado	20
4.5. Nitratos en la solución del suelo	22
4.6. pH en la solución del suelo.....	23
4.7. Conductividad eléctrica en la solución del suelo	25
4.8. Tensión de humedad.....	27
4.9. Análisis económico	27
5. CONCLUSIONES.....	28
6. RECOMENDACIONES	29
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30
8. ANEXOS	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
Tabla 1. Láminas de riego en función de la tensión de humedad	4
Tabla 2. Características morfológicas. INIAP 481 Rojo del Valle.....	8
Tabla 3. Características agronómicas. INIAP 481 Rojo del Valle.....	8
Tabla 4. Materiales de trabajo	10
Tabla 5. Código de tratamientos.....	11
Tabla 6. Análisis ANOVA del experimento	12
Tabla 7. Tabla de registro de la fertilidad del suelo.....	13
Tabla 8. Fertilización al 100% y 50% riego por goteo	14
Tabla 9. Cuadrados medios del ANOVA, promedios y coeficientes de variación para número de vainas.....	16
Tabla 10. Cuadrados medios del ANOVA, promedios y coeficientes de variación para número de semillas.....	17
Tabla 11. Cuadrados medios del ANOVA para el rendimiento.....	18
Tabla 12. Cuadrados medios del ANOVA promedios y coeficientes de variación para volumen de agua.....	20
Tabla 13. Cuadrados medios del ANOVA, promedios y coeficientes de variación para la variable nitratos.	22
Tabla 14. Cuadrados medios del ANOVA, promedios y coeficientes de variación para la variable pH	24
Tabla 15. Cuadrados medios del ANOVA, promedios y coeficientes de variación para la conductividad eléctrica.	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
Figura 1. Escala de pH del suelo. Alonso, 2013.....	6
Figura 2. Promedio de número vainas por planta	16
Figura 3. Promedio de granos/vainas/planta	18
Figura 4. Promedio de rendimiento para los cuatro tratamientos.....	19
Figura 5. Valores promedio de rendimiento para los dos tipos de riego	19
Figura 6. Agua proporcionada al cultivo en las etapas en germinación, prefloración, floración y formación de vainas.	20
Figura 7. Rendimiento del cultivo	21
Figura 8. Promedio del contenido de nitratos en la solución del suelo.....	22
Figura 9. Comportamiento de los nitratos en la solución del suelo.	23
Figura 11. Promedio del pH en la solución del suelo	24
Figura 12. Comportamiento del pH en la solución del suelo	25
Figura 13. Promedio de la conductividad eléctrica en la solución del suelo	26
Figura 14. Comportamiento de la Conductividad Eléctrica	26
Figura 10. Comportamiento de la humedad mediante el riego por goteo	27
Figura 15. Análisis Económico.....	27

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Pág.
Anexo 1. Tabla de variables en estudio con la prueba de normalidad SHAPIRO-WILKS MODIFICADO.....	34
Anexo 2. Prueba de homogeneidad (Levene) para la variable rendimiento (kg/Pn)	34
Anexo 3. Análisis de suelos. Antes de la siembra del cultivo de fréjol.	34
Anexo 4. Análisis de suelos. Al final del ciclo del cultivo de fréjol.....	34
Anexo 5. Reporte de Análisis de Suelos.....	35
Anexo 6. Contenido de cenizas, materia orgánica, macro y micro elementos	35
Anexo 7. Contenido de cenizas, Materia orgánica, Macro y Micro elementos.....	35
Anexo 8. Contenido de cenizas, Materia orgánica, Macro y Micro elementos.....	36
Anexo 9. Contenido de cenizas, Materia orgánica, Macro y Micro elementos.....	36
Anexo 10. Cosecha del cultivo de fréjol.....	37
Anexo 11. Secado del grano de fréjol	38
Anexo 12. Medición del contenido de humedad del grano de fréjol.....	39
Anexo 13. Extracción y medición de la solución del suelo (pH, conductividad eléctrica y nitratos).....	40
Anexo 14. Preparación del terreno para la siembra del cultivo de fréjol.....	41
Anexo 15. Siembra del cultivo de fréjol.....	42
Anexo 16. Equipos utilizados en la investigación en el cultivo de fréjol	43
Anexo 17. Evaluación financiera.....	44

TÍTULO: Evaluación de dos métodos de aplicación de agua en el cultivo de fréjol arbustivo con dos dosis de fertilización en el CADET.

Autor: Diego Ricardo Erique Agila

Tutor: Randon Stalin Ortiz Calle

RESUMEN

En la presente investigación se evaluaron dos métodos de aplicación del agua en riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo con dos dosis de fertilización en el CADET. Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones; la parcela grande fue el riego mientras que la parcela pequeña los niveles de fertilización; los tratamientos fueron: T1 (Riego continuo y fertilizantes 100%); T2 (Riego continuo y fertilizantes 50 %); T3 (Riego por pulsos y fertilizantes 50%) y T4 (Riego por pulsos y fertilizantes 100%). Resultados: i) en T1 y T2 se aplicó una lámina de agua de 383 mm y en T3 y T4, 192 mm; ii) en T1 y T4, la dosis de NPK (Kg ha^{-1}) fue 35.0-17.5-30.0 y en T2 y T3, el 50 % de la dosis anterior; iii) T1 tuvo un rendimiento de 1.92 t ha^{-1} , T2 de 2.02 t ha^{-1} , T3 de 2.08 t ha^{-1} y T4 de 2.18 t ha^{-1} ; iv) T3 obtuvo la mejor relación B/C con 2.24. En conclusión, el tratamiento T3, riego por pulsos con la mitad de fertilizantes, obtuvo un incremento en el rendimiento del cultivo con relación al riego por goteo convencional (T1).

PALABRAS CLAVE: RENDIMIENTO DEL CULTIVO / PULSOS / LÁMINA DE AGUA / RELACIÓN COSTO – BENEFICIO / HUMEDAD DEL SUELO

TITLE: Evaluation of two drip water application methods in the beans crop with two doses of fertilizers in the CADET.

Author: Diego Ricardo Erique Agila

Tutor: Randon Stalin Ortiz Calle

ABSTRACT

In the present research, two methods of drip water application with two doses of fertilizers in the beans crop were evaluated. An experimental design of divided plots was carried out, with four treatments and four repetitions each one; the large plot was irrigation while the small plot fertilization levels; the treatments were: T1 (Continuous irrigation and 100% fertilizers); T2 (Continuous irrigation and 50% fertilizers); T3 (Pulse irrigation and 50% fertilizer) and T4 (Pulse irrigation and 100% fertilizer). Results: i) in T1 and T2 a depth of 383 mm was applied and in T3 and T4, 192 mm; ii) in T1 and T4, the dose of NPK (Kg ha^{-1}) was 35.0-17.5-30.0 and in T2 and T3, 50% of the previous dose; iii) T1 had a crop yield of 1.92 t ha^{-1} , T2 of 2.02 t ha^{-1} , T3 of 2.08 t ha^{-1} and T4 of 2.18 t ha^{-1} ; iv) T3 reported the best B/C ratio with 2.24. In conclusion, the crop yield was higher in the treatment T3, pulse irrigation with 50% of fertilizers, in comparison to the conventional drip irrigation (T1).

KEY WORDS: CROP YIELD / PULSES / SHEET OF WATER / COST – BENEFIT RATIO / SOIL MOISTURE

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor de trabajo de graduación cuyo título es “**Evaluación de dos métodos de aplicación de agua en el cultivo de fréjol arbustivo con dos dosis de fertilización en el CADET**” presentado por el Sr. ERIQUE AGILA DIEGO RICARDO, previo a la 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
C.C. 1102697396

1. INTRODUCCIÓN

El fréjol es un grano de importancia en América Latina y el Mundo, siendo Sudamérica la región que aporta con el 50% de la producción mundial, y Brasil se ha convertido en el principal productor contribuyendo con la mitad de dicho porcentaje (Beebe *et al.*, 2017). Esta leguminosa es muy importante en la dieta alimenticia del ser humano, pues la proteína animal es limitada y costosa siendo la proteína vegetal un sustituto proteico y con menor costo (Fernández & Castillo, 2004).

En Ecuador se cosecha 18 767 hectáreas de fréjol, de las cuales 3 410 hectáreas corresponden al fréjol de tipo arbustivo, siendo la provincia de Loja la que ocupa el primer lugar con 1 637 hectáreas, seguido de Azuay con aproximadamente 554 hectáreas y Cañar con 530 hectáreas (INEC, 2016). El rendimiento promedio de fréjol de tipo arbustivo es de 0.493 t ha⁻¹ (Peralta *et al.*, 2013).

Según Torres *et al.* (2013), el problema de los bajos rendimientos es la fertilización, 53 % de los productores de fréjol no realiza actividades de esta índole, mientras que el 43 % restante la realiza de forma empírica con agroquímicos y abonos orgánicos, sin realizar un análisis previo de suelo para conocer la cantidad de nutrientes en sus predios.

El agua, recurso importante e indispensable, es utilizada en la agricultura en un 69 % (FAO, 2005). El riego se ha convertido en un factor clave en la producción de alimentos, permite alcanzar mejores rendimientos y mayores ingresos, constituyéndose en un componente de gran relevancia en los sistemas de producción. América Latina cuenta con disponibilidad de agua elevada, 24 400 metros cúbicos per cápita. Sin embargo, la producción de cultivo de fréjol se localiza en regiones que carecen de este recurso, afectando al desarrollo normal de la planta, disminuyendo sustancialmente la producción, razón por la cual es trascendental mejorar el uso de este recurso a través de técnicas de aplicación de agua que permitan ahorrar y suministrar este recurso de manera más eficiente y sostenible (Fernández, 2009).

Actualmente, el reto de la agricultura es mejorar la producción utilizando la menor cantidad de agua. El riego por pulsos es una alternativa, por su alta eficiencia, permitiendo obtener un ahorro de agua y fertilizantes, favoreciendo una mejor oxigenación del suelo y reduciendo la percolación del agua. La aplicación de esta técnica permitirá que el agricultor tenga una nueva visión sobre el uso adecuado y tecnificado del agua en sus parcelas, optimizando sus recursos (Tapia, 2013).

En agosto del 2018, en el Centro Académico Docente Experimental la Tola (CADET) se desarrolló una investigación, con el objetivo de evaluar el manejo del riego en el cultivo de fréjol arbustivo con dos dosis de fertilización, alcanzando los mejores resultados en el tratamiento T4, riego por pulsos con una fertilización al 100%, obteniendo un rendimiento de 3.6 t ha⁻¹ (Vásquez, 2019).

Con estos antecedentes y debido a que en el Ecuador existen escasos trabajos sobre el riego por pulsos en el cultivo de fréjol arbustivo, se realizó la presente investigación para evaluar dos métodos de aplicación de agua con dos dosis de fertilización, con el fin de optimizar el uso del recurso hídrico. De manera puntual, se propuso evaluar el rendimiento del cultivo de fréjol, con dos métodos de aplicación del agua (riego continuo o convencional y por pulsos); evaluar el rendimiento del cultivo de fréjol para la aplicación de dos dosis de fertilizantes, fertilización 1 (35kg -17,50kg – 30kg de NPK) y fertilización 2 (17,50 kg – 8,75kg – 15kg de NPK); evaluar el efecto de las formas de aplicación del agua y de las dosis de fertilización en la composición química del suelo, y realizar un análisis económico financiero.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Riego

En la agricultura los cultivos para poder desarrollarse adecuadamente requieren absorber agua del suelo, es por ello que cuando el contenido de humedad es bajo se dificulta la absorción del agua, de ahí la necesidad de reponer agua (regar) en el suelo, dejando disponible agua para las plantas (Demin, 2014).

2.1.1. Técnicas de riego

Se entiende por técnica de riego al conjunto de procedimientos, normas que caracterizan el modo de aplicación de agua (Carrazón, 2007). Entre los principales tenemos: riego por goteo, riego por aspersión y riego por gravedad.

2.2. Riego por goteo

Esta técnica consiste en aplicar agua artificialmente a un cultivo, la que es transportada por tuberías hasta los dispositivos emisores llamados goteros, liberando gota a gota en un espacio específico, como la define Santos *et al.* (2010), el agua se filtra en el suelo provocando una zona húmeda en un espacio localizado, formando un bulbo de humedad, el objetivo es mantener humedad en la zona radicular.

2.2.1. Importancia

La importancia del riego por goteo es administrar el agua de una manera eficiente y aplicarla en el momento oportuno, cubriendo los requerimientos fisiológicos de las plantas, reduciendo al mínimo las pérdidas por percolación, escurrimiento y evaporación (Rosales & Flores, 2017).

2.2.2. Ventajas del riego por goteo

- Ahorro de agua hasta un 50%
- Uniformidad alta en la aplicación del agua
- Menor presencia de malezas debido a que existe una menor superficie húmeda
- Ahorro de tiempo en labores culturales
- Ahorro de mano de obra
- Aprovechamiento de suelos con topografía accidentada, suelos pedregosos
- Mejorías en la producción y calidad de frutos
- Uso de fertirriego
- Automatización del equipo

2.2.3. Desventajas

- Costos elevados para la adquisición
- Compra de repuestos
- Consumo de energía
- Dependencia de electricidad
- Necesidad de un sistema de filtrado
- Necesidad de mantenimiento y limpieza del sistema de riego
- Acumulación de sales
- Mano de obra especializada (técnico)
- Reparación de laterales por daño de herramientas o animales
- Taponamiento de los emisores

2.2.4. Componentes del riego por goteo

- **Reservorio:** uno de los más utilizados en la agricultura, por su costo y capacidad de almacenaje (Sinobas *et al.*, 2017).
- **Fuente de presión:** tener una adecuada presión es fundamental en el sistema de riego, pues permite regar de manera homogénea e inyectar los fertilizantes, se puede utilizar una bomba para generar presión o a su vez por medio de un reservorio que esté ubicado en una zona alta, por encima del nivel del cultivo (Hayashi, 2014).
- **Cabezal principal:** está formado por accesorios que permiten controlar el funcionamiento del sistema de riego, filtros, inyectoras, medidores de presión y volumen (Carrazón, 2007).
- **Filtrado:** el sistema de filtrado permite que las partículas y desechos presentes en el agua puedan ser retenidos, evitando que se taponen los goteros y las tuberías. Los filtros más comunes que podemos encontrar son los de anillas y grava (Liotta *et al.*, 2015).
- **Tuberías de conducción principales:** permiten distribuir el agua, hacia los laterales de riego, uniformizando toda el área del terreno cultivado (Mendoza, 2013).
- **Emisores o goteros:** permiten aplicar el agua de manera homogénea, también regulan la presión del agua, evitando que se riegue más en una zona que otra (Hayashi, 2014).
- **Controladores:** son dispositivos automatizados que permiten determinar en qué momento opera una válvula de agua, esto con el fin de dar una orden de riego, por un tiempo determinado (Hunter, 2013).

2.2.5. Tipos de goteros para el sistema de riego por goteo

Existen dos tipos de goteros: auto compensados y no auto compensados; los primeros compensan la presión a lo largo del lateral del riego, es decir, que todos los goteros emitirán la misma cantidad de agua. En los no compensados varía el caudal en el terreno, pero se pueden utilizar sin ningún problema en terrenos llanos (Mendoza, 2013).

