



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

**Evaluación del manejo del riego en el cultivo de fréjol arbustivo con dos dosis
de fertilización en el CADET**

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

AUTOR: Vásquez Mejía Cristian Patricio

TUTOR: MSc. Ortiz Calle Randon Stalin

Quito, 2019

© DERECHOS DE AUTOR

Yo **CRISTIAN PATRICIO VÁSQUEZ MEJÍA** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: **EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL RIEGO EN EL CULTIVO DE FRÉJOL ARBUSTIVO CON DOS DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN EL CADET**, modalidad **OTROS MECANISMOS DE TITULACIÓN**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedo a favor de la Universidad Central del Ecuador y mi tutor una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

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

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

Firma: _____

Nombres y Apellidos: Cristian Patricio Vásquez Mejía

C.C: 1723602502

Dirección electrónica: Cristian7vasquez@outlook.com

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, presentado por **CRISTIAN PATRICIO VÁSQUEZ MEJÍA**, para optar por el Grado de Ingeniero Agrónomo; cuyo título es: **EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL RIEGO EN EL CULTIVO DE FRÉJOL ARBUSTIVO CON DOS DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN EL CADET**, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

En la ciudad de Quito, a los 28 días del mes de mayo de 2019

Randon Stalin Ortiz Calle, MSc.

DOCENTE – TUTOR

C.C. 1102697396

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

**EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL RIEGO EN EL CULTIVO DE FRÉJOL ARBUSTIVO CON DOS DOSIS DE
FERTILIZACIÓN EN EL CADET**

INFORME CORREGIDO Y APROBADO PARA GRADO ORAL

Ing. Agr. Randon Ortiz, MSc.

TUTOR DE LA INVESTIGACIÓN

Ing. Agr. Manuel Pumisacho, MSc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Agr. Juan Pazmiño, MSc.

PRIMER VOCAL

Ing. Agr. Fabián Montesdeoca

SEGUNDO VOCAL

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación lo dedico a Dios por estar conmigo en cada paso de mi vida, por guiar mi camino, iluminar mi mente y darme la fuerza para cumplir mis objetivos.

Gracias Dios por las pequeñas cosas que hacen tan grande mi vida.

A mis padres Patricio y Marcia, quienes, con su amor, trabajo, y sacrificio han contribuido para convertirme en la persona que soy; les doy gracias por todo su apoyo y sabios consejos y por ser el pilar fundamental en mi vida. Es un privilegio y orgullo ser su hijo.

A mi hermano Andrés, mi mejor amigo, la persona en la que más confío y con el que he pasado las mejores experiencias. Siempre estaré a tu lado.

A toda mi familia, que siempre ha estado presente en los buenos y malos momentos. A todos ustedes por ser fuente de motivación para llegar siempre lo más lejos en mi vida y durante mi carrera profesional.

A Mabel Romero, por estar conmigo en los buenos y en los malos momentos, por compartir grandes experiencias. Significas mucho para mí y espero que la vida nos regale muchos años juntos. Gracias por ser parte de mi vida.

CRISTIAN

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por todas las bendiciones que tengo en mi vida

Gracias a la Universidad Central del Ecuador y a la Facultad de Ciencias Agrícolas, por abrirme las puertas y ser parte de su tan distinguida formación académica. A los docentes por brindarme las mejores herramientas, por ser los responsables de formarme y prepararme para la vida profesional y cuyo aporte se refleja hoy en la culminación de mi etapa universitaria.

A mi tutor de tesis, el Ingeniero Randon Ortiz, por depositar su confianza en mí y ser un ejemplo de trabajo, dedicación y profesionalismo; y que además de ser nuestro mentor, se convirtió en un verdadero amigo. Gracias por compartir sus experiencias, por brindarme sus consejos y conocimientos durante mi estancia junto a usted y hacer de esta investigación una de las mejores experiencias que he tenido.

Al Ingeniero Juan Pazmiño. Muchas gracias por compartir su tiempo, sus enseñanzas y todo el apoyo incondicional durante todo el proceso de investigación. A la Ingeniera Maritza Chile. Muchas gracias por la gran ayuda brindada y por haber compartido gratas experiencias durante todo el proceso de investigación.

A todos mis amigos y compañeros, por todas las experiencias, anécdotas y los gratos momentos que compartimos juntos tanto en el aula de clases como fuera de ella.

A Don Franklin, Miguel, Karina, Abigail, y a todos quienes aportaron su granito de arena en el desarrollo de esta investigación.

A todos ustedes MUCHAS GRACIAS

CRISTIAN

INDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULOS	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1 FRÉJOL (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	2
2.1.1 Morfología.....	2
2.1.1.1 Planta	2
2.1.1.2 Raíz y tallo	2
2.1.1.3 Hábitos de crecimiento del tallo.....	2
2.1.1.4 Hojas y flores	3
2.1.1.5 Fruto y semilla	3
2.1.2 Variedad de Fréjol INIAP 481 Rojo del Valle	3
2.1.3 Uso y consumo de fréjol en el Ecuador.....	4
2.1.4 Área cultivada en el Ecuador.....	4
2.1.5 Requerimientos de fertilización del cultivo de fréjol.....	4
2.2 RELACIÓN SUELO – AGUA – PLANTA.....	5
2.2.1 EL SUELO	5
2.2.1.1 Propiedades físicas de los suelos.....	5
2.2.1.1.1 Textura	5
2.2.1.1.2 Estructura	6
2.2.1.1.3 Porosidad.....	6
2.2.1.2 Propiedades químicas de los suelos.....	6
2.2.1.2.1 pH.....	6
2.2.1.2.2 Conductividad eléctrica.....	7
2.2.1.3 Contenido de humedad.....	7
2.3 SISTEMA DE RIEGO	7
2.3.1 Riego por goteo	7
2.3.2 Riego por pulsos	8
2.3.2.1 Generalidades.....	8
2.3.2.2 Programación del riego.....	8
2.3.2.3 Lámina de riego de un pulso	9
2.3.2.4 Tiempo de riego de un pulso.....	9

2.3.2.5	Frecuencia de riego.....	9
2.3.2.6	Caudal del gotero.....	10
2.4	FERTIRRIGACIÓN	10
2.4.1	Definición	10
2.4.2	Inyector Venturi.....	10
2.4.3	Los nutrientes en fertirrigación	11
2.4.4	Fertirrigación en suelos alcalinos	12
2.5	MANEJO DEL AGUA	13
2.5.1	Movimiento del agua en el suelo	13
2.5.2	Tensión de humedad	14
2.5.2.1	Tensiómetros.....	14
2.5.3	Movimiento de los nutrientes en la solución del suelo	14
2.5.3.1	pH de la solución del suelo.....	15
2.5.3.2	CE de la solución del suelo	15
2.5.3.2.1	Variación de la CE de la solución del suelo en función de su estado de humedad	15
2.5.3.3	Nitratos en la solución del suelo.....	15
2.5.3.4	Equipos para medir pH, CE y nitratos en la solución del suelo.....	16
2.5.4	Evapotranspiración real	16
2.5.4.1	Evapotranspiración de referencia.....	16
2.5.5	Coeficiente de cultivo	16
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1	Ubicación	18
3.1.1	Características climáticas	18
3.2	Materiales.....	19
3.2.1	Material Agronómico	19
3.2.2	Materiales para la toma de muestras de suelos	19
3.2.3	Materiales para la toma de muestras de plantas	20
3.2.4	Materiales para la toma de muestra de calidad de agua.....	20
3.2.5	Materiales para la determinación de la humedad y la fertilidad del suelo	20
3.2.6	Equipos.....	20
3.3	Metodología.....	20
3.3.1	Factores en estudio.....	20
3.3.2	Tratamientos	21

3.3.3	Unidad Experimental	21
3.3.4	Diseño Experimental	22
3.3.5	Análisis Funcional	23
3.3.6	Variables de estudio	23
3.3.6.1	Rendimiento del cultivo	23
3.3.6.2	Monitoreo de la Humedad del suelo	23
3.3.6.3	Monitoreo de la Fertilidad del suelo.....	24
3.3.6.4	Medición del Volumen de agua y de disolución de fertilizantes aplicados.....	25
3.3.6.5	Distribución de los nutrientes en la planta	25
3.3.7	Manejo del Experimento.....	26
3.3.7.1	Preparación del terreno	26
3.3.7.2	Siembra	26
3.3.7.3	Manejo del riego.....	26
3.3.7.4	Manejo de la Fertilización	27
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1	Rendimiento del cultivo	32
4.2	Monitoreo de la Humedad del Suelo.....	33
4.3	Monitoreo de la Fertilidad del Suelo	35
4.3.1	pH de la solución del suelo.....	35
4.3.2	Conductividad eléctrica de la solución del suelo	36
4.3.3	Nitratos en la solución del suelo.....	38
4.4	Medición del volumen de agua y de disolución de fertilizantes aplicados.....	40
4.4.1	Volumen de agua aplicado	40
4.4.2	Disolución de Fertilizantes aplicados	42
4.5	Distribución de nutrientes en la planta	43
4.5.1	Nitrógeno	43
4.5.2	Fósforo	44
4.5.3	Potasio.....	45
4.5.4	Calcio.....	47
4.5.5	Magnesio.....	47
4.5.6	Hierro	48
4.5.7	Manganeso	49
4.5.8	Cobre.....	50

4.5.9	Zinc.....	50
5.	CONCLUSIONES.....	52
6.	RECOMENDACIONES	53
7.	RESUMEN.....	54
8.	SUMMARY	55
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
10.	ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características morfológicas y agronómicas de la variedad de Fréjol INIAP 481	3
Cuadro 2. Producción, rendimiento y superficie cosechada de fréjol seco en el año 2017	4
Cuadro 3. pH del suelo y su grado de acidez o alcalinidad.	6
Cuadro 4. Láminas de riego en función de la Tensión de humedad.....	9
Cuadro 5. Fertilizantes recomendados para la fertirrigación en suelos neutros alcalinos y suelos ácidos	13
Cuadro 6. Estado de humedad del suelo en función de la lectura del Tensiómetro.....	14
Cuadro 7. Descripción del factor de estudio A	21
Cuadro 8. Descripción del factor de estudio B	21
Cuadro 9. Tratamientos experimentales para evaluar el manejo del riego en el cultivo de fréjol arbustivo con dos dosis de fertilización en el CADET.	21
Cuadro 10. Características de la unidad experimental de la investigación.....	22
Cuadro 11. Características del área experimental de la investigación.	22
Cuadro 12. Esquema del análisis de la varianza de la investigación	22
Cuadro 13. Tiempos de riego para el tratamiento 1 (R100F100) y el tratamiento 2 (R100F50).....	26
Cuadro 14. Tiempos de riego para el tratamiento 3 (R50F50) y tratamiento 4 (R50F100)	27
Cuadro 15. Resultados del ANOVA para las variables Rendimiento del cultivo y Monitoreo de la humedad del suelo	28
Cuadro 16. Resultados del ANOVA para las variables Monitoreo de la Fertilidad del suelo y Distribución de nutrientes en la planta	29
Cuadro 17. Prueba de Scheffé al 5 % y promedios realizado al factor métodos de aplicación del agua, niveles de fertilización y su interacción (Tratamientos).	30
Cuadro 18. Prueba de Scheffé al 5 % y promedios realizado al factor métodos de aplicación del agua, niveles de fertilización y su interacción (tratamientos)	31
Cuadro 19. Volumen de agua acumulado aplicado en cada tratamiento	40
Cuadro 20. Valores promedio de la variable volumen de agua aplicado en cada tratamiento	41
Cuadro 21. Valores de rendimiento y productividad del agua del cultivo de fréjol	42
Cuadro 22. Correlación entre los nutrientes en la planta y el pH de la solución del suelo	45
Cuadro 23. Caudal de inyección de fertilizantes de cada tratamiento	85
Cuadro 24. Pesos de cada fertilizante utilizados para la preparación de la solución madre	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de sales en un volumen de suelo húmedo debajo del gotero	15
Figura 2. Mapa de ubicación de la presente investigación	19
Figura 3. Valores promedio del Rendimiento del cultivo de fréjol para el factor de estudio métodos de aplicación del agua.....	32
Figura 4. Valores promedio de la Humedad del suelo para el factor de estudio métodos de aplicación del agua.....	33
Figura 5. Comportamiento de la humedad del suelo mediante el riego por pulsos	34
Figura 6. Comportamiento de la humedad del suelo mediante el riego por goteo convencional	35
Figura 7. Valores promedio de Conductividad eléctrica de la solución del suelo para el factor de estudio métodos de aplicación del agua	36
Figura 8. Valores promedio de conductividad eléctrica de la solución del suelo	37
Figura 9. Comportamiento de la conductividad eléctrica de la solución del suelo	38
Figura 10. Valores promedio de nitratos de la solución del suelo	39
Figura 11. Variación de los nitratos de la solución del suelo	40
Figura 12. Rendimiento promedio del cultivo de fréjol en función del volumen total de agua aplicado	41
Figura 13. Cantidad de nutrientes aplicados en al cultivo de fréjol	43
Figura 14. Valores promedio de Fósforo en la planta.....	44
Figura 15. Correlación entre el pH de la solución del suelo y el Fósforo presente en la planta de fréjol	45
Figura 16. Valores promedio de Potasio en la planta	46
Figura 17. Correlación entre el pH de la solución del suelo y el Potasio presente en la planta	47
Figura 18. Correlación entre el pH de la solución del suelo y la cantidad de Hierro en la planta	48
Figura 19. Valores promedio de Manganeseo en la planta	49
Figura 20. Relación Beneficio/costo de cada uno de los tratamientos de la investigación	51
Figura 21. Esquema de la disposición de las unidades experimentales para la evaluación del rendimiento del cultivo y la humedad del suelo	70
Figura 22. Es quema de la disposición de las unidades experimentales para la evaluación de la fertilidad del suelo y la distribución de nutrientes en la planta	71
Figura 23. Evaluación Financiera y Económica del Tratamiento 1 (1.0 hectáreas)	90
Figura 24. Evaluación Financiera y Económica del Tratamiento 2 (1.0 hectáreas)	91
Figura 25. Evaluación Financiera y Económica del Tratamiento 3 (1.0 hectáreas)	92
Figura 26. Evaluación Financiera y Económica del Tratamiento 4 (1.0 hectáreas)	93

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Esquema de la disposición de las unidades experimentales para la evaluación del manejo del riego en el cultivo de fréjol arbustivo con dos dosis de fertilización en el CADET.	70
Anexo 2. Cosecha del cultivo de fréjol de la investigación realizada en el CADET en Tumbaco - La Morita	72
Anexo 3. Desvainado y secado del grano de fréjol de la investigación realizada en el CADET en Tumbaco - La Morita	73
Anexo 4. Limpieza del grano de fréjol en la investigación realizada en el CADET en Tumbaco - La Morita	74
Anexo 5. Medición del contenido de humedad del grano de fréjol mediante el equipo agraTronix MT – 16 en la investigación realizada en el CADET en Tumbaco – La Morita	75
Anexo 6. Instalación de tensiómetros análogos para monitorear la humedad del suelo en tiempo real en la investigación realizada en el CADET en Tumbaco – La Morita	76
Anexo 7. Extracción de la solución del suelo y medición de la fertilidad del suelo (pH, conductividad eléctrica y nitratos) de la investigación realizada en el CADET en Tumbaco – La Morita.....	77
Anexo 8. Cabezal de riego y equipos para la medición del pH, CE y Nitratos de la solución del suelo en la investigación realizada en el CADET en Tumbaco - La Morita	78
Anexo 9. Análisis de los suelos de La Morita - Tumbaco	79
Anexo 10. Resultados del Análisis de Suelo realizado en cada tratamiento al finalizar la investigación realizada en el CADET en Tumbaco – La Morita.	80
Anexo 11. Análisis de la calidad del agua de riego del CADET	81
Anexo 12. Resultados de los Análisis Foliare realizados en cada tratamiento durante la investigación realizada en el CADET en Tumbaco - La Morita.....	82
Anexo 13. Preparación del terreno para la siembra del cultivo de fréjol de la investigación realizada en el CADET en Tumbaco – La Morita.....	83
Anexo 14. Siembra del cultivo de fréjol de la investigación realizada en el CADET en Tumbaco – La Morita	84
Anexo 15. Manejo de la Fertilización	85
Anexo 16. Análisis de normalidad (Skewness/Kurtosis) del rendimiento del cultivo y distribución de nutrientes en la planta.....	86
Anexo 17. Análisis de normalidad (Shapiro-Wilk) de las variables Humedad del Suelo y Fertilidad del Suelo	86
Anexo 18. Comportamiento del pH de la solución del suelo en cada tratamiento de la investigación	87
Anexo 19. Fertilidad del suelo de cada uno de los tratamientos de la investigación	88
Anexo 20. Evaluación Financiera y Económica de cada uno de los tratamientos de la Investigación ..	90

ABREVIATURAS

ANOVA	Análisis de varianza
ASOPROL	Asociación de Productores de las Localidades de Santa Lucía, Teustepe y San Lorenzo Del Departamento de Boaco de Nicaragua
CADET	Campo Académico Docente Experimental “La Tola”
cb	Centibares
CE	Conductividad eléctrica (dS m^{-1})
CIALs	Comités de Investigación Agrícola Local de las localidades del Valle del Chota, Urcuquí Y Mira
CITRA	Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agro climatología
COSUDE	Cooperación Suiza para el Desarrollo
ESPAc	Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua
ET_c	Evapotranspiración del cultivo
ET_o	Evapotranspiración del cultivo de referencia
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación
Fr	Frecuencia de riego
GI	Grados de libertad
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
INPOFOS	Instituto de la Potasa y el Fósforo
INTA	Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria
K_c	Coefficiente de cultivo
Lrp	Lámina de riego del pulso (mm)
mg l^{-1}	Miligramos por litro
mmol l^{-1}	Mili moles por litro
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
Nhc	Necesidad hídrica del cultivo (mm día^{-1})
Nr	Número de riegos
NO_3	Nitratos
pH	Potencial hidrógeno
ppm	Partes por millón (mg l^{-1}) (mg kg^{-1})
RED SICTA	Proyecto Red de Innovación Agrícola

ABREVIATURAS

SIAR	Servicio Integral de Asesoramiento al Regante de Castilla – La Mancha
STATA	Paquete de Software Estadístico
TDS	Sólidos Totales Disponibles
tn ha ⁻¹	Toneladas por hectárea
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América

TEMA: EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL RIEGO EN EL CULTIVO DE FRÉJOL ARBUSTIVO CON DOS DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN EL CADET

Autor: Cristian Patricio Vásquez Mejía

Tutor: Randon Stalin Ortiz Calle

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el manejo del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo con dos dosis de fertilización en el CADET. Se utilizó un diseño experimental de parcela dividida con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones; la parcela grande fue el riego mientras que la parcela pequeña los niveles de fertilización; los tratamientos fueron: T₁ (Agua 100 % y fertilizantes 100 %); T₂ (Agua 100 % y fertilizantes 50 %); T₃ (Agua 50 % y fertilizantes 50 %) y T₄ (Agua 50 % y fertilizantes 100 %); la aplicación del agua en T₁ y T₂ fue convencional y en T₃ y T₄ por pulsos. Los resultados principales del estudio son: i) En T₁ y T₂ se aplicó una lámina de agua (mm) de 338 y 322 respectivamente y en T₃ y T₄ de 165 y 160 respectivamente; ii) En T₁ y T₂, la dosis de NPK (Kg ha⁻¹) fue de: 70.31-34.69-60.31 y en T₃ y T₄, el 50 % de la dosis anterior; iii) El T₁ tuvo un rendimiento de 2.44 tn ha⁻¹, T₂ de 2.44 tn ha⁻¹, T₃ de 3.11 tn ha⁻¹ y T₄ de 3.46 tn ha⁻¹; iv) El T₄ obtuvo la mejor relación B/C con 2.84. La conclusión principal del estudio es que, el tratamiento T₃, con la mitad de agua y la mitad de fertilizantes, obtuvo un incremento en el rendimiento del cultivo del 27.46 %, con relación al riego por goteo convencional (T₁).

