



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

Evaluación del efecto de aplicación de dos regímenes de riego bajo dos dosis
de fertilización sobre el rendimiento en fréjol

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

AUTORA: Torres Fierro Patricia Alexandra

TUTOR: M.Sc. Randon Stalin Ortiz Calle

Quito, 2020

DERECHOS DE AUTOR

Yo, PATRICIA ALEXANDRA TORRES FIERRO en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: EVALUACIÓN DEL EFECTO DE APLICACIÓN DE DOS REGÍMENES DE RIEGO BAJO DOS DOSIS DE FERTILIZACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO EN FRÉJOL, 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 y mi tutor una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

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

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

Patricia Alexandra Torres Fierro
C.C.:1050089141
patriciatorres1996@gmail.com

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, presentado por PATRICIA ALEXANDRA TORRES FIERRO, para optar por el Grado de Ingeniero Agrónomo, cuyo título es: **EVALUACIÓN DEL EFECTO DE APLICACIÓN DE DOS REGÍMENES DE RIEGO CON DOS DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN EL RENDIMIENTO DEL FRÉJOL**, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

En la ciudad de Quito, a los 17 días del mes de febrero de 2020

Randon Stalin Ortiz Calle, MSc.

DOCENTE-TUTOR

C.C.: 1102697396

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE APLICACIÓN DE DOS REGÍMENES DE RIEGO
BAJO DOS DOSIS DE FERTILIZACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO EN FRÉJOL”**

APROBADO POR:

Ing. Agr. Randon Ortiz, MSc.

TUTOR

Ing. Agr. Jorge Caicedo, MSc.

REVISOR/LECTOR DEL TRIBUNAL

Ing. Agr. Manuel Pumisacho, MSc.

REVISOR/LECTOR DEL TRIBUNAL

2020

DEDICATORIA

A mi madre, por ser el pilar fundamental en mi desarrollo profesional y humano, quien siempre ha mantenido la fortaleza para sacar a sus hijos adelante y sobre todo por su entrega infinita como madre y persona.

A mi hermano Milton, quien estuvo a mi lado en los momentos de mayor riesgo de salud, cuidando y brindándome todo su apoyo.

A toda mi familia por su ayuda, por todos sus consejos y buenos augurios en el desarrollo de esta carrera profesional.

A Gilson Pacheco, quien se ha mantenido a mi lado en los buenos y malos momentos, siempre brindándome su amor y dándome ánimo para seguir adelante y culminar este anhelado sueño, juntos.

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por haberme permitido llegar a este anhelado momento de mi vida, por llenarme de bendiciones y enseñarme el camino del bien.

A mi madre, porque gracias a su ayuda y su apoyo en todos los ámbitos me he convertido en una profesional.

A la Universidad Central del Ecuador y a la Facultad de Ciencias Agrícolas, por haberme acogido durante estos 5 años de estudio. A los docentes que forman parte de esta institución porque cada uno con su granito de arena aportó a mi desarrollo académico.

A mi tutor Ingeniero Randon Ortiz, por enriquecer mi conocimiento en esta área de gran importancia para el desarrollo agrícola y por depositar su confianza en mí, en el desarrollo de esta investigación, gracias por todos sus sabios consejos y por su ayuda en este proceso.

A la Ingeniera Maritza Chile, por toda su ayuda brindada en este proceso, por el tiempo dedicado y su confianza, además de su amistad.

Al Ing. Jorge Caicedo e Ing. Manuel Pumisacho, por haber aportado sustancialmente mediante sus observaciones en el desarrollo de esta investigación.

A todos mis amigos de aulas por las experiencias compartidas y los momentos que hacen inolvidable mi paso por la universidad.

A Gilson, por su incondicional apoyo en el desarrollo de esta investigación.

A todos ustedes gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO	PÁGINA
DERECHOS DE AUTOR.....	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
APROBACIÓN LECTORES.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
LISTA DE TABLAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUCCIÓN	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Riego por goteo	3
2.1.1 Importancia del riego por goteo.....	3
2.1.2 Ventajas del riego por goteo	4
2.2 Riego por pulsos	4
2.2.1 Importancia del riego por pulsos.....	5
2.2.2 Ventajas del riego por pulsos	6
2.3 Fertirrigación	6
2.3.1 Importancia de la fertirrigación.....	7
2.3.2 Ventajas de la fertirrigación	7
2.3.3 Fertirriego en el cultivo de fréjol	8
2.4 Cultivo de fréjol	8

CONTENIDO	PÁGINA
2.4.1 Fenología del cultivo.....	8
2.4.2 Fréjol arbustivo variedad INIAP 481 Rojo del Valle	8
2.4.3 Requerimientos nutricionales	9
2.5 Química de la solución del suelo	11
2.5.1 pH	11
2.5.2 Conductividad Eléctrica (CE).....	11
2.5.3 Contenido de nitratos.....	12
2.5.4 Contenido de fósforo.....	13
2.5.5 Contenido de potasio	13
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1 Ubicación del estudio	15
3.2 Características Agroclimáticas.....	15
3.3 Materiales.....	15
3.3.1 Materiales de campo	15
3.3.2 Insumos de fertilización y MIP.....	15
3.3.3 Materiales para el muestreo de suelos, agua y plantas	16
3.3.4 Materiales de oficina	16
3.3.5 Equipos de riego	16
3.4 Métodos	17
3.4.1 Factores en estudio	17
3.4.2 Tratamientos	17
3.4.3 Diseño Experimental.....	18
3.4.4 Unidad Experimental	18
3.4.5 Características de la unidad experimental	19
3.4.6 Parcela neta	19
3.5 Variables y métodos de evaluación.....	20

CONTENIDO	PÁGINA
3.6 Manejo del experimento	22
3.7 Manejo del riego	24
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1 Variables agronómicas de la planta.....	27
4.1.1 Altura de planta	27
4.1.2 Peso en fresco de la planta.....	29
4.1.3 Número de vainas/planta.....	31
4.1.4 Número de granos por vaina	33
4.1.5 Rendimiento	34
4.1.6 Regresión lineal múltiple para el rendimiento en t ha ⁻¹	37
4.2 Solución del suelo	37
4.2.1 Contenido de nitratos.....	37
4.2.2 Contenido de potasio	39
4.2.3 Contenido de fósforo.....	41
4.2.4 pH	43
4.2.5 Conductividad eléctrica	45
4.3 Contenido de nutrientes en los tejidos vegetales.....	46
4.3.1 Nitrógeno foliar	46
4.3.2 Fósforo foliar	48
4.3.3 Potasio foliar.....	49
5 CONCLUSIONES	51
6 RECOMENDACIONES	52
7 RESUMEN.....	53
8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
9 ANEXOS.....	58

LISTA DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
Tabla 1. Características de la variedad INIAP 481 Rojo del valle	9
Tabla 2. Recomendación de fertilización según análisis de suelo.	10
Tabla 3. Tratamientos con su respectiva descripción de la investigación experimental.	17
Tabla 4. Análisis ANOVA del experimento	18
Tabla 5. Características de los medidores portátiles para la solución del suelo.....	26
Tabla 6. Resultados del ANOVA para la variable altura de planta	28
Tabla 7. Resultados del ANOVA para la variable peso en fresco de planta	29
Tabla 8. Resultados del ANOVA para la variable número de vainas/planta	31
Tabla 9. Resultados del ANOVA para la variable número de granos/vaina	33
Tabla 10. Resultados del ANOVA para la variable rendimiento $t\ ha^{-1}$	35
Tabla 11. Parámetros estimados para el modelo de regresión lineal múltiple para la variable rendimiento en $t\ ha^{-1}$	37
Tabla 12. Resultados del ANOVA para la variable NO_3 en la solución del suelo.....	38
Tabla 13. Resultados del ANOVA para la variable potasio en la solución del suelo	39
Tabla 14. Resultados del ANOVA para la variable fósforo en la solución del suelo.....	42
Tabla 15. Resultados del ANOVA para la variable pH en la solución del suelo.....	44
Tabla 16. Resultados del ANOVA para la variable CE en la solución del suelo	45
Tabla 17. Resultados del ANOVA para los nutrientes en los tejidos vegetales.....	47

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1. Comportamiento de la conductividad eléctrica de la solución del suelo.	12
Figura 2. Esquema en campo del diseño experimental.	19
Figura 3. Esquema general de la unidad experimental y parcela neta.	20
Figura 4. Dinámica de la altura de planta en el efecto de dos métodos de aplicación de agua con dos dosis de fertilización.	28
Figura 5. Dinámica del peso de planta para el efecto de dos métodos de aplicación de agua con dos dosis de fertilización.	30
Figura 6. Promedio del número de vainas/planta para los cuatro tratamientos.	32
Figura 7. Prueba LSD Fisher al 5% para el factor métodos de aplicación de agua sobre la variable número de vainas/planta.	33
Figura 8. Promedio del número de granos/vaina para los cuatro tratamientos.	34
Figura 9. Promedio del rendimiento en t ha ⁻¹ en los cuatro tratamientos	36
Figura 10. Prueba LSD Fisher al 5% para el factor métodos de aplicación de agua en la variable rendimiento.	36
Figura 11. Dinámica de NO ₃ en la solución del suelo.	39
Figura 12. Dinámica del K en la solución del suelo.	41
Figura 13. Dinámica del P en la solución del suelo	43
Figura 14. Dinámica del pH en la solución del suelo.	44
Figura 15. Dinámica de la CE en la solución del suelo.	46
Figura 16. Dinámica del contenido de nitrógeno foliar	47
Figura 17. Dinámica del contenido de fósforo foliar	49
Figura 18. Dinámica del contenido de potasio foliar	50

LISTA DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
Anexo 1. Esquema de las plantas en campo de la parcela neta de la unidad experimental	58
Anexo 2. Esquema de la siembra en campo de la unidad experimental	58
Anexo 3. Prueba de normalidad (SHAPIRO – WILKS MODIFICADO) para las variables en estudio.	59
Anexo 4. Prueba de Homogeneidad de las varianzas (LEVENE) para las variables en estudio.....	60
Anexo 5. Prueba LSD Fisher al 5% para el factor método de aplicación de agua sobre el número de vainas/planta.	61
Anexo 6. Prueba LSD Fisher al 5% para el factor método de aplicación de agua sobre el rendimiento.	61
Anexo 7. Gráficos de residuos parciales de la variable rendimiento en $t\ ha^{-1}$	61
Anexo 8. Gráficos de residuos parciales de la variable rendimiento en $t\ ha^{-1}\ n=11440$	62
Anexo 9. Análisis regresión lineal múltiple de rendimiento	62
Anexo 10. Preparación del terreno	63
Anexo 11. Siembra del cultivo de fréjol	64
Anexo 12. Instalación de succionadores	64
Anexo 13. Emergencia del cultivo de fréjol	64
Anexo 14. Toma de muestras para análisis foliar	65
Anexo 15. Labores culturales del cultivo	65
Anexo 16. Cosecha del cultivo	65
Anexo 17. Peso de grano cosechado por unidad experimental y medición de humedad del grano ..	66

TEMA: Evaluación del efecto de aplicación de dos regímenes de riego bajo dos dosis de fertilización sobre el rendimiento en fréjol.

Autora: Patricia Alexandra Torres Fierro

Tutor: M.Sc. Randon Stalin Ortiz Calle

RESUMEN

El manejo de agua de riego es muy importante en la producción de cultivos. En la presente investigación se evaluó el efecto de dos métodos de aplicación de agua de riego por goteo con dos dosis de fertilización en el cultivo de fréjol var. 481 Rojo del Valle. Se utilizó un diseño experimental de parcela dividida, con dos factores en estudio (método de aplicación de agua y dosis de fertilización), con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones; la parcela principal fue el factor método de aplicación de agua mientras que la subparcela la dosis de fertilización; los tratamientos fueron: T1 (riego continuo y fertilización 100 %); T2 (riego continuo y fertilización 50 %); T3 (riego por pulsos y fertilización 50 %) y T4 (riego por pulsos y fertilización 100 %). Los resultados principales fueron: i) lámina de agua: en el riego por pulsos se aplicó una lámina de 268.78 mm y en el riego continuo, 415.95 mm; ii) número de vainas por planta: en T1 se registró 18.31; en T2, 17.69; en T3, 27.06 y en T4, 25.81; iii) número de granos por vaina: en T1 se contabilizó 3.83; en T2, 3.78; en T3, 4.22 y en T4, 4.05, y iv) rendimiento: T1 con 2.59 t ha⁻¹; T2 con 2.53 t ha⁻¹; T3 con 4.06 t ha⁻¹ y T4 con 4.33 t ha⁻¹. En conclusión, el tratamiento T3 en comparación con el tratamiento T1, permitió obtener un incremento en el rendimiento del cultivo del 56.76%, un ahorro de agua del 54.59% y ahorro de fertilizantes del 50 %.

PALABRAS CLAVE: ECUADOR / TUMBACO / RIEGO POR PULSOS / FERTIRRIEGO / RIEGO POR GOTEO

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

Author: Patricia Alexandra Torres Fierro

Tutor: M.Sc. Randon Stalin Ortiz Calle

ABSTRACT

Irrigation water management is very important in crop production. In the present investigation, the effect of two methods of drip water application with two doses of fertilization on the beans crop were evaluated. An experimental design of divided plots was used, with two factors of study (water application method and fertilization dose), with four treatments and four repetitions; the big plot was the water application method factor while the fertilizer dose the small plot; the treatments were: T1 (continuous irrigation and 100 % fertilization); T2 (continuous irrigation and 50 % fertilization); T3 (pulse irrigation and 50 % fertilization) and T4 (pulse irrigation and 100 % fertilization). The main results were: i) water depth: in the pulse irrigation a depth of 268.78 mm was applied and in the continuous irrigation about 415.95 mm; ii) number of pods per plant: in T1 was registered 18.31; in T2, 17.69; in T3, 27.06 and in T4, 25.81; iii) number of grains per pod: in T1 about 3.83; in T2, 3.78; in T3, 4.22 and in T4, 4.05, and iv) crop yield: T1 with 2.59 t ha⁻¹; T2, 2.53 t ha⁻¹; T3, 4.06 t ha⁻¹ and T4, 4.33 t ha⁻¹. In conclusion, the treatment T3 compared to the treatment T1, increased the crop yield by 56.76%, water savings of 54.59% and fertilizer savings of 50 %.

KEYWORDS: ECUADOR / TUMBACO / PULSE IRRIGATION / FERTIRRIGATION / DRIP IRRIGATION.

1 INTRODUCCIÓN

El fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) se encuentra ubicado como una de las fabáceas que ocupa el tercer lugar de importancia para la alimentación tanto de América Latina como en África Oriental y Meridional. En el Ecuador, esta leguminosa constituye una de las principales fuentes de proteína y carbohidratos en la alimentación (principalmente en la región Sierra), es cultivada en asociación, intercalada, en rotación con otros cultivos o como monocultivo, posee un rol fundamental en el manejo sostenible de la agricultura y la alimentación al generar empleo, alimento e ingresos económicos a pequeños, medianos y grandes productores (Beebe *et al.*, 2008).

En Ecuador, la superficie sembrada de fréjol en el año 2018 fue de 21 043.0 hectáreas (ha), cosechándose 17 683.0 ha de grano en seco, con un rendimiento promedio de 0.63 t ha⁻¹. El rendimiento de este cultivo a nivel nacional es bajo en comparación con los reportados en otros países como Irlanda, Montenegro y Barbados, los cuales mantienen un rendimiento comprendido entre 6.7, 6.3 y 5.9 t ha⁻¹, respectivamente (MAG, 2018).

Los bajos rendimientos son consecuencia de factores bióticos y abióticos que interactúan durante el ciclo vegetativo de esta especie, dentro de estos factores existen diferentes agentes que causan las principales reducciones en el rendimiento del fréjol cultivado, dentro de los cuales se menciona: variedad, densidad de siembra, el uso mínimo de insumos químicos de síntesis (fertilizantes), sequías prolongadas, métodos de riego con eficiencias bajas (surcos), plagas, enfermedades, labores culturales, entre otros (FAOSTAT, 2017).

Para incrementar el rendimiento de los cultivos, surge la necesidad de utilizar tecnologías que lo permitan, así como, optimizar la aplicación de agua y los fertilizantes, como ocurre en el riego por goteo con una aplicación intermitente o por pulsos, una técnica de manejo de agua que permite utilizar eficientemente el agua, reduciendo prácticamente a la mitad tanto la cantidad de agua como de fertilizantes utilizados convencionalmente en la producción de cultivos. Dentro de las ventajas que presenta este sistema en comparación con el riego por goteo convencional, se encuentra el incremento de la producción entre el 20% y 40%, con una reducción del 30 al 50 % en el uso de agua y de los fertilizantes (Ortiz, 2008).

En esta línea de investigación, a nivel nacional, en la parroquia de Tumbaco, se han desarrollado dos ensayos sobre el manejo de dos métodos de aplicación de agua con dos dosis de fertilización en el cultivo de fréjol. En el primer ensayo se obtuvo un mayor rendimiento al aplicar riego por pulsos con la mitad de agua y la mitad de los fertilizantes con un promedio de 3.10 t ha⁻¹, en

comparación con el riego convencional cuyo rendimiento fue de 2.40 t ha^{-1} (Vásquez, 2019). En el segundo ensayo, el rendimiento al aplicar el riego por pulsos con el 50 % de la fertilización fue de 2.08 t ha^{-1} , teniendo en cuenta que se utilizó la cuarta parte de los fertilizantes aplicados convencionalmente, el rendimiento en esta investigación fue menor debido a la densidad de siembra (150 mil plantas por hectárea), y la presencia de enfermedades como *Pythium*, *Rhizoctonia* y *Colletotrichum lindemuthianum*. Pese a esta serie de problemas, el riego por pulsos demostró ser más eficiente, siendo el rendimiento mayor al obtenido en el manejo convencional (1.92 t ha^{-1}) y mayor al obtenido por el agricultor, cuyo rendimiento promedio nacional es de 0.62 t ha^{-1} (Alomoto, 2020).

Con esta premisa, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de dos métodos de aplicación de agua de riego bajo dos dosis de fertilización sobre el rendimiento del cultivo de fréjol arbustivo var. INIAP 481 Rojo del Valle, en el Campo Académico Docente Experimental La Tola (CADET). Específicamente se buscó comparar el efecto de los factores en estudio sobre las variables agronómicas (altura, peso en fresco, número de vainas por planta, número de granos por vaina y rendimiento) del cultivo de fréjol, analizar las diferencias que presentan las variables químicas de la solución del suelo (pH, conductividad eléctrica, nitratos, potasio y fósforo) bajo los dos métodos de aplicación de agua y dos dosis de fertilización, y finalmente contrastar el efecto de los factores en estudio sobre las características químicas foliares de la planta, específicamente: nitrógeno, fósforo y potasio.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Riego por goteo

El riego por goteo consiste en la aplicación de agua directamente sobre la superficie del suelo, donde se ubican las raíces de las plantas. Este tipo de riego combina la utilización de pequeños caudales conjuntamente con un riego de alta frecuencia, uno o más días, además, la aplicación de agua se la realiza en tiempos de alrededor de una hora o dos según el cultivo (Rodas & Cisneros, 2000).

En este tipo de irrigación, el agua mediante una red de tuberías, es transportada hasta cada planta. El emisor o llamado gotero es el mecanismo por el cual el agua fluye al suelo y en este se produce una pérdida de presión para descargar en forma de gota. Una vez en el suelo se forma un bulbo húmedo mediante el cual se distribuye, horizontal y verticalmente, las dimensiones de dicho bulbo dependerán del tipo de suelo, tiempo de riego y caudal del gotero (Mendoza, 2013).

Este método de aplicación de agua de riego permite mantener con una mayor humedad al suelo, por ende, se obtendrán resultados positivos para variables de crecimiento y desarrollo de los cultivos e inclusive un aumento de la materia verde y seca, siempre y cuando la lámina de aplicación de este sistema sea manejada entre el 80 al 100 % de la capacidad de campo del suelo y la tensión de humedad sea menor a 12 centibares (Pachacama, 2012).

2.1.1 Importancia del riego por goteo

El riego por goteo es el sistema de riego que presenta la mayor eficiencia y está adaptado para todo tipo de cultivos, debido a que se trata de un riego localizado, en la que la aplicación del riego se realiza justo en la zona de las raíces, que es dónde la planta aprovecha el agua aplicada. Además, uno de los beneficios que permite este tipo de riego es la aplicación del abono o fertilizante conjuntamente con el agua, de la misma forma localizada, lo que ocasiona un aprovechamiento mayor de los nutrientes por parte de la planta y reduce pérdidas de fertilizantes en el terreno (Bórnez, 2017).

Gracias a que este sistema de riego genera un mayor aprovechamiento del recurso hídrico, se aumenta la transpiración, por lo tanto, simultáneamente existe un incremento de la fotosíntesis, consecuencia de esto se genera un mayor rendimiento del cultivo. Se aplica un nivel alto de humedad debido al riego diario, por lo tanto, las plantas logran absorber con mayor facilidad el agua a diferencia de lo que ocurre con los otros sistemas de riego. En este sistema de irrigación se eliminan las pérdidas de agua mediante la conducción, percolación profunda y escorrentía superficial (Rodas & Cisneros, 2000).