2.3. Riego por pulsos

Es la aplicación de agua de manera intermitente, en pequeños volúmenes (USDA, 1986). Según Ortiz (2008), un pulso es el tiempo de riego necesario para incrementar la tensión de humedad en el suelo tomando en cuenta diversos factores como: cultivo, textura del suelo, rango de tensión de humedad, profundidad de humedecimiento, uniformidad de distribución del agua, tipo de gotero, diámetro y longitud del lateral de riego.

2.3.1. Importancia

El riego por pulsos tiene un efecto positivo porque se reduce la pluviometría debido a la aplicación alternada del agua. Al reducir la pluviometría existe mayor cantidad de agua en la superficie del suelo (Monserrat *et al.*, 1997).

2.3.2. Ventajas del riego por pulsos

- Ahorro de agua hasta un 50%
- Uniformidad de aplicación del agua
- Mejoras en la producción y calidad de frutos
- Uso del fertirriego
- Automatización del equipo de riego

2.3.3. Desventajas

- Costos iniciales elevados
- Acumulación de sales
- Mano de obra especializada (técnico)
- Taponamiento de los emisores

2.3.4. Distribución del agua en el perfil del suelo

La forma y dimensión del bulbo mojado depende del tipo de suelo, caudal del gotero y duración del riego. Los suelos con textura media o fina producen bulbos más anchos y pocos profundos, esto se debe a que el movimiento del agua en el suelo se produce por fuerzas capilares, en cambio suelos con textura arenosa los bulbos serán más estrechos y más profundos, esto debido a que el movimiento del agua es por gravedad, originando percolación fuera de la zona radicular (Santos *et al.*, 2010).

2.3.5. Programación del riego

Es una metodología que permite determinar el nivel apropiado u óptimo de riego, la frecuencia (cuando regar) y tiempo (cuanto regar) en función de las condiciones edafoclimáticas. Este procedimiento permite establecer el momento oportuno del riego optimizando agua y fertilizantes (Servin *et al.*, 2017).

Tensión de humedad es una medida que determina la fuerza con la que las partículas del suelo retienen las moléculas de agua: a mayor retención más alta es la tensión (Martín, 2017).

2.3.6. Lámina de riego de un pulso

La lámina de riego de un pulso se establece en base al tipo de suelo, la tensión de humedad, la profundidad de humedecimiento y el sistema radicular de las plantas. Los niveles mínimos y máximos de la tensión de humedad son medidas que determinan la lámina de riego de un pulso (Ortiz, 2008).

Tabla 1. Láminas de riego en función de la tensión de humedad

Tipo de suelo	Rango de tensión de humedad (milibares)	Lámina de riego
Arcilloso	20 – 25	0.1 – 0.2 (pequeñas)
Franco	10 – 25	0.3 – 0.5 (intermedias)
Arenoso	5 – 20	>0.5 (grandes)

Fuente: Ortiz, 2008.

Ortiz (2008), señala que el riego de alta frecuencia, el alto contenido de humedad y la histéresis del suelo influyen directamente en la variación de la tensión de humedad durante y después del riego, siendo la siguiente fórmula utilizada para el calcular la lámina de riego de un pulso.

$$Lrp = \frac{Lr \times Trp}{60}$$

Dónde:

Lrp: Lámina de riego del pulso (mm)

Lr: Lámina de riego de los goteros (mm h⁻¹)

Trp: Tiempo de riego del pulso (min)

2.3.7. Frecuencia de riego

En el riego por pulsos, la cantidad de agua suministrada al cultivo se hace en volúmenes pequeños y con alta frecuencia de aplicación. Ortiz (2008), indica la fórmula para aplicar el número o frecuencia de riegos.

$$Nr = \frac{Td}{Lrp}$$

Dónde:

Nr: Número de riegos

Td: Transpiración diaria del cultivo (mm d^{-1})

Lrp: Lámina de riego del pulso (mm)

2.4. Fertirrigación

Es una técnica de aplicación de fertilizantes disueltos en el aguade riego, mediante sistemas de riego localizados (goteo). Sin embargo, esta aplicación se la puede realizar en menor medida en riego por aspersión. El objetivo principal de la fertirrigación es transportar los fertilizantes que necesita la planta a un lugar específico de la zona radicular, aprovechando el flujo de agua optimizando recursos el agua y nutrientes (Sanchez, 2000).

2.4.1. Ventajas

- Adecuada dosificación de fertilizantes acorde con el ciclo de crecimiento
- Ahorro de fertilizantes
- Automatización
- Mayor eficiencia en la distribución del fertilizante en la parcela

2.4.2. Inyector Venturi

Es un dispositivo que se utiliza para acelerar la velocidad de un fluido, este se forma cuando el fluido pasa por un tubo y en una sección se forma una garganta entre dos tramos cónicos al entrar el fluido en la sección tiene una velocidad y al salir aumenta la misma, esta variación de la velocidad del agua provoca un vacío a través del cual integra la solución (Ortega, 2013).

2.5. Fertilidad del suelo**2.5.1. pH**

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de la solución del suelo (Figura 1), indicando que el suelo es un sistema que depende de varios subsistemas que interaccionan entre sí y no depende sólo del valor de la acidez (Alonso, 2013).

- Importancia

El pH de la solución del suelo afecta el crecimiento normal de las plantas, valores extremadamente altos precipitan los nutrientes, fuera de los rangos la absorción radicular se ve afectada (Rivera *et al.*, 2018). Esto convierte al pH en un parámetro importante que influye en la disponibilidad o deficiencia de nutrientes, influenciando sobre las características físicas y químicas del suelo (Ginés & Mariscal, 2002).

- Valores recomendados de pH para el cultivo de fréjol

Para el cultivo de fréjol existen rangos adecuados con los que se facilita el manejo del cultivo, fluctuando entre 6.5 y 7.5, en este rango los elementos nutritivos del suelo presentaran mayor disponibilidad (Ventura *et al.*, 2018).

Aldana (2010), afirma que el Nitrógeno, Fósforo y Potasio abundan en los rangos de pH anteriormente mencionados. Sin embargo, el cultivo puede comportarse o tolerar bien en pH 4.5 y 5.5.

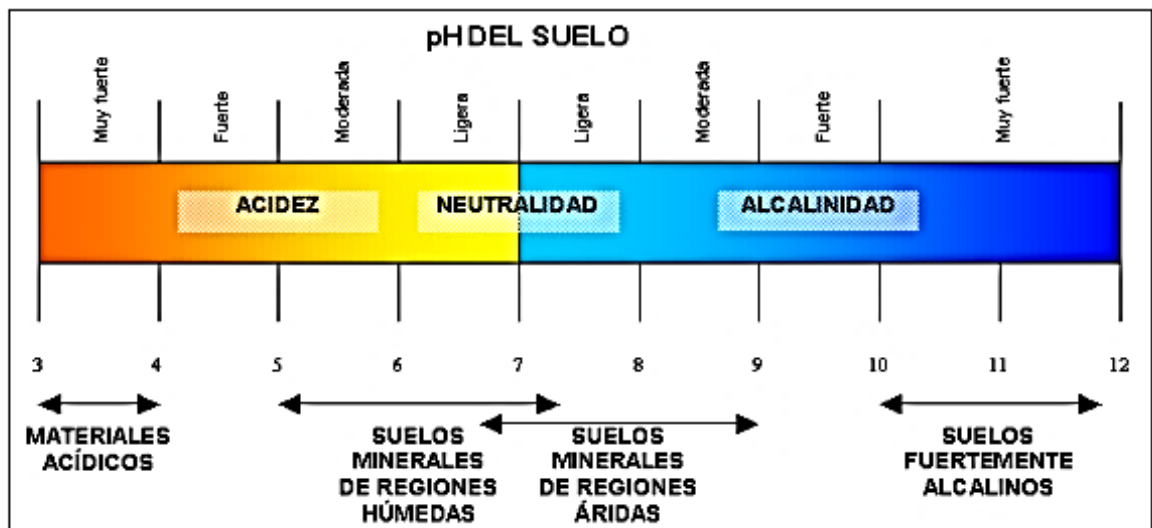


Figura 1. Escala de pH del suelo. Alonso, 2013.

- Efecto del pH sobre las propiedades físicas del suelo

La estructura de los suelos excesivamente ácidos es poco desarrollada, teniendo una baja porosidad, provocando un reducido desarrollo radicular, mala aireación y baja permeabilidad. Estas consecuencias se deben a la falta de cationes Ca^{++} , provocado por el exceso de agua, que fluye por los espacios que existen en los poros arrastrando los cationes de intercambio hacia capas inferiores (lixiviación) dejando cationes iónicos como aluminio e hidrogeno provocando la acidificación (Bernier & Alfaro, 2006).

- Efecto del pH sobre la solubilidad de nutrientes

La nutrición de las plantas puede verse afectado por el pH, esto se debe a la relación que existe entre la acidez y la solubilidad de los nutrientes. Las sales como los fosfatos PO_4 , son insolubles en medios muy ácidos es decir no asequibles para la planta. Por otro lado, sales de Fe y Zn son más solubles en pH ácido, esta elevada solubilidad puede ocasionar toxicidad en las plantas (Soriano, 2018).

- Efecto del pH sobre la actividad biológica del suelo

La actividad biológica se puede disminuir, esto a causa de la acidez del suelo afectando el crecimiento de bacterias y actinobacterias, esto ocurre cuando el pH del suelo es menor a 6. Sin embargo, el número de microorganismos aumenta considerablemente en suelo neutros y ligeramente básicos También los procesos como la fijación del nitrógeno atmosférico o nitrificación se inhiben cuando el pH del suelo es menor a 4.5 y cuando el pH es demasiado elevado, los procesos también se ven afectados. Es así que, la nitrificación es inexistente a pH 9 (Piedrahita, 2009).

2.5.2. Conductividad eléctrica

La Conductividad eléctrica es una medida que tienen las sustancias acuosas, esta propiedad permite medir la corriente eléctrica que posee dicha solución, medios de compuestos inorgánicos son buenas conductoras mientras que moléculas orgánicas al no separarse en el agua, se vuelven malas conductoras de corriente eléctrica. La conductividad se ve influenciada por la presencia de iones y temperatura (Alonso, 2013).

- **Importancia**

Los niveles de conductividad serán más elevados si la corriente se mueve más fácilmente a través del de la solución. Es decir que, a mayor conductividad eléctrica, mayor es la concentración de sales, es por ello que tener una conductividad eléctrica baja puede facilitar la fertilización y evitar problemas por fitotoxicidad en el cultivo (Barbaro *et al.*, 2012).

- **Valores de conductividad eléctrica recomendados para fréjol**

La composición del suelo puede estar afectada por una elevada concentración de sales como Cloruro sódico (NaCl), Cloruro magnésico (MgCl₂), Sulfato sódico (Na₂SO₄), es por ello que se recomienda que la CE del suelo sea baja, en lo posible menor a 1.0 dS m⁻¹ (Barbaro *et al.*, 2012).

2.5.3. Nitratos

De origen natural forman parte del ciclo del nitrógeno, estos iones también se utilizan en los fertilizantes inorgánicos. La formación de estos iones es consecuencia de la actividad microbiana (OMS, 2003).

- **Importancia**

Según Pliego *et al.* (2003), los nitratos promueven significativamente el crecimiento de la planta, es por ello que los nitratos tienen un efecto promotor en el crecimiento de las plantas de fréjol durante el desarrollo del cultivo.

- **Valores recomendados para el cultivo de fréjol**

Las concentraciones de nitratos en los suelos suelen ser bajas cuando poseen estructura arenosa, pues los mismos son lavados por exceso de precipitación e irrigación y transportados hacia aguas profundas, también el contenido de nitratos en los suelos es generalmente de 20 – 30ppm, es por ello que un rango adecuado debe estar entre los 80 y 70 ppm para un adecuado crecimiento del cultivo (Delgado *et al.*, 2015).

2.6. Contenido de humedad

El contenido de agua en los suelos se encuentra de dos formas, el agua absorbida por las arcillas o materia orgánica y el agua que rellena los poros entre partículas sólidas (Veenhuizen, 2011). Los contenidos de humedad son:

- **Saturación.** Los suelos en estado de saturación tienen los espacios del suelo ocupados por agua (Meza, 2012).
- **Capacidad de campo.** Es la cantidad máxima de agua que un suelo puede retener 48 horas después de haberse saturado, este mismo contenido de agua desciende conforme avanza el tiempo (Alonso, 2013). El mismo autor afirma que el contenido de agua retenida se realiza a una tensión de 0.1 a 0.33 bares. Sin embargo estos valores pueden cambiar dependiendo del tipo de suelo especialmente su textura.
- **Punto de marchitez permanente.** Es el contenido de agua retenida a una tensión de 15 bares. Su valor depende del tipo de suelo. Este es el límite de tensión hasta el cual una planta adaptada a condiciones medias de humedad, puede extraer agua.

2.6.1. Movimiento del agua en el suelo

El flujo del agua entre el suelo y la planta favorece un correcto funcionamiento y desarrollo de las plantas, es por ello que se debe mantener el agua en niveles apropiados para cada cultivo. Es así que el suelo es el lugar de almacenamiento natural del agua y el cual provee de acuerdo a sus necesidades (Calvache, 2002).

2.6.2. Disponibilidad de agua en el suelo

El agua disponible en el suelo para ser utilizada debe comprender un rango de 0.33 bares en capacidad de campo y 15 bares para el punto de marchitez. Si excede la humedad del suelo un nivel a la capacidad de campo el contenido de oxígeno (aire) afectará el desarrollo normal de las plantas. Por otro lado, niveles inferiores al punto de marchitez provocarán daños de nivel fisiológico (Palomino, 2009).

2.6.3. Tensión de humedad

La tensión de humedad es una medida que establece con qué fuerza las partículas del agua son retenidas por el suelo. Es decir que cuando el suelo pierde agua o se seca, las partículas del suelo retienen el agua con mayor fuerza incrementándose la tensión de humedad (Edward, 2000). El mismo autor señala que el suelo en capacidad de campo tiene una tensión de 0.1 bar, donde el agua no es retenida fuertemente por el suelo, facilitándole a la planta la extracción del agua.

2.7. Características del fréjol arbustivo INIAP 481 Rojo del Valle

La variedad INIAP 481 Rojo del Valle proviene de la cruce SEL 1308/Red Haw/Red Haw /Je.Ma./Paragachi/Paragachi, realizada en 2002 en Michigan State University (EEUU). De esta cruce se generó la línea TP6 de fréjol arbustivo de color de grano rojo moteado, de hábito de crecimiento tipo 2 guía pequeña (Peralta *et al.*, 2013).

2.7.1. Características Morfológicas

Tabla 2. Características morfológicas. INIAP 481 Rojo del Valle

Hábito de crecimiento	Indeterminado Tipo II (con guía pequeña)
Altura de planta(cm)	45 a 50
Color de flor	Blanca
Color de grano seco	Rojo moteado con Crema
Color de grano tierno	Blanco / Rosado
Tamaño del grano seco	Grande
Forma del grano	Arriñonado
Largo de la vaina (cm)	11- 13

Fuente: Peralta *et al.*, 2013.