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

TITLE: EVALUATION OF IRRIGATION MANAGEMENT IN THE ARBUSH BEAN CROP WITH TWO FERTILIZATION DOSES IN THE CADET

Author: Cristian Patricio Vásquez Mejía

Menthor: Randon Stalin Ortiz Calle

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to evaluate the management of drip irrigation in the shrubby bean crop with two fertilization doses in the CADET. An experimental plot design divided with four treatments and four repetitions was used; the large plot was the irrigation while the small plot was the fertilization levels; the treatments were: T₁ (100 % water and 100 % fertilizers); T₂ (100 % water and 50 % fertilizers); T₃ (50 % water and 50 % fertilizer) and T₄ (50 % water and 100 % fertilizer); the application of water in T₁ and T₂ was conventional and in T₃ and T₄ by pulses. The main results of the study are: i) In T₁ and T₂, a sheet of water (mm) of 338 and 322 respectively was applied and in T₃ and T₄ of 165 and 160 respectively; ii) In T₁ and T₂, the dose of NPK (Kg ha⁻¹) was: 70.31-34.69-60.31 and in T₃ and T₄, 50 % of the previous dose; iii) The T₁ treatment had a yield of 2.44 tn ha⁻¹, T₂ of 2.44 tn ha⁻¹, T₃ of 3.11 tn ha⁻¹ and T₄ of 3.46 tn ha⁻¹; iv) The T₄ treatment obtained the best B/C ratio and it was 2.84. The main conclusion of the investigation derives in that, the treatment T₃, with half of water and half of fertilizers, an increase in the crop yield was obtained of 27.46 %, in relation to the conventional drip irrigation (T₁).

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

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor de trabajo de graduación cuyo título es: **EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL RIEGO EN EL CULTIVO DE FRÉJOL ARBUSTIVO CON DOS DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN EL CADET** presentado por el Sr. VÁSQUEZ MEJÍA CRISTIAN PATRICIO, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, certifico haber revisado y corregido el **ABSTRACT** para el trabajo de grado.

M.Sc. Randon Stalin Ortiz Calle

DOCENTE – TUTOR

C.C. 1102697396

1. INTRODUCCIÓN

En América Latina, el 73 % de la producción de fréjol se da en regiones que presentan condiciones de déficit hídrico comprendido entre un nivel moderado hasta severo durante el desarrollo fenológico del cultivo, razón por la cual resulta importante mejorar las técnicas de aplicación de agua, donde el ahorro del agua permita obtener niveles hídricos adecuados, mantener y mejorar la sostenibilidad de las cosechas, sin descuidar los problemas de carácter biótico y calidad de suelo, con el objetivo de mejorar la productividad e incrementar los rendimientos de manera sostenible y eficiente (Cuéllar & Covarrubias, 2005). En la Sierra Ecuatoriana, las leguminosas son cultivadas en rotación y asociación con otros cultivos, o como monocultivo, llegando a tener una participación importante tanto en el manejo sostenible de la agricultura y la alimentación, como en los sistemas productivos de los agricultores, además, es un alimento importante en la dieta de los ecuatorianos, debido no solamente a su importancia social y económica, sino también a que es uno de los principales alimentos que proveen de proteína y carbohidratos a la población ecuatoriana (Estévez & Murgueitio, 2009). El fréjol es una fuente tradicional de alimentos y una alternativa para los pequeños y medianos agricultores que buscan mejorar los ingresos por venta de sus cosechas, ya que constituye un cultivo sustituto para varios cultivos, entre ellos los cereales y su demanda en el mercado, en el cual el fréjol tierno (en vaina) ha sido utilizado para el consumo fresco y ha tenido una mayor demanda por parte de la Agroindustria, principalmente de las vainas verdes, mientras que el fréjol en grano seco se lo destina para el consumo interno (Luchsinger, et al, 2006).

Uno de los aspectos fundamentales de la Agricultura Moderna y Sostenible es maximizar los rendimientos de los cultivos, de manera que se pueda obtener productos saludables sin alterar el ambiente y asegurando la rentabilidad de los agricultores (FAO, 2015). En la actualidad, existe un mal manejo y aprovechamiento del recurso hídrico (IICA, 2017) y un desperdicio importante de recursos durante los procesos productivos, pues, es conocido que los cultivos solamente utilizan el 50 % del nitrógeno abonado, ocasionando que el porcentaje restante se acumule en el suelo y sea lixiviado por las lluvias o el riego, produciendo pérdidas económicas para el agricultor y problemas de contaminación ambiental. Para contrarrestar estos problemas han surgido una serie de alternativas, entre las que se destaca la utilización del riego por pulsos, un método orientado a mejorar de manera significativa la eficiencia del uso del agua, que en comparación con el manejo del riego por goteo convencional, permite la optimizar el uso del agua, los fertilizantes, mejora la distribución del agua y los nutrientes en el perfil humedecido (zona radicular del cultivo), reduce la percolación del agua, mejora la oxigenación y permite obtener un incremento de la producción de los cultivos (Romay & Morábito, 2001).

Con estos antecedentes y debido a que, en la provincia de Pichincha y en el Ecuador, no se han realizado investigaciones sobre el riego por pulsos en el cultivo de fréjol, se realizó la presente investigación para evaluar el manejo del riego en el cultivo de fréjol arbustivo con dos dosis de fertilización en el CADET.

Adicionalmente, en específico, se propuso evaluar el rendimiento del cultivo de fréjol para la aplicación de agua mediante el riego por goteo y en el riego por pulsos; evaluar el rendimiento del cultivo de fréjol para la aplicación de una dosis recomendada de fertilizantes en función del análisis de suelos, agua y cultivo y para el 50 % de ésta dosis; monitorear la humedad del suelo producida por la aplicación de agua de riego en el sistema convencional y en el riego por pulsos; monitorear la parte física y química de la solución del suelo; medir el volumen de agua y de disolución de fertilizantes aplicados y determinar la distribución de los nutrientes en el cultivo de fréjol en cada uno de los sistemas aplicados.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 FRÉJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)

2.1.1 Morfología

2.1.1.1 Planta

El fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una planta anual, herbácea que pertenece a la familia de las fabáceas y se la puede cultivar en zonas tropicales y zonas templadas (INTA, 2009).

2.1.1.2 Raíz y tallo

Según Valladares (2010), la raíz y el tallo del fréjol poseen las siguientes características:

La raíz es pivotante y profunda, estableciendo una relación simbiótica con la bacteria *Rhizobium* que permite la fijación de nitrógeno; por otro lado, el fréjol posee un tallo principal, el mismo que según su hábito de crecimiento y su forma se agrupa en dos clases: los tallos de crecimiento determinado son tallos que presentan una mayor ramificación y alcanzan una altura de 0.30 a 0.90 metros, deteniendo su desarrollo al comenzar la floración; mientras que los tallos de crecimiento indeterminado son tallos trepadores, con capacidad de seguir creciendo después de la floración, llegando a alcanzar alturas que van desde los 0.5 a 3 metros.

2.1.1.3 Hábitos de crecimiento del tallo

El hábito de crecimiento constituye una serie de procesos que permiten a la planta desarrollar su edificación final y se caracteriza por el número de nudos, altura de la planta, aptitud para trepar, tipo de ramificación y tipo de desarrollo de la parte final del tallo determinado o indeterminado (Arias et al., 2007). Los mismos autores describen cuatro tipos de hábitos de crecimiento, los cuales se mencionan a continuación:

- **Tipo I (Hábito de crecimiento determinado arbustivo)**

Los tallos alcanzan una altura máxima de 0.50 m, terminando en una inflorescencia desarrollada y presentan entre cinco a diez entrenudos cortos. La etapa de floración es corta y la madurez fisiológica de todas las vainas ocurre de manera casi uniforme.

- **Tipo II (Hábito de crecimiento indeterminado arbustivo)**

El tallo termina con una guía corta y no presenta aptitud trepadora. Además, se caracteriza por tener un número de nudos mayor a doce y continúa creciendo durante la floración, pero a un ritmo menor.

- **Tipo III (Hábito de crecimiento indeterminado postrado)**

Son plantas postradas o semipostradas, que alcanzan una altura superior a los 0.80 m y poseen una ramificación bien desarrollada con tallos y ramas que terminan en guías, las mismas que pueden tener una aptitud trepadora. El grado de ramificación puede ocasionar cambios en la estructura de la planta.

- **Tipo IV (Hábito de crecimiento indeterminado trepador)**

El tallo tiene una aptitud trepadora, y puede tener entre 20 a 30 nudos alcanzando alturas de más de dos metros con un buen soporte. La floración del cultivo se prolonga más tiempo en comparación con los otros hábitos de crecimiento, por lo que la floración, la formación, llenado y maduración de vainas se dan de manera simultánea.

2.1.1.4 Hojas y flores

Las hojas y las flores del fréjol según (Fernández, Gepts, & López, 1986), poseen las siguientes características:

El primer par de hojas son opuestas, acorazonadas y surgen a partir de los cotiledones. Las hojas maduras forman tres folíolos; el central es ovoide y simétrico mientras que los laterales son asimétricos. Mientras que las flores son hermafroditas y están agrupadas en una inflorescencia de racimo en las axilas de las hojas.

2.1.1.5 Fruto y semilla

El fruto del fréjol es una vaina, razón por la cual se lo clasifica como leguminosa y, dependiendo de la variedad se pueden observar diferentes formas, tamaños y número de semillas. Igualmente, las semillas tienen una gran variedad de formas y colores claros y oscuros de manera uniforme o manchada (Fernández et al., 1985).

2.1.2 Variedad de Fréjol INIAP 481 Rojo del Valle

Esta variedad mejorada de fréjol arbustivo de grano de color rojo fue obtenida en el año 2012 en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) por (Peralta et al., 2012). En el Cuadro 1, se detallan las características morfológicas y agronómicas de esta variedad.

Cuadro 1. Características morfológicas y agronómicas de la variedad de Fréjol INIAP 481

Características Morfológicas		Características Agronómicas	
Altura de la Planta (cm)	45 – 50	Floración *	45 – 52
Hábito de Crecimiento	Indeterminado tipo II con guía pequeña	Madurez fisiológica *	85 – 95
Color de la flor	Blanca	Cosecha en seco*	100 – 110
Color del grano seco	Rojo moteado con crema	Número de Vainas por planta	10 – 12
Color del grano tierno	Blanco/rosado	Número de granos por vaina	4 – 5
Tamaño del grano seco	Grande		
Forma del grano	Arriñonado		
Largo de la Vaina (cm)	11 – 13		

*Días después de la siembra

Fuente: (Peralta et al., 2012)

Según Peralta et al. (2012), las características que permitieron a los agricultores de los Comités de Investigación Agrícola Local (CIALs) de las localidades del Valle del Chota, Urququí y Mira seleccionar la variedad INIAP 481 Rojo del Valle son:

- Resistencia genética a la pudrición de la raíz y roya.
- Su hábito de crecimiento indeterminado tipo II con guía pequeña.
- Maduración uniforme del cultivo.
- La calidad y cantidad de vainas por planta.
- Buenos rendimientos en grano seco ($1\,072.0\text{ kg ha}^{-1}$ a $1\,802.0\text{ kg ha}^{-1}$).
- Adaptabilidad a las zonas de valles con alturas que van desde los 1 400 a 2 400 m.s.n.m.

— Su demanda en el mercado nacional y externo, ya sea en grano seco o tierno.

2.1.3 Uso y consumo de fréjol en el Ecuador

El fréjol es el grano destinado para el consumo directo más importante en el mundo y constituye uno de los principales alimentos que proveen de proteína y carbohidratos a la población ecuatoriana. Dado que esta leguminosa es producida en su mayor parte por pequeños agricultores con tierras menores a una hectárea, se ha convertido en un cultivo clave en la alimentación y economía de los pequeños productores, debido a su participación en la seguridad alimentaria de las familias y los ingresos económicos que se obtienen gracias a la venta de la producción (Torres et al., 2014). En el Ecuador, el consumo per cápita de fréjol es de 4.0 kg año⁻¹ (FAO, 2005), una cifra baja en comparación con México o Brasil cuyo consumo es de aproximadamente 13.0 kg año⁻¹ (Torres et al., 2014), por lo que resulta importante mejorar los canales de comercialización entre el productor y el consumidor, diversificar los platos ecuatorianos, entre otros.

2.1.4 Área cultivada en el Ecuador

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) – ESPAC, la superficie cultivada de fréjol seco en el Ecuador en el año 2017 fue de 34 469 ha, lo que representa un 47.35 % más con respecto al año 2016, donde se cultivaron 23 392 ha. En el año 2017, la producción de fréjol seco a nivel nacional fue de 19 383 tn, lo que significó un aumento del 81.6 % con respecto al año 2016, donde se sembraron 10 672 tn. La superficie cosechada fue de 30 130 ha con un rendimiento de 0.64 tn ha⁻¹, aumentando en un 12.2 % respecto al año 2016. En el Cuadro 2 se presenta la producción de fréjol seco obtenida en cada provincia en año 2017 (INEC-ESPAC, 2018).

Cuadro 2. Producción, rendimiento y superficie cosechada de fréjol seco en el año 2017

Provincia	Producción (tn)	Rendimiento (tn ha ⁻¹)	Superficie Cosechada (ha)	Superficie Sembrada (ha)
Total Nacional	19 383	0.64	30 130	34 469
Los Ríos	5 130	0.81	6 371	6 389
Guayas	2 535	1.16	2 183	2 328
Azuay	2 139	0.39	5 472	7 579
Imbabura	1 898	0.56	3 361	3 941
Bolívar	1 591	0.60	2 669	2 861
Cotopaxi	1 585	0.90	1 763	2 054
Chimborazo	1 112	0.43	2 598	2 727
Resto de Provincias	3 394	0.64	5 714	6 590

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) – ESPAC (2018).

2.1.5 Requerimientos de fertilización del cultivo de fréjol

Los requerimientos nutricionales indican la cantidad de nutrientes que deben ser suministrados por el suelo, conjuntamente con los fertilizantes, el aire e incluso la semilla, para que la planta logre un completo desarrollo vegetativo. La decisión sobre cuál y en qué cantidad, un fertilizante es requerido por un determinado cultivo, es una situación del día a día de muchos agricultores y técnicos, en donde la recomendación de los fertilizantes se ha dirigido principalmente a cumplir las necesidades del nitrógeno, fósforo y potasio, dejando a un lado la importancia de los micronutrientes (Flor, 1985). El mismo autor señala la necesidad de obtener las curvas de absorción de nutrientes con énfasis en cada una de las etapas fenológicas de los cultivos y no centrarse solamente en curvas basadas en los días después de la emergencia, para determinar las exigencias minerales reales de los cultivos.

Una recomendación de fertilización que permita obtener niveles óptimos de producción, debe tomar en cuenta factores como la cantidad de nutrientes en el suelo, los requerimientos nutricionales del cultivo, la eficiencia del fertilizante en función del suelo y el aspecto económico de la fertilización, para tener una buena recomendación que permita obtener niveles óptimos de producción (Flor, 1985). Una recomendación general para el cultivo de fréjol es aplicar a la siembra 200 kg ha⁻¹ de 11-52-00 para aportar 22 y 104 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅ o bien cuatro sacos de 18-46-00, que equivalen a 36 y 92 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅ respectivamente. El fréjol responde de buena manera al uso de Quelatos de Zinc en la etapa de floración y llenado de vainas, en dosis de 2.0 kg ha⁻¹. Además, es recomendable aplicar 250 cc ha⁻¹ de Metalosate K en la floración y entre el engrose o llenado de las vainas (Peralta et al., 2010).

2.2 RELACIÓN SUELO – AGUA – PLANTA

2.2.1 EL SUELO

El suelo es una capa natural que está formada por partículas de rocas mezcladas con materia orgánica, minerales, nutrientes, organismos vivos, aire (fase gaseosa) y agua (fase líquida) y permite el crecimiento y desarrollo de plantas y animales (Borja & Valdivia, 2014).

El suelo se desarrolla en los lugares en donde se da la meteorización de las rocas, gracias a la acción de factores climáticos y biológicos; en el perfil vertical del suelo, se pueden diferenciar capas llamadas horizontes, los cuales reposan sobre la roca madre y cada uno tiene características diferentes dependiendo del clima, del tipo de minerales, el paso del tiempo y la acción de los seres vivos en su transformación (Bustamante et al., 2006).

Según Halperín (2006), en el suelo se distinguen cuatro horizontes:

- El Horizonte A es la capa superficial que se encuentra rodeada por plantas, raíces, fauna y flora microscópica, en donde se acumulan los nutrientes y humus que se forma por la acumulación de residuos vegetales y animales.
- El horizonte B, es una capa con una textura arcillosa y contiene gran cantidad de minerales debido al lavado que se produce por las lluvias desde la capa superior.
- El horizonte C, posee características parecidas al horizonte B, con la diferencia de que este contiene fragmentos no meteorizados, ya que se encuentra en contacto directo con la roca madre.
- La roca madre u horizonte R es el sustrato sólido que sirve de soporte para las demás capas, se encuentra en una constante pero lenta meteorización y aporta material al resto de capas.

2.2.1.1 Propiedades físicas de los suelos

2.2.1.1.1 Textura

La textura del suelo indica la proporción relativa de las partículas menores a 2 mm de Arcilla, Limo y Arena que se encuentran en el suelo, siendo una propiedad importante en la retención y movimiento del agua, aireación y en la disponibilidad de nutrientes (Jaramillo, 2002). El mismo autor señala que la textura de un suelo puede ser gruesa o fina, dependiendo del tamaño de las partículas que se encuentran en mayor cantidad, es decir que, si un suelo presenta una mayor cantidad de partículas de gran tamaño, la textura será gruesa, pero si las partículas que predominan en el suelo son de menor tamaño, la textura es fina.

De acuerdo al USDA, las partículas comprendidas entre 2 y 0.05 mm son Arena, las partículas entre 0.05 y 0.002 mm son Limo y aquellas partículas menores a 0.002 mm son Arcilla; por ello, es importante analizar la textura en cada uno de los horizontes del suelo, debido a que esta propiedad es diferente en cada uno de ellos (Blanquer, Ibáñez, & Moreno, 2010). El triángulo textural del USDA es la

herramienta más utilizada en la determinación de las clases texturales, y clasificar los suelos de acuerdo a su textura.

2.2.1.1.2 Estructura

La estructura de un suelo es una propiedad que permite determinar la manera en la que se encuentran agrupadas las partículas de Arcilla, Limo y Arena en el suelo, formando partículas compuestas llamadas agregados. Para conocer la estructura de un suelo, se debe tomar en cuenta la forma, el tamaño y el estado de desarrollo en el que se encuentre el agregado (Pereira et al., 2011).

Para determinar la estructura de un suelo se analizan cuatro parámetros: la forma, el tamaño, la organización y la estabilidad de los agregados; tomando en cuenta que, a diferencia de la textura, que es considerada una propiedad constante en cada capa del suelo, la estructura puede variar dependiendo del clima y el manejo que se realice en el suelo (Ramírez et al., 1993). Por lo tanto, la forma en la que se encuentren agrupados estos agregados, determina el espacio libre que pueden ocupar la parte gaseosa y líquida del suelo, lo que hace que esta propiedad sea determinante en la capacidad que tiene el agua para moverse e infiltrarse a través del suelo, el crecimiento radicular, en la porosidad, el drenaje interno y el intercambio gaseoso, controlando así las interacciones entre las fases sólida, líquida y gaseosa del suelo (Jaramillo, 2002).