2.1.2 Ventajas del riego por goteo

Dentro de las principales ventajas que genera la aplicación de un sistema de riego por goteo se encuentra la eficiencia de la aplicación tanto de agua de riego como de los fertilizantes, por lo que, permite obtener un producto de mayor calidad y aumentar las cosechas en un 40%. El riego por goteo garantiza un pequeño detrimento de agua por evaporación o filtración, ahorrando agua hasta un 60%; facilita el control de malas hierbas (PREDES, 2005).

Permite un ahorro de agua gracias a que se eliminan las pérdidas por conducción, pues el agua es transportada por tuberías hasta la planta, reduciendo las pérdidas por infiltración profunda y la eficiencia de este sistema de riego es del 90 % al 95 %. Genera uniformidad de aplicación debido a que se realiza con goteros de igual caudal llegando a ser aplicado inclusive en terrenos con topografía irregular. Se aumenta la superficie bajo riego debido a una menor presencia de malezas, contribuyendo a facilitar el control de estas, además, la población de malezas disminuye porque el agua que se aplica ha pasado por el tanque de filtrado por lo que se encuentra libre de semillas (Liotto *et al.*, 2015).

Es compatible con labores culturales en goteo ya que se puede efectuar otras labores mientras se realiza el riego, al mantener áreas secas, se permite el tránsito de personas. Se ahorra en la mano de obra puesto que el sistema puede ser manejado solo por un operador de riego, el mismo que puede manejar 80 a 100 ha, mejora la producción y calidad de frutos gracias a que se encuentran satisfechas las necesidades hídricas y nutritivas a lo largo de la temporada y en todo momento (PRAKOR, 2019).

2.2 Riego por pulsos

En los últimos años, el riego intermitente o por pulsos se ha convertido en una de las tecnologías más eficientes con relación al uso de agua para riego. Ha revolucionado esencialmente los sistemas superficiales, transformando y mejorando absolutamente cada uno de los parámetros que intervienen en el funcionamiento de este antiguo método. La explicación del fenómeno del riego intermitente se debe a que entre un pulso y otro se provoca un disgregamiento de los terrones, por ende, un reordenamiento de las partículas y un traslado de depósitos que sellan la base del surco o hilera (Rodríguez *et al.*, 2014).

Un pulso es el tiempo de riego que se necesita para incrementar la tensión de humedad del suelo en un rango determinado, tomando en cuenta el movimiento de agua por difusión y también depende de varios factores como: textura del suelo, uniformidad de distribución de agua, profundidad de irrigación, tipo de gotero, longitud y diámetro del lateral de riego, así como, la distancia desde el cabezal de riego a la válvula de control (Ortiz, 2008).

En este riego se aporta al suelo un menor volumen de agua pero con múltiples aplicaciones diarias, es decir se somete a los cultivos bajo un tipo de estrés hídrico, ya que existe una reducción entre el 40 % al 60 % de la cantidad de agua aplicada convencionalmente, sin embargo, los resultados de las investigaciones demuestran que bajo condiciones edafoclimáticas adversas como estrés hídrico y altas temperaturas los cultivos presentan un índice de estrés que varía en correspondencia con el grado de tolerancia que ellas presentan, lo que ocasiona un incremento del rendimiento en granos, el número de vainas y la masa seca, gracias al uso más eficiente de agua (Polón *et al.*, 2017).

2.2.1 Importancia del riego por pulsos

La práctica del riego por pulsos ofrece un medio para mejorar la eficiencia de riego significativamente en los métodos de riego por superficie, con lo cual se disminuyen los costos tanto de agua como de energía, fertilizantes y prácticas culturales. Los pulsos mejoran la hidráulica, movimiento de agua, al permitir al operador humedecer la parcela con mayor uniformidad y la aplicación de una menor lámina de riego, reduciendo la pérdida de agua en la superficie agrícola. Al igual que otros sistemas de riego, el riego por pulsos está sujeto a la optimización, es decir, que el manejo de este sistema varía de acuerdo a las condiciones tanto de campo como de operación. La eficiencia de aplicación por lo general se incrementa de un 5% a 10% con la selección adecuada del tiempo de los ciclos de riego, debido a esto la variable que debe ser controlada es la lámina de aplicación que se necesita para reponer el agua en la zona radical. Este tipo de riego presenta mayores beneficios a pesar de que el riego por pulsos sea de mayor complejidad que el riego tradicional (EL AGRO, 2019).

Este sistema se plantea como una alternativa a las actuales prácticas de riego y fertilización debido a que la válvula que controla este sistema de riego permite la inyección de fertilizantes previamente solubilizados. Esta técnica de riego representa una alternativa para optimizar la eficiencia de aplicación de agua y de fertilizantes, permitiendo una absorción de mayor uniformidad (Antúnez, 2015).

La aplicación de la fertilización mediante el riego por pulsos permite que el fertilizante sea aprovechado por la planta en su totalidad al haber una mejor oxigenación en el suelo, reduciendo el riesgo de salinidad en el mismo, logrando que la planta disponga de toda su energía por ejemplo en las leguminosas se obtiene un aumento significativo en la producción de vainas (Romero, 2019).

2.2.2 Ventajas del riego por pulsos

El riego por goteo por pulsos es una técnica que permite el uso eficiente del recurso agua, reduciendo prácticamente a la mitad la cantidad de fertilizantes y agua aplicados en la producción de los cultivos. Dentro de las ventajas que presenta este sistema en comparación con el riego por goteo convencional se encuentra un incremento de la producción entre el 20% y 40%, debido a que reduce la percolación de agua (movimiento de agua a través del suelo y sus estratos por acción de la fuerza de la gravedad y de la capilaridad), mejora la oxigenación por lo cual la distribución de agua y los nutrientes en la zona radicular es mayor, este sistema de riego se puede aplicar en todos los cultivos de interés e inclusive en aquellos destinados a la producción de biocombustibles, reduce el volumen de suelo húmedo por lo que las raíces se concentran en la parte superior del perfil, aumenta la relación oxígeno-planta en la solución del suelo (Ortiz, 2008).

2.3 Fertirrigación

Se conoce a la fertirrigación como la aplicación de insumos orgánicos (abonos) e inorgánicos (fertilizantes sintetizados químicamente), los cuales se encuentran disueltos en el agua de riego, de una forma continua o intermitente (pulsos). Esta aplicación se encuentra relacionada principalmente con los sistemas de riego por aspersión, micro aspersión y goteo también denominados como sistemas de riego localizados ya sea de alta como de baja frecuencia. Esta práctica se inicia en el cabezal de riego, donde previamente se realiza la mezcla homogénea de los fertilizantes tanto orgánicos como inorgánicos, se debe evitar la formación de precipitados en la solución madre, posteriormente se realiza la inyección de esta solución en el sistema. Finalmente, la solución conjuntamente con el agua de riego a través de las tuberías es conducida hacia el suelo, donde será absorbida por las plantas (Ferreira *et al.*, 2005).

Como objetivo que se plantea en la fertirrigación está el aprovechamiento óptimo del flujo de agua de riego para transportar los elementos nutritivos que necesita la planta hasta el lugar donde se desarrollan las raíces, optimizando no solo el uso de agua sino también el uso de los nutrientes y la energía, además, llega a reducir la contaminación si se realiza un correcto manejo y aplicación de esta práctica (SIAR, 2005).

Para la correcta aplicación de los fertilizantes a través del fertirriego, se debe tener en cuenta la etapa fisiológica de los diferentes cultivos, tipo de suelo, clima, variedades y otros factores bióticos y abióticos. Además, no se debe dejar de lado variables como pH, la relación NO_3/NH_4 , la movilidad de los nutrientes en el suelo y la acumulación de sales en el mismo (Calvache, 2008).

La fertilización vía riego por goteo, en la actualidad es la práctica más eficiente en la producción de numerosos e importantes cultivos debido a la combinación que permite entre los dos factores de mayor importancia (nutrientes y agua) tanto para el crecimiento y desarrollo de las plantas como para la productividad de las mismas. La correcta combinación entre estos dos elementos es importante sobre todo al aplicar las dosis o niveles de fertilización conjuntamente con láminas de riego óptimas para lograr altos rendimientos y calidad en las cosechas (Martínez *et al.*, 2012).

2.3.1 Importancia de la fertirrigación

La fertirrigación se presenta como una de las tecnologías más revolucionarias para el mejoramiento de la productividad de los cultivos durante el siglo XX. Esta práctica está basada en la utilización de agua y nutrientes por parte de las plantas de manera diaria, es decir, de forma continua y creciente a medida que los cultivos desarrollan su ciclo para potenciar la productividad mediante la aplicación precisa de los insumos (Calvache, 2008).

Con la aplicación del fertirriego se ha obtenido incrementos considerables en la producción de diferentes cultivos, debido a un mayor entendimiento del proceso fisiológico productivo de las plantas, permitiendo el aprovechamiento del riego y la nutrición de los cultivos. Sin embargo, esta entrega directa de fertilizantes mediante el sistema de riego demanda el uso de sistemas de bombeo e inyectores, además que los fertilizantes para la aplicación deben ser 100 % solubles para incorporarlos a la solución nutritiva en el sistema de riego (Ferreira *et al.*, 2005).

2.3.2 Ventajas de la fertirrigación

Dentro de las ventajas de esta práctica se encuentra el ahorro de fertilizantes, comparado con otros sistemas, debido a que su aplicación es localizada sobre la propia planta distribuyéndose el fertilizante ya sea orgánico o sintético, cerca de las raíces y además se produce una menor pérdida por lavado o lixiviación. Otras de las ventajas que ofrece la aplicación de la fertirrigación son las siguientes:

- Existe un ahorro de los fertilizantes entre un 25% y un 50 %.
- La planta asimila de mejor forma los nutrientes aportados por la fertilización, ya que el grado de humedad cerca de las raíces es mayor, por ende, se facilita la disolución rápida del fertilizante y tiene una mayor absorción por las plantas.
- Se ajusta a las necesidades que requiere cada fase del cultivo, debido a que la cantidad y tipo de fertilizante que se aporta está en función del estado de desarrollo de la planta.
- En el caso de deficiencias nutricionales, la aplicación del elemento faltante es rápida y eficiente.

- No solo se puede aplicar fertilizantes, sino también insumos para el manejo integrado de plagas como pueden ser los insecticidas, fungicidas, herbicidas, etc.
- Al ser un proceso automatizado evita errores por la operación manual, como desfases en horarios e inexactitudes en la dosificación, que podrían ocasionar una elevada salinidad en el caso de exceso de dosificación de fertilizantes o provocar deficiencias nutricionales por el defecto de los mismos (Fernández *et al.*, 2010).

2.3.3 Fertilirriego en el cultivo de fréjol

A nivel nacional, las investigaciones de fertilirriego encontradas son aplicadas a cultivos de importancia económica o de exportación como es el caso de las rosas, gypsophila y en solanáceas como la papa y el tomate de riñón, mas no en el cultivo de fréjol. Ugalde *et al.* (2011), realizó una investigación sobre la productividad y rentabilidad del cultivo de fréjol variedad Negro Tacaná con fertilirriego en Veracruz (México), en la cual obtuvieron un mayor rendimiento en fréjol con la fertilirrigación en un sistema de riego por goteo. La mayor eficiencia de la fertilización soluble es debido a que los fertilizantes se suministran en forma localizada, de acuerdo a los requerimientos nutricionales de la planta en las diferentes etapas fenológicas del cultivo (Mora, 2004).

2.4 Cultivo de fréjol

2.4.1 Fenología del cultivo

Durante el desarrollo de la planta se presentan cambios morfológicos y fisiológicos que sirven de base para identificar las etapas de desarrollo del cultivo. De acuerdo con Fernández *et al.* (1985), en el cultivo de fréjol se identifican 10 etapas de desarrollo o fases fenológicas. Las primeras cinco se encuentran relacionadas a la etapa vegetativa: germinación (V0), emergencia (V1), hojas primarias (V2), primera hoja trifoliada (V3) y tercera hoja trifoliada (V4); las cinco etapas restantes se refieren a la etapa reproductiva: prefloración (R5), floración (R6), formación de vainas (R7), llenado de vainas (R8) y madurez fisiológica (R9).

2.4.2 Fréjol arbustivo variedad INIAP 481 Rojo del Valle

Esta variedad de fréjol proviene de la cruza entre SEL 1308/Red Hawk/Red Hawk/Je.Ma./Paragachi/Paragachi, dicha cruza se llevó a cabo en el año 2002 en Michigan State University (EEUU). A partir de esta cruza se generó la línea TP6 de fréjol arbustivo de color de grano rojo moteado de hábito de crecimiento tipo 2, esta variedad está registrada en el Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos (DENAREF) (Peralta *et al.*, 2012).

Es una variedad de fréjol de tipo arbustivo indeterminado (con una guía pequeña), de grano grande, de color rojo moteado con crema y forma arriñonada (Tabla 1). La variedad presenta

resistencia genética a enfermedades como roya y pudrición de raíz y plagas como Empoasca (lorito verde) y trips. Presenta buena adaptación en localidades del valle del Chota (Carchi, Imbabura), Pallatanga (Chimborazo), Chillanes (Bolívar), esta variedad fue seleccionada por los agricultores debido a que presenta resistencia genética a roya, pudrición de raíz, lorito verde y trips (INIAP, 2014).

Tabla 1. Características de la variedad INIAP 481 Rojo del valle

Altura de planta:	47 cm
Color de la flor:	Blanco
Color del grano seco:	Rojo moteado con crema
Forma del grano:	Arriñonado
Tamaño del grano:	Grande
Días a floración:	48
Días a la cosecha en seco:	105
Rendimiento promedio:	1.4 t ha ⁻¹

Fuente: INIAP, 2014.

La altura del cultivo de fréjol presenta variaciones respecto a las condiciones en las que son manejadas y el estado fenológico del cultivo, cuando su manejo es en condiciones de buena fertilización y un riego permanente, de acuerdo a la necesidad hídrica diaria, presentará una mayor altura, llegando a superar a lo establecido por sus descriptores, sin embargo, si este manejo es ineficiente bajo una mínima o nula aplicación de fertilizantes y con tiempos prolongados de sequía, lo que se obtendrá son plantas pequeñas, deficientes nutricionalmente y con enfermedades, consecuentemente rendimientos bajos (Romero, 2019).

2.4.3 Requerimientos nutricionales

La nutrición para todos los cultivos es y será una importante base en la producción agrícola, sin embargo, en ocasiones las adiciones de abonos no corresponden a las condiciones edáficas del área de cultivo, ni a los requerimientos por parte de la planta; este inadecuado manejo de la fertilidad degrada el suelo, disminuye el rendimiento y aumenta los costos de producción. Una alternativa para obtener mejores rendimientos y un desarrollo óptimo en la etapa vegetativa, es la aplicación de fertilizaciones ya sean orgánicas o sintetizadas químicamente, las cuales aumentan la disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo (Bautista *et al.*, 2017).

Este cultivo presenta exigencias altas sobre todo de fósforo y nitrógeno, pero es recomendable hacer el diagnóstico en base a un análisis de suelo o foliar, a fin de cubrir los requerimientos en base a los elementos que necesita el cultivo, manteniendo un balance nutricional entre el suelo y la planta (Hernández, 2009).

También se pueden tomar las recomendaciones de fertilización de acuerdo a los manuales o guías del manejo de cultivos, basados en la absorción o extracción de nutrientes del cultivo en función de las fases fenológicas, las mismas que serán determinadas a través de las curvas de crecimiento de los diferentes cultivos. Se recomienda la aplicación de las siguientes recomendaciones en kg ha^{-1} , tomando en cuenta que el fréjol responde a la fertilización N, P, K, Ca, S, Zn y Mn (IICA, 2009).

Tabla 2. Recomendación de fertilización según análisis de suelo.

análisis de	N	P2O5	K2O	S
suelo	Kg ha ⁻¹			
bajo	60-80	40-60	40-60	15-20
medio	40-60	20-40	20-40	10-15
alto	20-40	0-20	0-20	0-10

Fuente: INIAP, 2013

Según INIAP (2013), el fréjol presenta una repuesta positiva ante la aplicación de quelatos de Zinc en la etapa fenológica de floración y llenado de vainas, para lo cual considera una dosis de aplicación de 2 kg ha^{-1} . Además, para las etapas de floración, llenado de vainas y engrose se recomienda la aplicación de metalosatos de K y Zn, debido a que estos además de poseer dichos elementos también aportan aminoácidos al cultivo, por lo cual se debe aplicar 250 cc ha^{-1} .

En el caso de sospechar de deficiencias nutricionales, es necesario realizar un diagnóstico visual mediante la comparación de síntomas foliares inusuales con aquellos de deficiencias de nutrientes reportados por diversos autores y fuentes. Los síntomas deberían detectarse tan pronto como aparezcan en el cultivo, ya que a medida que transcurre el tiempo hay mayor dificultad de identificarlos, debido a la interacción con otros factores del ambiente. También se puede analizar el contenido de nutrientes presentes en los tejidos vegetales mediante análisis foliares para determinar si se encuentran en porcentajes suficientes, deficientes o inclusive en niveles de toxicidad para corregir o complementar la fertilización a tiempo (Medina, 1978).

2.5 Química de la solución del suelo

2.5.1 pH

El pH del suelo expresa la actividad de los iones hidrógeno en la solución del suelo, afectando la disponibilidad de los nutrientes para las plantas y los procesos biológicos que se dan en el suelo. El pH en campo se lo puede medir mediante indicadores de papel (método colorimétrico), indicadores líquidos (Hellinge) o un potenciómetro portátil, sin embargo, es muy importante correlacionar las mediciones en campo con una determinación de pH en laboratorio (FAO, 2009). Este parámetro influye en gran medida en el desarrollo de los cultivos determinando en el suelo distintas solubilidades en los elementos nutritivos, las características de los suelos variarán de acuerdo al pH que presenten. El conocimiento de este parámetro es muy útil para elegir el tipo de fertilizante adecuado, en especial para los más fosfatados, ya que cuanto más extremo sea el pH menor será la solubilidad de los fertilizantes (Andrades & Martinez, 2014).

El pH óptimo para el cultivo de fréjol oscila entre 6.5 y 7.5, alrededor de estos límites la mayoría de los elementos nutritivos del suelo presentan su máxima disponibilidad, sin embargo, este cultivo presenta un buen comportamiento en suelos que se encuentren con un pH entre 4.5 y 5.5 (Escoto, 2004).

2.5.2 Conductividad Eléctrica (CE)

La CE permite determinar la concentración de sales solubles que se encuentran presentes en la solución del suelo. Este valor es mayor cuanto más fácil se mueva la corriente a través del suelo por una concentración más elevada de sales. La unidad utilizada para medir la CE es el dS m^{-1} (decisiemens por metro) (INTAGRI, 2017).

La CE se encuentra influenciada por el contenido de arcilla, agua y también por la presencia de iones intercambiables en el suelo, dado que tienen la capacidad de conducir la corriente eléctrica e inciden en las propiedades nutricionales del suelo. Dichas propiedades se encuentran relacionadas con la salinidad del suelo (Cortés *et al.*, 2012).

Generalmente los cambios de la CE en la solución del suelo son consecuencia del tipo de suelo, la calidad de agua de riego, el cultivo y el tipo de fertilizante que se utilice durante el desarrollo del cultivo tal como lo muestra Vásquez (2019), en su investigación, donde la variable CE presentó una alta variación durante el ciclo vegetativo del cultivo (Figura 1), debido al manejo tanto del riego como de la fertilización.

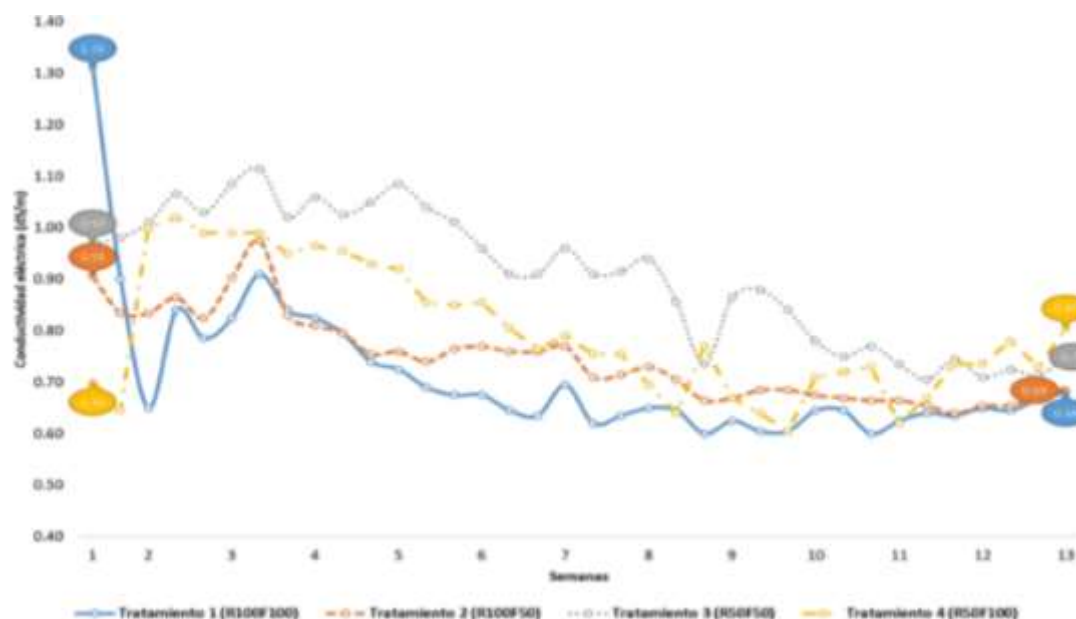


Figura 1. Comportamiento de la conductividad eléctrica de la solución del suelo.