2.7.2. Características Agronómicas

Tabla 3. Características agronómicas. INIAP 481 Rojo del Valle

Días a la floración (dds*)	45 a 52
Días a madurez fisiológica (dds)	85 a 95
Días a cosecha en seco (dds)	100 a 110
Número de vainas por planta	10 a 12
Número de granos por vaina	4 a 5
Peso de 100 granos secos (g)	40 a 45
Peso hectolítrico (kg/hl)	70 a 75
Peso en grano seco (kg ha ⁻¹)	1437

Fuente: Peralta *et al.*, 2013.

2.8. Cultivo de fréjol

Para que la planta de fréjol desarrolle su máximo potencial, se debe manejar componentes como: suelo, pH, conductividad eléctrica, fertilización y riego, esto con el fin de facilitar un adecuado ambiente para su crecimiento, reduciendo los distintos tipos de estrés, para posteriormente lograr una excelente producción.

2.8.1. Textura del suelo

Para un correcto desarrollo de la planta de fréjol es adecuado tener suelos con textura franco-limosa y franco-arenosa, estos tipos facilitan la aireación del suelo que es muy importante para la formación de nódulos, los que posteriormente captan Nitrógeno, el que es aprovechado como elemento de importancia para el crecimiento de la planta. Estos suelos deben ofrecer las mejores condiciones para que las semillas tengan buena germinación y vigorosidad (Arias *et al.*, 2009).

2.8.2. Fertilización

Una recomendación general es aplicar a la siembra 50 kg ha⁻¹ de urea, 50 kg ha⁻¹ DAP, 50 kg ha⁻¹ de KCL y micronutrientes y una segunda fertilización 30 días después de la siembra. Adicional a esto Guamán y Andrade (2004), sugieren la aplicación de fertilizante foliar cuando las plantas presentan síntomas de deficiencia de micronutrientes. En Ecuador Peralta *et al.* (2013), recomienda aplicar a la siembra 200 kg ha⁻¹ de 18- 46 -0 de NPK, que representan 36 y 92 kg ha⁻¹ de nitrógeno y P₂O₅.

2.8.3. Requerimientos hídricos del cultivo de fréjol:

El requerimiento hídrico está en función de diversos factores como: humedad, temperatura, características físicas del suelo, entre otras. El fréjol requiere de 3.3 mm al día de agua desde la siembra hasta prefloración, 5.9 mm durante la floración y 5.0 mm por día en la formación de vainas. Esto puede variar de acuerdo con la variedad y duración del cultivo (Bixa, 2002).

2.9. Análisis financiero

El análisis financiero permite conocer la incertidumbre que pueda tener un proyecto, al determinar si es viable o no, también permite estimar el riesgo de la inversión tomando en cuenta los beneficios, ventajas y desventajas que puede tener en toda su vida útil (Mogollón & Valladares, 2012).

2.9.1. Beneficio – Costo (B/C)

Es la relación que existe entre los beneficios obtenidos y los costos que se utilizaron con el fin de evaluar su rentabilidad. Es así que, se puede determinar si los beneficios conseguidos son mayores, iguales o menores a los costos de producción. Si la relación Beneficio – Costo es mayor a 1.0, el proyecto es aceptable ya que la rentabilidad es mayor (Borja, 2015).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del estudio

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

Lugar:	Campo Académico Docente Experimental La Tola (CADET)
Sector:	La Morita
Parroquia:	Tumbaco
Cantón:	Quito
Provincia:	Pichincha
Coordenadas Geográficas:	Latitud: 00°13'46" S, Longitud: 78°22'00" W
Elevación:	2480 msnm

3.2. Características agroclimáticas

Temperatura promedio anual (C):	17.0
Precipitación promedio anual (mm):	860
Humedad relativa promedio anual (%):	75%

Fuente: INAMHI, 2017.

3.3. Materiales

Tabla 4. Materiales de trabajo

Materiales e insumos de campo	Materiales y herramientas para el muestreo del suelo	Equipo para la determinación de humedad y fertilidad del suelo	Materiales de oficina	Equipo de riego
Semilla de fréjol	Pala	Tensiómetro	Cuaderno	Computadora
Fertilizantes	Barreno	Succionadores	Tablero	Tuberías
Azadón,	Balde	Jeringuillas	Lápiz	Inyectores
Rastrillo	Etiquetas	Medidor de Nitratos	Esfero	Medidores
Estacas	Fundas plásticas		Borrador	Nanómetro
Pirola	Botella plástica		Tablero	Hidrómetro
Combo			Resaltador	flujómetro p/Venturi
Flexómetro			Calculadora	

3.4. Métodos

3.4.1. Factores en estudio

Factor 1: Riego	Riego 1 (goteo 8- 15 centibares) Riego 2 (pulsos 4.0 -5.5 centibares)
Factor 2: Fertilización	Fertilización 100% (35kgN - 17.50kgP - 30kgK) Fertilización 50% (17.50kgN - 8.75kgP - 15kgK)

3.5. Tratamientos

Están determinados por la interacción de los factores en estudio riego y fertilización.

Tabla 5. Código de tratamientos

Tratamiento	Código	Descripción
1	RGF100	Riego goteo + dosis de fertilización 100%
2	RGF50	Riego goteo + dosis de fertilización al 50%
3	RPF50	Riego por pulsos + dosis de fertilización 50%
4	RPF100	Riego por pulsos + dosis de fertilización al 100%

3.6. Unidad experimental

La unidad experimental está conformada por 20 surcos de 10 metros de longitud, separados a una distancia entre surcos de 0.40 metros, obteniendo una superficie total de 80 m². La siembra se realizó a una distancia 0.20 metros entre plantas y una semilla por golpe, obteniendo una densidad de siembra de 1 000 plantas por unidad experimental. Se trabajó con 4 tratamientos y 4 repeticiones, en total 16 unidades experimentales.

3.6.1. Características del Sitio Experimental

- Número de surcos: 20
- Longitud de los surcos: 10 m
- Distancia entre surcos: 0.40 m
- Distancia entre plantas: 0.20 m
- Número de semillas por golpe: 1
- Superficie unidad experimental: 80 m² (10 m x 8 m)
- Número de tratamientos: 4
- Número de repeticiones: 4
- Total de parcelas: 16
- Superficie total experimental: 1 280 m² (80 m² x 16 parcelas)

La parcela neta está conformada de 12 surcos centrales de 8 metros de longitud, y separados a una distancia de 0.40 metros, dando una superficie total de 38.40 m². La densidad de siembra es de 480 plantas. El área omitida en la parcela neta corresponde al efecto borde, se eliminará 1.0 metro a cada extremo de la parcela neta y se omitirá 8 surcos, 4 a cada lado de la parcela neta.

3.6.2. Parcela Neta

- Número de surcos: 12
- Longitud de los surcos: 8 m
- Distancia entre surcos: 0.40 m
- Distancia entre plantas: 0.20 m
- Superficie neta: 38.40 m² (8m x 4.80m)
- Superficie total neta: 614.40 m² (38.40 m² x 16 parcelas)

3.7. Diseño Experimental

Se utilizó un diseño de parcelas divididas, este diseño generalmente se aplica para experimentos factoriales, donde la parcela grande es el riego y la parcela pequeña es la fertilización.

Tabla 6. Análisis ANOVA del experimento

F de V	GL
TOTAL	Trat – 1
RIEGO	a – 1
Error (A)	a(r – 1)
Fertilización	(b – 1)
R X F	(a – 1) (b – 1)
Error B	a(r – 1) (b – 1)
Media	-
CV%	-

Nota: a, tipos de riego; b, niveles de fertilización; r, Número de repeticiones

3.8. Variables y métodos de evaluación

3.8.1. Número de vainas por planta

En la parcela neta se seleccionó 12 plantas, cuatro en la esquina superior derecha, cuatro en la parte media y cuatro en la esquina inferior izquierda. Las plantas fueron debidamente identificadas: número de planta, número de tratamiento, y repetición. Fueron 48 plantas por tratamiento dando un total de 192 los 4 tratamientos. Se realizó de forma manual cortando las plantas seleccionadas y arrancando las vainas para contarlas.

3.8.2. Número de semillas por vaina

Se contó el número de granos/vaina/planta de las 12 plantas seleccionadas en cada tratamiento y en cada repetición. Esto se realizó de forma manual cortando las plantas y arrancando las vainas para posteriormente desgranar y contar el número de granos.

3.8.3. Rendimiento del cultivo

Se procedió a arrancar las plantas de la parcela neta de cada tratamiento de forma manual y se las apiló, posteriormente se arrancaron las vainas y los granos se los ubicó en costales que tenían su identificación. El contenido de humedad se midió con el equipo agraTronix MT-16. Luego se pesaron los granos de cada parcela neta y los datos se expresaron en $t\ ha^{-1}$.

3.8.4. Volumen diario de agua aplicado

Para registrar el volumen diario de agua se utilizó un medidor de agua, se midió los datos los días lunes miércoles y viernes. Al final se sumó todos los datos y se obtuvo el volumen de agua aplicado al cultivo de fréjol.

3.8.5. Nitratos

Para la determinación de la fertilidad del suelo se instaló ocho succionadores en ocho tratamientos, estos se instalaron en el centro de la parcela neta, en la mitad de los laterales de riego, a una profundidad de 20 cm. Los datos se registraron los días lunes, miércoles y viernes, a las 09:30 de la mañana, con la ayuda de una jeringuilla se extrajo la solución para luego realizar los análisis correspondientes. La solución extraída de los succionadores sirvió para medir el contenido de nitratos los días lunes, miércoles y viernes.

3.8.6. Tensión de humedad

Para la determinación de la humedad del suelo se utilizó dos tensiómetros análogos conectados electrónicamente con el computador de riego. Se ubicó uno para el sistema de riego por goteo convencional y otro para el sistema de riego por pulsos, estos se instalaron en el centro de la parcela neta, en la mitad de lateral con goteros compensados, a una profundidad de 20 cm, se introdujo el tensiómetro, se rellenó con tierra y al final se saturó

para producir una compactación natural, que ayuda a que la cápsula porosa quede en contacto con el suelo adyacente. El tensiómetro se protegió con un tubo PVC y se trató con una solución de hipoclorito de sodio al 3% para evitar crecimiento de algas dentro del tensiómetro. Medida o unidad milibares. El registro de los datos de la tensión de humedad se midió con una frecuencia de dos minutos.

3.8.7. pH

Con un medidor de pH se tomó datos de la solución del suelo en cada tratamiento, los días lunes, miércoles y viernes a las 10 am.

Tabla 7. Tabla de registro de la fertilidad del suelo.

Tratamiento No:	Mes:			
		Fecha	pH	CE
		Lunes		Nitratos
		Miércoles		
		Viernes		

3.8.8. Conductividad eléctrica

Para la medición de la conductividad eléctrica se utilizó un conductivímetro portátil, el cual midió la capacidad de la disolución de conducir corriente eléctrica. Los datos se tomaron los días lunes, miércoles y viernes.

3.9. Manejo del experimento

3.9.1. Muestras de suelos

Antes de la siembra se realizó un análisis de fertilidad de los suelos, las muestras fueron tomadas en forma de zigzag en toda el área del terreno, con el fin de minimizar la variabilidad y lograr tener un dato más exacto. El procedimiento se lo ejecutó con la ayuda de un barreno y la profundidad del corte fue de 20 cm.

Una vez tomadas las muestras se clasificó, se eliminó impurezas como: restos de hojas, raíces, rocas, maderas, insectos etc., a fin de que las muestras sean representativas y no pueda inferir en los resultados. Las muestras fueron aproximadamente de 1 kg, las que posteriormente se las guardó en fundas ziploc debidamente identificadas con el nombre, fecha de muestreo, cultivo, etc. Posteriormente se envió al laboratorio de suelos.

3.9.2. Preparación del terreno

La preparación del terreno se realizó en forma manual para uniformizar la pendiente del terreno. El 11 de septiembre 2018 se procedió a la limpieza del suelo con azadón y rastrillo para retirar la maleza.

3.9.3. Trazado de la parcela

Se delimitó el área de estudio colocando piolas y estacas con un total de 1 280 m de superficie. Se colocó 10 mangueras o laterales de riego con una separación de 80 cm en las 16 unidades experimentales, con un total de 160 mangueras.

3.9.4. Siembra

La siembra se realizó el 23 de octubre de 2019 de manera manual, sembrando una semilla por golpe a una profundidad de 2 a 3 cm, a una distancia de 20 cm entre plantas y 40 cm entre hileras, teniendo una densidad de siembra de 125 mil plantas por hectárea. La separación entre laterales de riego fue de 80 cm, y cada uno regará dos hileras de cultivo. La densidad de siembra de cada repetición se estima en 1 200 plantas.

3.9.5. Resiembra

La resiembra se realizó 5 y 6 de noviembre 2018, 5% de las plantas no germinó por lo que se procedió con la misma técnica que en la siembra. Una semilla por golpe a una profundidad de 2 a 3 cm, a una distancia de 20 cm entre plantas y 40 cm entre hileras.

3.9.6. Fertilización

La fertilización se realizó a través de fertirriego, en las siguientes dosis (Tabla 8).

Tabla 8. Fertilización al 100% y 50% riego por goteo.

Tratamiento	N (kg ha ⁻¹)	P (kg ha ⁻¹)	K (kg ha ⁻¹)
F100 %	35.00	17.50	30.00
F50 %	17.50	8.75	15.00

3.10. Manejo del riego

3.10.1. Riego por goteo convencional

El riego convencional se realizó entre 8.0 y 15.0 centibares. El tiempo de riego calibrado para este rango de variación fue de 18 minutos. La tensión de humedad se registró cada 3 minutos.

3.10.2. Riego por pulsos

El riego por pulsos se realizó entre 4.0 y 5.5 centibares. El tiempo de riego fue de 2 minutos. La tensión de humedad se registró cada 3 minutos.

3.11. Control fitosanitario

3.11.1. Plagas

Se realizó una evaluación durante las primeras apariciones de brotes en donde se encontró plántulas afectadas, atacadas especialmente en tallos (trozados), larvas de gusano trozador (*Agrotys sp*), se realizó un control preventivo, se usó un insecticida de amplio espectro (Cipermetrina) 40 ml en 200 litros para toda la superficie del cultivo y alrededores.

Se realizó un control para mosca blanca (*Bemisia tabaci*) perteneciente al orden de los hemípteros, debido a que existió alta incidencia de esta plaga y son vectores de enfermedades, se realizó un control y se utilizó insecticida de amplio espectro (Karate) en toda el área de la parcela y sus alrededores.

3.11.2. Enfermedades

- Antracnosis

Se presentaron manchas en el envés de las hojas de color negro y rojizo, las vainas también fueron afectadas, se investigó los síntomas y se pudo determinar que era antracnosis *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. Et Magn.). El control preventivo se realizó con un fungicida con base a cobre.