2.2.1.1.3 Porosidad

Se conoce como porosidad al volumen de suelo que en lugar de encontrarse ocupado por materia sólida, se encuentra ocupada por poros donde se almacenan los gases y líquidos (Pereira et al., 2011). La porosidad de un suelo se divide en: la macro porosidad, que se refiere a aquellos poros de mayor tamaño y permiten tanto el movimiento del agua como la aireación del suelo, y la micro porosidad, que está constituida por los poros más finos, los cuales permiten que el agua sea retenida en el suelo (Ramírez et al., 1993).

2.2.1.2 Propiedades químicas de los suelos

2.2.1.2.1 pH

El pH es un indicador de la cantidad de iones H^+ en la solución del suelo y permite determinar su grado de acidez o alcalinidad, como se indica en el Cuadro 3 (Espinosa & Molina, 1999). Esto, convierte al pH en un factor determinante en la productividad de los cultivos, pues, además de influir en la disponibilidad o deficiencia de los nutrientes para las plantas y microorganismos que habitan en el suelo, el pH incide sobre las características físicas y químicas del mismo (Pereira et al., 2011).

Cuadro 3. pH del suelo y su grado de acidez o alcalinidad.

pH del Suelo	Acidez/Alcalinidad
9.0	Alcalino
8.0	
7.0	Neutro
6.0	Ácido
5.0	
4.0	

Fuente: Adaptado de Espinoza y Molina (1999)

Por lo general, el rango óptimo de pH de un suelo que permite obtener los mejores rendimientos, debe estar entre 6.5 y 7.0 (Power & Prasad, 1997); los valores extremos de pH, pueden afectar la estructura del suelo y las propiedades físicas de los suelos (Edward, 2000).

2.2.1.2.2 Conductividad eléctrica

La capacidad que tiene una sustancia para transmitir corriente eléctrica se conoce como conductividad eléctrica; su unidad de medida es el $S\ m^{-1}$ (siemens por metro) o $mho\ m^{-1}$ (mho por metro) pero también se utilizan el $\mu S\ cm^{-1}$, $mS\ cm^{-1}$ y el $dS\ m^{-1}$ cuando las concentraciones de sales son bajas, siendo el $dS\ m^{-1}$ la unidad más utilizada (Ortiz, 2008). La CE tiene una gran influencia en la productividad de los cultivos, siendo un indicador de la cantidad de sales que se encuentran disueltas en el suelo (Torres et al., 2001) y así determinar su nivel de salinidad, brindando la posibilidad de corregir los problemas que puedan afectar el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

La CE del suelo se ve influenciada por la profundidad, la temperatura, la capacidad de intercambio catiónico, la continuidad de los poros que al tener un buen contenido de humedad son los encargados de transportar la electricidad del suelo y el contenido de agua (Doerge et al., 1999).

2.2.1.3 Contenido de humedad

El nivel mínimo de agua en el suelo no depende solamente del cultivo y de la etapa fenológica en la que se encuentre, sino también del régimen de humedad que produce el método de riego que se utilice (Fuentes, 1991). Los contenidos de humedad del suelo son:

- **Saturación.** Un suelo se encuentra en estado de saturación cuando toda su porosidad se encuentra ocupada por el agua (Ramírez et al., 1993) y tiene una tensión de humedad de 0.0 centibares (Ortiz, 2008).
- **Capacidad de Campo.** Es la condición que el suelo alcanza después de 48 horas de haberse saturado y se caracteriza porque la proporción de aire y agua es la más adecuada para el desarrollo de los cultivos (Mendoza, 2013). Es la condición de humedad en el cual el potencial matricial es nulo y varía entre 10 y 30 centibares (Ortiz, 2008).
- **Punto de Marchitez Permanente.** Cuando la humedad disminuye por efecto de la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas, se alcanza un estado conocido como punto de marchitez permanente, en donde la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas se dificulta, lo que hace que alcancen una marchitez imposible de revertir, provocando una disminución en los rendimientos (Villafila & Wyss, 2009).
- **Saturación Controlada.** Es un estado que se consigue principalmente mediante el riego por goteo y cuya característica principal es de que el contenido de humedad se encuentra en una tensión promedio de 2.0 centibares, permitiendo potenciar el rendimiento de los cultivos gracias al movimiento del agua y de los nutrientes por difusión o fuerzas de cohesión (Ortiz, 2008).

2.3 SISTEMA DE RIEGO

2.3.1 Riego por goteo

Es un método de riego localizado, en el cual el agua es aplicada directamente al suelo en forma de gotas a través de emisores, los cuales requieren de una determinada presión para su funcionamiento. Cuando el agua es aplicada por los goteros, esta se infiltra y forma en el interior del suelo una área humedecida que se la conoce como bulbo húmedo, cuyo diámetro es pequeño en la superficie del suelo pero a medida que se distribuye, el bulbo adquiere su ensanchamiento final cuando llega a una profundidad de 30 cm aproximadamente (Mendoza, 2013).

El riego por goteo permite aplicar pequeñas cantidades de agua a la zona radicular de las plantas en intervalos frecuentes de riego y aplicar fertilizantes a través del mismo, permitiendo no solamente obtener productos de mayor calidad y mayores índices de cosechas, sino que además, garantiza una

mínima pérdida de agua por evaporación o filtración, ahorrando agua hasta en un 60 %, facilita el control de malas hierbas, reduce la salinización, entre otras ventajas (Predes, 2005).

- **Componentes.** Los componentes básicos de un sistema de riego son:

Fuente de abastecimiento de agua: Es el lugar en donde se almacena el agua para abastecer al sistema de riego; siendo los reservorios los más utilizados (Liotta et al., 2015).

Fuente de presión: Para proporcionar la presión requerida por el sistema, se puede construir el reservorio en una zona lo suficientemente alta sobre el nivel del terreno donde se va regar o utilizar una estación de bombeo (Predes, 2005).

Cabezal de riego: Es el conjunto de elementos que permiten controlar el funcionamiento del sistema de riego, filtrar el agua, inyectar fertilizantes, medir la presión y volúmenes (Mendoza, 2013).

Sistema de Filtrado: Es un sistema conformado por filtros ya sean de anillas, de malla o de grava, que tiene como objetivo principal evitar el paso de materiales o sustancias tales como rocas, papeles, tierra, entre otros; que puedan ocasionar la pérdida de presión del sistema y el tapado de los goteros (Villafáfila & Wyss, 2009).

Tuberías de conducción: Los materiales más utilizados son las tuberías de PVC y permiten transportar el agua hacia los laterales de riego (Predes, 2005).

Laterales de riego: Son las tuberías que se instalan en el interior del cultivo y por lo general tienen un diámetro de 16 y 20 mm (Liotta et al., 2015).

Emisores: Se llama también goteros y son los encargados de aplicar el agua al suelo en forma de gotas (Mendoza, 2013).

Medidores de caudal: Son equipos que permiten medir caudales y volúmenes de agua aplicados, siendo el medidor de agua tipo Woltman el más utilizado, que permite realizar mediciones con una mínima pérdida de carga (Dorot Managment Control Valves, 2002).

Controladores de riego: Es un equipo que permite controlar el riego de manera automática, a través de válvulas solenoides, las mismas que son conectadas con cada una de las válvulas que controlan el riego instalado en campo, así, la frecuencia de riego y la fertilización se realizan de acuerdo a la programación que se realice en el controlador, almacenando los datos del riego y reduciendo el trabajo manual (Liotta et al., 2015).

2.3.2 Riego por pulsos

2.3.2.1 Generalidades

El riego por pulsos es una técnica que consiste en la aplicación intermitente del agua, para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, utilizando tiempos de riego cortos y por lo tanto láminas pequeñas de agua (Romay & Morábito, 2001).

Ortiz (2008), define un pulso como el tiempo de riego necesario para incrementar la tensión de humedad del suelo en un cierto tiempo, tomando en cuenta el movimiento del agua por difusión; además, depende de varios factores como: la textura del suelo, profundidad del bulbo húmedo, rango de tensión de humedad, uniformidad de distribución del agua, el tipo de gotero, el diámetro y la longitud de los laterales de riego y la distancia desde el centro de control hasta las válvulas.

2.3.2.2 Programación del riego

La programación de los riegos permite decidir cuándo regar (frecuencia de riego) y cuánta agua aplicar (tiempo de riego) con el objetivo de satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, tomando en

cuenta las condiciones edafoclimáticas del terreno, contenido de agua en el suelo y el estado hídrico de la planta (Céspedes et al., 2001).

2.3.2.3 Lámina de riego de un pulso

La lámina de riego de un pulso se refiere a la cantidad de agua que se aplica al cultivo y depende del rango de tensión de humedad en el que se encuentre el suelo, sin embrago, es necesario tomar en cuenta también el tipo de suelo, la profundidad a la que se distribuye el agua y el desarrollo y tipo de raíz de las plantas (Ortiz, 2008). En el Cuadro 4 se presentan las láminas de riego de acuerdo al tipo de suelo y su tensión de humedad

Cuadro 4. Láminas de riego en función de la Tensión de humedad

Tipo de suelo	Rango de Tensión de Humedad (milibares)	Lámina de riego (mm)
Arcilloso	20 – 25	0.1 – 0.2 (Pequeñas)
Franco	10 – 25	0.3 – 0.5 (Intermedias)
Arenoso	5 – 20	>0.5 (Grandes)

Fuente: Ortiz (2008).

El mismo autor menciona que los rangos de la tensión de humedad son inversamente proporcionales a la lámina de riego de un pulso después de cada riego, es decir, cuando el incremento de la tensión de humedad después del riego es muy pequeño, la lámina de riego del pulso puede aumentarse, mientras que cuando la tensión de humedad después del riego es mayor, la lámina del pulso puede disminuirse hasta encontrar un punto de equilibrio en el sistema Agua – Planta – Suelo – Equipo de riego.

2.3.2.4 Tiempo de riego de un pulso

Para establecer el tiempo de riego de un pulso se debe tomar en cuenta la lámina de riego que se desea aplicar, la capacidad de infiltración de los suelos y el tipo de goteros que se utilice, sean estos goteros auto compensados (tiempo mínimo de riego va de 2 a 3 minutos) o goteros no compensados (tiempo mínimo de riego va de 3 y 5 minutos) (Ortiz, 2008).

2.3.2.5 Frecuencia de riego

La frecuencia de riego es la repetición o constancia con que se aplica agua a un determinado cultivo, para lo cual es importante conocer la capacidad del suelo para retener agua. Esta frecuencia se puede calcular mediante la fórmula (1):

$$Fr = \frac{\text{Lámina neta (Ln)}}{\text{Evapotranspiración real del cultivo (Et real)}} \quad (1)$$

Fuente: (Huribe & Maldonado, 2000)

En el riego por pulsos, los requerimientos hídricos del cultivo determinan el manejo del agua y el régimen de riego, en donde la cantidad de agua suministrada al cultivo, se lo hace en volúmenes pequeños y con una alta frecuencia de aplicación; la misma que se la puede determinar mediante la fórmula (2):

$$Nr = \frac{Nhc}{Lrp} \quad (2)$$

Fuente: (Ortiz, 2008)

Donde:

Nr: Número de riegos

Nhc: Necesidad hídrica del cultivo (mm día⁻¹)

Lrp: Lámina de riego del pulso (mm)

2.3.2.6 Caudal del gotero

Es recomendable que el caudal de los goteros no sea mayor a 1.0 l h⁻¹, para que el movimiento del agua conjuntamente con los nutrientes sea más fácil, además, este caudal mejora la relación de oxígeno – agua en el suelo durante el riego, reduciendo las enfermedades fúngicas, favoreciendo la respiración de las raíces y los microorganismos. Si el caudal de los goteros es mayor a 1.0 l h⁻¹, se producen encharcamientos en las áreas de riego, lo que genera una reducción del oxígeno y por lo tanto un incremento en el desarrollo de enfermedades fúngicas (Ortiz, 2008).

2.4 FERTIRRIGACIÓN

2.4.1 Definición

La fertirrigación es una técnica orientada principalmente a mejorar la productividad de los cultivos mediante la aplicación de agua y nutrientes en forma continua y creciente de acuerdo al desarrollo de del ciclo fenológico de cada cultivo. Dado que las plantas utilizan agua y nutrientes todos los días, es muy importante conocer las necesidades de nutrientes en cada etapa fenológica del cultivo, la calidad y consumo de agua por los cultivos, la eficiencia del riego y la solubilidad de los fertilizantes utilizados (Calvache, 2008).

La fertirrigación por lo tanto, tiene como objetivo principal aprovechar al máximo el movimiento del agua del sistema de riego para transportar cada uno de los nutrientes que son requeridos por las plantas hasta el lugar en donde se desarrollan las raíces, optimizando así el uso de nutrientes, agua y energía (SIAR, 2005), permitiendo maximizar los rendimientos y reducir la contaminación ambiental, al incrementar la eficiencia de aplicación de fertilizantes, reducir su aplicación y aumentar los beneficios económicos de la inversión en fertilizantes (Kafkafi & Tarchitzky, 2012).

2.4.2 Inyector Venturi

El inyector Venturi es un dispositivo que se utiliza para inyectar los fertilizantes disueltos en el agua de riego (Bracy et al., 2003). Este inyector consiste en un tubo con un estrechamiento que se conecta con un tanque donde se encuentra la solución de fertilizantes que se va a inyectar (Pizarro, 1996). La succión de esta solución se da gracias a la presión negativa que se genera en la sección estrecha del Venturi cuando el agua pasa a una mayor velocidad, por ello, es recomendable que la altura de succión sea inferior a los 3 metros y revisar constantemente que la solución del tanque no se vacíe, pues esto provocaría que solo se inyecte aire al sistema (Ruiz & Molina, 2010). Los mismos autores mencionan que la instalación de estos inyectores puede ser en forma paralela o en serie con respecto a la tubería principal, tomando en cuenta que debe existir una diferencia de presión entre la zona de entrada y la zona de salida para permitir que el agua fluya dentro del Venturi, por lo que es común utilizar reguladores de presión o filtros para permitir el correcto funcionamiento del equipo.

2.4.3 Los nutrientes en fertirrigación

- Nitrógeno

El nitrógeno es un nutriente fundamental en el desarrollo de las plantas, pues es el principal factor que determina los rendimientos cuantitativos, pues su presencia en cantidades adecuadas, los cultivos adquieren un color verde oscuro gracias a la gran cantidad de clorofila que producen, la brotación se adelanta y aumenta el desarrollo de tallos y hojas lo que conlleva a una mayor actividad fotosintética; sin embargo, el exceso de nitrógeno en los cultivos provoca un exagerado desarrollo foliar, alargando su maduración, debido a que las partes vegetativas permanecen verdes y tiernas, haciendo que las plantas sean susceptibles al ataque de enfermedades y los frutos sean de baja calidad (Pizarro, 1996).

La fertirrigación de los cultivos se ha convertido en una técnica que no solo permite optimizar un recurso tan valioso como es el agua, sino también los nutrientes como es el caso del nitrógeno, al realizar aplicaciones fraccionadas de nitrógeno que disminuye las pérdidas por lixiviación. Sin embargo, en sistemas de fertirrigación, se presentan pérdidas de este nutriente en forma de lavado de nitratos, debido a su alta movilidad y solubilidad que hace que se transporte hasta las aguas subterráneas y no al área donde se encuentra el bulbo húmedo; es por esta razón que se han desarrollado inhibidores de la nitrificación que permiten que el nitrógeno amoniacal permanezca en el suelo sin sufrir transformaciones durante un tiempo de 6 a 10 semanas aproximadamente y se mantenga retenido en el suelo, evitando así su movimiento hacia aguas subterráneas o fuera del bulbo, reduciendo las pérdidas de nitrógeno durante el ciclo productivo de los cultivos (EuroChem AGRO, 2013).

- Fósforo

El fósforo es un nutriente que forma parte de la molécula ATP, por lo que tiene una participación activa en los sistemas encargados del almacenamiento y transporte de energía; además de ser un componente fundamental en los procesos fisiológicos que realizan las plantas, y se encuentra en macromoléculas como ácidos nucleicos y fosfolípidos (Fernández, 2007).

El fósforo (P) es uno de los nutrientes más importantes para el desarrollo de las plantas y a excepción del nitrógeno y el potasio, es un nutriente que es requerido en mayor cantidad que otros nutrientes esenciales. El fósforo es absorbido por las plantas mediante los pelos radicales en dos formas: como ion orto fosfato primario (H_2PO_4) y como orto fosfato secundario (HPO_4), pero la capacidad de absorción está influenciada por el pH del suelo (García, 2004). Cuando el pH es de 7.2, la mitad del P se encuentra en forma de H_2PO_4 ; cuando el pH del suelo es mayor a 7.2, el fósforo divalente (HPO_4) predomina en el suelo, mientras que cuando el pH es menor a 7.2, al anión monovalente (H_2PO_4) se encuentra en mayor concentración (Kafafi & Tarchitzky, 2012). Según Marschner (1995), las plantas aprovechan únicamente el P como H_2PO_4 y establece que la relación de disponibilidad del P en la solución del suelo es inversamente proporcional al pH de la misma, es decir, cuando el pH de la solución aumenta, el P disminuye. Por ejemplo, si se disuelve 1.0 g de P en un recipiente con una solución con pH = 5, el P está 100 % disponible para las plantas, pero cuando la solución aumenta a un pH = 8, solo el 10 % del P (0,1 g) está disponible, aun cuando el contenido de P en el recipiente no ha sufrido cambios (Marschner, 1995).

- Potasio

El Potasio es el nutriente más utilizado por parte de las células de las plantas, razón por la cual se encuentra en mayores concentraciones conjuntamente con el nitrógeno (Shekhar et al., 2017), que participa en funciones importantes dentro de las plantas como: la síntesis de almidones, proteínas, activación de enzimas y en la osmo regulación (Maathuis & Sanders, 1994) y tiene una gran influencia sobre los procesos fotosintéticos de las plantas durante su crecimiento y las relaciones agua – planta,

afectando las producciones de los cultivos debido a que las deficiencias de potasio puede ocasionar una reducción del número de hojas producidas, así como el tamaño de las hojas individuales (Pettigrew, 2008). El mismo autor añade que para cumplir con los objetivos de aumentar la productividad y calidad de los cultivos es importante dar un uso más eficiente del potasio o desarrollar plantas capaces de aprovechar este nutriente de manera más eficiente.

La concentración de Potasio en el suelo es relativamente baja, y dada su importancia en los procesos fisiológicos durante el crecimiento y desarrollo de las plantas, estos organismos han desarrollado la capacidad de detectar cambios externos en el K^+ , produciendo señales químicas y físicas a través de la membrana plasmática y en el citosol a las células vegetales, regulando así la homeostasis de K^+ y permitiendo a las plantas adaptarse a condiciones en las cuales el potasio se encuentra en cantidades deficientes (Wang & Wu, 2017).

Además de estos nutrientes, es importante mencionar la importancia del Magnesio (Mg) y su participación en la fotosíntesis como componente principal de la clorofila y el Calcio (Ca), que es un nutriente importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas y que por lo general se encuentra en grandes cantidades en el suelo (Pizarro, 1996).

- **Microelementos**

Los Microelementos necesarios para los cultivos son el Hierro, Manganeseo, Zinc, Cobre, Níquel, Cloro, Boro y Molibdeno; los cuales cumplen varias funciones como por ejemplo el Hierro permite la síntesis de clorofila, el Manganeseo y Zinc participan en procesos enzimáticos, el Cobre que interviene en procesos fisiológicos redox, el Níquel participa en el crecimiento reproductivo, el Cloro interviene en la osmo regulación y la reactivación de enzimas, el Boro en la formación y estabilización de las paredes celulares, así como el procesamiento de carbohidratos y el Molibdeno participa en los procesos de síntesis de proteínas y en la reducción de los nitratos (Welch & Shuman, 1995).