Fuente: Vásquez, 2019.

2.5.3 Contenido de nitratos

El nitrato (NO_3) es una forma natural de nitrógeno existente en el suelo y es indispensable para el crecimiento de las plantas, alrededor del 90% del nitrógeno absorbido por las plantas de la solución del suelo es en forma de nitrato. Los nitratos son aplicados al suelo mediante tres formas: a través de fertilizantes, de estiércol animal y de la descomposición de materia orgánica (SACSA, 2019).

La cantidad de nitratos que se encuentran en el suelo va a depender de distintos factores como la humedad, la temperatura, el manejo del suelo y la etapa fenológica del cultivo, entre otros. El nitrógeno aplicado al suelo a través de enmiendas agrícolas como de materia orgánica o fertilizantes orgánicos e inorgánicos, es transformado por acción de los microorganismos en nitratos. Por lo tanto, esta forma de nitrógeno presenta una mayor movilidad a través del suelo, por lo que su desplazamiento está directamente relacionado con el manejo de agua (Bono & Álvarez, 2017).

Según Ortiz (2018), el contenido máximo de nitratos presentes en la solución del suelo debe permanecer dentro de rango de 70 a 250 ppm, en el caso de existir concentraciones mayores, puede existir pérdidas de N por volatilización en forma de nitritos y amoníaco. El monitoreo constante del contenido de nitratos permite realizar un control eficiente de la fertilización, debido a que el nitrógeno no solo es un nutriente indispensable de la relación N-P-K, sino también posee alta movilidad en la solución del suelo y rápida disponibilidad, por ende, la absorción por parte de las plantas es de mayor facilidad.

2.5.4 Contenido de fósforo

El fósforo (P) se encuentra dentro de uno de los diecinueve elementos considerados como esenciales para el desarrollo de las plantas. Es un componente básico en las estructuras de macromoléculas, está encargado de varias funciones como el almacenamiento y transferencia de energía. En el sistema suelo-planta, el 90% del fósforo está en el suelo y menos del 10% se encuentra repartido fuera del suelo. En realidad, solo el 10% del 90% de fósforo en el suelo está disponible en la solución del suelo para las plantas (Fernández, 2007).

El contenido de P total depende de varios factores como la naturaleza del material parental, el nivel de meteorización, el lavado y los efectos antrópicos del cultivo (aplicación de abonos, fertilizantes y la extracción por cosechas). Los suelos que se encuentran con cultivos constantes pierden P a través de la cosecha, por la remoción de los productos como granos, frutos y forrajes. La fracción soluble del suelo suministra a las plantas P a partir del equilibrio entre las formas lábiles de P inorgánico y orgánico. El abastecimiento en una menor proporción de P soluble es a través de las fracciones minerales. Las condiciones de suelo y clima traen como consecuencia una variación de la proporción del P total del suelo en forma orgánica o inorgánica (Ciampitti, 2005).

La concentración de fósforo en la solución del suelo se encuentra alrededor de 0.05 ppm, una concentración muy baja, sin embargo, la concentración de P adsorbido (fijado) por las superficies activas del suelo es aún menor que el mencionado anteriormente. Por ende, cuando los cultivos se desarrollan, sólo una mínima cantidad de fósforo entrará en relación con la superficie radicular, el mismo que será rápidamente absorbido (Fernández, 2007).

2.5.5 Contenido de potasio

El potasio (K) es uno de los macronutrientes esenciales para el correcto crecimiento y desarrollo de plantas. Se encuentra involucrado en varios procesos fisiológicos, como la osmo regulación, activación enzimática celular, mantenimiento potencial de la membrana celular, regula la presión de turgencia de células vegetales, que controlan el movimiento de estomas y el crecimiento del tubo de polen. También regula la fotosíntesis y la posterior translocación de carbohidratos y metabolismo, y en consecuencia determina el rendimiento y la calidad de la cosecha de los cultivos. Además, un suministro suficiente de K puede mejorar la tolerancia de las plantas a varios factores de estrés bióticos y abióticos. La deficiencia de este nutriente en la mayoría de los campos de cultivo ha limitado el desarrollo sostenible de la producción agrícola (Wang & Wu, 2017).

El K en el suelo se presenta en cuatro formas y cada una de ellas con distinta disponibilidad para los cultivos. Las formas del potasio en el suelo son: el K presente en la solución del suelo, el K mineral, el K no intercambiable y el K intercambiable. La concentración de K en la solución del suelo depende del cultivo y de su tasa de crecimiento debido a que las plantas toman K de la solución del suelo, la eficiencia del K en solución es manejada por la presencia de otros cationes, específicamente Ca y Mg (García & Quinke, 2012).

El K mineral es la fracción que se encuentra formando parte de los minerales constituyendo un 90% a 99% del K total, el K soluble o presente en la solución el suelo es la fracción cuantitativamente menos importante, ya que se encuentra en concentraciones entre 0,1 ppm a 1000 ppm y es renovado constantemente, por lo que, las plantas lo absorben directamente, el K intercambiable es la fracción que se encuentra adsorbida en el complejo de cambio y que es intercambiable con otros cationes y finalmente el K fijado es el K no intercambiable que esta acumulado en el espacio interlaminar de las arcillas (Sanzano, s/f).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del estudio

El presente trabajo de 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 m.s.n.m

3.2 Características Agroclimáticas

Temperatura promedio anual (C):	16.22
Precipitación promedio anual (mm):	848.79
Humedad relativa promedio anual (%):	74.24

Fuente: INAMHI, 2018.

3.3 Materiales

3.3.1 Materiales de campo

- Semilla de fréjol INIAP 481- Rojo del valle
- Azadón
- 4 jeringuillas de 20 ml y 50 ml
- 4 jarros de plástico
- Rastrillo
- Deshierbador
- Estacas
- Balanza
- Cinta métrica
- Cuaderno de campo

3.3.2 Insumos de fertilización y MIP

- 2 canecas de 20 litros de Ácido fosfórico
- Quelato de Fe, Zn, Mn, B y Cu
- Nitrato de amonio
- Nitrato de potasio

- Nitrato de calcio
- Sulfato de magnesio
- 1 litro de Metalosato de K y Zn
- Lorsban 500 ml
- New Bt 500 g
- Epingle 1L
- Clospilaq 1 L

3.3.3 Materiales para el muestreo de suelos, agua y plantas

- 1 azadón
- 1 pala plana
- 8 fundas plásticas
- 1 balde
- 2 botellas plásticas de 1 L
- 12 fundas de papel de 250 g
- 1 tijera de podar

3.3.4 Materiales de oficina

- Esferos
- Computadora
- Calculadora
- Tablero
- Lápiz

3.3.5 Equipos de riego

- 1 computador de riego
- 1 programador de riego
- 2 tensiómetros análogos
- 4 succionadores
- 1 medidor de pH-conductividad eléctrica HANNA HI 9811-5 con escala de 0 a 14.
- 1 medidor de nitratos LAQUAtwin- NO₃-11, precisión de ± 10 ppm, con rango de medición de 6 a 9900 ppm (0.1 a 160 mmol l⁻¹).
- 1 medidor de fosforo Hanna de precisión ± 0.1 ppm, con rango de medición de 0,0 a 15,0 mg L⁻¹ (ppm).
- 1 medidor de potasio LAQUAtwin-K-11 con rango de medición de 4 a 9900 ppm.

3.4 Métodos

3.4.1 Factores en estudio

Factor 1: Métodos de aplicación de agua

- **Riego continuo (RC)**
- **Riego por pulsos (RP)**

RC es la forma actual de aplicación de agua por el agricultor, en donde el contenido de humedad en el suelo se mantiene cerca de capacidad de campo, cuyo régimen de humedad se mantiene entre los 8-12 centibares.

RP es la técnica de aplicación de agua por pulsos, la cual tiende a incrementar el contenido de humedad en el suelo sobre capacidad de campo y es manejada bajo un régimen de humedad de 5-10 centibares.

Factor 2: Dosis de Fertilización

- **Dosis 1.** F100 %, 80-40-60 kg ha⁻¹; N (2.56 kg) -P (1.28 kg) -K (1.92 kg)
- **Dosis 2.** F50 %, 40-20-30 kg ha⁻¹; N (1.28 kg) -P (0.64 kg) -K (0.96 kg)

La dosis de fertilización al 100 % (F100 %) se obtuvo en base a análisis de suelos del sitio del experimento y en base a la recomendación realizada por el Instituto Nacional de Investigaciones (INIAP). Los kilogramos de N-P-K para el primer nivel del factor dosis de fertilización fue de 2.56, 1.28 y 1.92 respectivamente para un área de 320 m², que corresponde el área de un tratamiento con 4 observaciones y para el segundo nivel fue de 1.28, 0.64 y 0.96 kg de igual manera para un área de 320 m².

3.4.2 Tratamientos

Los tratamientos resultan de la interacción de los niveles de los factores en estudio.

Tabla 3. Tratamientos con su respectiva descripción de la investigación experimental.

Tratamiento	Código	Descripción
1	RCF100	Riego continuo + Fertilización al 100 %
2	RCF50	Riego continuo + Fertilización al 50 %
3	RPF50	Riego por pulsos + Fertilización al 50 %
4	RPF100	Riego por pulsos + Fertilización al 100 %

3.4.3 Diseño Experimental

Para la presente investigación se aplicó un diseño de parcela dividida bajo un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA), en la parcela principal se estableció los métodos de aplicación de agua y como sub parcela las dosis de fertilización. Se tuvo un total de 600 plantas en la parcela neta por observación, dentro de las cuales se seleccionaron 4 plantas por unidad experimental (16 plantas por tratamiento) para la medición de las respectivas variables que se describen en los siguientes párrafos.

Tabla 4. Análisis ANOVA del experimento

F de V	GL	SC	CM	F. cal
Total	$(A*B*o) - 1$	SC Total	-	
Parcela principal (métodos de aplicación de agua)	$A - 1$	SC A	SC A/GL A	CM A/CM E (A)
Error (A)	$A (o - 1)$	SC E (A)	SC E (A)/GL E (A)	-
Subparcela (dosis de fertilización)	$B - 1$	SC B	SC B/GL B	CM B/CM E(B)
Interacción	$(A - 1) (B - 1)$	SC A x B	SC Ax B/GL Ax B	CM Ax B/CM E(B)
Error (B)	$A (o - 1) (B - 1)$	SC E (B)	SC E(B)/GL E(B)	-

A= Métodos de aplicación de agua; **B=** Dosis de fertilización; **o=** Observaciones

3.4.4 Unidad Experimental

La unidad experimental estuvo conformada por 20 surcos de fréjol de 10 metros de longitud, separados a una distancia entre surco de 0.40 m, dando una superficie total de 80 m². La siembra se la realizó a una distancia de 0.25 m entre plantas y una semilla por golpe, teniendo 40 plantas por surco, siendo la densidad de siembra de 800 plantas por unidad experimental (100 mil plantas por hectárea). Se trabajó con 4 tratamientos y 4 observaciones, con un total de 16 unidades experimentales y una superficie total bruta de 2025 m² en el área de la investigación (Figura 2).

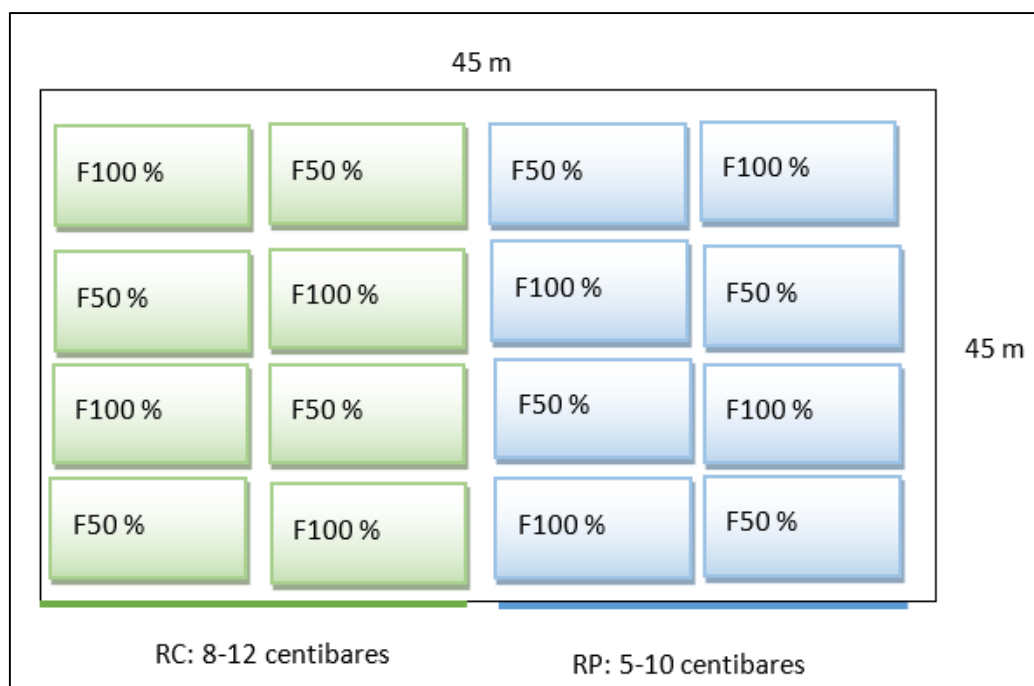


Figura 2. Esquema en campo del diseño experimental.

3.4.5 Características de la unidad experimental

- Número de surcos: 20
- Longitud de los surcos: 10 m
- Distancia entre surcos: 0.40 m
- Distancia entre plantas: 0.25 m
- Número de semillas por golpe: 1
- Número total de plantas: 800
- Superficie unidad experimental: 80 m² (10 m x 8 m)
- Número de tratamientos: 4
- Total de unidades experimentales: 16
- Superficie total experimental bruta: 1280 m² (80 m² x 16 parcelas)

3.4.6 Parcela neta

La parcela neta estuvo conformada por 12 surcos centrales de 8 metros de longitud, separados a una distancia de 0.40 m, dando una superficie total de 38.40 m². El área eliminada en la unidad experimental corresponde al efecto de borde, por lo que se eliminó 1.0 m a cada extremo de la parcela y 8 surcos (4 de la parte superior y 4 surcos de la parte inferior de la parcela bruta). Las dimensiones de la parcela neta, son las mismas para los 4 tratamientos con sus respectivas observaciones (Figura 3).

Características de la parcela neta

- Número de surcos: 12
- Longitud de los surcos: 8 m
- Distancia entre surcos: 0.40 m
- Superficie neta: 38.40 m^2 (8 m x 4.80 m)

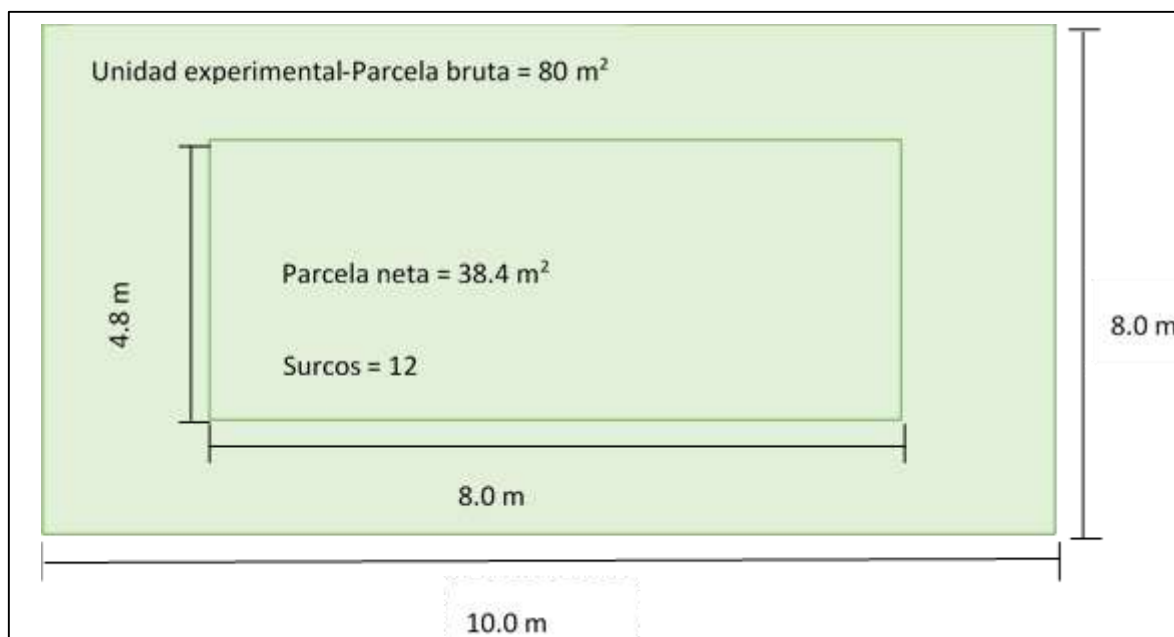


Figura 3. Esquema general de la unidad experimental y parcela neta.

3.5 Variables y métodos de evaluación

3.5.1 Variables independientes

Tensión de humedad. - La tensión de humedad se midió para cada método de aplicación de agua, a través de tensiómetros análogos. En el riego continuo, la aplicación de agua se realizó para mantener la humedad entre 8 - 12 centibares y para el riego por pulsos, la aplicación de agua tuvo un tiempo de riego de 2.0 minutos, para mantener la humedad entre 5-10 centibares. Los tensiómetros análogos se conectaron al computador de riego para automatizar el control de la aplicación de agua. Además, la lectura de la tensión de humedad se realizó cada tres minutos, estos datos fueron almacenados en el programador de riego. Al final de la cosecha, para cada régimen de humedad se determinó la tensión de humedad promedio en el suelo.

Volumen de agua. - El volumen de agua aplicado se midió para cada tratamiento (m^3), se registró de manera diaria y al final del ciclo del cultivo se contabilizó el volumen total aplicado; para la lectura del volumen se utilizaron medidores de volumen convencionales, los cuales se instalaron en el sistema de riego para cada tratamiento.

3.5.2 Variables dependientes

3.5.2.1 Agronomía de la planta

Altura de planta (cm). - Esta variable fue medida para cada observación. Para esta variable se seleccionó 4 plantas por observación de manera diagonal, teniendo un total de 16 plantas por tratamiento. Esta medición se realizó en las tres fases fenológicas más importantes del cultivo de fréjol que son: crecimiento vegetativo, floración y llenado de la vaina. Se realizó un análisis destructivo ya que se sacó la planta de raíz para tomar la altura desde el cuello de la planta. La primera medición de esta variable se realizó en la fase vegetativa (día 25), la segunda medición se realizó en la fase de floración (día 50) y la última medición se la llevó a cabo en la fase de llenado de vaina (día 75), teniendo en cuenta que el día 0 es a partir de la emergencia del cultivo. En cada medición se seleccionó diferentes plantas debido a que fue una medición destructiva (Anexo 1). Para el análisis estadístico se realizó un análisis de la varianza (ANOVA).

Peso de planta (g). - Esta variable fue medida para cada observación. De igual manera que la variable anterior, se tomaron las mismas plantas y se las pesó en una balanza analítica, la frecuencia de esta medición fue igual que la establecida para la altura de la planta, en las 3 fases fenológicas de importancia (crecimiento vegetativo, floración y llenado de la vaina). Para el análisis estadístico se realizó un análisis de la varianza (ANOVA).

Número de vainas por planta. - Esta variable se tomó al finalizar el ciclo del cultivo cuando la planta y las vainas se tornaron amarillas y empezaron a secarse, en 4 plantas por observación con un total de 16 plantas por tratamiento, se contabilizó el número de vainas por planta. Para el análisis estadístico se realizó un análisis de la varianza (ANOVA).

Número de granos por vaina. - Esta variable fue medida para cada observación. Esta variable se tomó al finalizar el ciclo del cultivo cuando la planta y las vainas se secaron, en 4 plantas por observación con un total de 16 plantas por tratamiento, se contabilizó el número de semillas por vaina. Para el análisis estadístico se realizó un análisis de la varianza (ANOVA).

Rendimiento por parcela neta (Kg/Pn). - Se cosechó todas las plantas de la parcela neta (38.40m^2) de cada uno de los 4 tratamientos; posteriormente se trilló, después se ventiló y se retiró las impurezas, para finalmente realizar el pesaje del fréjol por parcela neta (Pn). El peso de cada tratamiento se realizó para un contenido de humedad del 12%. Finalmente se realizó el respectivo cálculo para determinar el rendimiento en t ha^{-1} . Para el análisis estadístico se realizó un análisis de la varianza (ANOVA).