- Virus del Mosaico

Se Observaron hojas con puntos amarillos y encorvamiento en las puntas las hojas. La medida de control que se realizó fue eliminar las plantas enfermas, quemando los residuos y las plantas alrededor de la parcela.

3.12. Toma de muestras de plantas

Para realizar el análisis foliar se tomó tres hojas maduras de la parte superior de tres plantas al azar de cada repetición, teniendo un total 32 hojas por tratamiento. Se tomó solo hojas debido a que es donde existe la mayor actividad fotosintética y refleja el estado nutricional de las plantas. Posteriormente se etiquetó con toda la información que requería AGROCALIDAD para realizar el análisis, esto se efectuó en horas de la mañana, los resultados de los análisis muestran contenido de cenizas, materia orgánica, macro y micro elementos contenidos en las plantas.

3.13. Control de malezas

El primer control de malezas se realizó a los 30 días después de la siembra, el 22 de noviembre 2018, cuando la planta tenía 11 cm de altura, esto se ejecutó con la ayuda de azadón y azada.

La segunda limpieza se realizó el 2 de enero 2019, con el objetivo de evitar la competencia de nutrientes, agua y luz, se realizó con azadón, azada y rastrillo de forma manual.

3.14. Cosecha

Al alcanzar la madurez fisiológica se procedió a cosechar las vainas secas, para lo cual en las parcelas netas se arrancó las plantas de raíz y se las colocó en montones debidamente clasificados. A continuación, se procedió a llevarlas a la caseta de riego en costales para luego arrancar las vainas. Las vainas fueron arrancadas manualmente al igual que los granos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Número de vainas por planta

En la Tabla 9 se presenta el análisis de varianza, el mismo que advierte que el experimento no presenta diferencia estadística significativa para el factor A (riego), para el factor B (fertilizante) tampoco presenta diferencia significativa con respecto a la variable número de vainas en el cultivo de fréjol. El coeficiente de variación fue de 11.47%, lo cual es admisible para un experimento en campo (Ramírez, 2015).

Tabla 9. Cuadrados medios del ANOVA, promedios y coeficientes de variación para número de vainas.

Cuadrados medios		
F de V	GL	Número de vainas
Total	15	-
Riego	1	3.06 NS
Error A	6	-
fertilizante	1	0.56 NS
Riego x fertilizante	1	5.06 NS
Error B	6	7.15
Media		23.31
CV (%)		11.47

Nota: *, diferencia estadística significativa; **, diferencia estadística altamente significativa; NS, diferencia estadística no significativa.

Los datos obtenidos del experimento, número de vainas por planta, presenta una distribución normal con un p-valor mayor al nivel de probabilidad 0.05 (Anexo 1).

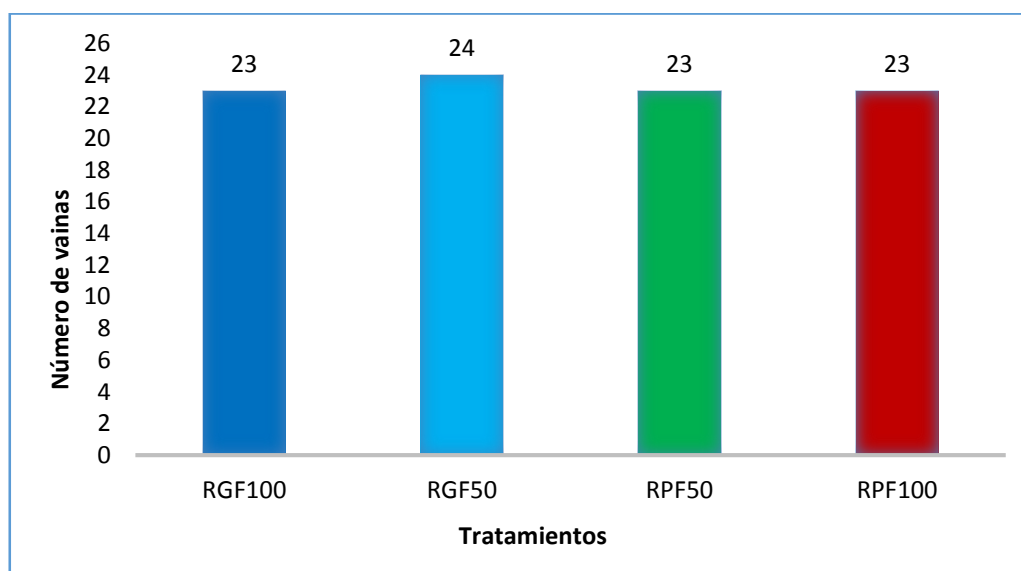


Figura 2. Promedio de número vainas por planta.

Para la variable número de vainas por planta (Figura 2), el valor promedio más alto fue el tratamiento 2 (riego continuo y fertilización al 50%) con 24 vainas, a pesar de que no existió diferencia estadística, este valor es el más elevado del establecido en la ficha técnica de la variedad INIAP 481 Rojo del Valle, en el cual, el promedio de vainas por planta varía entre 10 y 12 (Peralta *et al.*, 2012). Se puede indicar que se duplicó el número de vainas en los cuatro tratamientos.

Este dato se puede corroborar con la investigación realizada por Romero (2019), quien obtuvo un promedio de 23.54 vainas por planta en el tratamiento 3, riego por pulsos y la aplicación del 50 % de fertilizante.

Según Estrada *et al.* (2017), el efecto del nitrógeno disponible combinado con la alta disponibilidad del agua, durante toda la etapa del cultivo permite que las plantas puedan mejorar e incrementar el número de vainas. El cultivo no tuvo déficit hídrico, es por ello que la planta no utilizó energía en busca de agua a través de sus raíces, aprovechando la energía en sus frutos e incrementando el número de vainas.

4.2. Número de semillas/vaina/planta

Del análisis de varianza, se advierte que el experimento no presenta diferencia estadística significativa para el factor A (riego); para el factor B (fertilizante), no presenta diferencia significativa con respecto a la variable número de semillas por vaina. El coeficiente de variación fue del 17.61 % (Tabla 10).

Tabla 10. Cuadrados medios del ANOVA, promedios y coeficientes de variación para número de semillas.

Cuadrados medios		
F de V	GL	Número de semillas
Total	15	-
Riego	1	0.06 NS
Error A	6	-
Fertilizante	1	0.56 NS
Riego x Fertilizante	1	0.06 NS
Error B	6	0.65
Media		4.56
CV (%)		17.61

Nota: *, diferencia estadística significativa; **, diferencia estadística altamente significativa; NS, diferencia estadística no significativa.

Según Peralta *et al.* (2013), en la ficha técnica de la variedad INIAP 481 Rojo del Valle, el número de granos por planta varía de 4 a 5, este rango se ajusta al experimento, el promedio para los tratamientos 1, 3 y 4 fue de 5 granos por vaina, dando un total de 115 granos por planta; para el tratamiento 2 fue de 4 granos por planta, con un total de 96 granos por planta (Figura 3). En la investigación “Agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.) en el CADET”, realizada por Romero (2019), el riego por pulsos (tratamiento 3) obtuvo 4 granos por planta, con un total de 89.19 granos y el tratamiento 4 obtuvo 4 granos por vaina, con un total 62.53 granos.

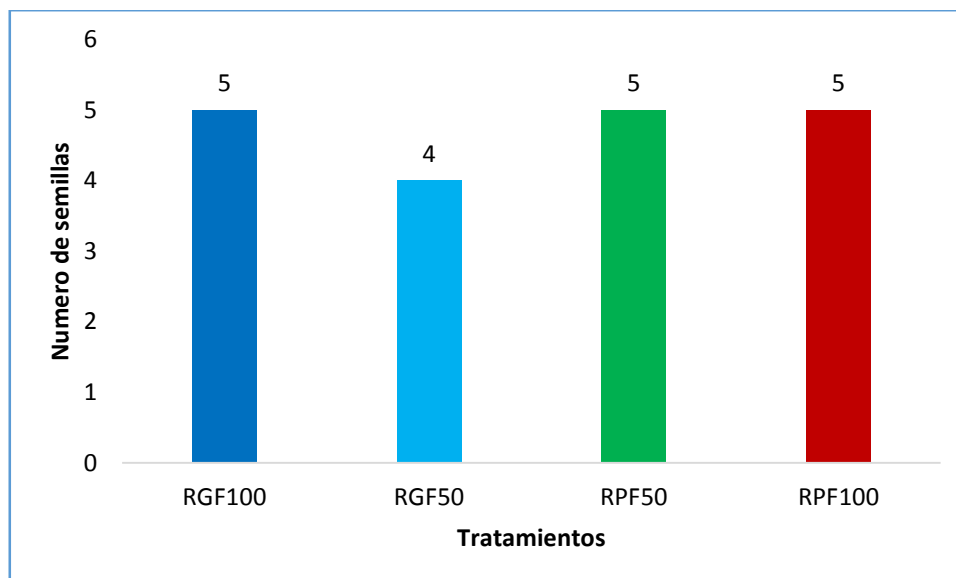


Figura 3. Promedio de granos/vainas/planta.

Por otro lado, Calero *et al.* (2018), asegura que al tener la planta mayor capacidad fotosintética y requerimiento hídrico disponible, lo puede convertir en mayor materia seca acumulada y evidentemente en un aumento en el rendimiento de granos por planta.

4.3. Rendimiento

El experimento presentó diferencia estadística no significativa para los factores en estudio e interacción sobre la variable rendimiento (kg/Pn) aplicados en el cultivo de fréjol. Demostrando que el factor riego (R), fertilización (F) e interacción riego y fertilización (R X F) no tuvieron efecto significativo sobre el comportamiento de esta variable. La media general de rendimiento en el cultivo de fréjol variedad INIAP 481 Rojo del Valle (Tabla 11), fue de 6.86 kg/Pn y el coeficiente de variación del 13.16%.

Tabla 11. Cuadrados medios del ANOVA para el rendimiento.

Cuadrados medios		
F de v	GL	Rendimiento (kg/PN)
Total	15	-
Riego	1	0.24 NS
Error Exp. (A)	6	0.79 NS
Fertilización	1	1.12 NS
R X F	1	0.00 NS
Error Exp.(B)	6	1.10
Media		6.86
CV (%)		13.16

Nota: *, diferencia estadística significativa; **, diferencia estadística altamente significativa; NS, diferencia estadística no significativa.

Los datos del experimento presentan una distribución normal al obtener un p-valor mayor al nivel significancia del 5% (Anexo 1).

De igual manera, se realizó el test de Levene para comprobar la homogeneidad de las varianzas, en el cual se determinó que las varianzas son homogéneas, puesto que el p-valor es mayor al nivel de probabilidad 0,05 para los dos factores tipo de riego y dosis de fertilización (Anexo 2).

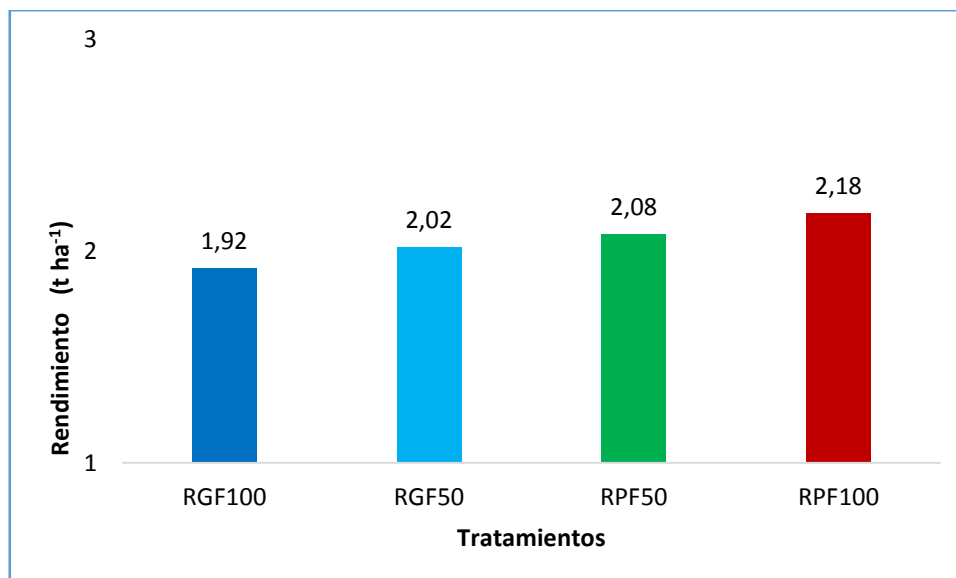


Figura 4. Promedio de rendimiento para los cuatro tratamientos.

En la Figura 4 se presenta el rendimiento promedio de los cuatro tratamientos, en donde se observa que estadísticamente los cuatro tratamientos fueron iguales, aunque matemáticamente el mejor fue el número cuatro (RPF100), riego por pulsos con lámina de agua 50% y dosis de fertilización 100%, con un rendimiento promedio de 2.18 t ha⁻¹.

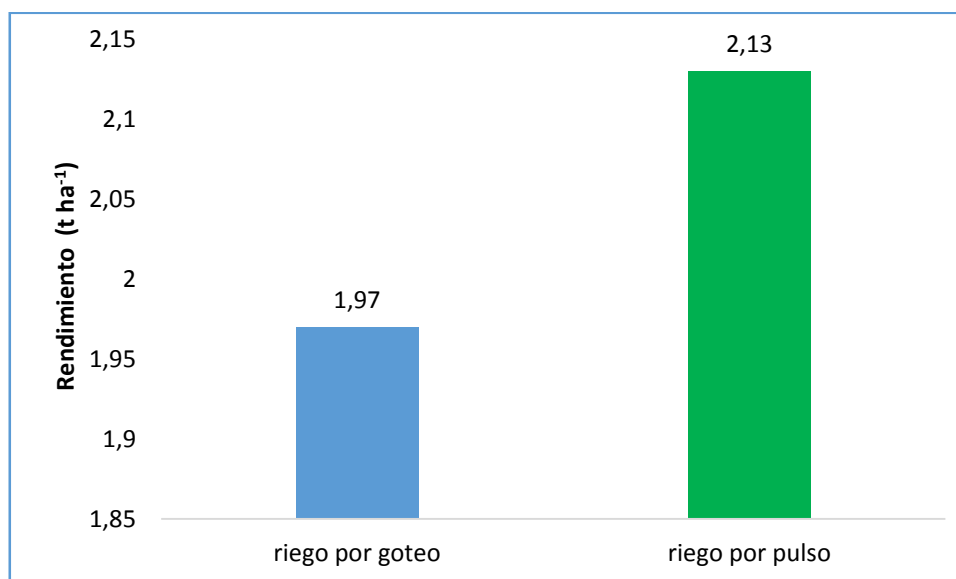


Figura 5. Valores promedio de rendimiento para los dos tipos de riego.