2.4.4 Fertirrigación en suelos alcalinos

A diferencia de los suelos ácidos, los suelos alcalinos se caracterizan por contener elevadas cantidades de metales alcalinotérreos como Calcio, Sodio, Magnesio y Potasio; un pH mayor a 7, alta velocidad de nitrificación y poca fijación de P de los fertilizantes (García, 1995). Estos suelos poseen arcillas de tipo 2:1, lo que permite que, el amonio se adsorba a las arcillas, evitando que las raíces sufran una toxicidad por amonio, debido a que se diluye en el agua de riego. Es por esta razón que todos los tipos de fertilizantes nitrogenados son adecuados para aplicarse conjuntamente con el agua de riego (Kafkafi & Tarchitzky, 2012). En el Cuadro 5 se presentan algunos fertilizantes para su aplicación en estos tipos de suelos.

Cuadro 5. Fertilizantes recomendados para la fertirrigación en suelos neutros alcalinos y suelos ácidos

Nutriente	Suelos neutros alcalinos (pH 6.5 a 8.5)	Ambos	Suelos ácidos (pH 4.5 a 6.5)
Nitrógeno	Urea Sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) Fosfato de amonio ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)	Nitrato de amonio (NH_4NO_3) Nitrato de potasio (KNO_3) Nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)	
Fósforo	Ácido fosfórico (H_3PO_4)	Fosfato mono potásico (KH_2PO_4) Poli fosfato de amonio	
Potasio		Muriato (cloruro) de potasio (KCl) Sulfato de potasio (K_2SO_4) Nitrato de potasio (KNO_3)	
Nutrientes secundarios		Nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) Nitrato de Magnesio ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$) Sulfato de potasio (K_2SO_4) B como ácido bórico Mo como molibdato de sodio	
Micronutrientes	Fe-EDDHA Fe-DTPA	Complejos de EDTA con Cu, Zn, Mo, Mn	Fe-EDTA

Fuente: Kafkafi y Tarchitzky (2012).

2.5 MANEJO DEL AGUA

2.5.1 Movimiento del agua en el suelo

El riego por inundación, surcos o aspersión, tiene la particularidad de que el agua es aplicada en grandes cantidades y con frecuencias amplias de aplicación que pueden ser días o semanas, ocasionando que el movimiento del agua dentro del suelo sea en forma vertical, mientras que, en el riego por goteo, el volumen de agua que se aplica es pequeño y con intervalos de riego cortos (horas o minutos); a diferencia de los otros sistemas de riego, el agua se distribuye de manera horizontal y vertical en la porción de la superficie mojada (Kafkafi & Tarchitzky, 2012). Los mismos autores señalan que el movimiento de agua dentro del suelo está influenciado por el potencial gravitacional y el potencial matricial.

La fuerza gravitacional produce el potencial gravitacional que es el responsable de generar el movimiento del agua dentro del suelo debido a la acción de la gravedad terrestre. Esta fuerza ocasiona

que en el riego por gravedad y aspersión, el agua se transporte hacia las zonas más profundas y se desarrollen bulbos húmedos en el caso del riego por goteo; por otro lado, las fuerzas de capilaridad actúan en la retención y el movimiento del agua a través de las fuerzas de adhesión y de cohesión, la primera retiene el agua a la matriz del suelo, mientras que la segunda permite el movimiento de los nutrientes y el agua en todas las direcciones del perfil humedecido, en forma horizontal o vertical (Ortiz, 2008).

2.5.2 Tensión de humedad

La tensión de humedad es aquella fuerza con la cual el suelo es capaz de retener el agua y tiene una relación inversa con el contenido de humedad en el suelo, a medida que la humedad del suelo se incrementa, la tensión de humedad disminuye, pero cuando la humedad del suelo disminuye, la fuerza de retención de agua por parte del suelo se incrementa (Arango, 1998). Existen sensores que miden el contenido de humedad del suelo, permitiendo conocer el consumo real de agua por el cultivo, de manera que el riego se puede programar para mantener la humedad entre un nivel máximo que evite la pérdida de nutrientes, encharcamiento, lavado de suelo y un nivel mínimo para evitar que el cultivo sea afectado por un estrés hídrico (Céspedes et al., 2001).

2.5.2.1 Tensiómetros

Un tensiómetro es un dispositivo utilizado para medir la tensión de humedad del suelo y está conformado por un tubo plástico que posee una cápsula porosa en su extremo y un manómetro en el otro, cuya función es indicar la succión que ejerce el suelo sobre el agua, indicando así el contenido de humedad del suelo. Cuando el suelo pierde agua, este ejerce una mayor fuerza para retenerla, y dependiendo de los cambios en los valores de la succión, se puede conocer la variación del contenido de humedad en el suelo (Mendoza, 2013). En otras palabras, el tensiómetro mide de manera directa el esfuerzo (energía medida en centibares) que hacen las raíces para extraer agua del suelo, en donde los valores menores a 10 centibares indican que el suelo se encuentra en estado de saturación y aquellos valores mayores a 10 centibares muestran un descenso en la humedad del suelo y por lo tanto las plantas pueden sufrir alteraciones debido a un estrés hídrico (Céspedes et al., 2001).

Cuadro 6. Estado de humedad del suelo en función de la lectura del Tensiómetro

Lectura del Tensiómetro (centibares)	Estado de Humedad del Suelo
0 – 10	Suelo saturado
10 – 25	Suelo en capacidad de campo
25 – 50	Suelo con buena disponibilidad de agua (Humedad intermedia)
50 – 80	Necesidad de aplicar un riego

Fuente: (Mendoza, 2013)

2.5.3 Movimiento de los nutrientes en la solución del suelo

La distribución de los nutrientes y las sales en el suelo, depende entre otras cosas de la forma en la que el agua penetra en el mismo (Hoffman et al., 1990). Los métodos de riego tradicionales generan salinidad en la zona del cultivo (Delatorre, 2015). En el caso del riego por surcos, la acumulación de sales ocurre debido al lavado debajo del surco del riego, mientras que en el riego por aspersión e inundación, la salinidad aumenta sostenidamente con la profundidad del suelo hasta el lugar donde se encuentran las raíces (Hoffman et al., 1990).

En el riego por goteo, la distribución de sales es mayor en los bordes del bulbo húmedo formado en el suelo como se indica en la figura 1, gracias a la frecuencia del riego y la constante evapotranspiración en la que se encuentra el cultivo (Kafkafi & Tarchitzky, 2012).

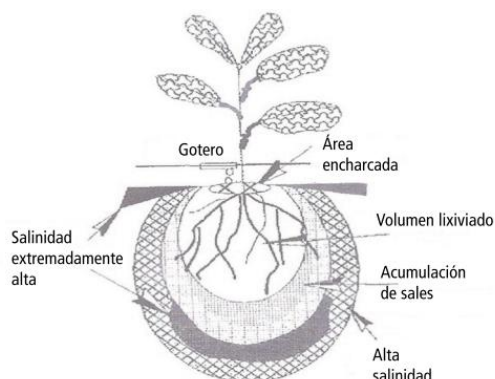


Figura 1. Distribución de sales en un volumen de suelo húmedo debajo del gotero

Fuente: (Kremmer & Kenig, 1996)

2.5.3.1 pH de la solución del suelo

Ortiz (2008), establece que debido a que las sales disueltas no pueden llegar a la saturación, su disponibilidad y asimilación por parte de los cultivos depende del pH de la solución del suelo; por ello es importante controlar los niveles de pH para permitir que los macro y micronutrientes se encuentren disponibles para las plantas. De igual manera, el autor menciona que en el caso de que se quiera bajar los niveles de pH del agua de riego, se puede utilizar ácido fosfórico, ácido sulfúrico o ácido cítrico y el hidróxido de potasio en el caso de que se requiera incrementar el pH de la solución.

2.5.3.2 CE de la solución del suelo

Es importante conocer que cada fertilizante produce valores diferentes de CE, cuando estos se disuelven en el agua de riego, la CE se incrementa debido a que la cantidad de sales disueltas en la solución del suelo es mayor (Ortiz, 2008). Cuando los valores de CE del agua de riego se encuentran en rangos menores a 0.25 dS m^{-1} , el riesgo de salinidad es bajo; entre 0.25 y 0.75 dS m^{-1} , el riesgo es medio y cuando los valores están entre 0.75 y 2.25 dS m^{-1} , el riesgo de salinidad aumenta (Hoffman et al., 1983). Ante esto, la CE de la solución del suelo, no debe ser mayor a 2 o 3 dS m^{-1} , por ello, cuando se agreguen los fertilizantes, es importante monitorear que la CE del agua no aumente en más de 1 dS m^{-1} y de ser así, es recomendable aplicar los fertilizantes de manera fraccionada (SIAR, 2005).

2.5.3.2.1 Variación de la CE de la solución del suelo en función de su estado de humedad

Cuando un suelo se encuentra en capacidad de campo, el agua retenida y la solución del suelo contienen una concentración de sales que se la puede medir mediante su CE, cuando este contenido de humedad disminuye, la concentración de sales permanece igual, ya que estas se mantienen en niveles constantes, debido a que no pueden ser eliminadas ni por la evapotranspiración del agua del suelo ni ser absorbidas por las raíces de las plantas. Es por esta razón que, a medida que disminuye el contenido de humedad, aumenta la concentración de sales de la solución del suelo (Pizarro, 1996).

2.5.3.3 Nitratos en la solución del suelo

El nitrógeno aplicado al suelo mediante la incorporación de materia orgánica o fertilizantes orgánicos, es transformado por acción de los microorganismos en nitratos. En esta forma, los nitratos tienen una

mayor movilidad a través del suelo (Nolan, 1999); por lo que su desplazamiento está directamente relacionado con el manejo del agua.

Ortiz (2008) establece que el contenido máximo de nitratos en la solución del suelo debe encontrarse en el rango de 70 a 250 ppm; cuando existen concentraciones mayores, el N se puede perder por su volatilización en forma de nitritos y amoníaco o producir un aumento de la salinidad del suelo. El mismo autor acota que el constante monitoreo del pH, CE y el contenido de nitratos permite conocer la tasa de absorción de los nutrientes que realiza el cultivo por hora y de manera diaria; de acuerdo al estado fenológico en el que se encuentre, el contenido de humedad del suelo, el clima y las labores culturales que se realicen, por ello, el contenido de nitratos permite controlar la fertilización, debido a que el N no solo es el nutriente principal de la relación NPK, sino también por su alta movilidad en la solución del suelo, rápida disponibilidad cuando es aplicado y su fácil absorción por parte de las plantas.

2.5.3.4 Equipos para medir pH, CE y nitratos en la solución del suelo

Succionadores. Son equipos que se instalan en el suelo, los cuales permiten succionar o extraer la solución del suelo que está en contacto con las raíces y es absorbida por la planta (BIOAGROTECSA, 2018), permitiendo determinar el pH, la CE y los nitratos.

Medidor de pH y CE. Hoy en día, existen equipos que han sido diseñados para realizar mediciones de pH y CE del agua directamente en el campo, lo que facilita el trabajo de análisis de aguas (HANNA instruments, 2002).

Medidor de Nitratos. Al igual que los equipos de medición de pH y CE, se han desarrollado equipos portátiles que permiten determinar las concentraciones de nutrientes presentes tanto en el suelo como en la savia de la planta, facilitando el análisis en campo y en laboratorio (HORIBA Instruments, 2018) y por lo tanto, la toma de decisiones de fertilización durante el desarrollo fenológico de los cultivos.

2.5.4 Evapotranspiración real

Es la cantidad total de agua que se pierde por los procesos de evaporación de agua de la superficie del suelo y el agua absorbida por las plantas y transpirada hacia la atmósfera, medida en milímetros (mm) por unidad de tiempo (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

2.5.4.1 Evapotranspiración de referencia

Es la tasa de evapotranspiración que se obtiene en una superficie que se encuentra constantemente dotada de agua y con un clima y cultivo determinados (Quereda Sala, 2005) y cuya unidad de medida es mm día⁻¹. Esta medida se utiliza para conocer la cantidad de agua que es requerida por un cultivo dependiendo del estado fenológico en el que se encuentre, las condiciones ambientales como temperatura, humedad y viento, las características del suelo y la disponibilidad de agua (FNDR, CNR, & INIA, 2000).

2.5.5 Coeficiente de cultivo

El coeficiente de cultivo es un parámetro que permite determinar la cantidad real de agua consumida por un cultivo y consiste en la relación entre la ET_o y la evapotranspiración del cultivo en estudio (Quereda Sala, 2005).

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (3)$$

Fuente: (Allen et al., 2006)

Donde:

ET_c: Necesidades de agua (mm día^{-1})

ET_o: Evapotranspiración de una zona determinada (mm día^{-1})

K_c: Coeficiente de cultivo

- **Factores que influyen en el coeficiente de cultivo**

Según (CITRA, 2006), existen tres factores que influyen en los valores de K_c de los cultivos, los cuales se mencionan a continuación:

El tipo de cultivo: Los valores de K_c de los cultivos varían debido a que su tasa de evapotranspiración puede aumentar o disminuir por la altura del cultivo, la forma de las hojas, la distribución de las estomas y el espacio entre las plantas.

Las condiciones climáticas: La velocidad del viento y la radiación son parámetros climáticos que afectan los valores de K_c. La primera tiene una relación directamente proporcional con el K_c de los cultivos, principalmente aquellos con grandes alturas, cuanto mayor es la velocidad del viento mayor será su K_c; pero, cuando la superficie del suelo es cubierta por cultivos de baja altura, estos pueden recibir un mayor nivel de radiación, lo que produce cambios en su evapotranspiración.

La Evaporación del suelo: Cuando la cobertura del suelo es del 100 %, la tasa de evapotranspiración es prácticamente la transpiración del cultivo, pero cuando el cultivo no cubre todo el suelo, la evaporación del suelo toma protagonismo principalmente en cultivos de baja altura.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación

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

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

3.1.1 Características climáticas

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

Fuente: INAMHI, 2017

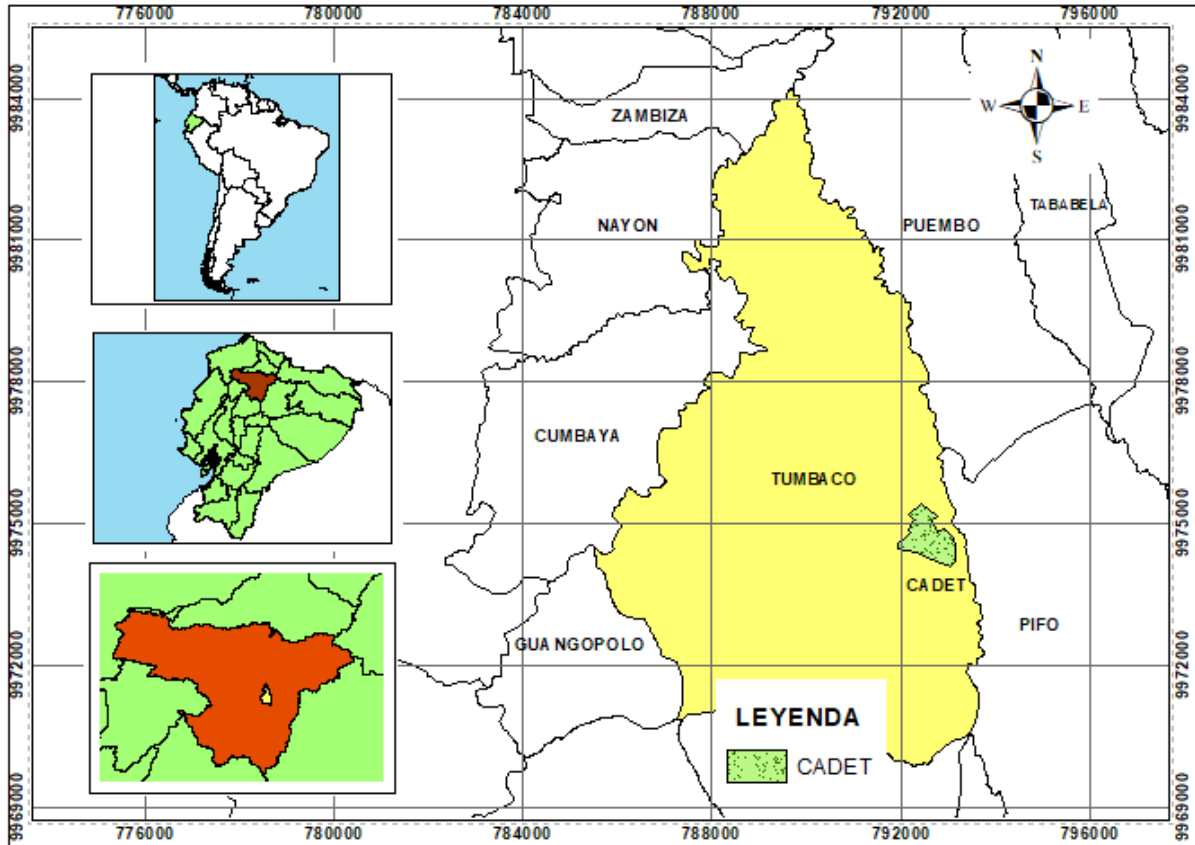


Figura 2. Mapa de ubicación de la presente investigación

3.2 Materiales

3.2.1 Material Agronómico

Se utilizó:

- Semilla de fréjol arbustivo variedad INIAP 481 - Rojo del Valle
- Fosfato mono amónico
- Nitrato de potasio
- Nitrato de calcio
- Sulfato de magnesio
- Nitrato de amonio
- Fertiplant (Mg, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Co, Mo, K, Vitamina B1, B2, B9, B12, C + Fitohormonas)
- Ácido fosfórico para la regulación del pH del agua de riego

3.2.2 Materiales para la toma de muestras de suelos

Se utilizaron las siguientes herramientas recomendadas por la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario - AGROCALIDAD (2015c):

- 2 palas planas
- 2 azadones
- 3 baldes
- 1 plástico
- 4 fundas plásticas

- 1 marcador
- Etiquetas

3.2.3 Materiales para la toma de muestras de plantas

Se utilizaron las herramientas recomendadas por la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario - AGROCALIDAD (2015b):

- Tijeras de podar
- Guantes de protección
- Fundas de papel para cada análisis
- 1 marcador
- Etiquetas

3.2.4 Materiales para la toma de muestra de calidad de agua

Se utilizaron los materiales recomendados por la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario - AGROCALIDAD (2015a):

- 1 Botella plástica de agua de 1 litro
- 1 etiqueta
- 1 marcador

3.2.5 Materiales para la determinación de la humedad y la fertilidad del suelo

- 2 tensiómetros análogos
- 8 succionadores
- 8 jeringuillas de 50 ml
- 8 frascos de 50 ml
- 1 balde plástico.

3.2.6 Equipos

Se utilizaron los siguientes equipos:

- 1 controlador de riego
- 1 computador de riego
- 1 medidor de pH-conductividad eléctrica-sólidos totales disponibles (TDS) HANNA HI 9811-5 con escala de medida de 0 a 14 para pH, 0 a 6000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ para conductividad eléctrica y 0 a 3000 mg l^{-1} (ppm) para TDS
- 1 medidor de nitratos LAQUAtwin-NO3-11 con rango de medición de 6 a 9900 ppm (0.1 a 160 mmol l^{-1}) (Ver Anexo 10).

3.3 Metodología

3.3.1 Factores en estudio

Para alcanzar los objetivos de esta investigación, se evaluaron dos factores en estudio: métodos de aplicación del agua y niveles de fertilización.

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

R50: Riego por pulsos (50 % agua)

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

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

Cuadro 7. Descripción del factor de estudio A

No.	Código	Factor A	Cantidad de agua (m ³ ha ⁻¹)
Métodos de aplicación del agua			
1	R100	Riego por goteo convencional (100 % agua)	3381
2	R50	Riego por pulsos (50 % agua)	1650

Cuadro 8. Descripción del factor de estudio B

No.	Código	Factor B	Dosis de fertilizante (kg ha ⁻¹)
Niveles de fertilización			
1	F100	Aplicación convencional de fertilizantes (100 % fertilizante)	70.31 Nitrógeno 34.69 Fósforo 60.31 Potasio
2	F50	Aplicación del 50 % de la dosis de F100 (50 % fertilizante)	35.16 Nitrógeno 17.34 Fósforo 30.16 Potasio

3.3.2 Tratamientos

Los tratamientos resultaron de la combinación de los dos factores en estudio, los mismos que se presentan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Tratamientos experimentales para evaluar el manejo del riego en el cultivo de fréjol arbustivo con dos dosis de fertilización en el CADET.