Además para determinar la ecuación del modelo de regresión se realizó un análisis de la regresión lineal múltiple, se obtuvo una nueva muestra a partir de los datos originales para dar

mayor confiabilidad al modelo y obtener mayor normalidad (Anexo 8 y 9) trabajando con una muestra n de 11440 datos para las variables seleccionadas por el método de selección de variables Stepwise, este método selecciona modelos más razonables, se basa en el p-valor de cada pendiente parcial y elimina o deja las variables para el modelo, el mismo que mantuvo las dos variables independientes. Además se muestra en el Anexo 7, los gráficos de residuos parciales donde se puede hacer un diagnóstico sobre las variables y se asocia el tipo de orden de la regresión, en este caso se observa una regresión lineal de primer orden, al establecer la regresión lineal en el programa estadístico claramente se aprecia por el p-valor que ninguna de las variables independientes son de segundo orden o cuadrático, además al agregar el término cuadrático el p-valor que este presentó fue mayor a 0.05 por lo que no existe tal. Razón por la cual se estableció el modelo lineal.

3.5.2.2 Variables de la química de la solución del suelo

El monitoreo de la parte química de la solución del suelo se realizó para cada tratamiento. Tres días a la semana (lunes, miércoles y viernes), mediante succionadores se extrajo la solución del suelo para medir, pH, CE, NO₃, P y K; estas variables se midieron a través de medidores portátiles. Para el análisis estadístico se realizó un análisis de la varianza (ANOVA).

3.5.2.3 Variables del contenido de nutrientes en los tejidos vegetales

Análisis foliar. - El análisis foliar se realizó para cada tratamiento. Se realizó un análisis foliar de la planta para macronutrientes (N-P-K) en las fases de crecimiento, floración y llenado de vainas. Se tomó una muestra de hojas de 200 g por cada tratamiento y se envió al laboratorio. Para el análisis estadístico se realizó un análisis de la varianza (ANOVA).

Todos los análisis estadísticos fueron llevados a cabo mediante el uso del programa estadístico Infostat/E versión estudiantil 2019.

3.6 Manejo del experimento

3.6.1 Preparación del terreno

La preparación del terreno se realizó en forma manual. Se procedió a la limpieza del suelo con azadón y rastrillo para retirar la maleza. Se delimitó del área de estudio, colocando piolas y estacas. Se colocaron 10 cintas de goteo con una separación de 0.80 m en cada parcela.

3.6.2 Semilla

En esta investigación se utilizó la semilla proveniente de la cosecha del segundo ensayo, fréjol arbustivo 481 INIAP Rojo del Valle.

3.6.3 Siembra

La siembra se realizó de manera manual, colocando una semilla por golpe a una profundidad de 2 a 3 cm, a una distancia de 0.25 m entre plantas y 0.40 m entre hileras, con una densidad de siembra de 100 mil plantas por hectárea. La separación entre laterales de riego fue de 0.80 m y cada uno regó dos hileras de cultivo. La densidad de siembra de cada observación fue de 800 plantas (Anexo 2).

3.6.4 Control de malezas

El control de malezas se realizó de manera manual y con ayuda de una azada, en dos fases una de ellas fue en los primeros 30 a 60 días después de la siembra, a fin de evitar la competencia de nutrientes, agua y luz.

3.6.5 Dosis de fertilización

La aplicación de los fertilizantes se realizó de manera semanal, durante las primeras 10 semanas del ciclo vegetativo del cultivo, en las siguientes cantidades, dosis 100 %: N: 256 g; P: 128 g; K: 192 g; dosis 50 %, N: 128 g; P: 64 g; K: 96 g.

3.6.6 Control fitosanitario

Se efectuaron monitoreos y evaluaciones semanales de plagas y enfermedades para realizar actividades de prevención y control oportuno.

3.6.7 Muestra de suelos

Esta muestra fue para determinar la cantidad de nutrientes en el suelo y posteriormente establecer la dosis de fertilización. Para realizar el análisis de suelo, se tomó una muestra compuesta, ubicando un mínimo de 25 submuestras de manera sistemática en forma de zig – zag a lo largo de todo el terreno para minimizar la variabilidad y obtener un resultado mucho más preciso y representativo sobre la cantidad de nutrientes presentes en el suelo muestreado. La profundidad de muestreo fue de 0 a 20 cm (Ramírez, 2005).

Para la toma de muestras de suelo, el mismo autor señala que se debe utilizar una pala para abrir un hueco en forma de “V” a la profundidad requerida, se corta una tajada de 2 a 3 cm de grosor de uno de los lados de la “V” y se coloca en un balde o un saco limpio. El material restante se mezcla nuevamente y se realiza el mismo procedimiento hasta obtener una muestra de 1 Kg. La muestra final se la colocó en una bolsa plástica debidamente identificada con el nombre del propietario, fecha de muestreo, lugar de muestreo, cultivo y se la envía al laboratorio de suelos (Ramírez, 2005).

3.6.8 Determinación de la tensión de humedad del suelo

Para medir la tensión de humedad del suelo se instaló dos tensiómetros análogos, uno para cada método de aplicación de agua. Para el riego continuo, el tensiómetro se instaló a una profundidad de 20 cm y para el riego por pulsos a 10 cm. Los tensiómetros se instalaron en la mitad del lateral con goteros compensados, evitando caminos centrales, puntos topográficos altos o bajos y cerca de sistemas de drenaje. En los sectores escogidos para la instalación de los tensiómetros, se hizo un hoyo con un tubo de PVC de 1/2" hasta la profundidad de 10 y 20 cm. Los tensiómetros se protegieron con cajas de madera y se los trató con una solución de hipoclorito de sodio al 3% para evitar el crecimiento de algas dentro del tubo transparente (Ortiz, 2008). El registro de los datos de la tensión de humedad se midió con una frecuencia de 3 minutos.

3.6.9 Monitoreo de la solución del suelo

Para el monitoreo de la fertilidad del suelo, se instaló 4 succionadores, uno para cada tratamiento. Dos succionadores se instalaron a una profundidad de 20 cm (riego continuo) y dos a una profundidad de 10 cm (riego por pulsos). Para instalar los succionadores, se siguió el mismo procedimiento para la instalación de los tensiómetros (Ortiz, 2008).

3.6.10 Toma de muestras de plantas

Para el análisis foliar, se tomó dos a tres hojas maduras del tercio medio de las plantas muestreadas, hasta obtener alrededor de 200 g de hojas para enviar al laboratorio. Cada una de las muestras se enviaron al laboratorio, detallando adecuadamente: Identificación de la muestra; nombre del propietario de la muestra, dirección y correo electrónico; localización: provincia, cantón, parroquia; nombre de la finca o hacienda; fecha de toma de la muestra; nombre del cultivo; edad de la planta; parte de la planta (hoja, tallo, peciolo); tipo de fertilización; tipo de agua; edad del cultivo (AGROCALIDAD, 2015).

3.7 Manejo del riego

3.7.1 Riego por goteo continuo

El riego se realizó mediante las lecturas de tiempo real de la tensión de humedad del suelo; el riego se repuso cuando la tensión de humedad fue de 12 centibares. El tiempo de riego se calculó en base al descenso de humedad en el suelo, siendo el límite 8 centibares. El tiempo de riego fue de 32 minutos. Se registró el volumen de agua aplicado al cultivo al finalizar su ciclo fenológico.

Para la presente investigación se utilizaron goteros compensados con un caudal de 1.0 l h^{-1} , con una separación entre goteros de 0.2 m.

3.7.2 Riego por pulsos

El riego por pulsos se realizó igual que el riego por goteo continuo, con la diferencia de que el riego se repuso cuando la tensión de humedad fue de 10 centibares. El tiempo de riego fue de 2.0 minutos. Se midió el volumen de agua aplicado al cultivo por cada tratamiento al finalizar el ciclo fenológico.

3.7.3 Fertirrigación

La dosis de los fertilizantes se aplicó los días jueves, durante 8 semanas consecutivas, en este tiempo se aplicó la dosis total programada. La inyección de los fertilizantes se realizó mediante el uso de un inyector tipo Venturi, de igual manera se realizó el control del pH mediante un Venturi independiente, a través de la inyección de ácido fosfórico.

3.7.4 Medidores portátiles

3.7.4.1 Medidor portátil de nitratos

Es un medidor de nitrato a prueba de agua con una gran pantalla LCD con retroiluminación, incorpora un electrodo de ion plano, único en el mundo diseñado con la última tecnología HORIBA para la medición de nitratos. El electrodo reemplazable hace uso del mismo principio de medición que el electrodo selectivo de iones de nitrato tradicional (ISE), sin embargo, el NO₃-11 tan solo requiere unas cuantas gotas de la muestra (0.3 ml) para ofrecer un análisis rápido y preciso (HORIBA, 2019).

El amplio rango de medición que incorpora (de 6.2 a 9900 ppm) permite medir concentraciones altas sin necesidad de llevar a cabo una dilución, por otra parte, el medidor LAQUAtwin-NO₃-11 no usa reactivos. Este medidor de nitrato LAQUAtwin-NO₃-11 es confiable y muy fácil de usar. Tarda tan sólo unos segundos para dar un resultado, por lo que se convierte en un instrumento ideal para los análisis en el campo. Los medidores LAQUAtwin son perfectos para los profesionales de laboratorio y los técnicos de campo. Estas herramientas pueden ser útiles para la toma de decisiones al llevar a cabo inspecciones de calidad, puesto que proporciona una evaluación inmediata de la concentración en NO₃ en muchas aplicaciones (HORIBA, 2019).

3.7.4.2 Medidor portátil de potasio

LAQUAtwin-K-11 es un medidor de potasio a prueba de agua con una gran pantalla LCD con retroiluminación. La concentración de potasio en una muestra sólida se puede evaluar fácilmente colocando dicha muestra directamente en el sensor. También se pueden realizar mediciones de muestras como líquidos, pastas y polvos. El amplio rango de medición de 4 a 9900 ppm (0.1 a 250 mmol L⁻¹) permite medir concentraciones altas sin necesidad de llevar a cabo una dilución. El LAQUAtwin-K-11 no usa reactivos (HORIBA, 2019).

3.7.4.3 Fotómetro portátil para medir fósforo

El fotómetro para medir fósforo (HI96706) combina la precisión y facilidad de uso con un diseño ergonómico y portátil. Usando los reactivos preparados el usuario puede determinar con precisión la concentración de fósforo dentro de un intervalo de 0.0 a 15.0 mg L⁻¹ (ppm). El HI96706 ofrece muchas características avanzadas incluyendo la exclusiva función CAL Check [™] utilizada para la verificación de la eficiencia y la calibración del medidor (Hanna, 2019).

Tabla 5. Características de los medidores portátiles para la solución del suelo

Medidor	Características
pH y CE	Medidor de pH: rango: 0.0 a 14.0 pH; precisión: ±0.1 pH; resolución: 0.1 pH. Calibración: manual, dos puntos pH 4.0 – 7.0 Medidor de CE: rango: 0 a 6000 dS m ⁻¹ ; precisión: ±2% F.S.; resolución: 10 dS m ⁻¹ . Calibración: manual, un punto de solución conocida. El equipo se calibró cada 50 lecturas de pH y CE.
Nitratos	Principio de medición: método de electrodo selectivo de iones. Rango de medición de 6 a 2000 ppm; precisión de 0 a 100 ppm: ± 0.1; precisión de 100 a 2000 ppm: ± 10. Calibración automática en dos puntos con soluciones de 30 y 300 ppm. El equipo se calibró cada 50 lecturas de nitratos.
Fósforo	Principio de medición: fotómetro. Rango de medición de 0.1 a 15 ppm; precisión: ± 0.1. El equipo viene calibrado de fábrica para una duración de dos años.
Potasio	Principio de medición: método de electrodo selectivo de iones. Rango de medición de 4 a 9900 ppm; precisión: ± 10. Calibración automática en dos puntos con soluciones de 150 y 2000 ppm. El equipo se calibró cada 50 lecturas de potasio.

Fuente: (Hanna, 2019; HORIBA, 2019).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos obtenidos de las distintas variables en estudio fueron sometidos a pruebas de normalidad de Shapiro Wilks modificado y homogeneidad de varianzas de Levene (Anexos 3 y 4). Una vez comprobados los requisitos del ANOVA, se registró el p-valor entre tratamientos y se efectuaron las pruebas de LSD Fisher al 5% para cada una de las variables evaluadas.

El régimen de humedad con el que se manejó esta investigación, se mantuvo para el tratamiento 1 y 2 (riego continuo) de 8-12 centibares, mientras que para el tratamiento 3 y 4 (riego por pulsos) fue de 5-10 centibares. El volumen de agua aplicado para el tratamiento 1, 2, 3 y 4 fue de 133.8 m³, 145.7 m³, 104.89 m³ y 114.99 m³, respectivamente. Teniendo una lámina de riego aplicada promedio de 415.95 mm para el método de aplicación de agua de riego continuo y 268.78 mm para el método de aplicación de agua de riego por pulsos.

4.1 Variables agronómicas de la planta

4.1.1 Altura de planta

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza para la altura del cultivo de fréjol no mostraron diferencia significativa tanto para el factor de estudio métodos de aplicación de agua, como para la dosis de fertilización, ni su interacción (Tabla 6).

El valor promedio de la altura fue de 46.09 cm con un coeficiente de variación del 13 % para el error tipo A y 11.6 % para el error tipo B, estos resultados no fueron los mismos a los obtenidos por Alomoto (2020), quien en su investigación presentó diferencias estadísticas altamente significativas para el factor en estudio tipos de riego, en la cual bajo un riego continuo obtuvo una mayor altura de planta en las etapas fenológicas de crecimiento vegetativo y floración; sin embargo, en la fase de maduración de vainas no presentó diferencias estadísticas el factor tipos de riego.

En la Figura 4 se observa que el tratamiento que presentó una mayor altura de planta fue el tratamiento 1, riego continuo con el 100 % de fertilización; en las tres evaluaciones presentó la mayor altura llegando a medir en promedio 72.75 cm al final del ciclo, a diferencia del tratamiento 3; riego por pulsos con el 50 % de fertilización, llegó a una altura promedio de 68.88 cm; sin embargo, con estos resultados se asume que el factor con mayor importancia en la variable altura es la fertilización, ya que en los tratamientos con el 100 % de la fertilización se ve reflejada una mayor altura en comparación con los tratamientos al 50 % de fertilización.

Tabla 6. Resultados del ANOVA para la variable altura de planta

FV	gl	Altura de planta (cm)
		Cuadrados medios
TOTAL	15	-----
MÉTODOS DE APLICACIÓN DE AGUA	1	90,25 ^{ns}
ERROR A	6	35,92
DOSIS DE FERTILIZACIÓN	1	87,89 ^{ns}
INTERACCIÓN	1	100 ^{ns}
ERROR B	6	27.52
PROMEDIO		46,09 cm
CV (%) A		13
CV (%) B		11,6

ns = Diferencia no significativa.

Similares resultados fueron obtenidos por Romero (2019), quien obtuvo una altura máxima 61.63 cm en el tratamiento con 100 % agua y 100 % fertilización, esto indica que, al aplicar un mayor volumen de agua y mayor fertilización, se obtiene como resultado una mayor altura de las plantas. Además, la Figura 4 presentó una interacción no ordenada, debido a que las líneas que se forman entre los niveles de los factores en estudio se cruzan, lo que representa cierta dificultad para interpretar los efectos principales de los factores en estudio.

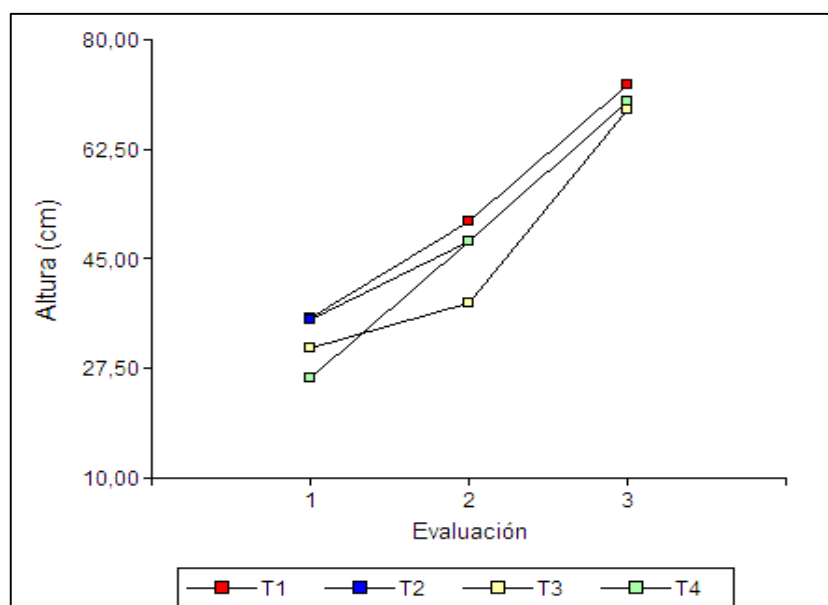


Figura 4. Dinámica de la altura de planta en el efecto de dos métodos de aplicación de agua con dos dosis de fertilización.

4.1.2 Peso en fresco de la planta

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza para la variable peso en fresco de planta del cultivo de fréjol (Tabla 7), no mostraron diferencia significativa tanto para el factor de estudio métodos de aplicación de agua, como para la dosis de fertilización, ni su interacción. El valor promedio de la altura fue de 91.72 g con un coeficiente de variación del 16 % para el error tipo A y 15.57 % para el error tipo B.

Pese a las diferencias presentadas por los tratamientos manejados con el riego continuo, es posible identificar que, con una aplicación mayor de agua, el peso de la planta en fresco será mayor, tal como lo indica Pachacama (2012), quien en su evaluación sobre cuatro láminas de agua de riego en el manejo del cultivo de fréjol en la localidad de Guayllabamba, en el tratamiento 1 con una lámina al 100 %, obtuvo el mayor peso en verde en todas las evaluaciones que se realizaron cada 20 días. Estos resultados confirman que el volumen de agua está directamente relacionado con el desarrollo de la planta, en este caso, con el peso de la misma.

Tabla 7. Resultados del ANOVA para la variable peso en fresco de planta

FV	gl	Peso en fresco (g)
		Cuadrados medios
TOTAL	15	-----
MÉTODOS DE APLICACIÓN DE AGUA	1	3164,06 ^{ns}
ERROR A	6	214,26
DOSIS DE FERTILIZACIÓN	1	6601,56 ^{ns}
INTERACCIÓN	1	141,02 ^{ns}
ERROR B	6	203,84
PROMEDIO		91,72 g
CV (%) A		16
CV (%) B		15,57

ns = Diferencia no significativa.

La Figura 5 muestra que, el mayor peso fresco se obtuvo con el tratamiento 1 con 294 g al final del ciclo, debido a que este se manejó con el riego continuo bajo una fertilización al 100 %, como se mencionó en la variable anterior este tratamiento presentó la mayor altura por lo que se esperaba que su peso sea mayor gracias a la dosis de fertilización que se le administro, sin embargo, esto no se observó en los demás tratamientos que fueron sometidos a una fertilización

del 100 % ya que el tratamiento 4 obtuvo el menor peso fresco con 247.81 g pese a tener una dosis de fertilización al 100 %, por lo tanto se asume que la diferencia fue influenciada por el método de aplicación de agua, en este caso riego por pulsos, y no por la dosis de fertilización. Resultados similares fueron obtenidos por Bautista *et al.* (2017), en su estudio sobre el efecto de la fertilización edáfica en el crecimiento y desarrollo del cultivo de fréjol, para lo cual realizaron la aplicación de fertilización orgánica y fertilización química completa, donde para la variable altura con una fertilización química completa obtuvo la menor altura, sin embargo, en la variable peso en fresco obtuvo el más alto valor en comparación con los otros tratamientos, semejante a lo obtenido en la presente investigación.

Al igual que la variable anterior respecto al grafico mostro una interacción no ordenada, lo que dificulta la interpretación de los efectos principales tanto de los métodos de aplicación de agua como las dosis de fertilización.