Se puede evidenciar en la figura 5, que se logró un promedio de 2.13 t ha⁻¹ en el riego por pulsos, y de 1.97 t ha⁻¹ en riego por goteo. Según Vidal *et al.* (2015), el uso de la fertirrigación con riego por pulsos incrementa el rendimiento, mejorando los suelos que tienen un bajo nivel productivo, generando mejor respuesta en la extracción de minerales y en la aplicación del nitrógeno, mayor humedad en la superficie del suelo, siendo esto beneficioso para las raíces. Esto se puede evidenciar en los tratamientos 3 y 4, a los que se aplicó el riego por pulsos obteniendo valores superiores a los del riego por goteo.

Según Vázquez (2019), la aplicación de láminas pequeñas de agua incrementa la cantidad de oxígeno disponible en el suelo en un 16 %. Monserrat *et al.* (1997), afirma que la aplicación del agua por pulsos permite alcanzar efectos positivos reduciendo la velocidad de infiltración, logrando mayor disponibilidad de agua y nutrientes en la zona de crecimiento de las raíces, lo que ayuda a que los cultivos mejoren sus rendimientos.

El manejo convencional del agua en el riego por goteo y la dosis recomendada de fertilización permitió obtener un rendimiento de 1.92 t ha⁻¹, en la investigación realizada por Vásquez (2019), alcanzó un rendimiento de 2.46 t ha⁻¹ en el tratamiento de riego por goteo y 100% de fertilizantes, debiendo aclarar que en el primer ciclo se utilizó el doble de fertilizantes.

4.4. Volumen de agua aplicado

El experimento presentó diferencia estadística altamente significativa para el factor A (riego), esto se puede observar en la Tabla 12, sin embargo, para el factor B (fertilizante) no presenta diferencia significativa respecto a la variable volumen de agua aplicado en el cultivo de fréjol. Demostrando que el tipo de riego (R) tuvo un efecto altamente significativo.

Tabla 12. Cuadrados medios del ANOVA promedios y coeficientes de variación para volumen de agua.

Cuadrados medios		
F de V	GL	Volumen de Agua (mm)
Total	15	-
Riego	1	1474.06**
Error A	6	-
Fertilizante	1	0 NS
Riego x fertilizante	1	0 NS
Error B	6	24
Media		287.81
CV (%)		1.7

Nota: *, diferencia estadística significativa; **, diferencia estadística altamente significativa; NS, diferencia estadística no significativa.

Los datos obtenidos del experimento volumen de agua (mm), presentan una distribución normal al obtener un p-valor mayor al nivel de probabilidad 0.05 (Anexo 1).

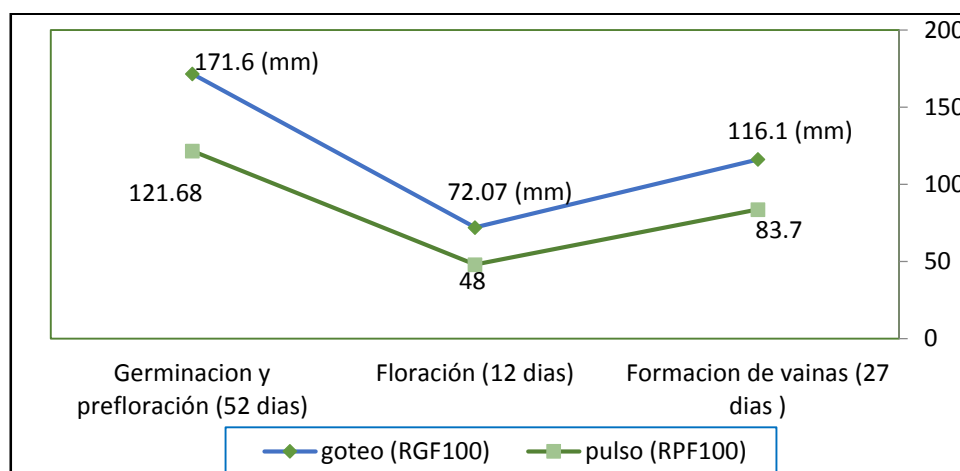


Figura 6. Agua proporcionada al cultivo en las etapas en germinación, prefloración, floración y formación de vainas.

Para el tratamiento 1 (RGF100) riego continuo y fertilización 100% se aplicó 3.3 mm de agua al día, en la etapa de germinación y prefloración, la misma que duró 52 días desde la siembra, con un subtotal de 171.6 mm. En floración se aplicó 6 mm de agua al día, esta etapa duró 12 días con un subtotal de 72.07 mm. Para la formación de vainas y llenado de grano se aplicó 4.3 mm al día, esta etapa duró aproximadamente 27 días, con un subtotal de 116.10 mm. En el tratamiento 2 (RGF50) riego por goteo y fertilización 50 % se aplicó 3.4 mm de agua al día, en la etapa de germinación y prefloración, la misma que duró 52 días desde la siembra, con un

subtotal de 176.8 mm. En floración se aplicó 6.51 mm al día, esta etapa duró 12 días con un subtotal de 78.12 mm. Para la formación de vainas y llenado de grano se aplicó 4.54 mm al día, esta etapa duró aproximadamente 27 días, con un subtotal de 122.58 mm.

El total de agua aplicado para el riego por goteo tratamiento 1 (RGF100) de aproximadamente de 359.77 mm y para el tratamiento 2 (RGF50) fue de 377.50 mm durante el ciclo del cultivo (Figura 7).

Para el riego por pulsos tratamiento 3 (RPF50) se aplicó 2.35 mm de agua al día en la etapa de germinación y prefloración, la misma duró 52 días desde la siembra, dando un subtotal de 122.2 mm. En floración se aplicó 4 mm al día, esta etapa duró 12 días con un subtotal de 48 mm. Para la formación de vainas y llenado de grano se aplicó 3.12 mm al día, esta etapa duró aproximadamente 27 días, con un subtotal de 84.24 mm. En el tratamiento 4 (RPF100) se aplicó 2.34 mm de agua al día en la etapa de germinación y prefloración, la misma que duró 52 días desde la siembra, dando un subtotal de 121.68 mm. En floración se aplicó 4 mm al día, esta etapa duró 12 días con un subtotal de 48 mm. Para la formación de vainas y llenado de grano se aplicó 3.1 mm al día, esta etapa duró aproximadamente 27 días, con un subtotal de 83.7 mm (Figura 6).

El total de agua aplicado para el riego por pulso tratamiento 3 (RPF50) fue de aproximadamente de 254.44 mm y para el tratamiento 4 (RPF100) fue de 253.38 mm durante el ciclo del cultivo (Figura 7).

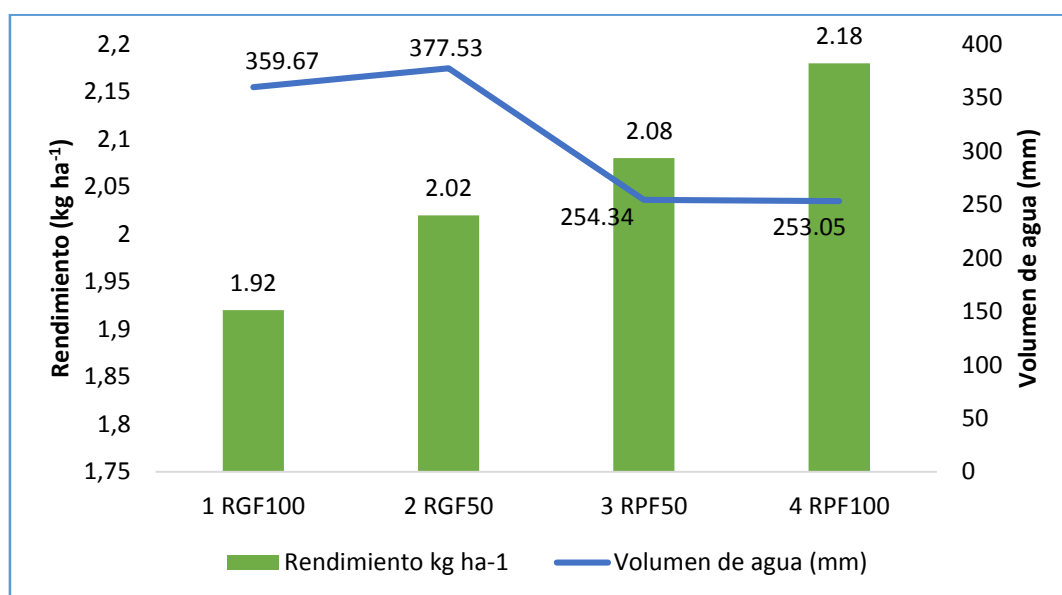


Figura 7. Rendimiento del cultivo.

Vásquez (2019), en la investigación, evaluación del manejo del cultivo de fréjol arbustivo, aplicó en promedio 330.3 mm de agua en el riego por goteo y para el riego por pulsos aplicó 162.8 mm de agua.

Estos resultados muestran la importancia de la planificación del riego, se puede indicar que para producir 2.18 toneladas de fréjol por hectárea se necesita 253.05 mm de agua es decir 2 530 m³. Con esta técnica de riego (pulsos) se puede maximizar la producción agrícola, lo que es altamente importante para el desarrollo agrario del país. En esta investigación y con la técnica de pulsos se logró un ahorro de agua del 50%.

Según Tapia (2013), en la zona radicular es donde existe la mayor actividad biológica, lo que facilita la absorción de los nutrientes y del agua de manera más eficiente, permitiendo que la planta se desarrolle adecuadamente, elevando los rendimientos.

Cabe recalcar que se realizó una prueba adicional, medición de la cantidad de oxígeno para el sistema de riego por pulsos y para el sistema de riego convencional (goteo), obteniendo mayor concentración el riego por pulsos con 16% más oxígeno en la solución del suelo, permitiendo que la zona radicular tenga mejores condiciones y la raíz pueda desarrollarse adecuadamente, mejorando la absorción de agua y nutrientes.

4.5. Nitratos en la solución del suelo

El experimento no presentó diferencia estadística para el factor A (riego), para el factor B (fertilizante) presenta diferencia significativa, para la interacción riego y fertilización (A x B) presenta diferencia significativa, con respecto a la variable nitratos en el cultivo de fréjol, demostrando que la fertilización (B) y la interacción (A X B) tuvieron un efecto significativo, como se indica en la Tabla 13. El coeficiente de variación fue del 12.14%, lo cual es admisible para un experimento en campo (Vásquez, 2019).

Tabla 13. Cuadrados medios del ANOVA, promedios y coeficientes de variación para la variable nitratos.

cuadrados medios		
F de V	GL	nitratos (ppm)
Total	15	-
Riego	1	817,25NS
Error A	6	-
fertilizante	1	803,08*
Riego x Fertilizante	1	788,07*
Error B	6	92,46
Media		79,20
CV (%)		12,14

Nota: *, diferencia estadística significativa; **, diferencia estadística altamente significativa; NS, diferencia estadística no significativa.

Los datos obtenidos de la variable nitratos (ppm) presentaron una distribución normal, con un p-valor mayor al nivel de probabilidad 0.05 (Anexo 1).

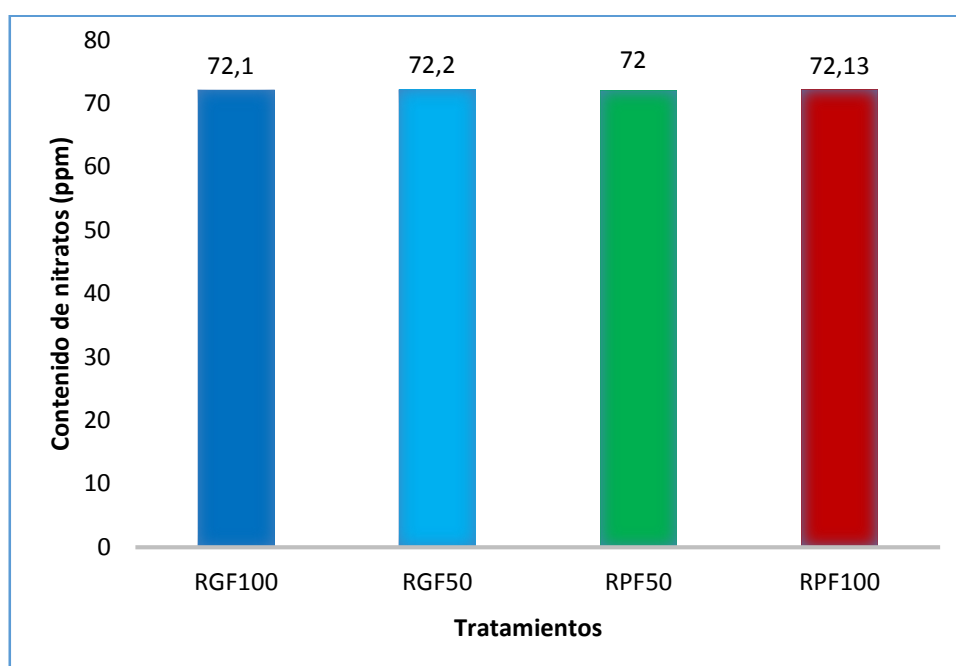


Figura 8. Promedio del contenido de nitratos en la solución del suelo.

En la Figura 8 se observa el contenido de nitratos para los cuatro tratamientos con valores promedio de 72 ppm, es así que una causa para que el suelo tenga buen contenido de nitratos, es que el ciclo anterior estuvo sembrado de fréjol el cual aportó nitrógeno, que las raíces del cultivo en simbiosis con las bacterias fijadoras *Rhizobium*, originando agregados aprovechables que pueden incorporarse fácilmente al suelo (Bixa, 2002).

Álvarez y Steinbach (2012), aseguran que los cultivos son grandes demandantes de nitrógeno, es por ello que, al ser aplicado en forma de fertilizante, puede permanecer en el suelo en forma de nitrato y acumularse para su posterior utilización.

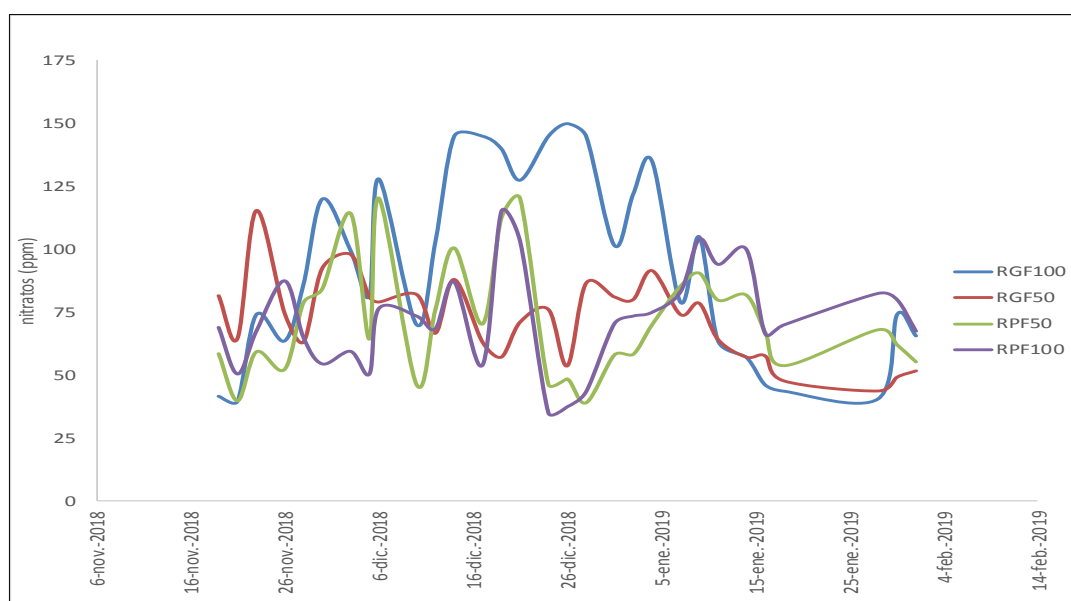


Figura 9. Comportamiento de los nitratos en la solución del suelo.