Tratamiento	Código	Descripción
T ₁	R100F100	Riego por goteo convencional (100 % agua) + Aplicación convencional de fertilizantes (100 % fertilizante)
T ₂	R100F50	Riego por goteo convencional (100 % agua) + Aplicación del 50 % de la dosis de F100 (50 % fertilizante)
T ₃	R50F50	Riego por pulsos (50 % agua) + Aplicación del 50 % de la dosis de F100 (50 % fertilizante)
T ₄	R50F100	Riego por pulsos (50 % agua) + Aplicación convencional de fertilizantes (100 % fertilizante)

3.3.3 Unidad Experimental

Las características de la unidad experimental y del área experimental se presentan en los Cuadros 10 y Cuadro 11, respectivamente. El esquema de la disposición del experimento en campo se muestra en el Anexo 1.

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

Cuadro 10. Características de la unidad experimental de la investigación.

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

Cuadro 11. Características del área experimental de la investigación.

Característica	Descripción
Número de Tratamientos	4
Repeticiones	4
Área Total Neta del ensayo	16 parcelas x 40 m ² = 640 m ²
Área Total del ensayo	16 m x 80 m = 1280 m ²

3.3.4 Diseño Experimental

Se utilizó un diseño de parcela dividida con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones para el rendimiento del cultivo y humedad del suelo y tres repeticiones para la fertilidad del suelo y distribución de nutrientes en la planta. La Parcela grande fue los métodos de aplicación del agua mientras que la parcela pequeña fue los niveles de fertilización. El esquema de análisis de la varianza se presenta en el Cuadro 12. El análisis estadístico se lo realizó utilizando el programa Microsoft Excel 2018 y el Paquete Estadístico STATA.

Cuadro 12. Esquema del análisis de la varianza de la investigación

Fuentes de Variación	Rendimiento del cultivo y humedad del suelo	Fertilidad del suelo y distribución de nutrientes en la planta
	Grados de Libertad	
Total	15	11
Repeticiones	3	2
Agua	1	1
Error A	3	3
Fertilizantes	1	1
Agua x Fertilizantes	1	1
Error B	6	3
Promedio	---- unidades	---- unidades
CV A	---- %	---- %
CV B	---- %	---- %

3.3.5 Análisis Funcional

Se realizó un análisis de normalidad utilizando las pruebas Skewness – kurtosis y Shapiro – Wilk. La primera prueba llamada también sktest combina la asimetría y curtosis para presentar la normalidad de datos y se recomienda utilizarla cuando el tamaño de muestra es grande (Vela, 2010), mientras que la prueba de Shapiro - Wilk utiliza la regresión de las observaciones sobre los valores esperados de la distribución de hipótesis y muestra resultados adecuados principalmente para una muestra inferior a 30 datos (Pedrosa et al., 2015). Además, se realizaron pruebas de significancia Scheffé al 5 % para los resultados significativos.

3.3.6 Variables de estudio

Para evaluar el manejo del riego en el cultivo de fréjol arbustivo con dos dosis de fertilización en el CADET se midieron las siguientes variables:

- Rendimiento del cultivo
- Monitoreo de la Humedad del suelo
- Monitoreo de la Fertilidad del suelo
- Medición del volumen de agua y de disolución de fertilizantes aplicados
- Distribución de los nutrientes en la planta

3.3.6.1 Rendimiento del cultivo

Para la cosecha del cultivo se siguieron las recomendaciones establecidas por (IICA, RED SICTA, COSUDE, & ASOPROL, 2009), en donde se manifiesta que el momento óptimo para realizar esta labor es cuando el 90 % de las vainas alcanzan la madurez fisiológica y el cultivo presente amarillamiento debido al secado natural de las plantas; procediendo a arrancar cada planta y colocando los granos de cada parcela neta en costales debidamente etiquetados (ver Anexo 2). Una vez terminada la cosecha, se procedió a expandir el grano sobre el terreno para secarlo con el objetivo de disminuir su contenido de humedad hasta el 11 % y garantizar la calidad del grano (Araya et al., 2013). Para la medición del contenido de humedad se utilizó el equipo agraTronix MT-16 (ver Anexos 3, 4 y 5).

Los pesos de cada parcela neta fueron registrados en Kilogramos y se expresaron en tn ha⁻¹.

3.3.6.2 Monitoreo de la Humedad del suelo

Se instalaron dos tensiómetros análogos, uno para los tratamientos T₃ (R50F50) y T₄ (R50F100), y el segundo para monitorear la humedad en los tratamientos T₁ (R100F100) y T₂ (R100F50). Para la instalación de los tensiómetros, se siguió la metodología establecida por Ortiz (2008):

Antes de la instalación de los tensiómetros, se realizaron varias aspiraciones con una bomba manual de vacío para eliminar el aire del agua y posteriormente cerrar herméticamente el tubo. Se realizó un hoyo con un tubo de PVC de ½” hasta una profundidad de 20 cm en la mitad del lateral de riego y a una distancia de 5 cm del gotero. Se introdujo el tensiómetro, se rellenó y al final se saturó para producir una compactación natural para permitir que la cápsula porosa quede en contacto con el suelo adyacente. Cada tensiómetro se conectó al computador de riego y los rangos de humedad se observaron en tiempo real a través de una laptop. Finalmente, los tensiómetros fueron cubiertos con un tubo PVC de 90”, para evitar que sufran daños (Ver Anexo 6). Los registros de datos de la humedad se midieron todos los días con una frecuencia de cinco minutos durante los últimos 22 días de evaluación del cultivo.

3.3.6.3 Monitoreo de la Fertilidad del suelo

Se instalaron succionadores en el suelo para la medición de la fertilidad. Para su instalación se siguió el mismo procedimiento utilizado en la instalación de los tensiómetros análogos, establecido por Ortiz (2008). Para la toma de datos, se extrajo la solución del suelo de cada uno de los succionadores los días lunes, miércoles y viernes utilizando una jeringuilla independiente para cada tratamiento, colocando las soluciones en frascos de 50 ml debidamente identificados. Una vez que se extrajo la solución, se generó un vacío en cada succionador con las jeringuillas para eliminar el aire y garantizar una presión suficiente para extraer agua y realizar la succión el siguiente día de medición. Las soluciones fueron llevadas a la caseta de riego, donde se procedió a medir el pH, la conductividad eléctrica, sólidos totales disponibles y los nitratos; para lo cual se utilizó el equipo HANNA HI 9811-5 con escala de medida de 0 a 14 para pH, 0 a 6000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ para conductividad eléctrica y 0 a 3000 mg l^{-1} (ppm) para TDS para la medición del pH, CE y TDS; mientras que para la medición de nitratos se utilizó el equipo LAQUATwin-NO3-11 con rango de medición de 6 a 9900 ppm (0.1 a 160 mmol l^{-1}) (ver Anexos 7 y 8).

Además, se realizaron análisis de suelo y de calidad del agua de riego para complementar la información obtenida en la presente investigación.

Toma de muestras de suelos

Para la toma muestras de suelos, se siguió la metodología establecida por la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario – AGROCALIDAD (2015):

Se ubicaron 25 sub-muestras en forma de zig – zag a lo largo del terreno y se las colocó en un balde. Esto se realizó para minimizar la variabilidad y permitir que el resultado del análisis de suelos sea representativo sobre la cantidad de nutrientes presentes en el suelo. Cuando se terminó la extracción de las sub muestras, se procedió a sacar palos, rocas, hojas o cualquier otro resto orgánico que pueda afectar el análisis. Una vez que se homogenizaron las sub muestras, se realizó el cuarteo, que consiste en expandir la muestra en un plástico limpio y dividirla en cuatro partes, para luego proceder a eliminar los dos cuartos opuestos (Ramírez, 2006). La muestra sobrante se la volvió a homogenizar para nuevamente aplicar la técnica hasta que se obtuvo 1.0 kg de muestra de suelo; la misma que se la colocó en doble funda plástica con su debida etiqueta y con los datos establecidos en el Instructivo para la toma de muestras de suelos de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario – AGROCALIDAD:

- Identificación de la muestra
- Fecha de la toma de la muestra
- Responsable de toma de la muestra
- Número de lote
- Localización: Provincia, cantón, parroquia
- Nombre del cliente propietario de la muestra, dirección y correo electrónico
- Último cultivo
- Próximo cultivo
- Tipo de fertilización
- Edad del cultivo
- Georreferenciación (Si es factible determinar)

Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos, Foliares y Aguas de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario – AGROCALIDAD, ubicada en la parroquia de Tumbaco, donde se realizaron análisis de Materia orgánica, pH, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Hierro, Manganese, Cobre y Zinc.

Se realizó un análisis de suelo antes de la siembra y cuatro análisis (uno por cada tratamiento) al finalizar la investigación (ver Anexos 9 y 10)

Toma de muestra de calidad de agua

Se tomó el procedimiento establecido en el Instructivo para la toma de muestra de aguas de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario – AGROCALIDAD (2015):

En una botella plástica vacía de agua natural se recolectó 1 litro de agua de riego con los siguientes datos:

- Identificación de la muestra
- Fecha de toma de la muestra
- Responsable de la toma de la muestra
- Localización: Provincia, cantón, parroquia
- Nombre del cliente propietario de la muestra, dirección y correo electrónico
- Punto de vertimiento
- Georreferenciación (Si es factible determinar)
- Preservante (Si la muestra contiene alguna sustancia para preservarla)

La muestra fue enviada al Laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario – AGROCALIDAD, donde se realizó un análisis de: pH, Conductividad eléctrica, Cloruros y Carbonatos (Alcalinidad) (ver Anexo 11)

3.3.6.4 Medición del Volumen de agua y de disolución de fertilizantes aplicados

La medición del volumen de agua aplicado se realizó de manera diaria mediante la observación del volumen de agua regado registrado en los medidores de volumen instalados para cada tratamiento. De igual manera, la cantidad de fertilizantes aplicados fueron medidos al finalizar el ciclo productivo del cultivo de fréjol.

3.3.6.5 Distribución de los nutrientes en la planta

Para conocer la cantidad de nutrientes presentes en el cultivo de fréjol, se realizaron análisis foliares aplicando la metodología del Instructivo para la toma de muestras foliares de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario – AGROCALIDAD (2015), la toma de muestras de plantas de fréjol para el análisis foliar se realizó de la siguiente manera:

Se tomaron alrededor de dos a tres hojas maduras de la parte superior de las plantas seleccionadas, tomando en cuenta que, para el muestreo, el cultivo no se encontraba bajo condiciones de estrés, las hojas muestreadas no presentaban daños mecánicos o por insectos, presencia de enfermedades, cubiertas con polvo o aplicaciones foliares o provenir de plantas muertas o del borde. Cada muestra fue correctamente etiquetada con los siguientes datos:

- Identificación de la muestra
- Nombre del cliente propietario de la muestra, dirección y correo electrónico
- Localización: Provincia, cantón, parroquia
- Nombre de la finca
- Fecha de muestreo
- Nombre del cultivo
- Edad de la planta (en días)
- Parte de la planta
- Georreferenciación (Si es factible determinar)

La cantidad de cada muestra fue de 200 gramos y se las envió en fundas de papel perforado al Laboratorio de Suelos, Foliares y Aguas de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario – AGROCALIDAD, donde se realizó un análisis de: Materia Orgánica, Ceniza, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Hierro, Manganeso, Cobre, Zinc.

Se realizaron análisis foliares de cada tratamiento. El primer análisis se lo realizó cuando el cultivo se encontraba en la fase de prefloración, mientras que el segundo análisis se lo hizo 15 días después de haber realizado el primer análisis (ver Anexo 12).

3.3.7 Manejo del Experimento

3.3.7.1 Preparación del terreno

Se realizó un arado del terreno utilizando una rastra acoplada al tractor con el objetivo de voltear y romper el suelo hasta una profundidad de 30 a 40 cm y permitir la distribución de los agregados, dejando el suelo en reposo para permitir la aireación del mismo. Ocho días después se realizó una rastra del terreno para destruir los terrones grandes que quedaron cuando se realizó el arado, de manera que al momento de la siembra exista un buen contacto entre el suelo y la semilla; y garantizar la germinación y emergencia del cultivo (ver Anexo 13).

3.3.7.2 Siembra

La siembra se realizó en forma manual y se colocó una semilla a una profundidad de 2 a 3 cm, con una separación de 0.25 m entre plantas y 0.40 m entre hileras. La separación entre laterales de riego fue de 0.80 m y cada uno regó dos hileras de cultivo. La densidad total de plantas del proyecto fue de 12 800 plantas (100 000 plantas/ha) (ver Anexo 14).

3.3.7.3 Manejo del riego

- Riego por goteo convencional

El riego se realizó de manera automatizada mediante un controlador de riego. Los tiempos de riego diarios fueron calculados de acuerdo a las necesidades diarias de agua del cultivo (mm día^{-1}) y la pluviometría del sistema de riego por goteo.

Cuadro 13. Tiempos de riego para el tratamiento 1 (R100F100) y el tratamiento 2 (R100F50)

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

- Riego por pulsos

Para el tratamiento 3 (R50F50) y el tratamiento 4 (R50F100), los tiempos de riego diarios fueron el 50 % del tiempo de riego convencional distribuido en cuatro riegos diarios como se muestra en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Tiempos de riego para el tratamiento 3 (R50F50) y tratamiento 4 (R50F100)

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

3.3.7.4 Manejo de la Fertilización

La fertilización se realizó siguiendo la metodología establecida por Ortiz (2008) quien menciona que el ajuste de la formulación de los nutrientes se realiza in situ tomando en cuenta componentes como el tipo de suelo, el cultivo, la calidad del agua de riego, el clima y el manejo. La fertilización se realizó en función del análisis de suelo y las recomendaciones de fertilización en el cultivo de fréjol. La aplicación de los fertilizantes se realizó dos veces a la semana los días lunes y jueves, mediante el uso de un inyector tipo Venturi (ver Anexo 15).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó un análisis de normalidad (Skewness/Kurtosis) de los datos obtenidos para las variables de rendimiento del cultivo y distribución de nutrientes en la planta, los cuales se presentan en el Anexo 16, mientras que para las variables humedad y fertilidad del suelo se realizó la prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) como se indica en el Anexo 17.

Para este estudio se analizaron cinco variables de tipo Monitoreo de la fertilidad del suelo, medición del volumen de agua y disolución de fertilizantes aplicados, distribución de nutrientes en la planta, así como el rendimiento del cultivo y el monitoreo de la humedad del suelo.

Cuadro 15. Resultados del ANOVA para las variables Rendimiento del cultivo y Monitoreo de la humedad del suelo

F.V.	Rendimiento del cultivo		Humedad del suelo
	Gl	Cuadrados Medios	
Total	15		
Repeticiones	3	0.06	0.02
Métodos de aplicación del agua	1	2.86*	64*
Error A	3	0.04	0.04
Niveles de fertilización	1	0.13 ^{ns}	0 ^{ns}
Métodos de aplicación del agua*Niveles de fertilización	1	0.12 ^{ns}	0.06 ^{ns}
Error B	6	0.04	0.03
Promedio		2.86	10.94
CV % A		6.67	1.87
CV % B		6.89	1.62

* = Diferencia estadística significativa

ns = Diferencia no significativa

Cuadro 16. Resultados del ANOVA para las variables Monitoreo de la Fertilidad del suelo y Distribución de nutrientes en la planta

F.V.	Fertilidad del Suelo				Distribución de Nutrientes en la planta									
	pH	Conductividad eléctrica	Nitratos	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Hierro	Manganeso	Cobre	Zinc		
GI	Cuadrados Medios													
Total	11													
Repeticiones	2	0.01	1.61×10 ⁻³	14.25	0.08	1.43×10 ⁻³	0.01 [*]	0.05	7.58×10 ⁻⁴	12213.01	37.09 [*]	0.77 [*]	5.56 [*]	
Métodos de aplicación del agua	1	0.02 ^{ns}	0.07 [*]	533.33 [*]	7.5×10 ^{-3ns}	2.1×10 ^{-4ns}	0.02 [*]	0.04 ^{ns}	1.41×10 ^{-3ns}	191.36 ^{ns}	57.03 [*]	1.3×10 ^{-4ns}	0.02 ^{ns}	
Error A	3	0.04	5.06×10 ⁻⁴	35.06	0.07	3.39×10 ⁻⁴	4.17×10 ⁻⁴	0.01	2.06×10 ⁻⁴	2565.35	1.51	0.06	0.03	
Niveles de fertilización	1	0.07 ^{ns}	1.87×10 ^{-3ns}	56.33 ^{ns}	0.02 ^{ns}	4.1×10 ^{-4ns}	0.27 [*]	7.5×10 ^{-5ns}	1.01×10 ^{-3ns}	283.82 ^{ns}	0.39 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.16 ^{ns}	
Métodos de aplicación del agua*Niveles de fertilización	1	0.01 ^{ns}	7.01×10 ^{-3*}	481.33 ^{ns}	0.01 ^{ns}	2.41×10 ^{-3*}	0.12 [*]	7.5×10 ^{-5ns}	1.01×10 ^{-3ns}	2629.07 ^{ns}	34.61 [*]	0.67 ^{ns}	0.36 ^{ns}	
Error B	3	0.05	4.22×10 ⁻⁴	54.78	7.62×10 ⁻³	1.11×10 ⁻⁴	7.96×10 ⁻³	6.73×10 ⁻³	3.78×10 ⁻⁴	1242.43	2.3	0.09	0.97	
Promedio		8.59	0.79	30.50	3.97	0.46	3.01	1.38	0.42	229.85	33.65	9.98	26.53	
CV% A		2.28	2.83	19.41	6.78	3.98	0.68	7.42	3.42	22.04	3.65	2.43	0.68	
CV% B		2.62	2.59	24.27	2.2	2.28	2.96	5.96	4.64	15.34	4.51	2.94	3.71	

* = Diferencia estadística significativa

ns = Diferencia no significativa

Cuadro 17. Prueba de Scheffé al 5 % y promedios realizado al factor métodos de aplicación del agua, niveles de fertilización y su interacción (Tratamientos).