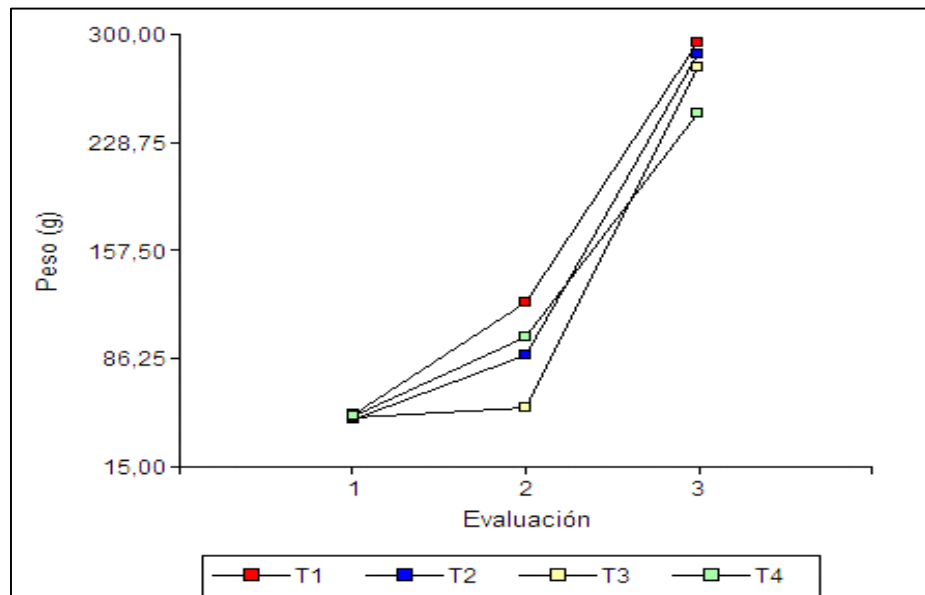


Figura 5. Dinámica del peso de planta para el efecto de dos métodos de aplicación de agua con dos dosis de fertilización.

4.1.3 Número de vainas/planta

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza para el número de vainas por planta del cultivo de fréjol mostraron diferencia significativa para el factor de estudio métodos de aplicación de agua. El valor promedio del número de vainas por planta fue de 22.22 con un coeficiente de variación de 6.09 % para el error tipo A y 13.43 % para el error tipo B (Tabla 8).

Al realizar la prueba LSD Fisher de diferenciación de medias al 5 % para el factor de estudio métodos de aplicación de agua, se determinaron dos rangos de significancia para el número de vainas por planta del cultivo como se indica en la Figura 7, en la que se puede observar que el riego por pulsos obtuvo el mayor número de vainas por planta con un promedio de 26.44 vainas, superando al número de vainas obtenido mediante el riego por goteo continuo de 18 vainas en promedio, por lo cual, se evidencia la acción del riego por pulsos sobre esta variable ya que posee una eficiencia mayor en el tratamiento 3 y 4 sin tomar en cuenta la dosis de fertilización ya que este factor no presentó diferencias significativas, es así como se analiza la influencia y eficiencia del régimen de humedad del riego por pulsos sobre esta variable.

Tabla 8. Resultados del ANOVA para la variable número de vainas/planta

FV	gl	Número de vainas/planta
		Cuadrados medios
TOTAL	15	-----
MÉTODOS DE APLICACIÓN DE AGUA	1	284,77**
ERROR A	6	1,83
DOSIS DE FERTILIZACIÓN	1	0,39 ^{ns}
INTERACCIÓN	1	3,52 ^{ns}
ERROR B	6	8,91
PROMEDIO		22,22 vainas/planta
CV (%) A		6,09
CV (%) B		13,43

** = Diferencia estadística altamente significativa.

ns = Diferencia no significativa.

Romero (2019), en su investigación de la agronomía del riego por goteo en fréjol, determinó que la aplicación del 50 % de agua y 50 % de fertilizante incrementó el número de vainas por planta, con un promedio de 23.56 vainas/planta a diferencia del riego por goteo continuo con el 100 % de fertilización con 23.03 vainas/planta, resultados similares a los obtenidos en la presente investigación, en la cual el riego por pulsos con el 50 % de fertilización generó un promedio de 27.06 vainas/planta y el riego continuo con el 100 % de fertilización 18.31 vainas/planta (Figura 6).

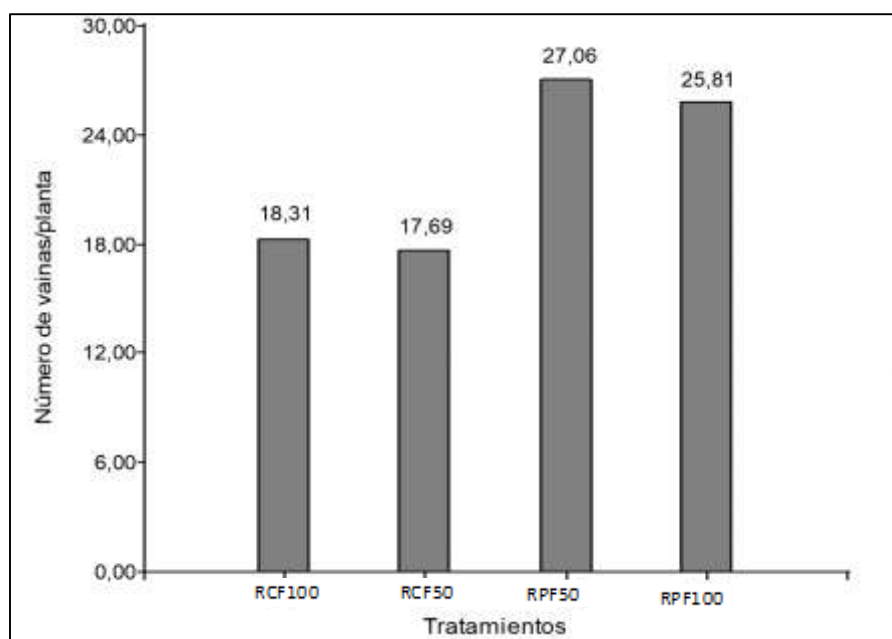


Figura 6. Promedio del número de vainas/planta para los cuatro tratamientos.

El factor en estudio métodos de aplicación de agua generó diferencias significativas, al realizar la prueba LSD Fisher al 5 %, el riego por pulsos (régimen de humedad de 5-10 centibares) obtuvo el primer rango de significancia siendo así el mejor, al generar un promedio de 26.44 vainas/planta en comparación con el riego continuo (régimen de humedad de 8 - 12 centibares), el mismo que produjo en promedio 18 vainas/planta (Anexo 5). Similares resultados fueron obtenidos por Alomoto (2020), en su investigación sobre la agronomía del riego por goteo en fréjol, obtuvo un mayor número de vainas por planta en el tratamiento cuya aplicación del agua fue mediante pulsaciones con la mitad de la dosis de fertilización llegando a una producción media de 24.5 vainas/planta.

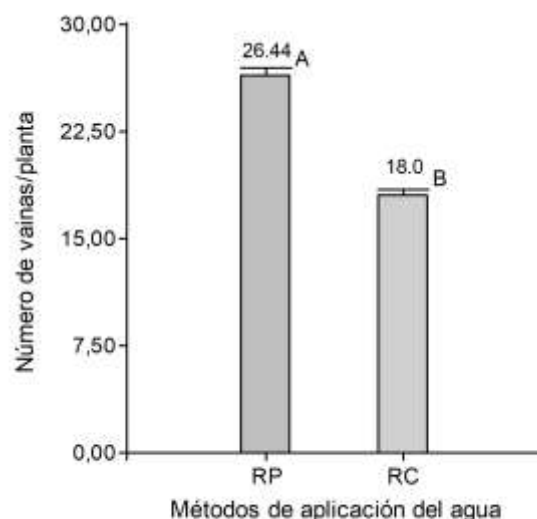


Figura 7. Prueba LSD Fisher al 5 % para el factor métodos de aplicación de agua sobre la variable número de vainas/planta.

4.1.4 Número de granos por vaina

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza para el número de granos por vaina del cultivo de fréjol no mostraron diferencia significativa tanto para el factor de estudio métodos de aplicación de agua, como para la dosis de fertilización, ni su interacción (Tabla 9).

El valor promedio del número de granos/vaina fue de 3.97 con un coeficiente de variación del 6.17 % para el error tipo A y 5.38 % para el error tipo B. De acuerdo con la Figura 8, el tratamiento que presentó un mayor número de granos por vaina fue el riego por pulsos bajo una dosis de fertilización al 50 %, con un promedio de 4.22 granos/vaina y el riego continuo al 100 % de fertilización, con un promedio de 3.83 granos/vaina.

Tabla 9. Resultados del ANOVA para la variable número de granos/vaina

FV	gl	Número de granos/vaina
		Cuadrados medios
TOTAL	15	-----
MÉTODOS DE APLICACIÓN DE AGUA	1	0,44 ^{ns}
ERROR A	6	0,06
DOSIS DE FERTILIZACIÓN	1	0,01 ^{ns}
INTERACCIÓN	1	0,05 ^{ns}
ERROR B	6	0,05
PROMEDIO		3,97 granos/vaina
CV (%) A		6,17
CV (%) B		5,38

ns = Diferencia no significativa.

Romero (2019), determinó que el riego por pulsos presenta un mayor número de granos por vaina pues con esta tecnología obtuvo en promedio 4 granos/vaina, en comparación con el riego por goteo continuo para el cual obtuvo 3.5 granos/vaina, estos resultados son similares a los obtenidos en la presente investigación como se observa en la Figura 8. Además, Martínez *et al.* (2012), en su investigación sobre efecto de dosis de fertilización en fertirrigación en fréjol demostró que el número de granos por vaina no presentó una diferencia significativa para dosis de fertilización, sin embargo muestra una diferencia significativa para el factor métodos de riego, en este caso el método de riego por goteo presento un mayor número de granos/vaina, dicho resultado concuerda con los obtenidos por esta investigación y además concuerdan con los resultados de otros autores como INIFAP (2004).

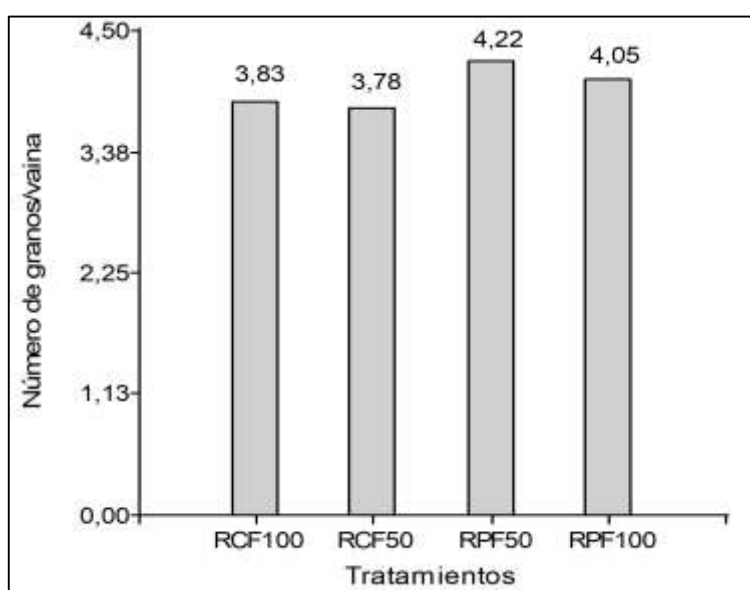


Figura 8. Promedio del número de granos/vaina para los cuatro tratamientos.

4.1.5 Rendimiento

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza para el rendimiento en $t\ ha^{-1}$ del cultivo de fréjol mostraron diferencia significativa para el factor de estudio métodos de aplicación de agua. El valor promedio del rendimiento en $t\ ha^{-1}$ fue de 3.38 con un coeficiente de variación de 8.37 % para el error tipo A y 1.26 % para el error tipo B (Tabla 10). Al realizar la prueba LSD Fisher de diferenciación de medias al 5 % para el factor de estudio métodos de aplicación de agua, se determinaron dos rangos de significancia para el rendimiento en $t\ ha^{-1}$ del cultivo como se indica en el Anexo 6 y en la Figura 10, en la que se puede observar que el riego por pulsos obtuvo el mayor rendimiento de fréjol con un promedio de $4.19\ t\ ha^{-1}$, superando al rendimiento obtenido mediante el riego continuo que fue de $2.56\ t\ ha^{-1}$.

Resultados similares fueron obtenidos por Vásquez (2019), en el cultivo de fréjol, donde obtuvo rendimientos superiores en los tratamientos aplicados por riego con pulsos llegando a un promedio de 3.58 t ha⁻¹ y en el riego continuo obtuvo 2.66 t ha⁻¹, con un contenido de humedad al 12 %, a pesar de que estos resultados sean menores a los obtenidos en la presente investigación, confirman la eficiencia de esta tecnología en riego por goteo.

Según Ortiz (2008), el régimen de humedad del riego por pulsos aumenta la eficiencia de absorción de agua y la uniformidad de distribución de los nutrientes, además favorece la oxigenación de la solución del suelo.

Tabla 10. Resultados del ANOVA para la variable rendimiento t ha⁻¹

FV	gl	Rendimiento t ha ⁻¹
		Cuadrados medios
TOTAL	15	-----
MÉTODOS DE APLICACIÓN DE AGUA	1	10,64*
ERROR A	6	0,08
DOSIS DE FERTILIZACIÓN	1	0,11 ^{ns}
INTERACCIÓN	1	0,04 ^{ns}
ERROR B	6	0,0018
PROMEDIO		3,38 t ha ⁻¹
CV (%) A		8,37
CV (%) B		1,26

* = Diferencia estadística significativa.

ns = Diferencia no significativa.

De acuerdo a la Figura 9, el tratamiento que obtuvo el mayor rendimiento fue el riego por pulsos con una dosis de fertilización al 100 %, sin embargo, el tratamiento 3 con 4.06 t ha⁻¹, manejado con el mismo tipo de riego, pero con una dosis de fertilización al 50 %, dicho rendimiento fue alto en comparación con el riego continuo, por lo que se comprueba la alta eficiencia del riego por pulsos, así como el ahorro de aproximadamente 40 % de agua y el 50 % de fertilizantes.

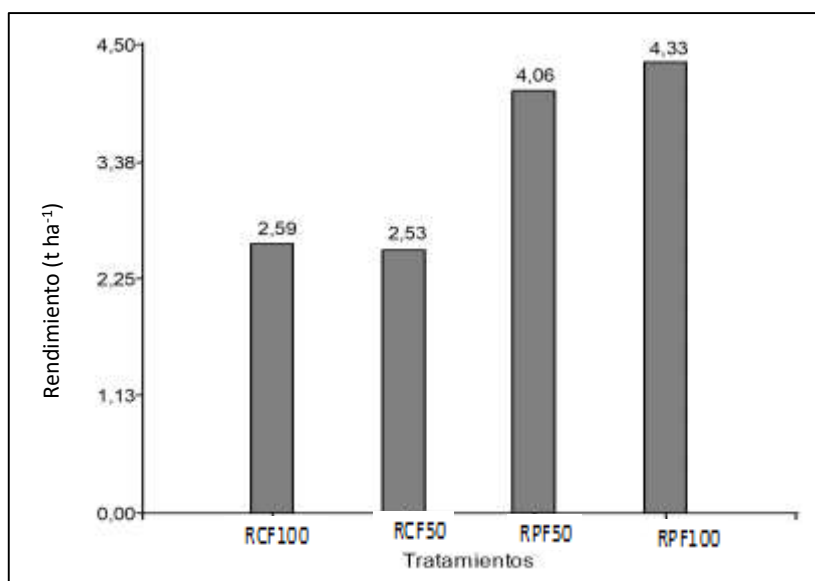


Figura 9. Promedio del rendimiento en t ha⁻¹ en los cuatro tratamientos

El factor en estudio métodos de aplicación de agua generó diferencias significativa para esta variable, al realizar la prueba LSD Fisher al 5% (Figura 10), el riego por pulsos (régimen de humedad de 5-10 centibares) obtuvo el primer rango de significancia siendo así el mejor, al generar un promedio de 4.19 t ha⁻¹ en comparación con el riego por pulsos (régimen de humedad 8 - 12 centibares), el mismo que produjo en promedio 2.56 t ha⁻¹ (Anexo 6). Erique (2020), en su investigación sobre dos métodos de aplicación de agua de riego presentó resultados similares a los obtenidos en esta investigación, dicho autor obtuvo un rendimiento de 2.13 t ha⁻¹, al aplicar un riego por pulsos con lámina de agua al 50 % y dosis de fertilización al 100 %, sin embargo al reducir la dosis de aplicación al 50 % de la fertilización obtuvo rendimientos menores.

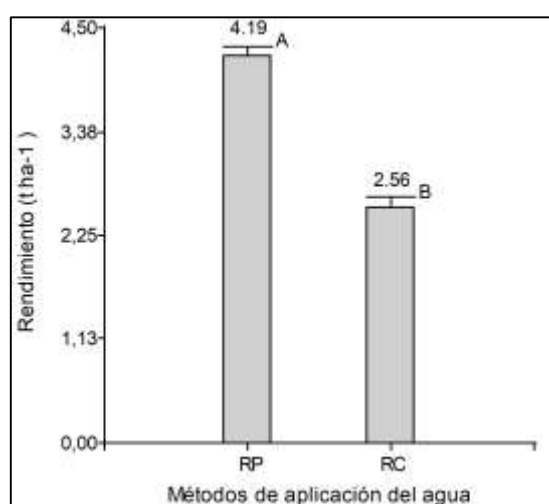


Figura 10. Prueba LSD Fisher al 5% para el factor métodos de aplicación de agua en la variable rendimiento.

4.1.6 Regresión lineal múltiple para el rendimiento en t ha⁻¹

De acuerdo a la Tabla 11, el modelo de regresión lineal identificado es: rendimiento en t ha⁻¹ = 9.03 - 0.05 (volumen de agua en m³) + 0.0026 (fertilización en %), es decir, que por un incremento en una unidad del volumen de agua refleja una decreciente en el rendimiento de 0.05 t ha⁻¹, siempre y cuando la fertilización se mantenga constante, y por un incremento en una unidad de fertilización refleja un aumento de 0.0026 t ha⁻¹ en rendimiento, siempre y cuando el volumen de agua se mantenga constante.

A pesar de que las dos pendientes son significativas, la pendiente del volumen de agua aporta en mayor proporción a la descripción del rendimiento, debido a que su CpMallows fue de 45373.02 y en comparación al CpMallows de la dosis de fertilización que fue de 341.51. Al introducir el modelo cuadrático, tanto para las dos variables independientes, se obtuvo un p-valor mayor a 0.05 por lo que no representó importancia predictiva en el modelo.

Es decir que con un aumento del volumen de agua se obtiene un menor rendimiento en el cultivo de fréjol y que por el contrario al someter a la planta a un bajo volumen de aplicación de agua se obtiene un mayor rendimiento, tal como menciona Polón *et al.* (2017), quienes, al someter al cultivo de fréjol bajo un estrés hídrico, obtuvieron un mayor número de vainas por planta y por ende un mayor rendimiento.

Tabla 11. Parámetros estimados para el modelo de regresión lineal múltiple para la variable rendimiento en t ha⁻¹

	Intercepto	Volumen de agua (m ³)	Fertilización (%)
Estimadores	9.03	-0.05	0.0026
p-valor	<0.0001	<0.0001	<0.0001
CpMallows	-----	45373.02	341.51

4.2 Solución del suelo

4.2.1 Contenido de nitratos

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza para los nitratos de la solución del suelo en las cuatro evaluaciones, no mostraron diferencia significativa tanto para el factor métodos de aplicación de agua así como para la dosis de fertilización y la interacción de estos dos (Tabla 12); los valores del promedio de NO₃ fueron diferentes en las cuatro evaluaciones, esto se explica por la aplicación de la fertilización semanal y el consumo por parte de la planta, sobre todo en la fase de desarrollo vegetativo e inicio de la floración. En el caso de la cuarta evaluación se observa un coeficiente de variación alto para ambos errores, sin embargo, la alta variación

que existe de ppm de NO₃ en dicha evaluación probablemente se debió a que se dejó de fertilizar y siendo la concentración de NO₃ mínima.

Tabla 12. Resultados del ANOVA para la variable NO₃ en la solución del suelo

FV	gl	NO ₃ (ppm)			
		Cuadrados medios- Evaluaciones			
		1	2	3	4
TOTAL	15	-----	-----	-----	-----
MÉTODOS DE APLICACIÓN DE AGUA	1	724.69 ^{ns}	13244.56 ^{ns}	14639.79 ^{ns}	219.65 ^{ns}
ERROR A	6	1558.56	10099.87	9957.74	65.13
DOSIS DE FERTILIZACIÓN	1	1488.8 ^{ns}	65.37 ^{ns}	2844.62 ^{ns}	202.87 ^{ns}
INTERACCIÓN	1	11.7 ^{ns}	150.06 ^{ns}	2085.75 ^{ns}	219.65 ^{ns}
ERROR B	6	911.35	1689.91	887.06	56.19
PROMEDIO		160.40	220.19	133	10.44
CV (%) A		24.61	45.64	75.03	77.30
CV (%) B		18.82	18.67	22.39	71.80

ns = Diferencia no significativa.

En la Figura 11, la variación de la concentración de NO₃ durante las 15 semanas de la medición, se observa que los 4 tratamientos inician con una concentración similar, sin embargo, los tratamientos 1 y 2 (riego continuo), presentan un alto contenido de NO₃ en la semana 5 a diferencia de los tratamientos 3 y 4 (riego por pulsos), que mantienen niveles altos de NO₃ a partir de la semana 6 hasta la 10.

En la semana 11, los 4 tratamientos presentan las mismas concentraciones de NO₃. Estos resultados son similares a los obtenidos por Vásquez (2019) en su investigación sobre el manejo de agua de riego con dos dosis de fertilización en fréjol, donde determinó que en el riego por pulsos se obtiene una mayor concentración de nitratos, debido a que se evita pérdidas de este nutriente por lixiviación, ya que en el riego por pulsos se da una menor cantidad de agua durante el riego a diferencia del riego continuo, donde hay una mayor probabilidad de lixiviación de nutrientes por el bulbo húmedo que este método de aplicación genera (Ortiz, 2008).