En la Figura 9 se muestra el comportamiento de los nitratos en la solución del suelo para los cuatro tratamientos, se puede visualizar que durante las primeras seis semanas existió mayor actividad. El tratamiento 1 indica que el contenido de nitratos permaneció más activo por un período de tiempo más largo, debido a que la fertilización fue completa (100%).

Gheysari *et al.* (2009), afirma que las concentraciones de nitratos pueden resultar altas, cuando las dosis de fertilizantes son elevadas, es por ello que este tratamiento tuvo mayor acumulación y disponibilidad de los nitratos.

La relación que existe entre la disponibilidad de agua y el movimiento de los nitratos está directamente relacionada, es por esta razón que al tener el agua controlada en el cultivo de fréjol, se evita un lavado de los nitratos por lixiviación. Según Ortiz (2008), las fuerzas de cohesión permiten que los nitratos se distribuyan de manera homogénea con el suelo mejorando su disponibilidad.

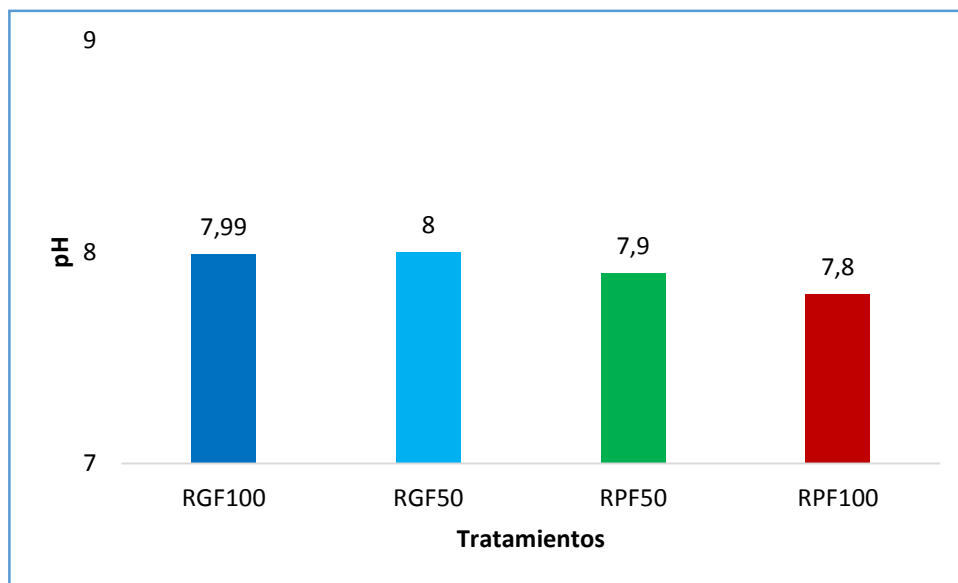
4.6. pH en la solución del suelo

Del análisis de varianza, se evidenció que el experimento no presenta diferencia estadística significativa para el factor A (riego), para el factor B (fertilizante) no presenta diferencia significativa con respecto a la variable pH en el cultivo de fréjol. El coeficiente de variación fue de 0.16 % (Tabla 14).

Tabla 14. Cuadrados medios del ANOVA, promedios y coeficientes de variación para la variable pH

Cuadrados medios		
F de V	GL	pH
Total	15	-
Riego	1	7.0E-04 ns
Error A	6	-
fertilizante	1	4.0E-06 ns
Riego x Fertilizante	1	2.5E-07 ns
Error B	6	2.1E-06
Media		7.93
CV (%)		0.16

Nota: *, diferencia estadística significativa; **, diferencia estadística altamente significativa; NS, diferencia estadística no significativa.

**Figura 10.** Promedio del pH en la solución del suelo.

En la figura 11, el valor promedio del pH medido en la solución del suelo es ligeramente alcalino.

En la Figura 12 se muestra el comportamiento del pH en la solución del suelo en cada uno de los cuatro tratamientos durante el desarrollo del cultivo, en la toma de muestras de la solución del suelo el pH en un principio tuvo un rango de 8.5, paulatinamente fue disminuyendo por la adición de ácido fosfórico, logrando reducir hasta 7.8 unidades.

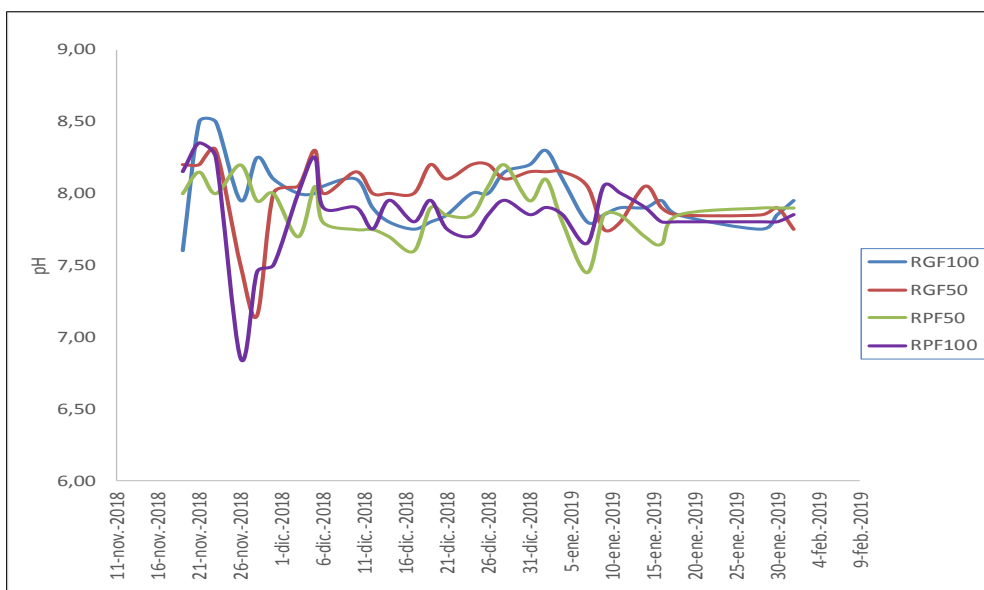


Figura 11. Comportamiento del pH en la solución del suelo.

En la investigación realizada por Vásquez (2019), evaluación del manejo de riego en el cultivo de fréjol, el pH se comportó de manera similar, obteniendo valores promedio de pH entre 8.4 y 8.6.

Tener un pH adecuado facilitará que las raíces puedan tener más asimilables los nutrientes y minerales, los mismos que permitirán que la planta se encuentre en un estado adecuado de desarrollo, logrando así, una mayor producción (Barbaro *et al.*, 2012).

4.7. Conductividad eléctrica en la solución del suelo

El análisis de varianza, muestra que el experimento no presenta diferencia estadística significativa, para el factor A (riego), para el factor B (fertilizante) no presenta diferencia significativa con respecto a la variable conductividad eléctrica en el cultivo de fréjol.

Tabla 15. Cuadrados medios del ANOVA, promedios y coeficientes de variación para la conductividad eléctrica.

Cuadrados medios		
F de V	GL	C. Eléctrica ($\mu\text{S m}^{-1}$)
Total	15	-
Riego	1	100.70NS
Error A	6	-
Fertilizante	1	30.80NS
Riego x Fertilizante	1	14514.23NS
Error B	6	24.0
Media		674.41
CV (%)		9.09

Nota: *, diferencia estadística significativa; **, diferencia estadística altamente significativa; NS, diferencia estadística no significativa.

Los datos obtenidos del experimento Conductividad Eléctrica (dS m^{-1}) presentan una distribución normal, con un p-valor mayor al nivel de significancia del 5% (Anexo 1).

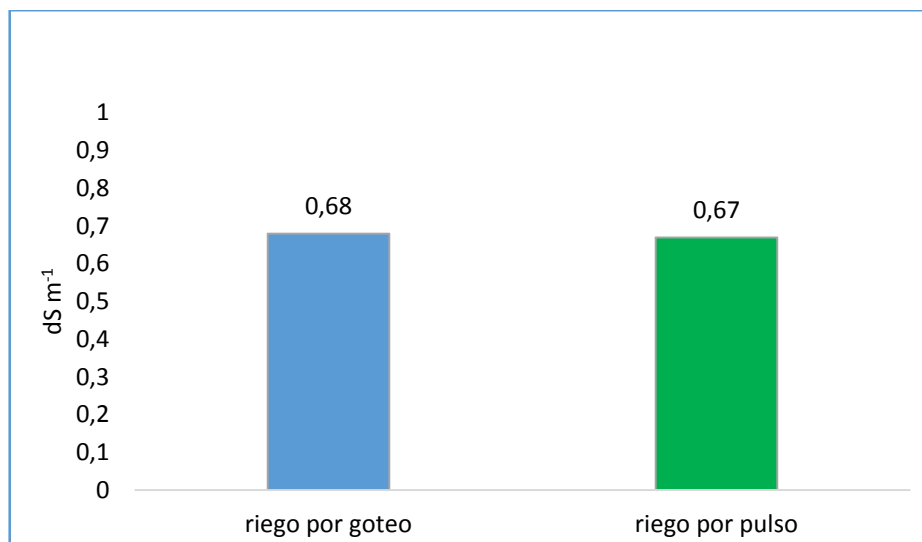


Figura 12. Promedio de la conductividad eléctrica en la solución del suelo.

En la Figura 13 se observa los valores promedios de los métodos de aplicación de agua, donde los tratamientos 3 y 4 riego por pulsos, obtuvieron un valor promedio de 0.68 dS m⁻¹, y los tratamientos 1 y 2 riego por goteo un valor promedio de 0.67 dS m⁻¹.

Por otro lado, la conductividad eléctrica del experimento se mantuvo con valores adecuados, los rangos varían entre 0.5 y 0.8 dS m⁻¹. En la investigación anterior (primer ciclo), los resultados muestran que el riego por pulsos tiene un valor más alto 0.87 dS m⁻¹, señalando que existe una cantidad superior de sales disueltas disponibles en el suelo, en especial en la zona radicular, en comparación con el riego por goteo cuyo valor fue de 0.72 dS m⁻¹ (Vásquez, 2019).

Según Simón et al. (2013), un suelo se considera salino cuando su conductividad eléctrica es superior a 4.0 dS m⁻¹, reduciendo el rendimiento y síntomas equivalentes al de una sequía.

Montalvo (2013), en su estudio “Efectos de la contaminación del suelo en la productividad de cinco sectores agrícolas de la parroquia de Tumbaco”, encontró que el incremento de la conductividad eléctrica es peligrosa, pues existe aumento de sales en la solución del suelo, dificultando que las raíces puedan absorber agua, alterando su crecimiento.

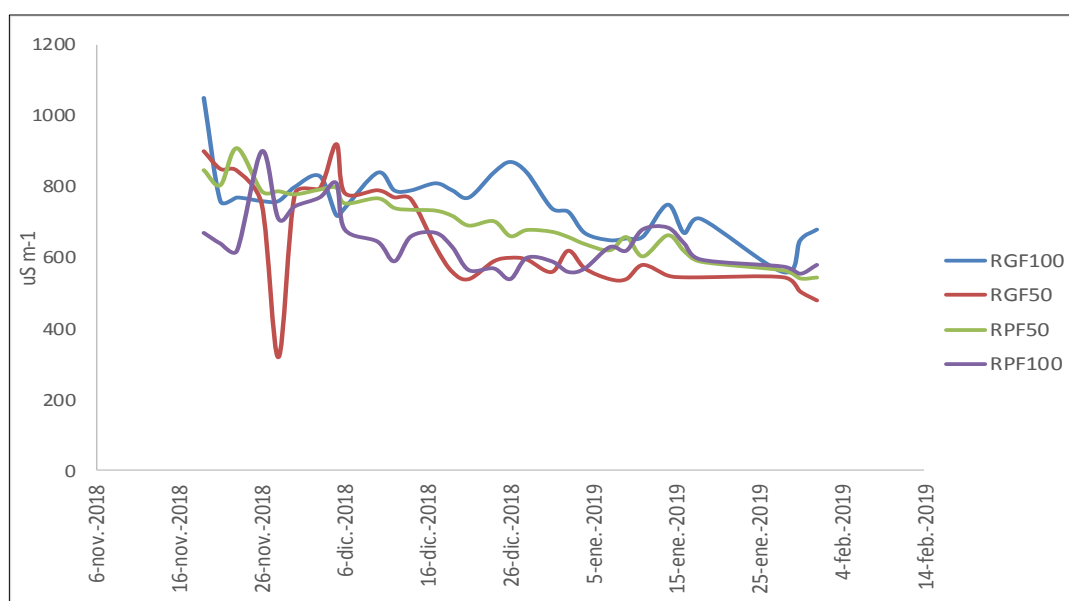


Figura 13. Comportamiento de la Conductividad Eléctrica.

En la Figura 9 se puede visualizar la variación de la conductividad eléctrica de la solución del suelo a lo largo del desarrollo del cultivo, en principio los valores se encontraban en un rango de 1.05 dS m^{-1} . Los cuatro tratamientos tienen valores con una tendencia descendente, lo cual indica que el cultivo asimiló los nutrientes aplicados y los existentes en el suelo.

4.8. Tensión de humedad

En la figura 10, el riego por goteo convencional se produce cuando la tensión de humedad alcanza los 15 centibares y para poder reducir esta tensión se requirió un riego de 18 minutos, el mismo que permitió reducir la tensión hasta 4.0 centibares.

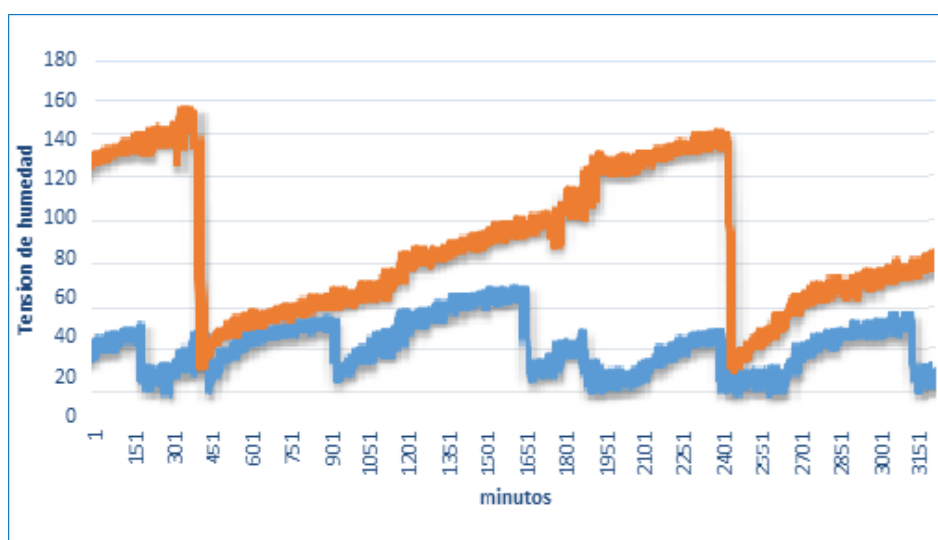


Figura 14. Comportamiento de la humedad mediante el riego por goteo y pulso.