Descripción	Rendimiento del cultivo *	Humedad del suelo **
Métodos de aplicación del agua		
R100 (Riego por goteo convencional - 100 % agua)	2.44 b	13.05 a
R50 (Riego por pulsos - 50 % agua)	3.28 a	8.92 b
Niveles de fertilización		
F100 (Aplicación convencional de fertilizantes - 100 % fertilizante)	2.95	11
F50 (Aplicación del 50 % de la dosis de F100 - 50 % fertilizante)	2.77	10.88
Interacción (Métodos de aplicación del agua*Niveles de fertilización)		
R100F100	2.44	13
R100F50	2.44	12.88
R50F50	3.11	8.88
R50F100	3.46	9

Diferentes letras en una columna significan diferencia estadística

* : tn ha⁻¹

** : centibares

Cuadro 18. Prueba de Scheffé al 5 % y promedios realizado al factor métodos de aplicación del agua, niveles de fertilización y su interacción (tratamientos)

Descripción	Fertilidad del suelo expresado en dS m ⁻¹ , ppm			Distribución de Nutrientes en la planta expresado en %, mg kg ⁻¹								
	pH	Conductividad eléctrica *	Nitratos **	Nitrógeno ⁰	Fósforo ⁰	Potasio ⁰	Calcio ⁰	Magnesio ⁰	Hierro ⁰⁰	Manganeso ⁰⁰	Cobre ⁰⁰	Zinc ⁰⁰
Métodos de aplicación del agua												
R100 (Riego por goteo)	8.63	0.72 b	24 b	3.95	0.47	3.06 a	1.32	0.41	233.84	31.47 a	9.99	26.48
R50 (Riego por pulsos)	8.56	0.87 a	37 a	4	0.46	2.97 a	1.43	0.43	225.85	35.83 a	9.98	26.57
Niveles de fertilización												
F100 (Aplicación convencional de fertilizantes)	8.62	0.77	37	4.01	0.48	2.92 a	1.37	0.43	215.04	35.35	10.22	26.7
F50 (Aplicación del 50 % de la dosis de F100)	8.56	0.82	24	3.94	0.45	3.11 a	1.39	0.41	244.65	31.95	9.75	26.35
Interacción (Métodos de aplicación del agua*Niveles de fertilización)												
R100F100	8.58	0.71 d	28	4.02	0.49 a	3.11 ab	1.32	0.43	223.90	32.99 a	10.37	26.54
R100F50	6.68	0.73 c	20	3.88	0.45 a	3.01 abc	1.32	0.39	243.78	29.95 a	9.60	26.43
R50F50	8.45	0.91 a	29	4.01	0.45 a	3.22 a	1.44	0.43	245.52	33.95 a	9.89	26.28
R50F100	8.66	0.83 ab	46	3.99	0.47 a	2.72 d	1.43	0.43	206.19	37.71 a	10.07	26.86

Diferentes letras en una columna significan diferencia estadística

* : dS m⁻¹

** : ppm

⁰ : %

⁰⁰ : mg kg⁻¹

4.1 Rendimiento del cultivo

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza para el rendimiento del cultivo (Cuadro 15) mostraron diferencia significativa para el factor de estudio métodos de aplicación del agua. El valor promedio del rendimiento del cultivo fue de 2.86 tn ha^{-1} con un coeficiente de variación de 6.67 % para el error tipo A y 6.89 % para el error tipo B. Al realizar la prueba de significancia Scheffé al 5 % para el factor de estudio métodos de aplicación del agua, se determinaron dos rangos de significancia para el rendimiento del cultivo como se indica en el Cuadro 17 y en la Figura 3, en la que se puede observar que el riego por pulsos obtuvo el mayor rendimiento del cultivo de fréjol con un promedio de 3.28 tn ha^{-1} , superando al rendimiento obtenido mediante el riego por goteo convencional que fue de 2.44 tn ha^{-1} en promedio, observando así la influencia y eficiencia de los pulsos sobre esta variable. Antúñez et al., (2015), en su investigación de riego por pulsos en maíz grano, determinaron que el uso de la fertirrigación a través del riego por pulsos permite incrementar el rendimiento, debido a que se obtiene una mejor asimilación de los nutrientes por parte del cultivo, así como la optimización del uso del nitrógeno durante el ciclo productivo. El hecho de que el riego por pulsos produzca mayores rendimientos se debe al régimen de humedad con el que se maneja y también a la fertirrigación, pues de acuerdo a Pizarro (1996) esto permite mantener un nivel alto y constante de humedad en el suelo y facilita la absorción de nutrientes por parte de las raíces; además, el riego por pulsos favorece la oxigenación de la solución del suelo, incrementa la masa radicular, aumenta su eficiencia en la absorción de agua y los nutrientes, los cuales también se ven favorecidos debido a que se encuentran distribuidos de manera más uniforme en el bulbo húmedo (Ortiz, 2008), lo cual permite al cultivo desarrollarse en un ambiente favorable e incrementar el rendimiento.

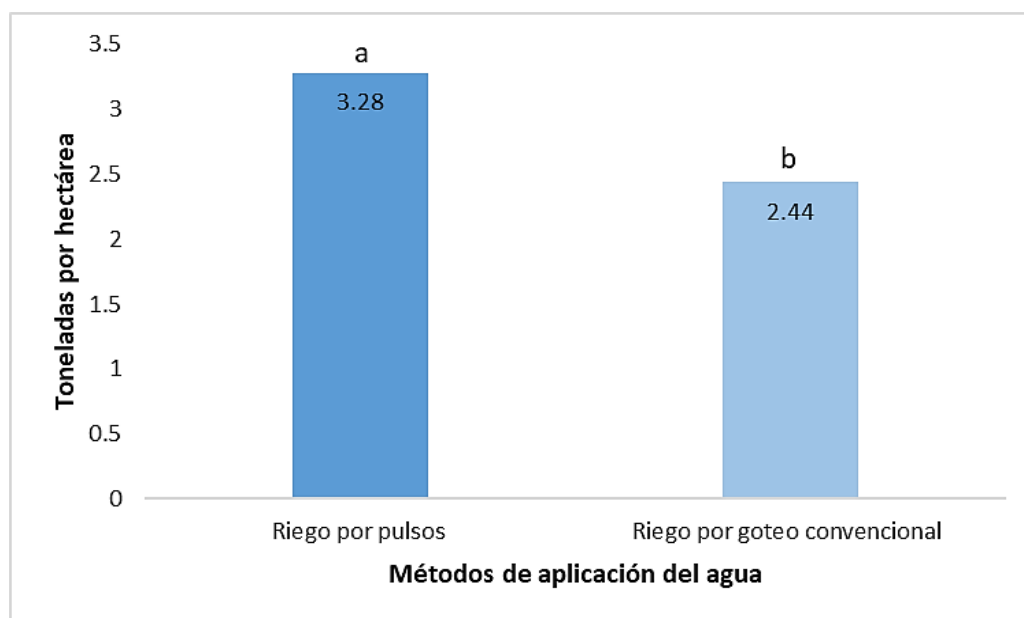


Figura 3. Valores promedio del Rendimiento del cultivo de fréjol para el factor de estudio métodos de aplicación del agua

La diferencia significativa en el factor métodos de aplicación del agua refleja el efecto que tienen los pulsos sobre el rendimiento del cultivo de fréjol, por lo que al momento en el que se incrementa el número de pulsos, el rendimiento final del cultivo también aumenta como se puede observar en una investigación desarrollada en la Universidad de Loja por Armijos & Ordoñez (2011), en donde probaron el efecto del riego por pulsos en surcos sobre el rendimiento del cultivo de fréjol fresco obteniendo un rendimiento de 5.14 tn ha⁻¹ con la aplicación de un pulso, 5.86 tn ha⁻¹ con tres pulsos y 6.5 tn ha⁻¹ con seis pulsos, comprobando así la eficiencia de ésta técnica; sin embargo es importante mencionar que el manejo agronómico del cultivo también influye en el rendimiento de los cultivos. El rendimiento de cada tratamiento se muestra en la Figura 12.

4.2 Monitoreo de la Humedad del Suelo

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza del monitoreo de la humedad del suelo (Cuadro 15) mostraron diferencia significativa para el factor de estudio métodos de aplicación del agua. El valor promedio de la humedad del suelo fue de 10.94 centibares con un coeficiente de variación de 1.87 % para el error tipo A y 1.62 % para el error tipo B. Al realizar la prueba de significancia Scheffé al 5 % para el factor de estudio métodos de aplicación del agua se determinaron dos rangos de significancia para la humedad del suelo como se indica en el Cuadro 17 y en la Figura 4, donde se puede observar que en los Tratamientos 1 y 2, los cuales fueron manejados con el riego por goteo convencional, el promedio de humedad en el que se mantuvieron durante el período de evaluación fue de 13.05 centibares; esto quiere decir que estos tratamientos mantuvieron una tensión de humedad mayor lo que se traduce en un menor contenido de humedad, mientras que los tratamientos 3 y 4 tuvieron un promedio de humedad de 8.92 centibares, y la capacidad de retención de agua por parte del suelo fue mayor. La humedad del suelo es una variable que últimamente se la ha dejado a segundo plano durante el proceso productivo, sin tener en cuenta que el manejo adecuado de la misma es vital para mejorar la sostenibilidad y la productividad dentro de la Agricultura (Shaxson & Barber, 2005).

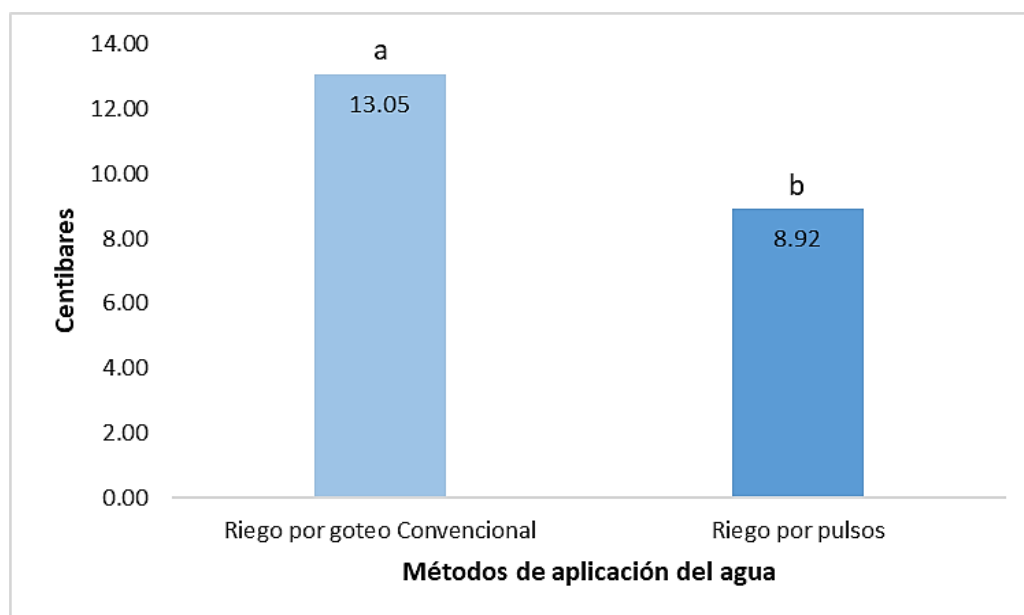


Figura 4. Valores promedio de la Humedad del suelo para el factor de estudio métodos de aplicación del agua

En la Figura 5 se observa el comportamiento de la humedad del suelo cuando se utiliza el riego por pulsos, correspondiendo con lo reportado por Ortiz (2008) donde menciona que esta forma de aplicación del agua se ajusta al ritmo de transpiración de las plantas y reduce el volumen de suelo humedecido, concentra las raíces en la parte superficial del suelo y mejora la relación oxígeno – agua en la solución del suelo. Adicionalmente, en el segundo ciclo de la presente investigación, se ha demostrado que, en el riego por pulsos, la cantidad de oxígeno presente en la solución del suelo es un 16 % mayor al riego por goteo convencional. Se observa también que la baja tensión de humedad que produce el riego por pulsos en el suelo es ocasionada por un mayor número de riegos que se producen durante el día en comparación con el manejo convencional, permitiendo que exista una mayor cantidad de agua disponible para las plantas.

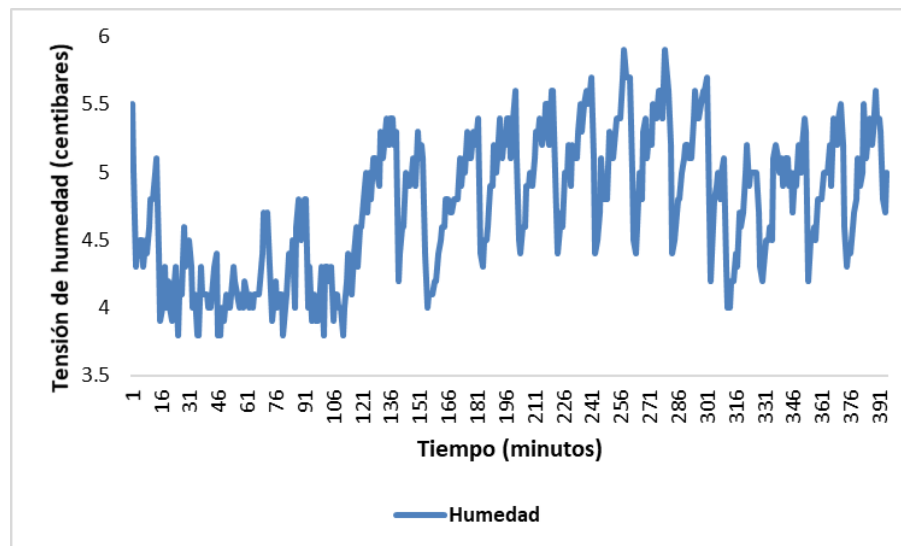


Figura 5. Comportamiento de la humedad del suelo mediante el riego por pulsos

En la Figura 6 se observa que el riego convencional maneja niveles de tensión mucho más altos, lo que significa que existe una menor cantidad de riegos y por lo tanto una menor cantidad de agua disponible en el suelo para que sea utilizada por las plantas. Estos datos concuerdan con una investigación realizada por Herrera, Cid, & Llanos (1986) donde se establecieron relaciones tensión – humedad en suelos de Cuba y se llegó a la conclusión de que las curvas de tensión – humedad son muy importantes para conocer la disponibilidad de agua para las plantas, tomando en cuenta que los rangos de tensión de humedad del suelo sobre los cuales las plantas pueden satisfacer sus necesidades hídricas son muy limitados.

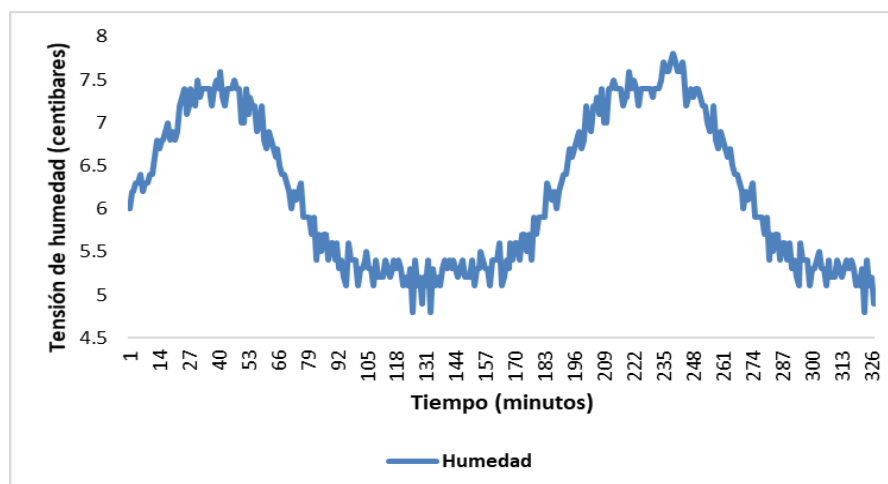


Figura 6. Comportamiento de la humedad del suelo mediante el riego por goteo convencional

4.3 Monitoreo de la Fertilidad del Suelo

4.3.1 pH de la solución del suelo

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza para el pH de la solución del suelo (Cuadro 16) no mostraron diferencia significativa para factores de estudio y los tratamientos, por ello se muestra en el Cuadro 18 que los valores promedio de pH fueron similares en los tratamientos, con el tratamiento 3 (R50F50) el que obtuvo el menor promedio de pH con 8.45 y el tratamiento 2 (R100F50) el que obtuvo el mayor valor de pH con 8.68. La razón por la cual no se obtuvo una diferencia significativa es que el pH de la solución del suelo es una variable química que depende de la concentración de iones Hidrógeno (H^+) y de iones Hidroxilo (OH^-) que se encuentren en la solución del suelo, siendo los elementos que se encargan de dar la característica de ácido o básico a la solución como lo mencionado por Pérez (1981), quien también explica que el pH de la solución del suelo se ve influenciado por varios factores tales como la naturaleza de la roca madre, el contenido de humedad que puede ocasionar el lavado los iones hidroxilos y generar acidez y la cantidad de sales presentes en el suelo debido a la fertilización. El valor promedio del pH de la solución del suelo fue de 8.59 con un coeficiente de variación de 2.28 % para el error tipo A y 2.62 % para el error tipo B. En el Anexo 18 se muestra el comportamiento del pH de la solución del suelo de cada uno de los cuatro tratamientos durante el desarrollo de la investigación, donde se puede observar que, al inicio del proceso de evaluación, el suelo tenía valores de pH de 9.6, 9.8, 9.7 y 9.8 para los Tratamientos 1, 2, 3 y 4, respectivamente; lo que muestra un estado de alcalinidad en el suelo. Esto se explica mediante un reporte realizado por Jaramillo (2002), quien menciona que la alta cantidad de carbonatos presentes en el agua de riego y la acumulación de cationes como el sodio intercambiable (Na^+) en el suelo que al entrar en contacto con el agua producen iones hidroxilo, ocasiona que el pH de la solución del suelo sea alcalino y dado que la zona donde se realizó la presente investigación tiene estas características, constituyen la razón principal de este comportamiento. Además, estos datos también se pueden explicar con la investigación desarrollada por González et al., (2007) donde se encontró que, el hecho de que el suelo sea un ente muy variable, hace que los valores de pH varíen de acuerdo a la posición y varios factores que actúan dentro del suelo, afectando su capacidad para distribuir agua y aire, y provocando problemas nutricionales en el cultivo (García, 1995). Debido a esto, se realizó un manejo del pH con ácido fosfórico con el objetivo de disminuir los valores de pH de manera que se garantice la disponibilidad de nutrientes para el cultivo. Al final del período de evaluación que fue de 13 semanas, los valores de pH de los Tratamientos 1, 2, 3 y 4 fueron de 8.1, 8, 7.9 y 8.2, respectivamente, lo que

permitió que el cultivo se desarrolle en condiciones mucho más favorables durante su desarrollo fenológico.

4.3.2 Conductividad eléctrica de la solución del suelo

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza para la conductividad eléctrica de la solución del suelo (Cuadro 16) presentaron diferencia significativa para el factor de estudio métodos de aplicación del agua y tratamientos. El valor promedio de la conductividad eléctrica de la solución del suelo fue de 0.79 dS m^{-1} con un coeficiente de variación de 2.83 % para el error tipo A y 2.59 % para el error tipo B. Al realizar la prueba de significancia Scheffé al 5 % para el factor de estudio métodos de aplicación del agua, se determinaron dos rangos de significancia de la conductividad eléctrica de la solución del suelo y cuatro rangos de significancia para los tratamientos como se indica en el Cuadro 18 y en la Figura 7 y Figura 8. En la Figura 7 se puede observar que los Tratamientos 1 y 2, los cuales fueron regados mediante el Riego por goteo convencional, tuvieron un valor promedio de conductividad eléctrica de 0.72 dS m^{-1} , mientras que el riego por pulsos del tratamiento 3 (R50F50) y el tratamiento 4 (R50F100) tuvieron un valor promedio de 0.87 dS m^{-1} . Estos resultados se encuentran dentro de lo reportado por Richards (1962), quien además menciona que un suelo es considerado salino cuando su CE es mayor a 4 dS m^{-1} , por ello los valores obtenidos de CE tanto en el riego por pulsos como el riego por goteo convencional muestran que no hubo salinidad durante el desarrollo del cultivo, pues los valores de CE de la solución fueron menores a 1 dS m^{-1} , permitiendo manejar adecuadamente la fertilización y prevenir problemas en el cultivo debido a la toxicidad (Barbaro, Karlanian, & Mata, 2015).