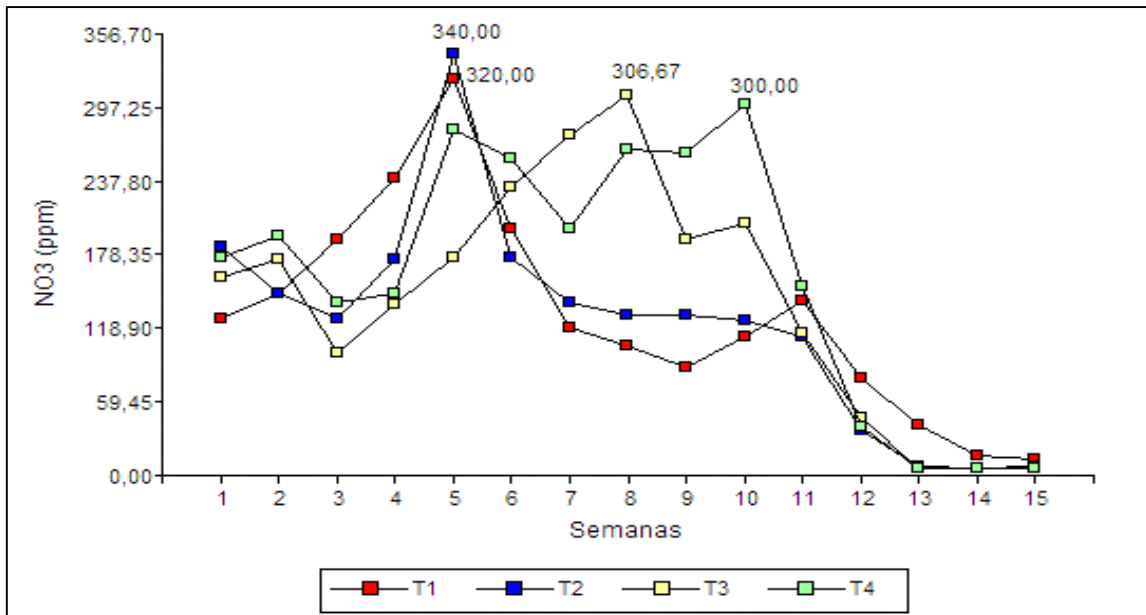


Figura 11. Dinámica de NO₃ en la solución del suelo.

4.2.2 Contenido de potasio

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza para el potasio en la solución del suelo en las cuatro evaluaciones no mostraron diferencia significativa tanto para el factor en estudio métodos de aplicación de agua, así como para la dosis de fertilización y la interacción entre estos dos (Tabla 13). Los valores del promedio de K fueron disminuyendo conforme se realizaban las evaluaciones, esto se explica por la aplicación de la fertilización semanal y la absorción por la planta sobre todo en la fase de formación de la vaina y llenado de grano.

Tabla 13. Resultados del ANOVA para la variable potasio en la solución del suelo

FV	gl	K (ppm)			
		Cuadrados medios- Evaluaciones			
		1	2	3	4
TOTAL	15	-----	-----	-----	-----
MÉTODOS DE APLICACIÓN DE AGUA	1	482.13 ^{ns}	121 ^{ns}	191.27 ^{ns}	32.24 ^{ns}
ERROR A	6	79.19	130.2	148.91	50.54
DOSIS DE FERTILIZACIÓN	1	49.6 ^{ns}	28.46 ^{ns}	117.4 ^{ns}	485.52 ^{ns}
INTERACCIÓN	1	1304.84 ^{ns}	117.4 ^{ns}	0.11 ^{ns}	154.01 ^{ns}
ERROR B	6	31.49	12.36	18.84	58
PROMEDIO		31.22	23.13	22.67	19.92
CV (%) A		28.50	49.33	53.83	35.69
CV (%) B		17.97	15.20	19.15	38.23

ns = Diferencia no significativa.

En la Figura 12, comportamiento de la concentración de K, se observa que el tratamiento 3 inicia con una concentración alta de K, esto probablemente se debe a los efectos de las fertilizaciones de los cultivos anteriores, en el transcurso de las siguientes semanas se observa una dinámica similar en los 4 tratamientos pero con diferencias de concentraciones, se evidencia una mayor concentración de K durante las semanas 2, 3, 4 y 5 a partir de la quinta semana inicia un descenso de la concentración hasta la semana 9 a partir de la cual la concentración vuelve a incrementar, sin embargo en el transcurso de las siguientes semanas el K nuevamente decrece. Sanzano (s/f) explica lo anterior mediante la dinámica del potasio en el suelo, para lo cual menciona que, durante la meteorización, el K es liberado a la solución del suelo, de donde lo absorben las plantas, preferentemente en la forma de ion K. Dicha absorción de K debe ser repuesto paulatinamente a partir del K intercambiable.

A medida que el K intercambiable disminuye, se repone a partir del K fijado, pero a menor velocidad (días). Esto sólo sucede en presencia de plantas: la planta absorbe el nutriente de la solución y el sistema reacciona abasteciendo K a partir de las formas no intercambiables, por lo tanto, se pueden encontrar grandes variaciones estacionales en la cantidad de K disponible en la solución del suelo.

En el caso del K no se muestra una mayor concentración de ppm en ningún de los factores en estudio pues todos los tratamientos presentan un comportamiento similar debido a que las partículas del suelo retienen con mayor facilidad el potasio. Según Ticona (2018), en su estudio sobre el análisis comparativo de macronutrientes N-P-K y materia orgánica en suelos obtuvo que la pérdida de potasio por lixiviación es menor en todos los suelos con excepción de los arenosos y solo se agota especialmente con la explotación intensiva de plantas que requieren altas cantidades de este elemento.

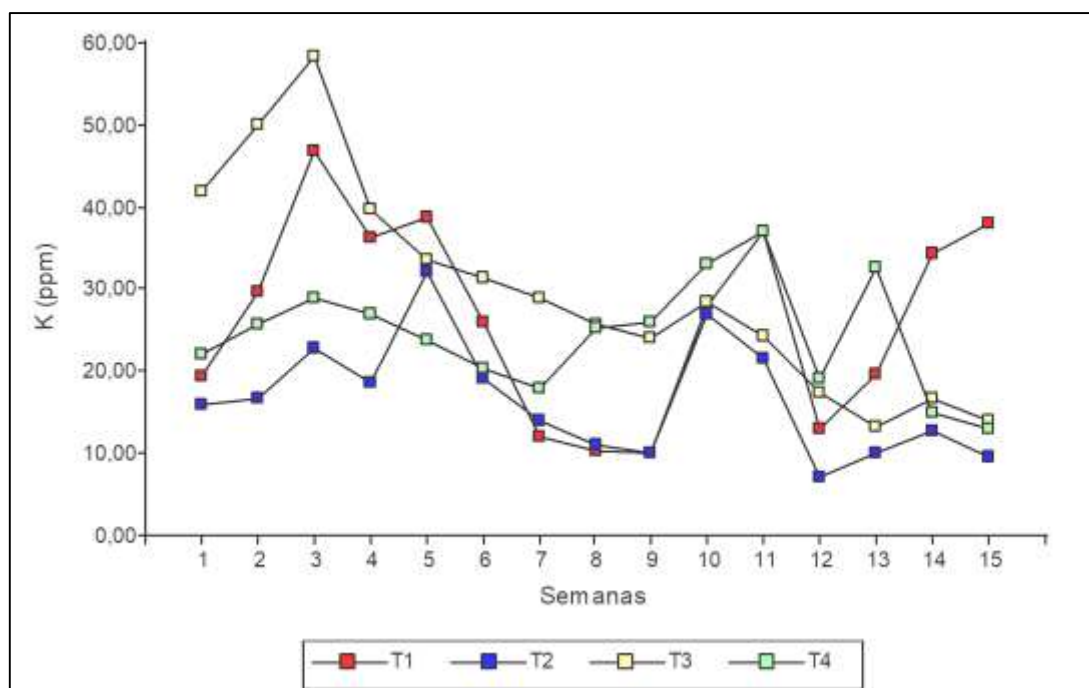


Figura 12. Dinámica del K en la solución del suelo.

4.2.3 Contenido de fósforo

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza para el fósforo en la solución del suelo en las cuatro evaluaciones no presentaron diferencia significativa tanto para el factor métodos de aplicación de agua, así como para la dosis de fertilización y la interacción entre estos dos (Tabla 14). Los valores del promedio de P se mantuvieron similares en las tres últimas evaluaciones, en la primera evaluación se tuvo un promedio de 4.29 ppm de P debido a que en esta evaluación aún no se había iniciado la fertilización, a partir de la segunda evaluación ya se aplicó la fertilización por lo que la concentración de fósforo se incrementó. Sin embargo, el contenido de P total depende de la naturaleza del material parental, el grado de meteorización, la ocurrencia de lavado y los efectos antrópicos del cultivo (extracción por cosechas, aplicación de abonos y fertilizantes) (Yang & Post, 2011).

En la Figura 13, sobre la dinámica de la concentración de P durante las 15 semanas, se observa que el tratamiento 1 inicia con una concentración alta de P, esto debido a que es el tratamiento con dosis de fertilización del 100 %, sin embargo, el tratamiento 3 se encuentra casi al mismo nivel por lo que se puede considerar por efecto de las fertilizaciones de los ciclos pasados. Posteriormente a partir de la semana 5 se empieza a tener una mayor concentración de P, debido a que en un inicio su concentración es baja. Según Fernández (2007), la cantidad de

fósforo en la solución del suelo suele estar en torno a 0.05 ppm, concentración muy baja, por lo tanto, cuando las plantas se desarrollan en el suelo, sólo una pequeña cantidad de fósforo entrará en contacto con la superficie radicular, el cual será absorbido rápidamente.

Tabla 14. Resultados del ANOVA para la variable fósforo en la solución del suelo

FV	gl	P (ppm)			
		Cuadrados medios-Evaluaciones			
		1	2	3	4
TOTAL	15	-----	-----	-----	-----
MÉTODOS DE APLICACIÓN DE AGUA	1	0.76 ^{ns}	0.7 ^{ns}	1.05 ^{ns}	0.52 ^{ns}
ERROR A	6	0.32	3.98	0.99	1.84
DOSIS DE FERTILIZACIÓN	1	0.09 ^{ns}	1.35 ^{ns}	1.1 ^{ns}	0.01 ^{ns}
INTERACCIÓN	1	11.63 ^{ns}	14.16 ^{ns}	1.89 ^{ns}	0.01 ^{ns}
ERROR B	6	0.17	1.96	0.58	0.15
PROMEDIO		4.29	6.13	6.79	6.94
CV (%) A		13.19	32.54	14.65	19.55
CV (%) B		9.61	22.84	11.22	5.58

ns = Diferencia no significativa.

A partir de la semana 5 la concentración de fósforo se mantiene entre 9 y 6 ppm, lo que es importante para que la planta tenga la disponibilidad suficiente de este nutriente. Según Satti *et al.* (2007), las plantas absorben el P desde la fracción soluble en el suelo, la que a su vez es reabastecida por una fracción lábil, fracción de fósforo con mayor disponibilidad para las plantas, de naturaleza orgánica e inorgánica. Esta fracción de P lábil está en equilibrio con fracciones moderadamente lábiles, dada la baja concentración de P soluble, el abastecimiento de P desde la fracción lábil es de extrema importancia para garantizar un adecuado suministro de P a las plantas.

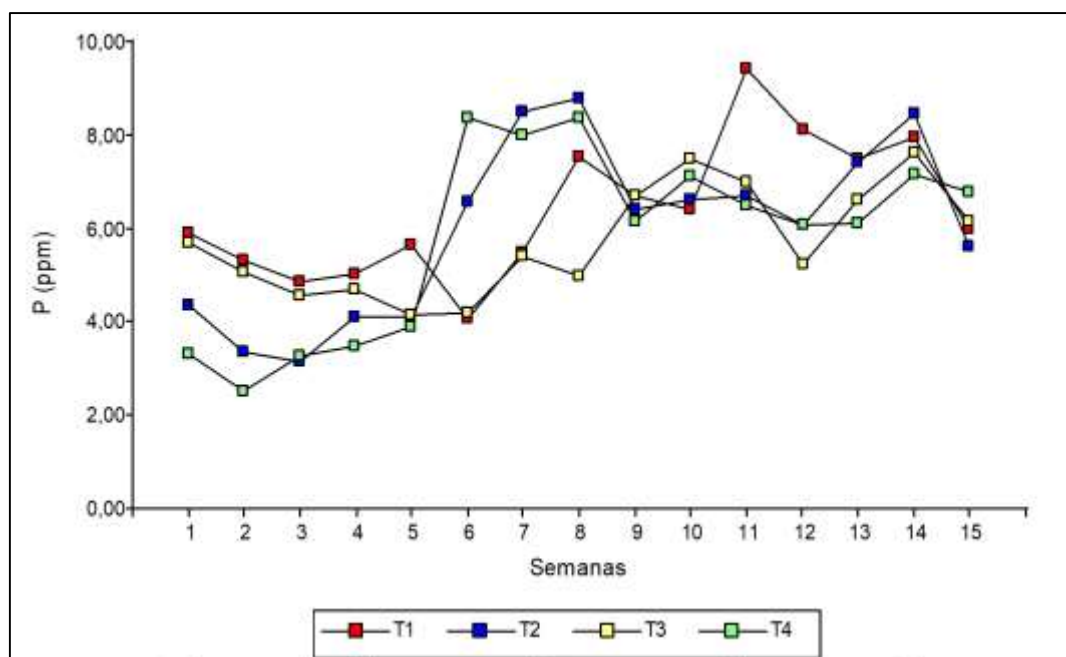


Figura 13. Dinámica del P en la solución del suelo

4.2.4 pH

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza para el pH de la solución del suelo no mostraron diferencia significativa tanto para el factor métodos de aplicación de agua así como para la dosis de fertilización y la interacción entre estos dos (Tabla 15); los valores promedio de pH fueron similares en las cuatro evaluaciones, sin embargo, se encuentra un descenso en el pH en la segunda evaluación con respecto a la primera, esto debido a la aplicación de la fertilización que fue realizada a partir de la segunda semana y tercera evaluación, en este caso el ácido fosfórico fue aplicado como fuente de H, además, se lo utilizó con la finalidad de mantener controlado el pH del suelo, en este caso bajarlo. En la cuarta evaluación el promedio de pH subió de 7.16 a 7.37, debido a que en la cuarta evaluación ya no se aplicó el ácido.

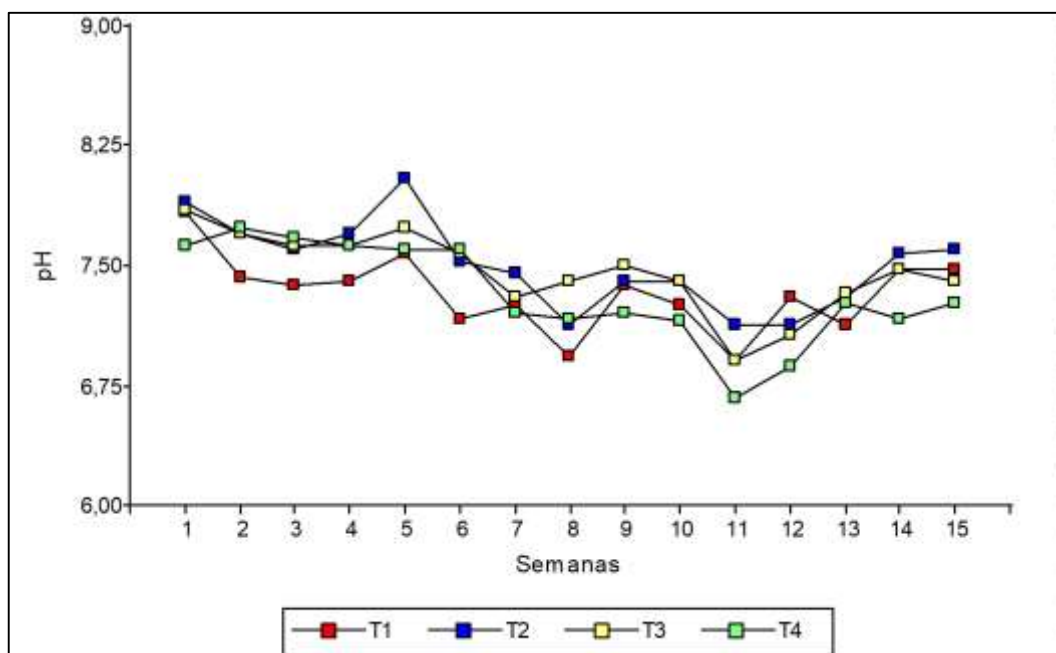
La razón por la cual no se obtuvo una diferencia significativa es porque la solución del suelo se encuentra afectada por varios factores como por ejemplo el material parental, la naturaleza química de la lluvia, las prácticas de manejo del suelo y las actividades de los organismos (plantas, animales y microorganismos) que habitan en el suelo (efecto Buffer o tampón), la naturaleza de la roca madre, el contenido de humedad y la cantidad de sales presentes en el suelo debido a la fertilización (Andrades & Martinez, 2014).

Tabla 15. Resultados del ANOVA para la variable pH en la solución del suelo

FV	gl	pH			
		Cuadrados medios de las evaluaciones			
		1	2	3	4
TOTAL	15	-----	-----	-----	-----
MÉTODOS DE APLICACIÓN DE AGUA	1	0.02 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.03 ^{ns}
ERROR A	6	0.03	0.15	0.1	0.03
DOSIS DE FERTILIZACIÓN	1	0.07 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.07 ^{ns}
INTERACCIÓN	1	0.03 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.00067 ^{ns}
ERROR B	6	0.01	0.01	0.01	0.0041
PROMEDIO		7.65	7.42	7.16	7.37
CV (%) A		2.26	5.22	4.42	2.35
CV (%) B		1.31	1.35	1.40	0.87

ns = Diferencia no significativa.

En la Figura 14, sobre el comportamiento de esta variable, se observa que el tratamiento 2 y 3, riego continuo y riego por pulsos respectivamente, ambos con una dosis de fertilización del 50 % se mantienen con un pH superior al tratamiento 1 y 4, debido a lo mencionado anteriormente, al factor dosis de fertilización y que al disminuir en la mitad la aplicación del ácido fosfórico significa que el control del pH también se vio afectado, sin embargo, dicho factor no presenta diferencias estadísticas pese a mostrarse en la Figura 14 las diferencias en la dinámica de los tratamientos. El pH en los 4 tratamientos se mantuvo alrededor de 7.2-7.6 por lo que no se registró problemas en el desarrollo del cultivo relacionados con alcalinidad del suelo, debido a que el fréjol se cultiva en valores de pH que oscila entre 6.5 y 7.5 (Escoto, 2004).

**Figura 14.** Dinámica del pH en la solución del suelo.

4.2.5 Conductividad eléctrica

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza para la CE de la solución del suelo no mostraron diferencias significativas tanto para el factor métodos de aplicación de agua, así como para la dosis de fertilización y en la interacción de estos dos (Tabla 16); los valores promedio de CE disminuyeron en cada evaluación, debido a la aplicación de la fertilización que se realizó en la segunda evaluación. En la primera evaluación se tiene un CE de 0.65 dS m^{-1} que se considera como salino, es decir, posee sales solubles en mayor proporción, consecuencia de la fertilización aplicada en el ciclo anterior. Según Santibáñez (2005), un suelo salino trae como consecuencia una afectación en la germinación de la semilla, lo que se evidenció en la emergencia del cultivo principalmente en el tratamiento 2 y 3.

Tabla 16. Resultados del ANOVA para la variable CE en la solución del suelo

FV	gl	CE (dS m^{-1})			
		Cuadrados medios-Evaluaciones			
		1	2	3	4
TOTAL	15	-----	-----	-----	-----
MÉTODOS DE APLICACIÓN DE AGUA	1	0.02 ^{ns}	0.0018 ^{ns}	0.0014 ^{ns}	0.05 ^{ns}
ERROR A	6	0.06	0.03	0.01	0.0014
DOSIS DE FERTILIZACIÓN	1	0.07 ^{ns}	0.0028 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.05 ^{ns}
INTERACCIÓN	1	0.04 ^{ns}	0.00016 ^{ns}	0.00076 ^{ns}	0.06 ^{ns}
ERROR B	6	0.02	0.0039	0.0041	0.0012
PROMEDIO		0.65	0.6	0.5	0.45
CV (%) A		37.68	28.87	20.00	8.31
CV (%) B		21.76	10.41	12.81	7.70

ns = Diferencia no significativa.

En la Figura 15, el comportamiento de esta variable en el transcurso de las 15 semanas, se observa que en los tratamientos 2 y 3, inician con una alta CE en comparación con los tratamientos 1 y 4, debido a las sales acumuladas del anterior ciclo. En el desarrollo del cultivo la CE en promedio se mantuvo en descenso, cambiando de un suelo salino a un suelo ligeramente salino, siendo un factor que no generó problemas en el desarrollo del cultivo y finalmente en el rendimiento (Andrades & Martinez, 2014).