Para el riego por pulsos, el riego se produce cuando la tensión de humedad alcanza los 5.5 centibares, al final de los 2 minutos de la aplicación del agua alcanza los 4.0 centibares. Consiguiendo tener una mayor humedad, incrementando la disponibilidad de oxígeno en la solución del suelo.

4.9. Análisis económico

El análisis económico se realizó a través de la Relación Beneficio/Costo (B/C). Se puede observar en la Figura 15, que el tratamiento 3 (RPF50) obtuvo el mayor B/C con 2.24, seguido del tratamiento 4 (RPF100) con un valor B/C de 2.23, mientras que el tratamiento 2 (R100F50) obtuvo un valor B/C de 2.11 y el tratamiento 1 (RGF100) obtuvo un menor valor con 1.74, es decir, el tratamiento 3 fue más rentable debido a que se utilizó una menor cantidad de agua y de fertilizantes.

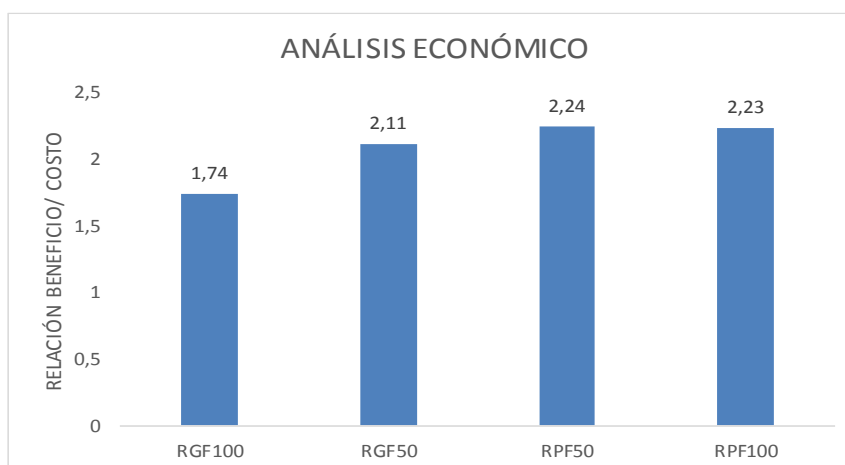


Figura 15. Análisis Económico.

5. CONCLUSIONES

1. La aplicación del riego por goteo mediante pulsos tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento, alcanzando un promedio de 2.18 t ha^{-1} , el cual fue mayor al obtenido en el riego por goteo convencional 1.92 t ha^{-1} , utilizando una menor cantidad de agua y una menor cantidad de fertilizantes.
2. Se encontró una diferencia no significativa al aplicar el 50% o 100% de la dosis de fertilizantes, por cuanto, a través del riego por goteo, tan solo se requiere el 50% de fertilizantes utilizados convencionalmente en función del análisis de suelos y el requerimiento del cultivo.
3. El riego por pulsos tuvo en efecto positivo en la composición química de la solución del suelo, manteniendo el pH en un rango adecuado, lo cual permitió una mejor disponibilidad y asimilación de los nutrientes.
4. El tratamiento 3 presentó la mejor relación beneficio /costo, debido a que requirió de una menor cantidad de agua y de nutrientes.

6. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda seguir con la investigación sobre la técnica de riego por pulsos en el cultivo de fréjol y en otros cultivos importantes de la región Sierra, con el fin de aportar nuevos datos que ayuden a los investigadores y agricultores a desarrollar nuevas técnicas para mejorar el manejo del agua y de los fertilizantes.
2. Para futuros trabajos, probar otras variedades de fréjol arbustivo para evaluar rendimientos con el fin de que el agricultor o empresario pueda tener diversidad de criterios y escoger el producto según sus necesidades.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldana, L. (2010). *Producción comercial y de semillas de frijol*. Quetzaltenango.
- Alonso, J. (2013). Propiedades físicas: densidad y porosidad. *ResearchGate*, 4.
- Álvarez, Steinbach. 2012. Ciclado de nitrógeno en agro sistemas. En Fertilidad de Suelos: Caracterización y manejo en la región pampeana.
- Arias, J., Renfigo, T., & Jaramillo, M. (2007). *Buenas prácticas agrícolas (BPA)*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación -FAO-
- Barbaro, L., Karlanian, M., & Mata, D. (2012). *Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para las plantas*. Retrieved from https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf
- Beebe, S., Ramírez-Villegas, J., Álvarez, P., Ricaurte, J., Mora, A., Guerrero, A.,... van de Berg, M. (2017). Modelación del frijol en Latinoamérica. *JRC technical reports*, 61.
- Bernier, R., & Alfaro, M. (2006). *Acidez de los suelos y efecto del encalado*. Boletín INIA Nº 151, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Osorno.
- Bixa, L. (2002). Cultivo del frijol. *INTA*, 2(5). Retrieved from <http://www.inta.gob.ni/biblioteca/images/pdf/guias/Guia frijol.pdf>
- Borja, C. (2015). *Taller Internacional de Evaluación, costo- efectividad y costo- beneficio para la toma de decisiones*. Panamá.
- Calero, A., Castillo, Y., Quintero, E., Pérez, Y., & Olivera, D. (2018). Efecto de cuatro densidades de siembra en el rendimiento agrícola del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de La Facultad de Ciencias*, 7(1), 88–100. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v7n1.67773>
- Calvache, M. (2002). *Manejo del agua: principios fundamentales*.
- Carrazón, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego*. Retrieved from www.pesacentroamerica.org
- Delgado, R., Salvador, J., Morales, E., López, J., & Rodríguez, M. (2015). *Producción y rentabilidad del frijol ejotero (Phaseolus vulgaris L.) asociado a maíz en función de la densidad y el nitrógeno en clima templado*.
- Demin, P. (2014). *Aportes para el mejoramiento de los sistemas en el manejo de riego. Métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones*. Catamarca: INTA.
- Edward, M. (2000). *Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego ¿Cuándo?* The University of Arizona, College of Agriculture and Life Sciences, Tucson.
- Estrada, W., Chávez, L., Jerez, E., Nápoles, M., Sosa, A., Cordoví, C., & Celeiro, F. (2017). *Efecto del Azofert® en el rendimiento de variedades de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) en condiciones de déficit hídrico*. Centro Agrícola (Vol. 44). Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central de las Villas. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852017000300005
- FAO. (2005). *World crop and livestock statistics*. Retrieved from <http://www.fao.org/es/ess/historical/Default.aspx>

- Fernández-Rojas, X., & Castillo, L. (2004). Los Frijoles (*Phaseolus Vulgaris*): su aporte a la dieta costarricense. *Agronomía Mesoamericana*.
- Fernández, G. (2009). La crisis del agua en américa latina Gustavo Fernández Colón*, 4, 80–96.
- Ginés, I., & Mariscal, I. (2002). *Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo*.
- Guamán J., R., Andrade V. C. (2004). Guía del cultivo de frejol en el Litoral ecuatoriano. Guayaquil, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Boliche, Programa de Oleaginosas. Retrieved from <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1996/1/iniaplsbd316.pdf>
- Gheysari, M., Mirlatifi, S.M., Homaei, M., Asadi, M.E., Hoogenboom, G. (2009). Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates. *Agricultural Water Management*
- Hayashi, R. (2014). *Riego localizado*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2019, de <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/RIEGO%20LOCALIZADO%20intensivos2014.pdf>
- Hunter. (2013). Manual de Diseño de un Sistema de Riego Residencial.
- INAMHI. (2017). Anuario Meteorológico. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI. Quito, Ecuador.
- INEC. (2016). ESPAC. Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua 2016. Retrieved from http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2016/Indice%20de%20publicacion%20ESPAC%202016.xlsx
- Liotta, M., Carrion, R., Ciancaglini, N., & Olgún, A. (2015). *Riego por goteo 3*.
- Martin, E. (2017). *Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego ¿Cuándo?* Tucson, Arizona. Retrieved from https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1220s-2017_0.pdf
- Meza, V. (2012). Suelos parcialmente saturados, de la investigación a la catedra universitaria. *Boletín de Ciencias de la Tierra* (31), 15.
- Mogollón, D., & Valladares, O. (2012). *Estudio de pre-factibilidad del centro de innovación y tecnología para la facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador*. Universidad Central del Ecuador. Retrieved from wwace.uce.edu.ec/bitstream/25000/415/1/T-UCE-0005-36.pdf
- Montserrat, J., Casali Sarasibar, J., Tilló, J., Cots i Rubió, Ll., & Barragán, J. (1997). Aplicabilidad del riego a pulsos en tablares. *Ingeniería Del Agua*, 4(2). <https://doi.org/10.4995/ia.1997.2720>
- Montalvo, F. (2013). *Efectos de la contaminación del suelo en la productividad de cinco sectores agrícolas de la parroquia de Tumbaco*. Universidad Central del Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1351/1/T-UCE-0012-247.pdf>
- OMS. (2003). *Nitrate and nitrite in drinking-water Guías de la OMS para la calidad del agua potable*. Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/CD-GDWQ/docs_quimicos/Nitrato_nitrito.pdf

- Ortega, R. (2013). *Diseño construcción y operación de un banco hidráulico y venturímetro para pruebas hidráulicas*. Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Ortiz, R. (2008). *Hidroponía en el Suelo*. Quito: Ediciones ABYA-YALA.
- Palomino, K. (2009). *Riego por Goteo*. Madrid: StarBook editorial.
- Peralta I., E., Murillo I., A., Mazón, N., Pinzón Z., J., & Villacrés, E. (2013). Manual agrícola de frejol y otras leguminosas: Cultivos, variedades, costos de producción. Retrieved from <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2705>
- Piedrahita, O. (2009). *Acidez del suelo*. Magnesios Helicoína S.A.
- Plaster, E. (2005). *La Ciencia del Suelo y su Manejo*. Magallanes, España.
- Pliego, L., Ocaña, A., & Lluch, C. (junio de 2003). Crecimiento, fijación de nitrógeno, acumulación y asimilación de nitratos con dosis de nitrógeno en frijol. *Terra Latinoamericana*, 21(2), 213-223.
- Ramírez, M. (2015). *Universidad autónoma agraria “Antonio Narro” división de ingeniería departamento de riego y drenaje*. Universidad autónoma agraria “Antonio Narro”. Retrieved from <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6633/63310RAMIREZ LOPEZ, MANUEL TESIS.pdf?sequence=1>
- Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). *pH como factor de crecimiento en plantas*. Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional de Colón.
- Romero, M. (2019). *Agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo (Phaseolus vulgaris L.) en el CADET*. Universidad Central del Ecuador.
- Rosales, R., & Flores, H. (2017). *Importancia del agua de riego para la producción sostenible de frijol en Durango*. INIFAP. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/323510747_importancia_del_agua_de_riego_para_la_produccion_sostenible_de_frijol_en_durango.
- Sánchez, J. (2000). *Fertirrigación. Principios, Factores, Aplicaciones*. Lima: Seminario de Fertirrigación: Apukai-Comex Perú.
- Santos, L., de Juan, J., Picornell, M., & Tarjuelo, J. (2010). *El riego y sus tecnologías* (Vol. 1). Albacete, España: Europa -América.
- Servín, M., Tijerina, L., Medina, G., Palacios, O., & Flores, H. (2017). Sistema para programar y calendarizar el riego de los cultivos en tiempo real. *Remexca*, 423-430.
- Simón, M., Peralta, N., & Costa, J. (2013). Relación entre la conductividad eléctrica aparente con propiedades del suelo y nutrientes. *Ciencia del Suelo*, 31.
- Sinobas, L., Sobrino, F., Álvarez, R., & Garrido, J. C. (2017). *Taller: Instalación de sistema de riego por goteo en UPM*.
- Soriano, M. (2018). *pH del suelo*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Tapia, A. (2013). Riego por pulsos, una alternativa para aumentar los rendimientos del maíz. Retrieved June 13, 2019, from <https://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Noticias/2013/06/11/Riego-por-pulsos-una-alternativa-para-aumentar-los-rendimientos-del-maiz.aspx>

Torres, M., Rodríguez, M., & Lamelas, J. (2013). El azufre en los agro- ecosistemas: fertilización y corrección de suelos. *ResearchGate*.

U.S.D.A: (1986) .Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de conservación de suelos. Oleada de riego.EE UU

Vásquez, C. (2019). Evaluación del manejo del riego en el cultivo de fréjol arbustivo con dos dosis de fertilización en el CADET. Quito.

Veenhuizen, R. (2011). *Manual de Capacitación y Aprovechamiento del agua lluvia*.

Ventura, R., Clará, A., Bruno, O., & Parada, J. (2018). *Cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris L.)*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova".

Vidal, M.; Ruiz, R.; Antúnez, A. y Araya, C. 2015. Fertirrigación con Riego por Pulsos. Capítulo 6:97-114. En: Antúnez, A.; Vidal, M.; Felmer, S y González, M. (Eds.). 2015. “Riego por Pulsos en Maíz Grano”. Rengo, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

8. ANEXOS

Anexo 1. Tabla de variables en estudio con la prueba de normalidad SHAPIRO-WILKS MODIFICADO

Variable	p-valor
Rendimiento (Kg/Pn)	0.3499
Volumen de agua(mm ³)	0.3786
pH	0.8991
Conductividad Eléctrica ()	0.0883
Nitratos (ppm)	0.5283
Numero de vainas	0.8678
Numero de semillas	0.1614

Los valores superiores a 0.05 indican que existieron datos con distribución normal.

Anexo 2. Prueba de homogeneidad (Levene) para la variable rendimiento (kg/Pn)

Variable	p-valor
Rendimiento Riego	0.2691
Rendimiento Fertilización	> 0.9999

Anexo 3. Análisis de suelos. Antes de la siembra del cultivo de fréjol.