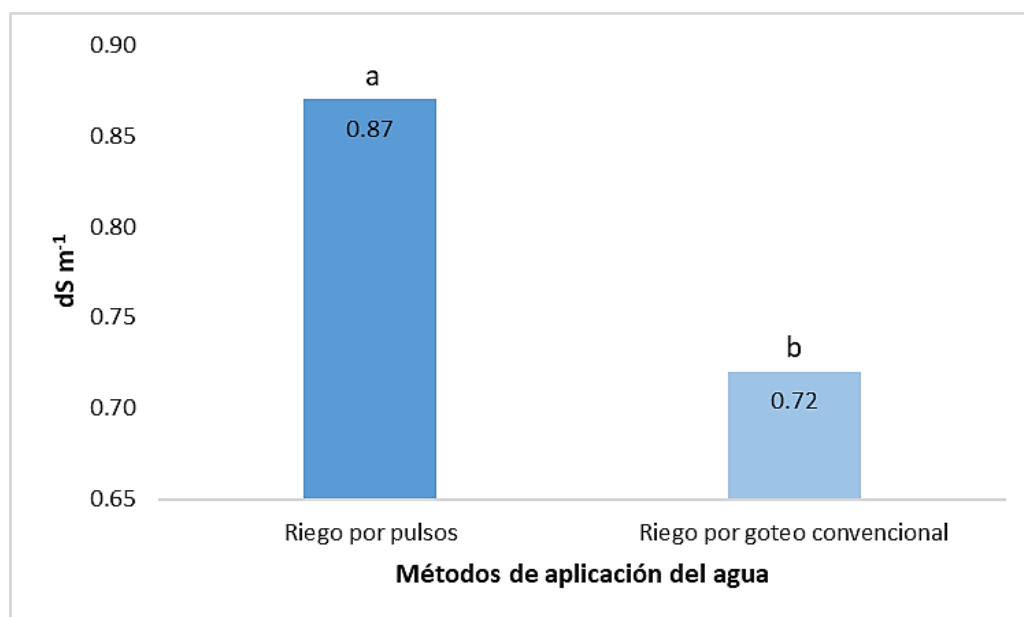


Figura 7. Valores promedio de Conductividad eléctrica de la solución del suelo para el factor de estudio métodos de aplicación del agua

Los resultados muestran que el riego por pulsos, al tener un valor más alto de CE, demuestra que existe una mayor cantidad de sales disueltas disponibles en el suelo para las raíces en comparación con el riego por goteo convencional. El tratamiento 3 (R50F50) y el tratamiento 4 (R50F100) obtuvieron los mejores valores promedio de CE en la investigación con 0.83 dS m^{-1} y 0.91 dS m^{-1} respectivamente. Estos resultados se encuentran dentro del rango óptimo para el desarrollo del fréjol, principalmente

para la germinación ya que en un estudio realizado por Chulim et al., (2014) se determinó que la germinación del fréjol se ve afectada cuando los valores de CE son mayores a 1 dS m^{-1} .

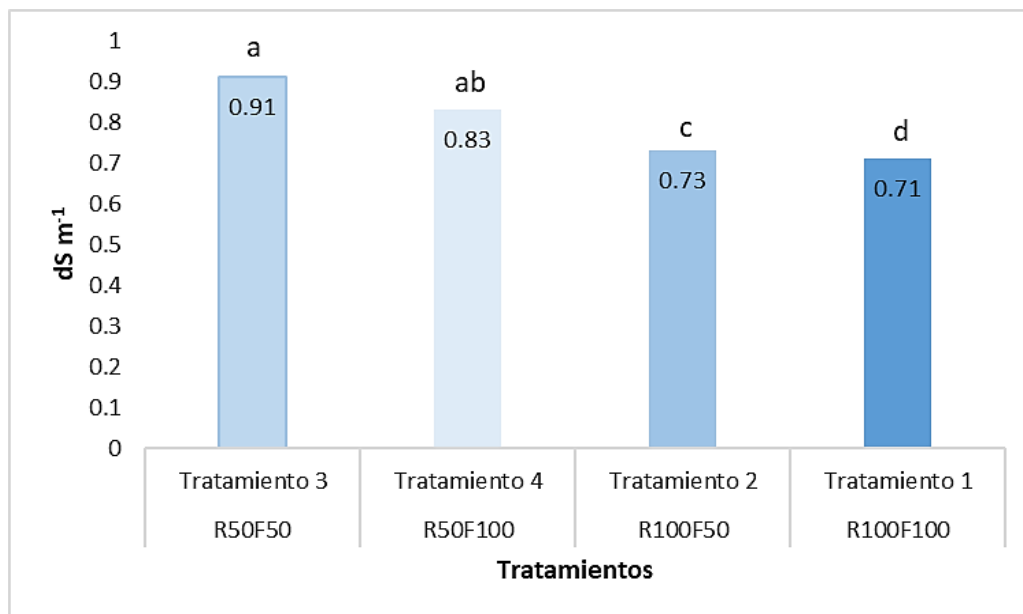


Figura 8. Valores promedio de conductividad eléctrica de la solución del suelo

En la Figura 9 se presenta el comportamiento de la Conductividad eléctrica de la solución del suelo de cada tratamiento durante el desarrollo de la investigación. El tratamiento 1 (R100F100) comenzó con una CE de 1.31 dS m^{-1} , el tratamiento 2 (R100F50) con 0.91 dS m^{-1} , el tratamiento 3 (R50F50) con 0.97 dS m^{-1} y el tratamiento 4 (R50F100) con 0.70 dS m^{-1} y se puede observar que a medida que avanza el desarrollo del cultivo, la CE de la solución varía, es decir que puede aumentar o disminuir, por ejemplo, en una publicación de Torres et al., (2001) se explica que los cambios en los valores de la CE de la solución ocurren debido al tipo de suelo, el cultivo, la calidad de agua de riego y el tipo de fertilizante que se utilice, por ello se justifica la importancia de monitorear constantemente el pH y la CE de la solución para garantizar la adecuada nutrición de las plantas. Además, la CE influye sobre el rendimiento pero varía de acuerdo al cultivo, como se observa en un estudio realizado por Maas (1985), en el cual la producción del cultivo de tomate riñón se vio afectada cuando en el suelo existieron valores de CE de 2.5 dS m^{-1} , la remolacha azucarera ha demostrado tolerar valores de CE de 7 dS m^{-1} en su fase de crecimiento vegetativo, lo que significa que las condiciones climáticas, el tipo de suelo y el tipo de cultivo son los principales factores que influyen en la tolerancia de los cultivos a condiciones de salinidad.

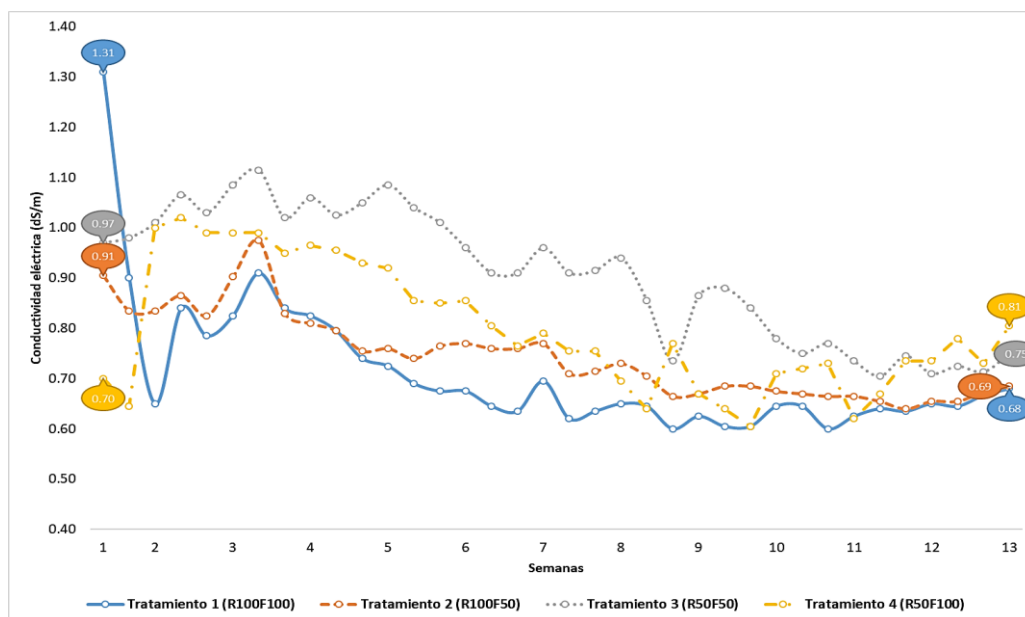


Figura 9. Comportamiento de la conductividad eléctrica de la solución del suelo

4.3.3 Nitratos en la solución del suelo

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza para los nitratos en la solución del suelo (Cuadro 16) presentan diferencia significativa para el factor de estudio métodos de aplicación del agua. El valor promedio de los nitratos de la solución del suelo fue de 30.5 ppm con un coeficiente de variación de 19.41 % para el error tipo A y 24.27 % para el error tipo B. Al realizar la prueba de significancia Scheffé al 5 % para el factor de estudio métodos de aplicación del agua, se determinó dos rangos de significancia para los nitratos en la solución del suelo como se indica en el Cuadro 18 y en la Figura 10, donde se puede observar que el tratamiento 1 (R100F100) y el tratamiento 2 (R100F50), los cuales fueron regados mediante Riego por goteo convencional, tuvieron un valor promedio de nitratos de 24 ppm, mientras que el riego por pulsos del tratamiento 3 (R50F50) y el tratamiento 4 (R50F100) tuvieron un valor promedio de 37 ppm. Este dato supera los niveles de nitratos obtenidos por Acevedo et al., (2011) quienes evaluaron la concentración de nitrógeno en el suelo por efecto del manejo convencional y orgánico y obtuvieron una concentración de 29 ppm de NO_3 después de 8 años de cultivo, debido a la acumulación anual de nitrógeno. El movimiento de los nitratos está directamente relacionado con el manejo del agua; es por esta razón que el hecho de que en el riego por pulsos se obtuvo el mayor valor de nitratos, demuestra la eficiencia que tiene esta metodología de aplicación del agua ya que asegura la absorción de nitratos por parte de las raíces y evita pérdidas por lixiviación debido a las fuerzas de cohesión que permiten que los nitratos se distribuyan conjuntamente con el agua de manera horizontal en lugar de una forma vertical a través de todo el perfil humedecido como lo reporta Ortiz (2008). A diferencia del riego por pulsos, el riego por goteo convencional aplica una mayor cantidad de agua, provocando que exista un mayor lavado de los nitratos, al ser lixiviados hacia los horizontes más profundos del suelo (Perdomo & Barbazán, 2002). El hecho de que los nutrientes se encuentren en mejor disponibilidad en el riego por pulsos, hace que la eficiencia del uso del agua sea mayor, existiendo un mayor desarrollo vegetal, promoviendo una mayor cobertura del suelo y por lo tanto reduciendo la evaporación, siendo la tasa de carbono fijado por unidad de agua disponible mayor (Caviglia, Sadras, & Andrade, 2004).

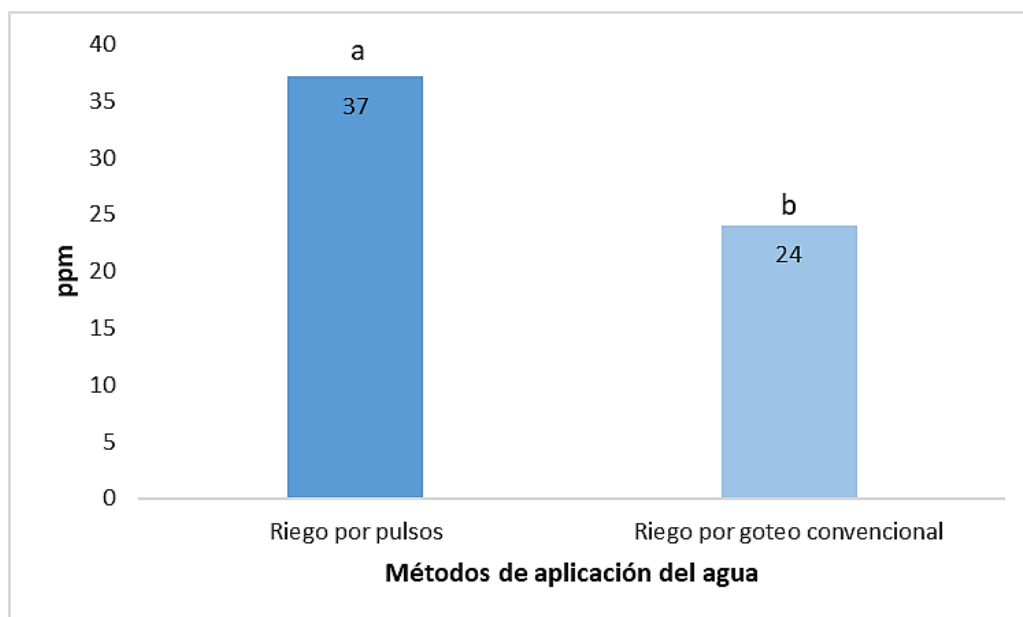


Figura 10. Valores promedio de nitratos de la solución del suelo

En la Figura 11 se presenta la variación de los nitratos en la solución del suelo de cada uno de los tratamientos, donde es posible observar que existe una mayor actividad en las primeras 6 semanas de evaluación, debido a que el Nitrógeno es un elemento fundamental para el crecimiento vegetativo y en el desarrollo foliar, además de formar parte de las moléculas de clorofila y proteínas, las cuales permiten conocer la cantidad de N en los tejidos vegetales (Guerrero, 1998). Este comportamiento es muy similar al obtenido por Aruani, Sánchez, Reeb, & Aun, (2007), quienes también estudiaron la dinámica de los nitratos en el perfil del suelo, determinando que esta variación está relacionada con el consumo por parte de la planta y la biota del suelo, así como la lixiviación por lluvias y el riego. En las plantas leguminosas, el nitrógeno se encuentra en mayor cantidad en los tejidos vegetales jóvenes en comparación con otros cultivos como las gramíneas (Perdomo & Barbazán, 2002). Los mismos autores mencionan que en una investigación no publicada desarrollada por Zamalvide et al., (1998) en donde se midió el contenido de N en cultivos de gramíneas y leguminosas, se determinó que el contenido promedio de N de las gramíneas cortadas a los 60 días después de la siembra fue de 2.5 % de N, disminuyendo a medida que los cultivos llegaban al estado de fructificación (1 % N), mientras que las leguminosas presentaron un mayor contenido de N que puede ser el 3 % N para alfalfa y 2 % para lotus, explicando así el comportamiento de los nitratos obtenida en la presente investigación.

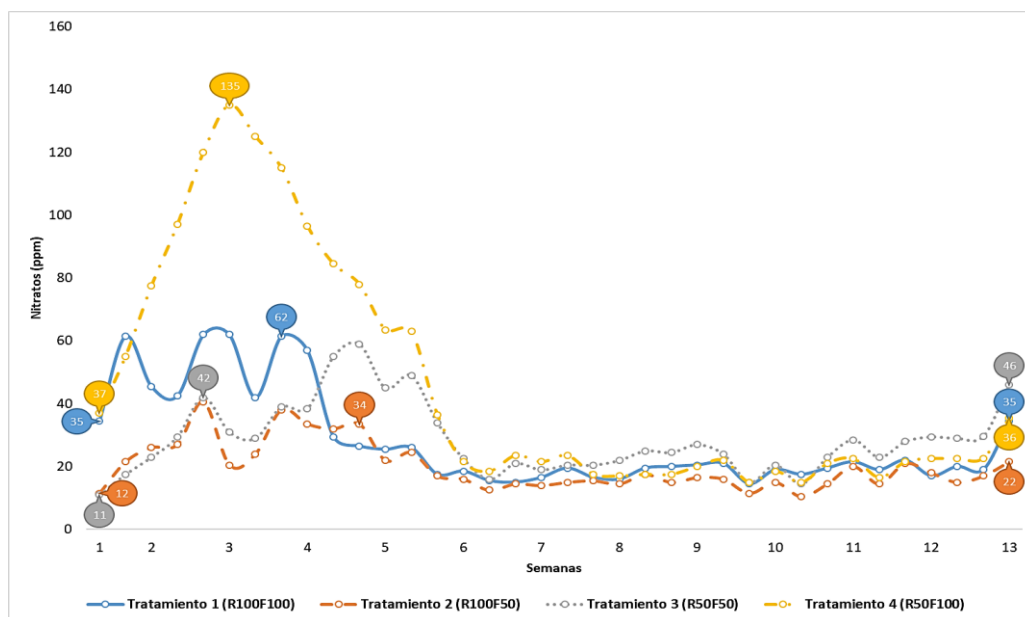


Figura 11. Variación de los nitratos de la solución del suelo

Con estos datos se observa que el constante monitoreo del pH, CE y nitratos de la solución del suelo permite conocer la tasa de absorción de los nutrientes que realizan los cultivos (Ortiz, 2008). Los gráficos de la Fertilidad del Suelo de cada tratamiento se pueden observar en el Anexo 19.

4.4 Medición del volumen de agua y de disolución de fertilizantes aplicados

4.4.1 Volumen de agua aplicado

La cantidad de agua acumulada que se aplicó en cada uno de los tratamientos durante el período de evaluación se muestra en el Cuadro 19. El tratamiento que consumió una mayor cantidad de agua fue el tratamiento 1 (R100F100) con un total de 108.2 m³, mientras que el tratamiento que consumió la menor cantidad de agua fue el tratamiento 4 (R50F100) con un total de 51.4 m³.

Cuadro 19. Volumen de agua acumulado aplicado en cada tratamiento

Tratamiento	Codificación	Volumen de agua aplicado (m ³)
1	Riego por goteo convencional (100 % agua) + Aplicación convencional de fertilizantes (100 % fertilizante)	108.2
2	Riego por goteo convencional (100 % agua) + Aplicación del 50 % de la dosis de F100 (50 % fertilizante)	103.2
3	Riego por pulsos (50 % agua) + Aplicación del 50 % de la dosis de la dosis de F100 (50 % fertilizante)	52.8
4	Riego por pulsos (50 % agua) + Aplicación convencional de fertilizantes (100 % fertilizante)	51.4

En el Cuadro 20 se presenta el volumen promedio de agua aplicado en cada tratamiento, y muestra que los tratamientos regados mediante el riego por pulsos aplicaron una menor cantidad de agua al cultivo en comparación con los tratamientos con riego por goteo convencional; por ello estos datos permiten observar claramente lo dicho por López (2016), quien manifiesta que el riego por pulsos permite optimizar el manejo del agua entre un 40 % y 50 %.

Cuadro 20. Valores promedio de la variable volumen de agua aplicado en cada tratamiento

Tratamiento	Codificación	Volumen de agua aplicado (m ³)
4	Riego por pulsos (50 % agua) + Aplicación convencional de fertilizantes (100 % fertilizante)	21.69
3	Riego por pulsos (50 % agua) + Aplicación del 50 % de la dosis de F100 (50 % fertilizante)	21.58
1	Riego por goteo convencional (100 % agua) + Aplicación convencional de fertilizantes (100 % fertilizante)	46.92
2	Riego por goteo convencional (100 % agua) + Aplicación del 50 % de la dosis de F100 (50 % fertilizante)	48.85

La eficiencia conjuntamente con la uniformidad de aplicación constituyen indicadores importantes para determinar la calidad del riego a través del uso de índices de productividad de agua (Bos et al., 2005; Lorite et al., 2004); por ello, no es suficiente solamente conocer el requerimiento hídrico del cultivo sino que es indispensable la forma en la que se aplica el agua y esto se logra con la eficiencia de la técnica de riego que se utilice (Robaina et al., 2015). El riego por pulsos es una técnica que se basa en la optimización de recursos (Romay & Morábito, 2001) y en la Figura 12 se puede ver claramente el efecto de esta técnica sobre el rendimiento del cultivo de fréjol, en donde el tratamiento 3 (R50F50) y el tratamiento 4 (R50F100) regados con el riego por pulsos alcanzaron los mejores rendimientos con 3.46 tn ha⁻¹ y 3.11 tn ha⁻¹ en promedio respectivamente utilizando una menor cantidad de agua en comparación con los tratamientos manejados con el riego por goteo convencional donde se obtuvieron valores menores de rendimiento (2.44 tn ha⁻¹) y con un mayor gasto de agua, observando de manera clara la optimización del uso del agua sobre el rendimiento final del cultivo de fréjol.