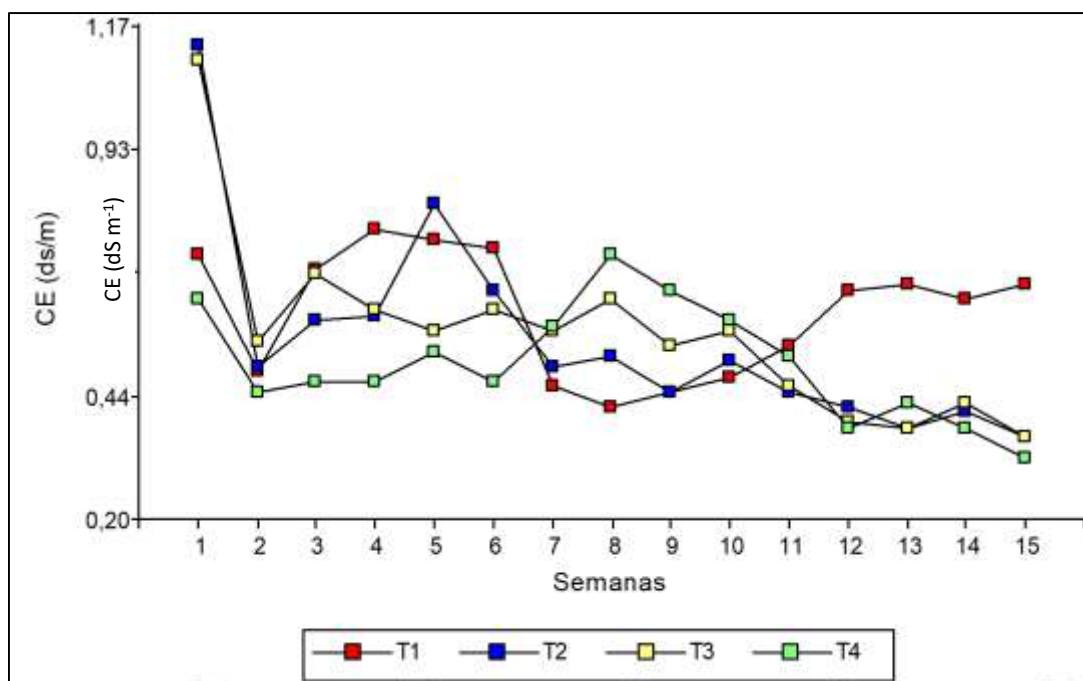


Figura 15. Dinámica de la CE en la solución del suelo.

4.3 Contenido de nutrientes en los tejidos vegetales

4.3.1 Nitrógeno foliar

Los resultados del análisis de la varianza del nitrógeno (Tabla 17), no mostraron diferencia significativa para los factores de estudio, ni su interacción. El valor promedio del N en la planta fue del 3.27 % con un coeficiente de variación del 22.47 % para el error tipo A y del 3.06 % para el error tipo B. Como se puede observar en la Figura 16, los tratamientos 1 y 4 presentaron en la primera evaluación el contenido más alto de N foliar con 3.61 % y 3.83 % N respectivamente, estos resultados influenciados por la fertilización, ya que en dichos tratamientos se aplicó el 100 % de la fertilización (Vera *et al.*, 2011).

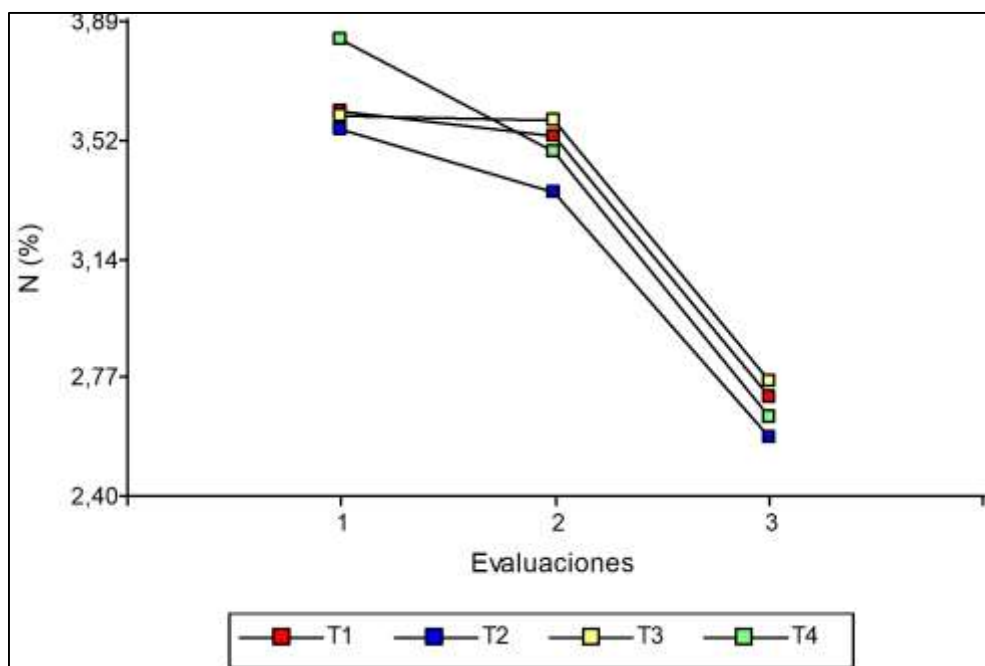
Por otro lado, en los tratamientos que se aplicó la mitad de la fertilización arrojaron niveles similares, específicamente en la segunda y tercera evaluación el contenido de N fue ligeramente mayor que los otros tratamientos, especialmente el tratamiento 3 con 3.58 % y 2.73 % N. Al analizar el promedio de N en el tejido de la planta se puede apreciar que se mantuvo un nivel adecuado ya que fue mayor a 3 %; Blasco & Pinchinat (1972), determinaron entre 2.9 % y 5.1 % de N en las hojas del cultivo de fréjol, y si se presentan porcentajes menores a los indicados, el cultivo presentaría deficiencias nutricionales, y el porcentaje óptimo debería variar entre 4.5 % y 5.5 % de N.

Tabla 17. Resultados del ANOVA para los nutrientes en los tejidos vegetales

FV	gl	Análisis foliares		
		Cuadrados medios		
		N (%)	P (%)	K (%)
TOTAL	15	-----	-----	-----
MÉTODOS DE APLICACIÓN DE AGUA	1	0.03 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.11 ^{ns}
ERROR A	6	0.54	0.01	0.37
DOSIS DE FERTILIZACIÓN	1	0.01 ^{ns}	0.0021 ^{ns}	0.001 ^{ns}
INTERACCIÓN	1	0.01 ^{ns}	0.00013 ^{ns}	0.02 ^{ns}
ERROR B	6	0.01	0.00023	0.14
PROMEDIO		3.27	0.38333	2.79583
CV (%) A		22.47	26.09	21.76
CV (%) B		3.06	3.96	13.38

ns = Diferencia no significativa.

En la Figura 16 se observa el comportamiento de la variable N foliar en las tres evaluaciones, el grafico muestra que existe una interacción ya que las líneas que se forman entre los niveles de los factores en estudio no son paralelas, sin embargo también refleja que existe un cruce de dichas líneas entre el tratamiento 4 y los tratamientos 1 y 3, por lo que, se le denomina como una interacción no ordenada y esto a su vez hace que sea difícil entender los efectos principales de los factores en estudio sobre la variable N foliar.

**Figura 16.** Dinámica del contenido de nitrógeno foliar

4.3.2 Fósforo foliar

Los resultados del análisis de la varianza del fósforo (Tabla 17), no mostraron diferencias significativas tanto para el factor métodos de aplicación de agua, así como para la dosis de fertilización y la interacción de estos dos, el valor promedio del fósforo en la planta fue de 0.38 % con un coeficiente de variación del 26.08 % para el error tipo A y del 3.96 % para el error tipo B. Estos resultados son mayores a los obtenidos por Quintana *et al.* (2017), quienes evaluaron 3 dosis de fertilización en fréjol y presentaron el más alto valor de P de 0.32 %, con la dosis intermedia de 60 kg ha⁻¹ de fosfato.

Por otro lado, los resultados de la presente investigación fueron menores a los obtenidos por Vásquez (2019), quien obtuvo en promedio un valor de 0.45 % de P en los tejidos vegetales, destacándose el tratamiento 1 con el 100 % agua y el 100 % de fertilización como el mejor tratamiento al presentar 0.49 % de P foliar en el cultivo de fréjol.

En la Figura 17 se muestra como los tratamientos 3 y 4, ambos con régimen de riego por pulsos, pero con una fertilización distinta, presentaron un mayor % de P tanto en la primera como en la segunda evaluación, sin embargo, en la tercera evaluación estos se mantuvieron por debajo de los tratamientos 1 y 2. Además se observa en dicha figura la presencia de una interacción no ordenada, debido a que las líneas entre los niveles de los factores en estudio se cruzan en la tercera evaluación, por lo que se dificulta la interpretación de los principales efectos del factor en estudio métodos de aplicación de agua y de igual manera el factor dosis de fertilización.

Estos resultados reflejan que, en el caso del nutriente mencionado, la dosis de fertilización no representa importancia, es decir que tanto al 100 % como al 50 % de fertilización mostraron un contenido similar de fósforo, lo que si presentó importancia es el método de riego, ya que con el riego por pulsos el fósforo fue mayor en comparación con el riego continuo.

El cultivo no presentó deficiencias nutricionales de fósforo ya que según Medina (1978), el contenido de fósforo foliar en la planta de fréjol para que mantenga un estado nutricional adecuado o suficiente es del 0.35 % a 0.50 %, en este caso se presentó con 0.38 % de P manteniendo las mejores condiciones nutricionales.

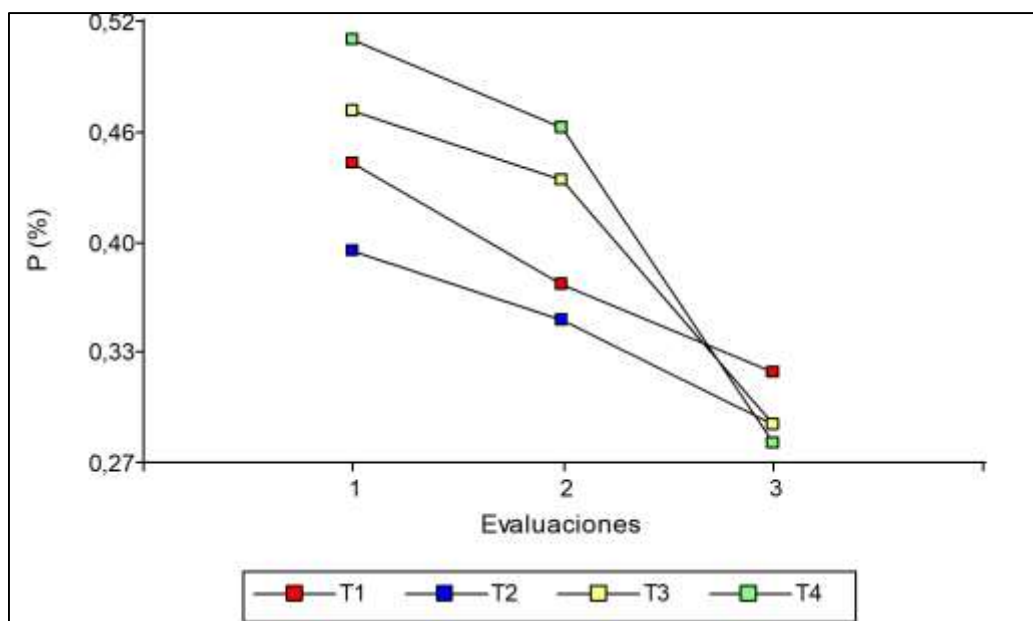


Figura 17. Dinámica del contenido de fósforo foliar

4.3.3 Potasio foliar

Los resultados del análisis de la varianza del potasio (Tabla 17), no mostraron diferencias significativas tanto para el factor métodos de aplicación de agua, así como para la dosis de fertilización y la interacción de estos dos, el valor promedio del potasio en la planta fue del 2.79 % con un coeficiente de variación del 21.76 % para el error tipo A y del 13.38 % para el error tipo B. El contenido de K presente en los tejidos vegetales del cultivo de fréjol se encuentra en un rango de estado nutricional suficiente ya que se encuentra dentro del rango establecido por Medina (1978), el mismo que menciona que un contenido entre 2 % y 4 % es suficiente o normal. En la Figura 18 se muestra que el tratamiento 4 fue el que presentó mayor contenido de potasio en la segunda evaluación, teniendo un 3.61 % de K, esto debido a que se le aplicó el 100 % de la fertilización y conjuntamente manejado bajo el riego por pulsos, en donde la absorción de nutrientes fue mayor según el análisis foliar. Estos resultados son menores a los presentados por Vásquez (2019), quien obtuvo un contenido promedio de potasio foliar de 3.01 %, siendo el tratamiento 1 (100 % agua y 100 % fertilización) el mejor, gracias a que el porcentaje de K foliar en este tratamiento alcanzó 3.22 %.

Además, en la Figura 18 se evidencia que en la primera evaluación, el contenido de K en los cuatro tratamientos es bajo, mientras que en la segunda evaluación el K aumentó de igual manera en todos los tratamientos, excepto el tratamiento 1, el cual disminuyó, sin embargo se observa que hubo una acumulación de este nutriente en los tejidos vegetales, en la fase de floración, razón por la cual se encontraba al punto máximo el % de K y en la tercera evaluación, fase de llenado de vaina, hubo un descenso en el contenido de este nutriente. Es decir, el K

almacenado durante las primeras etapas del cultivo fue utilizado en las últimas, debido a que el K es fundamental para varios procesos fisiológicos principalmente los relacionados con la fructificación y maduración de los frutos, debido a que se transloca desde estructuras viejas hacia los puntos de crecimiento, por lo tanto se acumula tempranamente en el período de crecimiento y posteriormente se distribuye para los procesos de fotosíntesis, regulación de la apertura de los estomas, ayuda a la conversión de los azúcares simples a complejos y almidones, dándole buen sabor al producto y crecimiento de la planta, incrementa el tamaño de los frutos, flores, coloración y mantenimiento de la calidad en postcosecha en hortalizas (Larriva, 2003).

Por otro lado, en la Figura 18 se observa la presencia de una interacción ya que las líneas que se forman entre los niveles de los factores en estudio no son paralelas, pese a esto también se refleja que hay un cruce de dichas líneas en las tres evaluaciones, por lo que, se le denomina como una interacción no ordenada y esto a su vez hace que sea difícil entender los efectos principales de los factores en estudio sobre la variable K foliar.

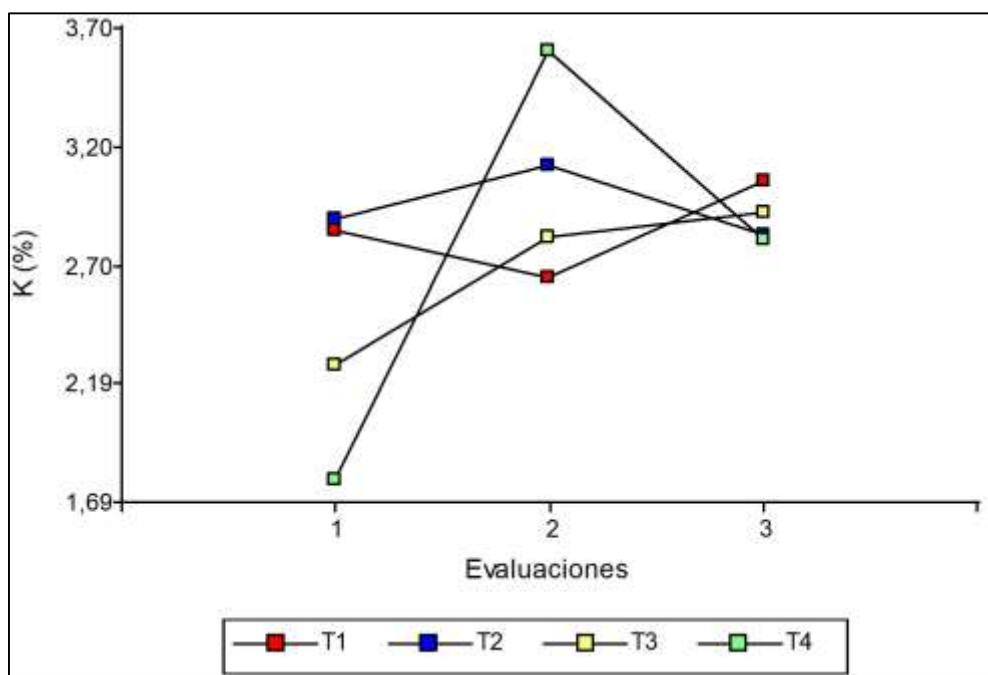


Figura 18. Dinámica del contenido de potasio foliar

5 CONCLUSIONES

- El riego por pulsos tuvo un efecto positivo respecto a las variables agronómicas en el desarrollo del cultivo, específicamente en el número de vainas/planta y en el rendimiento final del cultivo de fréjol variedad Rojo del Valle, ya que el tratamiento 4, que fue manejado bajo este tipo de riego y una dosis de fertilización al 100 %, presentó un rendimiento de 4.33 t ha^{-1} , debido a que este riego probablemente permite una uniformidad de distribución de los nutrientes y presenta una mayor oxigenación en la solución de suelo, gracias a las múltiples aplicaciones del riego con tiempos cortos o intermitentes. Por lo tanto, es de gran importancia la eficiencia que presenta esta tecnología en el ámbito del riego por goteo, dejando en evidencia los beneficios de la programación del riego con un manejo por pulsos o intermitente.
- Las características químicas de la solución del suelo se vieron afectadas principalmente por el factor dosis de fertilización, debido que los tratamientos que presentaron una mayor concentración de nitratos, potasio y fósforo fueron en los que se aplicó el 100 % de la fertilización; sin embargo, el factor métodos de aplicación de agua también manifestó un efecto positivo en el comportamiento de estas variables. Si bien es cierto el riego continuo en un inicio mantenía alta la concentración de dichos nutrientes en las semanas intermedias de las evaluaciones, esta concentración disminuye y es superada por los tratamientos bajo riego por pulsos, esto probablemente debido a la humedad constante y a la mayor disponibilidad y absorción de nutrientes para el sistema radicular del cultivo de fréjol.
- Los factores en estudio no presentaron efectos positivos significativos en el contenido de nutrientes en los tejidos vegetales, en los tres elementos químicos (N, P y K). Los porcentajes obtenidos en los análisis foliares muestran valores similares tanto para el riego continuo como para el riego por pulsos, dejando de lado la cantidad de fertilizante aplicado, pues el contenido de nutrientes en los tejidos vegetales fue similar tanto al aplicar la dosis completa como con la mitad de la misma.

6 RECOMENDACIONES

- Promover esta metodología de aplicación de agua de riego para el estudio de otros cultivos de importancia económica y social, los cuales al no representar un cultivo de exportación son marginados y generan rendimientos realmente bajos, los mismos que pueden triplicarse con la aplicación del riego por pulsos.
- Monitorear en la solución del suelo además de los macro elementos también los micro elementos de importancia para poder corregir a tiempo el manejo de la fertirrigación, así como es importante aplicar los fertilizantes de manera separada en los tanques y no aplicar el mismo día todos los fertilizantes, para evitar precipitados, por lo que se debería realizar un calendario de aplicación de macro y micro nutrientes.
- Realizar los análisis foliares antes de la fructificación y determinar los rangos óptimos de los nutrientes para poder controlar a tiempo las deficiencias nutricionales o el exceso de las mismas provocando intoxicaciones en el cultivo y una posterior disminución del rendimiento.

7 RESUMEN

La necesidad de incrementar los rendimientos de los cultivos demanda la aplicación de tecnologías que permitan aumentar la producción, así como, optimizar los recursos como el agua y los fertilizantes. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de dos métodos de aplicación de agua bajo dos dosis de fertilización en el rendimiento de fréjol en el CADET.

Se evaluaron dos factores en estudio: el primer factor fue método de aplicación de agua (aplicación continua de agua y aplicación de agua por pulsos) y el segundo factor fue dosis de fertilización (fertilización al 100 % y fertilización al 50 %). Los tratamientos fueron: T1 (riego continuo y dosis de fertilización al 100 %); T2 (riego continuo y dosis de fertilización al 50 %); T3 (riego por pulsos y dosis de fertilización al 50 %); y T4 (riego por pulsos y dosis de fertilización al 100 %). Se aplicó un diseño experimental de parcela dividida bajo un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA), con cuatro tratamientos y cuatro observaciones; la parcela principal fue el factor método de aplicación de agua mientras que la subparcela fueron las dosis de fertilización. Las variables en estudio fueron: altura, peso, número de vainas/planta, número de granos/vaina, rendimiento del cultivo, monitoreo de la fertilidad del suelo: pH, CE, NO_3 , K y P, y la distribución de N-P-K foliar en la planta.