		%	mg/kg	Cmol/kg
tratamiento	código	N	P	K
1	RGF100	0.15 B	45.9 A	0.92A
2	RGF50	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. Análisis de suelos. Al final del ciclo del cultivo de fréjol.

		ppm	ppm	meq/100ml
Tratamiento	código	N	P	K
1	RGF100	36 M	38 A	56 A
2	RGF50	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 B= bajo

Anexo 5. Reporte de Análisis de Suelos

 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																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">N° Muest. Laborat.</th> <th rowspan="2">Identificación del Lote</th> <th rowspan="2">pH</th> <th colspan="3">ppm</th> <th colspan="3">meq/100ml</th> <th colspan="7">ppm</th> </tr> <tr> <th>NH₄</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>K</th> <th>Ca</th> <th>Mg</th> <th>Zn</th> <th>Cu</th> <th>Fe</th> <th>Mn</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>04971</td> <td>T1</td> <td>7,07 PN</td> <td>36,00 M</td> <td>38,00 A</td> <td>7,00 B</td> <td>0,56 A</td> <td>8,20 A</td> <td>4,70 A</td> <td>0,5 B</td> <td>8,8 A</td> <td>108,0 A</td> <td>9,0 M</td> <td>1,00 M</td> </tr> <tr> <td>04972</td> <td>T2</td> <td>6,66 PN</td> <td>46,00 M</td> <td>71,00 A</td> <td>7,00 B</td> <td>0,46 A</td> <td>8,20 A</td> <td>4,80 A</td> <td>0,7 B</td> <td>8,1 A</td> <td>176,0 A</td> <td>9,5 M</td> <td>1,20 M</td> </tr> <tr> <td>04973</td> <td>T3</td> <td>6,76 PN</td> <td>46,00 M</td> <td>43,00 A</td> <td>9,20 B</td> <td>0,83 A</td> <td>8,20 A</td> <td>4,60 A</td> <td>0,8 B</td> <td>8,4 A</td> <td>164,0 A</td> <td>10,5 M</td> <td>1,20 M</td> </tr> <tr> <td>04974</td> <td>T4</td> <td>6,81 PN</td> <td>46,00 M</td> <td>105,00 A</td> <td>5,40 B</td> <td>0,68 A</td> <td>8,50 A</td> <td>5,00 A</td> <td>0,8 B</td> <td>9,2 A</td> <td>176,0 A</td> <td>7,7 M</td> <td>1,20 M</td> </tr> </tbody> </table>			N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm							NH ₄	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
N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	pH				ppm			meq/100ml			ppm																																																																									
			NH ₄	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																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="3">INTERPRETACION</th> </tr> <tr> <th>pH</th> <th colspan="2">Elementos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ac = Acido</td> <td>N = Neutro</td> <td>B = Bajo</td> </tr> <tr> <td>LAc = Liger. Acido</td> <td>LAI = Lige. Alcalino</td> <td>M = Medio</td> </tr> <tr> <td>PN = Prac. Neutro</td> <td>Al = Alcalino</td> <td>A = Alto</td> </tr> <tr> <td>RC = Requieren Cal</td> <td>T = Tóxico (Boro)</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			INTERPRETACION			pH	Elementos		Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo	LAc = Liger. Acido	LAI = Lige. Alcalino	M = Medio	PN = Prac. Neutro	Al = Alcalino	A = Alto	RC = Requieren Cal	T = Tóxico (Boro)																																																																		
INTERPRETACION																																																																																					
pH	Elementos																																																																																				
Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo																																																																																			
LAc = Liger. Acido	LAI = Lige. Alcalino	M = Medio																																																																																			
PN = Prac. Neutro	Al = Alcalino	A = Alto																																																																																			
RC = Requieren Cal	T = Tóxico (Boro)																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="3">METODOLOGIA USADA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>pH = Suelo: agua (1:2,5)</td> <td>P K Ca Mg = Olsen Modificado</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S, B = Fosfato de Calcio</td> <td>Cu Fe Mn Zn = Olsen Modificado</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>B = Curcúmina</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			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 = Curcúmina																																																																								
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 = Curcúmina																																																																																				

Anexo 6. Contenido de cenizas, materia orgánica, macro y micro elementos

	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
TRATAMIENTO 1 100% Fertilización Riego por goteo	Cenizas	Gravimétrico	%	12.8
	Materia orgánica	Gravimétrico	%	87.2
	Nitrógeno	Dumas	%	3.26
	Fosforo	Colorimétrico	%	0.35
	Potasio	Absorción atómica	%	2.51
	Calcio	Absorción atómica	%	1.96
	Magnesio	Absorción atómica	%	0.46
	Hierro	Absorción atómica	mg/kg	224.91
	Manganeso	Absorción atómica	mg/kg	44.84
	Cobre	Absorción atómica	mg/kg	8.35
	Zinc	Absorción atómica	mg/kg	20.45

Agrocalidad, 2019.

Anexo 7. Contenido de cenizas, Materia orgánica, Macro y Micro elementos.

	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
TRATAMIENTO 2 50% Fertilización Riego por goteo	Cenizas	Gravimétrico	%	13.2
	Materia orgánica	Gravimétrico	%	86.8
	Nitrógeno	Dumas	%	3.40
	Fosforo	Colorimétrico	%	0.33
	Potasio	Absorción atómica	%	2.17
	Calcio	Absorción atómica	%	2.12
	Magnesio	Absorción atómica	%	0.49
	Hierro	Absorción atómica	mg/kg	227.25
	Manganeso	Absorción atómica	mg/kg	37.24
	Cobre	Absorción atómica	mg/kg	8.90
	Zinc	Absorción atómica	mg/kg	17.30

Agrocalidad, 2019.

Anexo 8. Contenido de cenizas, Materia orgánica, Macro y Micro elementos.

	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
TRATAMIENTO 3 50% Fertilización Riego por pulsos	Cenizas	Gravimétrico	%	12.6
	Materia orgánica	Gravimétrico	%	87.4
	Nitrógeno	Dumas	%	3.43
	Fosforo	Colorimétrico	%	0.33
	Potasio	Absorción atómica	%	2.19
	Calcio	Absorción atómica	%	2.10
	Magnesio	Absorción atómica	%	0.45
	Hierro	Absorción atómica	mg/kg	211.76
	Manganeso	Absorción atómica	mg/kg	42.24
	Cobre	Absorción atómica	mg/kg	8.95
	Zinc	Absorción atómica	mg/kg	18.55

Agrocalidad, 2019.

Anexo 9. Contenido de cenizas, Materia orgánica, Macro y Micro elementos.

	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
TRATAMIENTO 4 100% Fertilización Riego por pulsos	Cenizas	Gravimétrico	%	12.8
	Materia orgánica	Gravimétrico	%	87.2
	Nitrógeno	Dumas	%	3.26
	Fosforo	Colorimétrico	%	0.32
	Potasio	Absorción atómica	%	2.25
	Calcio	Absorción atómica	%	2.14
	Magnesio	Absorción atómica	%	0.44
	Hierro	Absorción atómica	mg/kg	225.40
	Manganeso	Absorción atómica	mg/kg	44.45
	Cobre	Absorción atómica	mg/kg	8.35
	Zinc	Absorción atómica	mg/kg	17.20

Agrocalidad, 2019.

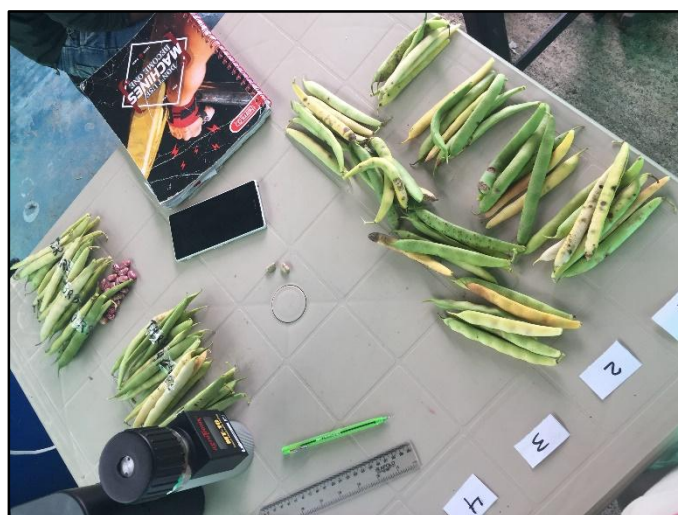
Anexo 10. Cosecha del cultivo de fréjol



Anexo 11. Secado del grano de fréjol



Anexo 12. Medición del contenido de humedad del grano de fréjol



Anexo 13. Extracción y medición de la solución del suelo (pH, conductividad eléctrica y nitratos)



Anexo 14. Preparación del terreno para la siembra del cultivo de fréjol



Anexo 15. Siembra del cultivo de fréjol



Anexo 16. Equipos utilizados en la investigación en el cultivo de fréjol



Medidor de oxígeno



Medidor de CE y pH



Medidor de nitratos



Filtros

Anexo 17. Evaluación financiera

Cuadro1. Evaluación financiera y económica del tratamiento 1 (1.0 hectáreas)

INVERSIONES (FASE DE REALIZACION)	TOTALES	1	2	3	4	5	6
Arado	2.278,0	227,8	227,8	227,8	227,8	227,8	227,8
Alquiler de la tierra (1.0 hectárea)	8.000,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0
Rastrado	2.278,0	227,8	227,8	227,8	227,8	227,8	227,8
Sistema de riego 1 Ha	6.500,0	3.500,0					3.000,0
COSTOS (FASE DE EXPLOTACIÓN) TOTAL	19.056,0	4.755,6	1.255,6	1.255,6	1.255,6	1.255,6	4.255,6
Siembra (1 hectárea, dos siembras)	4.330,0	433,0	433,0	433,0	433,0	433,0	433,0
Fertilización (ácido 800 usd/año, 166 USD/año fertilizantes)	9.660,0	966,0	966,0	966,0	966,0	966,0	966,0
Control plagas (dos controles por ciclo)	3.872,0	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2
Deshierba (dos por ciclo)	11.000,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0
Cosecha (recolección, secado, ensacado)	11.000,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0
BENEFICIOS TOTAL	39.862,0	3.986,2	3.986,2	3.986,2	3.986,2	3.986,2	3.986,2
Producción anual dos cosechas; (84 qq/ha/año, 90 USD/qq)	75.600,0	7.560,0	7.560,0	7.560,0	7.560,0	7.560,0	7.560,0
TOTAL	75.600,0	7560,00	7560,00	7560,00	7560,00	7560,00	7560,00
VALOR NETO (ANUAL)	16682,00	-1181,80	2318,20	2318,20	2318,20	2318,20	-681,80

Cuadro2. Evaluación financiera y económica del tratamiento 2 (1.0 hectáreas)

INVERSIONES (FASE DE REALIZACION)	TOTALES	1	2	3	4	5	6
Arado	2.278,0	227,8	227,8	227,8	227,8	227,8	227,8
Alquiler de la tierra (1.0 hectárea)	8.000,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0
Rastrado	2.278,0	227,8	227,8	227,8	227,8	227,8	227,8
Sistema de riego 1 Ha	7.000,0	3.500,0					3.500,0
COSTOS (FASE DE EXPLOTACIÓN) TOTAL	19.556,0	4.755,6	1.255,6	1.255,6	1.255,6	1.255,6	4.755,6
Siembra (1 hectárea, dos siembras)	4.330,0	433,0	433,0	433,0	433,0	433,0	433,0
Fertilización (ácido 400 usd/año, 83 USD/año fertilizantes)	4.830,0	483,0	483,0	483,0	483,0	483,0	483,0
Control plagas (dos controles por ciclo)	3.872,0	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2
Deshierba (dos por ciclo)	11.000,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0
Cosecha (recolección, secado, ensacado)	11.000,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0
BENEFICIOS TOTAL	35.032,0	3.503,2	3.503,2	3.503,2	3.503,2	3.503,2	3.503,2
Producción anual dos cosechas; (88 qq/ha/año, 90 USD/qq)	79.200,0	7.920,0	7.920,0	7.920,0	7.920,0	7.920,0	7.920,0
TOTAL	79.200,0	7920,00	7920,00	7920,00	7920,00	7920,00	7920,00
VALOR NETO (ANUAL)	24612,00	-338,80	3161,20	3161,20	3161,20	3161,20	-338,80

Cuadro3. Evaluación financiera y económica del tratamiento 3 (1.0 hectáreas)

INVERSIONES (FASE DE REALIZACION)	TOTALES	1	2	3	4	5	6
Arado	2.278,0	227,8	227,8	227,8	227,8	227,8	227,8
Alquiler de la tierra (1.0 hectárea)	8.000,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0
Rastrado	2.278,0	227,8	227,8	227,8	227,8	227,8	227,8
Sistema de riego 1 Ha	7.000,0	3.500,0					3.500,0
COSTOS (FASE DE EXPLOTACIÓN) TOTAL	19.556,0	4.755,6	1.255,6	1.255,6	1.255,6	1.255,6	4.755,6
Siembra (1 hectárea, dos siembras)	4.330,0	433,0	433,0	433,0	433,0	433,0	433,0
Fertilización (ácido 800 usd/año, 166 USD/año fertilizantes)	4.830,0	483,0	483,0	483,0	483,0	483,0	483,0
Control plagas (dos controles por ciclo)	3.872,0	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2
Deshierba (dos por ciclo)	11.000,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0
Cosecha (recolección, secado, ensacado)	11.000,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0
BENEFICIOS TOTAL	35.032,0	3.503,2	3.503,2	3.503,2	3.503,2	3.503,2	3.503,2
Producción anual dos cosechas; (91 qq/ha/año, 90 USD/qq)	81.900,0	8.190,0	8.190,0	8.190,0	8.190,0	8.190,0	8.190,0
TOTAL	81.900,0	8190,00	8190,00	8190,00	8190,00	8190,00	8190,00
VALOR NETO (ANUAL)	27312,00	-68,80	3431,20	3431,20	3431,20	3431,20	-68,80

Cuadro4. Evaluación financiera y económica del tratamiento 4 (1.0 hectáreas)

INVERSIONES (FASE DE REALIZACION)	TOTALES	1	2	3	4	5	6
Arado	2.278,0	227,8	227,8	227,8	227,8	227,8	227,8
Alquiler de la tierra (1.0 hectárea)	8.000,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0
Rastrado	2.278,0	227,8	227,8	227,8	227,8	227,8	227,8
Sistema de riego 1 Ha	6.500,0	3.500,0					3.000,0
COSTOS (FASE DE EXPLOTACIÓN) TOTAL	19.056,0	4.755,6	1.255,6	1.255,6	1.255,6	1.255,6	4.255,6
Siembra (1 hectárea, dos siembras)	4.330,0	433,0	433,0	433,0	433,0	433,0	433,0
Fertilización (ácido 800 usd/año, 166 USD/año fertilizantes)	9.660,0	966,0	966,0	966,0	966,0	966,0	966,0
Control plagas (dos controles por ciclo)	3.872,0	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2
Deshierba (dos por ciclo)	11.000,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0
Cosecha (recolección, secado, ensacado)	11.000,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0	1.100,0
BENEFICIOS TOTAL	39.862,0	3.986,2	3.986,2	3.986,2	3.986,2	3.986,2	3.986,2
Producción anual dos cosechas; (95 qq/ha/año, 90 USD/qq)	85.500,0	8.550,0	8.550,0	8.550,0	8.550,0	8.550,0	8.550,0
TOTAL	85.500,0	8550,00	8550,00	8550,00	8550,00	8550,00	8550,00
VALOR NETO (ANUAL)	26582,00	-191,80	3308,20	3308,20	3308,20	3308,20	308,20