Respecto a la medición de las variables de la investigación en los cuatro tratamientos se instalaron succionadores en el suelo para el monitoreo de la fertilidad del suelo, de los cuales se extrajo la solución del suelo y se midió: pH, CE, nitratos, fósforo y potasio. Respecto a las variables altura y peso de planta, se seleccionaron 4 plantas por observación de manera diagonal, teniendo un total de 16 plantas por tratamiento, esta medición se realizó en las tres fases fenológicas más importantes del cultivo de fréjol que son: crecimiento vegetativo, floración y llenado de la vaina. Los análisis foliares se realizaron en el Laboratorio de Suelos, Foliares y Aguas de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario – AGROCALIDAD para conocer el porcentaje de N-P-K presentes en el cultivo de fréjol.

Los resultados principales del estudio fueron: i) en riego por pulsos se aplicó una lámina de agua de 268.78 mm y en el riego continuo, 415.95 mm; ii) respecto al número de vainas por planta T1 generó: 18.31 vainas/planta, T2: 17.69 vainas/planta, T3: 27.06 vainas/planta y T4: 25.81 vainas/planta iii) el número de granos por vaina en T1 fue de 3.83 granos/vaina, T2 fue de 3.78 granos/vainas, T3 fue de 4.22 granos/vaina y T4 fue de 4.05 granos/vaina; iv) T1 presentó un rendimiento de 2.59 t ha^{-1} , T2 de 2.53 t ha^{-1} , T3 de 4.06 t ha^{-1} y T4 de 4.33 t ha^{-1} .

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROCALIDAD. (2015). Instructivo para toma de muestras de foliares. Quito: Agrocalidad.
- Alomoto, S. (2020). Agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo en el CADET, 2018 (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Andrade, M., & Martínez, M. E. (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. Logroño: Universidad de la Rioja.
- Antúñez, A., Vidal, M., Felmer, S., & González, M. (Eds.). (2015). Riego por pulsos en maíz grano. Rengo, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA Nº 312, 114 p.
- Bautista, D., Chavarro, C., Cáceres, J., & Buitrago, s, (2017). Efecto de la fertilización edáfica en el crecimiento y desarrollo de *Phaseolus vulgaris* cv. ICA Cerinza. Revista colombiana de Ciencias Hortícolas, 122-132.
- Beebe, S., Rao, I., Cajiao, C., & Grajales, M. (2008). Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. Crop Sci, 582-592.
- Blasco, M., & Pinchinat, A. (1972). Absorción y distribución de nutrientes en el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Turrialba, Costa Rica: IICA - CATIE.
- Bono, A., & Álvarez, R. (2017). Estimación de nitratos en profundidad en suelos de la región semiárida y subhúmeda pampeana. Buenos Aires: Informaciones Agronómicas.
- Bórnez, F. (2017). La importancia del riego en los cultivos hortícolas. Resaber- Campo, 26-27.
- Calvache, A. M. (2008). Fertilirriego en Ecuador, presente y futuro. ResearchGate, 1-10.
- Ciampitti, I. (2005). Dinámica del fósforo del suelo en rotaciones agrícolas en ensayos de nutrición a largo plazo (tesis de postgrado). Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Cortés, D., Pérez, J., & Camacho, J. (2012). Relación espacial entre la conductividad eléctrica y algunas propiedades químicas del suelo. Rev. U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. 16(2): 401-408.
- EL AGRO. (22 de Noviembre de 2019). El agro agricultura. Obtenido de El agro agricultura: <http://elagro.radioagricultura.cl/2018/04/30/fertilrigacion-sistema-riego-pulsos/>
- Erique, D. (2020). Evaluación de dos métodos de aplicación de agua en el cultivo de fréjol arbustivo, con dos dosis de fertilización en el CADET (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- .Escoto, N. (2004). Cultivo de frijol. Tegucigalpa, Honduras: SAG: Secretaria de Agricultura y Ganadería.

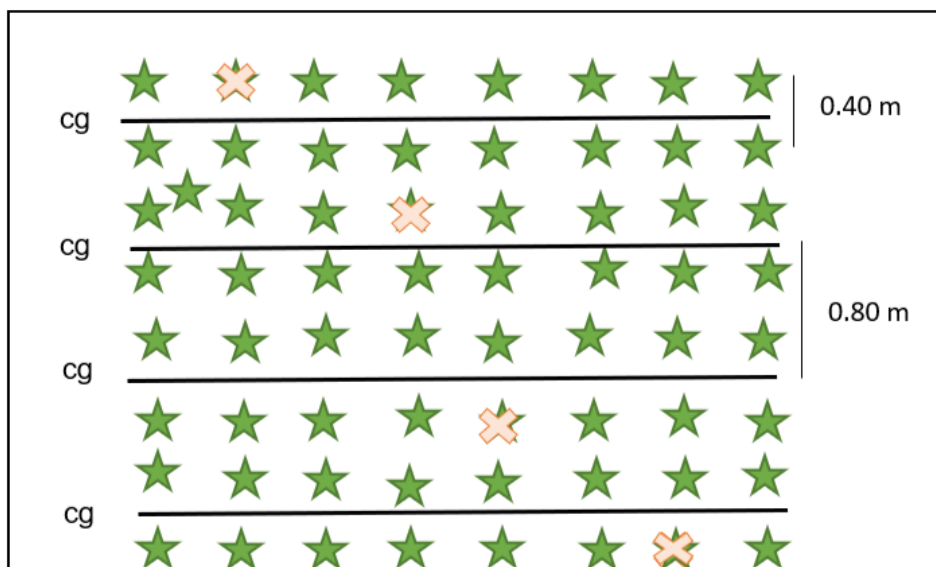
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. Roma: FAO.
- FAOSTAT. (2017). Estadísticas agrícolas. Roma: FAO.
- Fernández, F., Gepts, P., & López, M. (1985). Morfología de la planta de frijol. Cali: CIAT.
- Fernández, M. (2007). Fosforo: amigo o enemigo. ICIDCA, 51-57.
- Fernández, R., Yruela, M., Milla, M., García, J., & Oyonarte, N. (2010). Manual de riego para agricultores. Sevilla, España: INIFAP.
- Ferreira, R., Sellés, G., Ahumada, R., Maldonado, P., Gil, P., & Barrera, C. (2005). Manejo de riego localizado y fertirrigación. La Cruz, Chile: INIA
- García, L. A., & Quinke, A. (2012). El Potasio (K) en la Producción de Cultivos de Invierno. Serie Actividad de Difusión No. 677. INIA. Argentina. 9-14 pp.
- Hanna. (02 de noviembre de 2019). Hanna instruments. Obtenido de Hanna instruments: <https://hannainst.ec/productos/linea/analisis-de-agua/fotometro-portatil-de-fosforo/>
- Hernández, J. C. (2009). Cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*). San José- Costa Rica: MAG.
- HORIBA. (02 de Noviembre de 2019). LAQUA. Obtenido de LAQUA: <https://www.horiba.com/es/application/material-property-characterization/water-analysis/water-quality-electrochemistry-instrumentation/compact/details/laquatwin-k-11-32571/>
- HORIBA. (02 de Noviembre de 2019). LAQUA. Obtenido de LAQUA: <https://www.horiba.com/es/application/material-property-characterization/water-analysis/water-quality-electrochemistry-instrumentation/compact/details/laquatwin-no3-11c-no3-11s-no3-11-32579/>
- IICA. (2009). Guía técnica para el cultivo de frijol. Boaco-Costa Rica: IICA.
- INIAP. (2013). Manual agrícola de fréjol y otras leguminosas.
- INIAP. (2014). Catálogo de variedades mejoradas de fréjol arbustivo. Quito: INIAP.
- INIFAP. (2004). Tecnología para la producción de frijol con fertirriego en San Luis de Potosí. Folleto técnico N° 24. México
- INTAGRI. (2017). La Conductividad Eléctrica del Suelo en el Desarrollo de los Cultivos. México
- Larriva, N. (2003). Síntesis de la importancia del Potasio en el suelo y plantas. Revista La granja, 23-24.
- Liotta, M., Carrión, R., Ciancaglini, R., & Olgún, A. (2015). Manual de capacitación de riego por goteo. San Juan: INTA.
- MAG. (2018). Cifras agro productivas. Ecuador: MAG.

- Martínez, M. A., Jasso-Chaverría, C., & Huerta, J. (2012). Efecto de dosis de fertilización con fertirriego y labranza de conservación en el rendimiento de frijol y propiedades del suelo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(8), 1551-1564. Recuperado en 28 de octubre de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000800006&lng=es&tlng=es.
- Medina, C. J. (1978). La fertilización en el frijol *Phaseolus vulgaris*, elementos mayores y secundarios. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.
- Mendoza, A. (2013). Riego por goteo. El Salvador: CENTA.
- Mora, G. (2004). Guía para producir frijol con fertirriego por goteo y labranza de conservación en Querétaro. Folleto para Productores Núm. 1. INIFAP. CIRCE. Campo Experimental Querétaro. México. 16 p
- Ortiz, R. (2008). Hidroponía en el Suelo. Quito: Ediciones ABYA-YALA.
- Pachacama, V. (2012). Evaluación de cuatro láminas de agua de riego en el manejo del cultivo de fréjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Cargabello, en Guayllabamba (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador.
- Peralta, I., Murillo, I., Mazón, N., Pinzón, Z., & Ernest, A. (2012). INIAP-481 Rojo del Valle: Variedad mejorada de fréjol arbustivo de grano de color rojo moteado. Quito, Ecuador: INIAP. Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Leguminosas y Granos Andinos. (Boletín Divulgativo no. 313).
- Polón, R., Ruiz, M., Miranda, & Ramírez, M. (2017). Efectos del estrés hídrico sobre el rendimiento de los granos del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(1), 66-70. Recuperado en 08 de febrero de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542017000100008&lng=es&tlng=es. PRAKOR. (21 de Noviembre de 2019). PRAKOR El riego evoluciona. Obtenido de PRAKOR El riego evoluciona: <https://prakor.com/beneficio-de-un-sistema-de-riego-por-goteo/1>
- PREDES. (2005). Manual de operación y mantenimiento de un sistema de riego por goteo. Arequipa: Fondo editorial.
- Quintana, W., Pinzón, E., & Torres, D. (2017). Efecto de un fosfato térmico sobre el crecimiento y producción de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv 'Ica Cerinza'. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 51 – 59.
- Ramírez, F. (2005). El Muestreo De Suelos. Costa Rica: INTA.

- Rodas, H. A., & Cisneros, P. (2000). Principios del riego por goteo. San Salvador: MAG.
- Rodríguez, M., Santana, M., Brown, O., & Alonso de la Paz, F. (2014). Mejoramiento de riego por surcos, continuo e intermitente, en suelo ferralítico rojo lixiviado en el sistema productivo de banano. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 56-59.
- Romero, M. (2019). Agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.) en el CADET (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- SACSA. (23 de 11 de 2019). GRUPO SACSA. Obtenido de GRUPO SACSA: <http://www.gruposacsa.com.mx/importancia-de-los-nitratos-y-fosfatos-en-las-plantas/>
- Sanzano, A. (s/f). El potasio del suelo. Recuperado de: <http://www.edafologia.com.ar>
- Santibáñez, C. (2005). Ciencias de la Tierra. Obtenido de Ciencias de la Tierra: http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/medio_mod1.pdf
- Satti, P., Mazzarino, M. J., Roselli, L., & Crego, P. (2007). Factors affecting soil P dynamics in temperate volcanic soils of southern Argentina. *Geoderma*, 229–240.
- SIAR. (2005). Fertirrigación. Universidad Castilla-La Mancha: Hoja informativa Nº 11.
- Ticona, C. (2018). Análisis comparativo de macronutrientes NPK y Materia orgánica en suelos de la Estación Experimental de Sapecho – Alto Beni. Universidad mayor de San Andrés.
- Ugalde, F. J., Tosquy, O. H., López, E., & Francisco, Néstor. (2011). Productividad y rentabilidad del cultivo de frijol con fertirriego en Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana*, 22(1), 29-36. Recuperado en 23 de noviembre de 2019, de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212011000100004&lng=en&tlng=es.
- Vásquez, C. (2019). Evaluación del manejo del riego en el cultivo de fréjol arbustivo con dos dosis de fertilización en el CADET (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Vera, D., Romanya, J., Garcés, F., Sabando, F., Liuba, G., & Godoy, L. (2011). Disponibilidad de nitrógeno en cultivos herbáceos extensivos ecológicos y convencionales: relación con la cantidad de carbono. *Ciencia y Tecnología*, 1-7.
- Wang, Y., & Wu, W. H. (2017). Regulation of potassium transport and signaling in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 39, 123-128. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.06.006>
- Yang, X., & Post, W. (2011). Phosphorus transformations as a function of pedogenesis: A synthesis of soil phosphorus data using Hedley. *Biogeosciences*, 2907–2916.

9 ANEXOS

Anexo 1. Esquema de las plantas en campo de la parcela neta de la unidad experimental



*cg = cinta de goteo

*★ = planta

*X = planta seleccionada para el análisis destructivo

Anexo 2. Esquema de la siembra en campo de la unidad experimental



*cg = cinta de goteo

*★ = planta

Anexo 3. Prueba de normalidad (SHAPIRO – WILKS MODIFICADO) para las variables en estudio.

Variables de investigación	Evaluación	P-valor
Altura	04/07/2019	0.9462
	18/07/2019	0.6238
	15/08/2019	0.0805
Peso	04/07/2019	0.83
	18/07/2019	0.636
	15/08/2019	0.7675
NO3(ppm)	1	0.7941
	2	0.5405
	3	0.9143
	4	0.1518
K(ppm)	1	0.9569
	2	0.5718
	3	0.3623
	4	0.9601
P(ppm)	1	0.1126
	2	0.121
	3	0.8712
	4	0.8207
pH	1	0.345
	2	0.8507
	3	0.3447
	4	0.0525
CE (dS/m)	1	0.213
	2	0.2658
	3	0.7969
	4	0.9752

Variables de investigación	P-valor
Número de vainas por planta	0.7902
Número de granos por vaina	0.8123
Rendimiento (t ha-1)	0.2842
N Foliar (%)	0.9798
P Foliar (%)	0.3333
K Foliar (%)	0.8413

Anexo 4. Prueba de Homogeneidad de las varianzas (LEVENE) para las variables en estudio.

Variables de investigación	Evaluación	P-valor
Altura	04/07/2019	0.3697
	18/07/2019	0.1853
	15/08/2019	0.5198
Peso	04/07/2019	0.2406
	18/07/2019	0.073
	15/08/2019	0.4803
NO3(ppm)	1	0.0904
	2	0.2539
	3	0.452
	4	0.087
K(ppm)	1	0.0657
	2	0.2705
	3	0.1998
	4	0.2815
P(ppm)	1	0.6381
	2	0.2436
	3	0.0644
	4	0.3826
pH	1	0.1985
	2	0.8507
	3	0.2606
	4	0.0586
CE (dS/m)	1	0.0758
	2	0.1079
	3	0.323
	4	0.4183

Variables de investigación	P-valor
Número de vainas por planta	0.5425
Número de granos por vaina	0.2874
Rendimiento (t ha ⁻¹)	0.3753
N Foliar (%)	0.9621
P Foliar (%)	0.272
K Foliar (%)	0.1323

Anexo 5. Prueba LSD Fisher al 5% para el factor método de aplicación de agua sobre el número de vainas/planta.

Alfa=0,02 DMS=2,12457

Error: 1.8281 gl: 6

Método de aplicación de agua	Medias	n	E.E.	
2	26.44	8	0.48	A
1	18.00	8	0.48	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.02$)

Anexo 6. Prueba LSD Fisher al 5% para el factor método de aplicación de agua sobre el rendimiento.

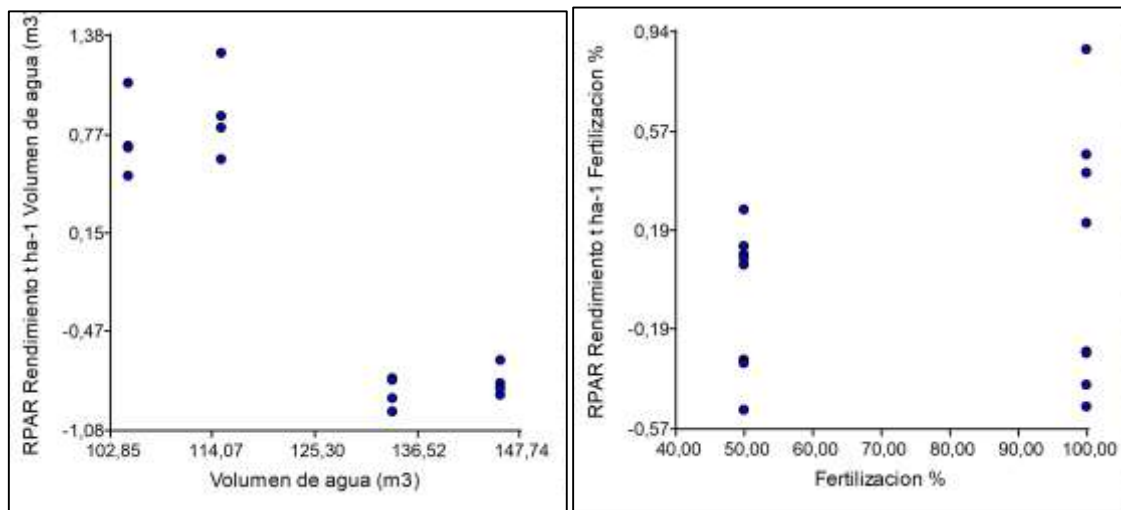
Alfa=0,02 DMS=0,43147

Error: 0.0754 gl: 6

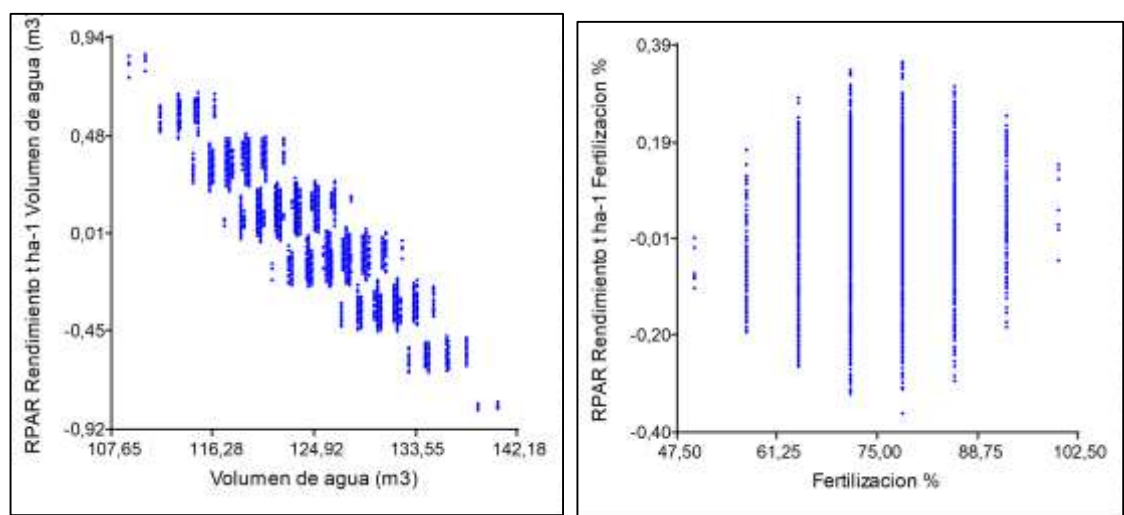
Método de aplicación de agua	Medias	n	E.E.	
2	4.19	8	0.10	A
1	2.56	8	0.10	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.02$)

Anexo 7. Gráficos de residuos parciales de la variable rendimiento en $t\ ha^{-1}$



Anexo 8. Gráficos de residuos parciales de la variable rendimiento en t ha⁻¹ n=11440



Anexo 9. Análisis regresión lineal múltiple de rendimiento

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Rendimiento t ha-1	11440	0.80	0.80	0.01	-18158.09	-18128.71

Selección Stepwise.

Máximo p-valor para entrar: 0.15

Máximo p-valor para retener: 0.15

Número original de regresoras: 2, regresoras retenidas en el modelo 2

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	Cp	Mallows	VIF
const	9.03	0.03	8.97	9.09	304.18	<0.0001			
Volumen de agua (m3)	-0.05	2.2E-04	-0.05	-0.05	-213.01	<0.0001	45373.02	1.00	
Fertilización %	2.6E-03	1.4E-04	2.3E-03	2.9E-03	18.45	<0.0001	341.51	1.00	

Anexo 10. Preparación del terreno



Anexo 11. Siembra del cultivo de fréjol



Anexo 12. Instalación de succionadores



Anexo 13. Emergencia del cultivo de fréjol



Anexo 14. Toma de muestras para análisis foliar



Anexo 15. Labores culturales del cultivo



Anexo 16. Cosecha del cultivo



Anexo 17. Peso de grano cosechado por unidad experimental y medición de humedad del grano