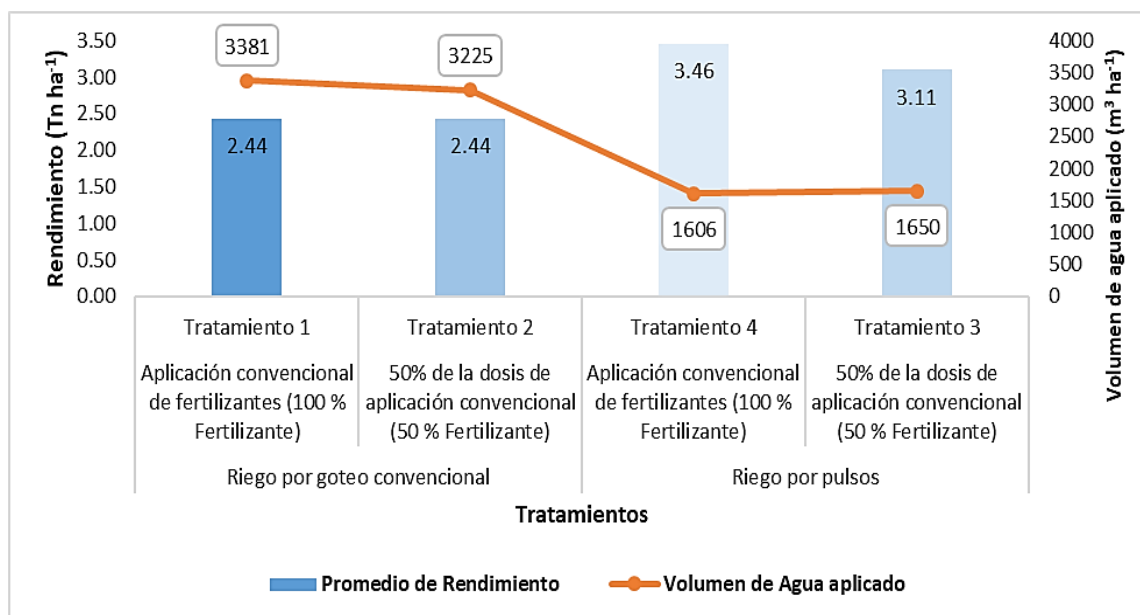


Figura 12. Rendimiento promedio del cultivo de fréjol en función del volumen total de agua aplicado

Además, se calculó la productividad del agua para conocer el rendimiento por unidad de agua consumida por el cultivo expresada en Kg m⁻³ (Molden, 1997) utilizando la fórmula (4) descrita por el mismo autor:

$$\text{Productividad del agua} = \frac{\text{Rendimiento} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{Ha}} \right)}{\text{Agua aplicada} (\text{m}^3)} \quad (4)$$

Fuente: Molden (1997)

La productividad del agua de cada tratamiento se presenta en el Cuadro 21 y es un indicador clave en el desarrollo de estrategias que permitan aumentar el uso eficiente del agua (Salazar, Rojano, & López, 2014). Se han realizado estudios para determinar la productividad agronómica del agua sobre el rendimiento del cultivo de fréjol y se determinó un valor de 0.92 kg m^{-3} (Felicita, 2013). El mismo autor menciona que usar el volumen total de agua aplicada al cultivo permite obtener un análisis más objetivo sobre el uso eficiente de este recurso; es así, que en la presente investigación la productividad del agua aplicada mediante el riego por pulsos presentó valores superiores a los obtenidos por Felicita (2013), que fueron 1.88 kg m^{-3} y 2.15 kg m^{-3} para el tratamiento 3 (R50F50) y el tratamiento 4 (R50F100) respectivamente, lo que demuestra que el riego por pulsos presenta una mayor eficiencia con respecto al riego por goteo convencional, en donde se obtuvo una productividad de 0.72 kg m^{-3} para el tratamiento 1 (R100F100) y 0.76 kg m^{-3} para el tratamiento 2 (R100F50).

Cuadro 21. Valores de rendimiento y productividad del agua del cultivo de fréjol

Tratamiento	Área neta (m^2)	Agua aplicada/tratamiento (m^3)	Rendimiento (tn ha^{-1})	Agua aplicada ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	Productividad (Kg m^{-3}) (Agua aplicada)
1	320	108.2	2.44	3381	0.72
2	320	103.2	2.44	3225	0.76
3	320	52.8	3.11	1650	1.88
4	320	51.4	3.46	1606	2.15

Sin embargo, es importante mencionar que los datos de productividad del agua de cada tratamiento se encuentran dentro de los rangos de valores de productividad agronómica del fréjol obtenidos por Felicita et al., (2014) que es entre 0.6 kg m^{-3} y 1.91 kg m^{-3} . Esto es muy importante, tomando en cuenta de que el desafío actual de la agricultura es desarrollar tecnologías eficaces y sostenibles que permitan producir una mayor cantidad de alimentos utilizando una menor cantidad de recursos (FAO, 2009), por ello, el incremento de la productividad del agua en la agricultura es una alternativa que permitirá afrontar los nuevos retos de la producción de alimentos mediante el estudio de la relación entre el agua y rendimiento (Molden et al., 2003).

4.4.2 Disolución de Fertilizantes aplicados

Los resultados de la cantidad de disolución de fertilizantes aplicados se encuentran en la Figura 13. De acuerdo a Peralta et al (2010), el fréjol requiere 200 kg ha^{-1} de $11 - 52 - 00$ a la siembra para aportar 22 y 104 kg ha^{-1} de N y P_2O_5 , o bien cuatro sacos de $18 - 46 - 00$, que equivalen a 36 y 92 kg ha^{-1} de N y P_2O_5 respectivamente. El tratamiento 1 (R100F100) y el tratamiento 4 (R50F100) recibieron una aplicación convencional de fertilizantes mientras que el tratamiento 2 (R100F50) y el tratamiento 3 (R50F50) recibieron la mitad de la dosis de los tratamientos 1 (R100F100) y 4 (R50F100) como se puede observar en la Figura 14. En una investigación realizada por Vásquez, Zetina, & Meneses (2014) quienes determinaron extracciones nutrimentales en fréjol, mencionan que dichas extracciones por parte de la planta constituyen la cantidad mínima de nutrientes requeridos que se deben aportar al cultivo por cada tonelada que se desee producir, y cuyos resultados fueron 41.5 kg ha^{-1} N, 40 kg ha^{-1} K, 14.8 kg ha^{-1} Ca y 6 kg ha^{-1} P, reflejando una menor cantidad de nitrógeno y potasio en comparación con los resultados de la presente investigación.

Sin embargo, los resultados del tratamiento 3 (R50F50) demuestran que en comparación con otras investigaciones, estos resultados reflejan la optimización en el uso de los nutrientes ya que al regar mediante el riego por pulsos no solo permite disminuir el uso de fertilizantes, sino que además favorece la acumulación de los nutrientes en la zona de las raíces, las mismas que al desarrollarse en mayor cantidad, su capacidad para absorber agua y nutrientes se incrementa lo que permite que el cultivo se desarrolle en mejores condiciones y aumente su rendimiento (Ortiz, 2008), por ejemplo, en una tesis realizada por Lata (2015) donde se determinó la curva de absorción de nutrientes NPK y Ca del fréjol con riego por goteo, se encontró que para obtener 2.90 Mg ha^{-1} (biomasa), el fréjol absorbe 221.8 kg ha^{-1} de Nitrógeno, 24 kg ha^{-1} de Fósforo, 186.5 kg ha^{-1} de Potasio, 162.8 kg ha^{-1} de Calcio y 28.5 kg ha^{-1} de Magnesio, y son valores elevados con respecto a los resultados presentados en la Figura 14, principalmente en Nitrógeno, Potasio y Calcio al igual que la FAO (2002b) que menciona que la extracción de nutrientes por parte del cultivo de fréjol una vez realizada la cosecha de la planta es de 155 kg ha^{-1} de Nitrógeno, 22 kg ha^{-1} de Fósforo y 100 kg ha^{-1} de Potasio para obtener un rendimiento de 2.4 tn ha^{-1} .

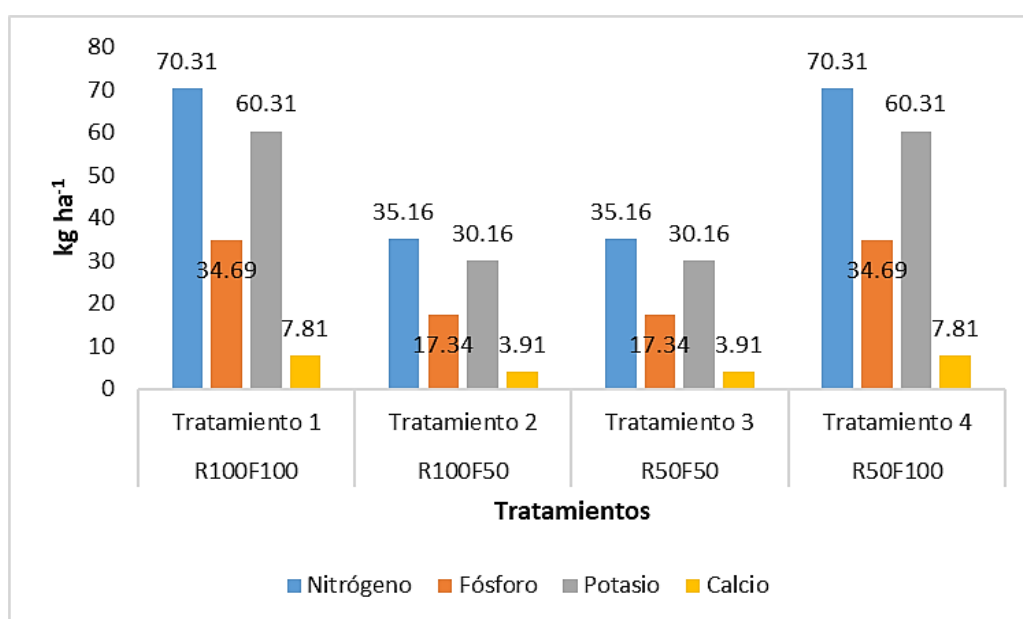


Figura 13. Cantidad de nutrientes aplicados en al cultivo de fréjol

Además, Hernández (2009) explica que para producir una tonelada de fréjol, las cantidades extraídas por parte del cultivo son en promedio 53 kg de Nitrógeno, 6 kg de Fósforo, 55 kg de Potasio, 30 kg de Calcio y 8 kg de Magnesio; por ello, todos estos resultados son importantes para poder contrastar con los datos obtenidos en la presente investigación respecto a la cantidad de nutrientes que utiliza el cultivo de fréjol, teniendo en cuenta que la absorción y distribución de los nutrientes está relacionado con la tasa de crecimiento y el manejo del cultivo.

4.5 Distribución de nutrientes en la planta

4.5.1 Nitrógeno

Los resultados del análisis de la varianza del Nitrógeno (Cuadro 16) no mostraron diferencia significativa para los factores de estudio y los tratamientos. El valor promedio del Nitrógeno en la planta fue de 3.97 % con un coeficiente de variación de 6.78 % para el error tipo A y 2.20 % para el error tipo B. Como se puede observar en el Cuadro 18, el tratamiento 1 (R100F100) presentó la mayor cantidad de N en la planta con 4.02 %, un resultado que era de esperarse puesto que recibió una fertilización convencional

en la cual se aplican altas cantidades de fertilizantes y por lo tanto existe una mayor cantidad de N en el suelo para la planta (Vera et al., 2011). Sin embargo los tratamientos que recibieron una menor cantidad de fertilizante presentaron niveles similares en cuanto a la distribución de N en la planta, especialmente el tratamiento 3 (R50F50) con 4.01 %, posiblemente debido a que en el riego por pulsos el nivel de agua en el suelo se mantiene en un nivel constante y además produce un mayor desarrollo radicular que permite a la planta utilizar de manera más eficiente el Nitrógeno, evitando perderlo por lixiviación (Yara Internacional ASA, 2010). Los resultados obtenidos en la presente investigación reflejan que el cultivo no sufrió deficiencia de nitrógeno, pues de acuerdo a Ramírez (1969), un contenido de nitrógeno menor al 3 %, es un indicador de deficiencia en las hojas superiores de fréjol cuando se inicia la floración, sin embargo el nivel óptimo que la planta de fréjol debe contener es del 5 % (Mackay & Leefe, 1962).

4.5.2 Fósforo

Los resultados del análisis de la varianza del Fósforo (Cuadro 16) presentaron diferencia significativa para la interacción entre los factores métodos de aplicación del agua y niveles de fertilización (tratamientos). El valor promedio del Fósforo en la planta fue de 0.46 % con un coeficiente de variación de 3.98 % para el error tipo A y 2.28 % para el error tipo B. Al realizar la prueba de significancia Scheffé al 5 % se determinó un rango de significancia con valores comprendidos entre 0.49 % en el tratamiento 1 hasta 0.45 % en los tratamientos 2 y 3, siendo estadísticamente similares como se indica en el Cuadro 18 y en la Figura 14. El tratamiento 1 (R100F100) obtuvo la mayor cantidad de Fósforo en las plantas con 0.49 % mientras que el tratamiento 3 (R50F50) y el tratamiento 2 (R100F50) obtuvieron los valores más bajos con 0.45 %.

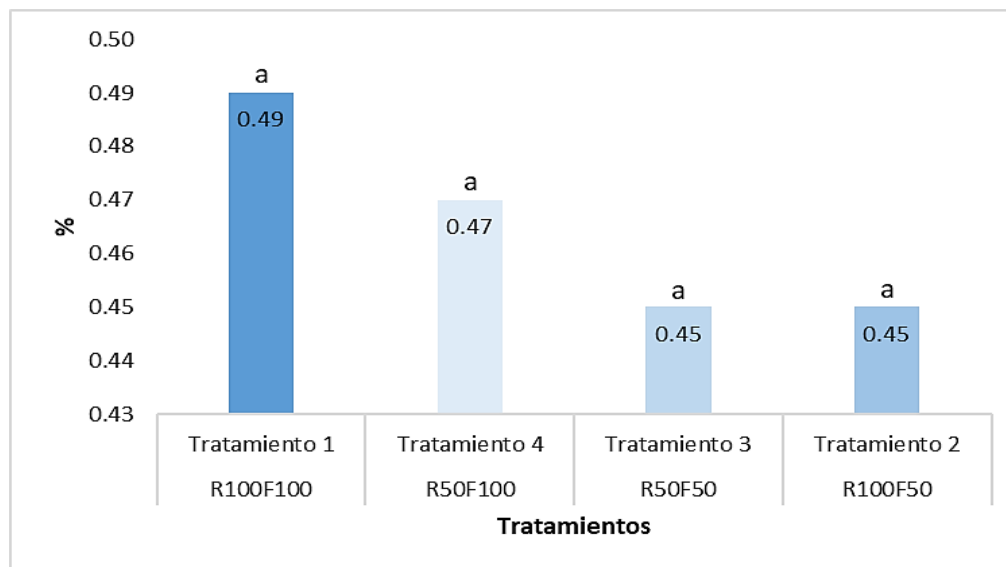


Figura 14. Valores promedio de Fósforo en la planta

Estos resultados son mayores a los obtenidos por Talavera (1988), quien aplicó diferentes niveles de fertilización y obtuvo contenidos de fósforo de hasta 0.33 % y a los resultados obtenidos por Ramírez (1984) donde se reportó un contenido de fósforo total de 0.30 % en el tejido foliar de fréjol, pero es importante mencionar que este cultivo requiere pocas cantidades de fósforo (Hernández, 2009) y esa es la razón de que la cantidad de este macronutriente en la planta sea baja, tomando en cuenta que solamente un 0.1 ppm y 0.3 ppm de este nutriente está disponible en la solución del suelo para las plantas (Pellegrini, 2017). Las raíces de las plantas absorben Fósforo principalmente en forma de H_2PO_4 en suelos ácidos y HPO_4 en suelos alcalinos, por ello, adicionalmente se realizó una correlación entre el

pH de la solución del suelo y la cantidad de fósforo presente en la planta como se muestra en el Cuadro 22 y se puede observar claramente que no existe una correlación entre el pH y el fósforo de la planta, ya que se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.14, reflejando una correlación muy débil y afirma que el pH no influyó en la absorción de este nutriente.

Cuadro 22. Correlación entre los nutrientes en la planta y el pH de la solución del suelo

	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Cobre	Manganeso	Hierro	Zinc
pH	-0.6358	0.1418	-0.7555	-0.4645	-0.5589	-0.1902	-0.0841	-0.4363	0.6366

*= Correlación Fuerte

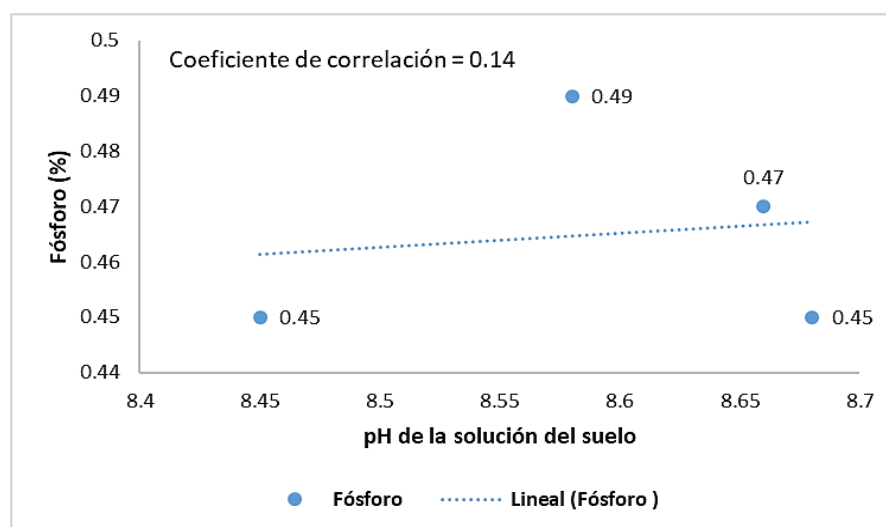


Figura 15. Correlación entre el pH de la solución del suelo y el Fósforo presente en la planta de fréjol

4.5.3 Potasio

Los resultados del análisis de la varianza del Potasio (Cuadro 16) presentaron diferencia significativa para los factores de estudio métodos de aplicación del agua y niveles de fertilización, así como la interacción entre los factores, es decir los tratamientos. Se obtuvo significancia en repeticiones posiblemente debido a la gran movilidad que tiene este macro elemento dentro de la planta (Larriva, 2003). El valor promedio del Potasio en la planta fue de 3.01 % con un coeficiente de variación de 0.68 % para el error tipo A y 2.96 % para el error tipo B. Al realizar la prueba de significancia Scheffé al 5 % se determinó cuatro rangos de significancia como se indica en el Cuadro 18 y en la Figura 16. El contenido de humedad del suelo es un factor determinante para la absorción del Potasio y de los nutrientes en general, por ello el tratamiento 3 (R50F50) obtuvo el mayor valor de Potasio en la planta con 3.22 % posiblemente debido a que el contenido de humedad proporcionado por el riego por pulsos fue mucho más eficiente al momento de facilitar el movimiento del potasio de la solución del suelo mediante difusión hasta llegar a las raíces (INPOFOS, 1997); a diferencia del tratamiento 1 (R100F00) y el tratamiento 2 (R100F50) que también obtuvieron valores altos de Potasio en la planta pero menores en comparación con el Tratamiento 3 (R50F50). Estos resultados fueron superiores a los mencionados por Epstein & Bloom (2004), quienes mencionan que el nivel mínimo de potasio en los tejidos de las plantas debe ser de 1 %, sin embargo Mackay & Leefe (1962) establecen que el contenido óptimo de potasio en el tejido foliar de las plantas debe ser de 2 % y Blasco & Pinchinat (1972) han reportado

niveles superiores de potasio, por lo que los resultados de la presente investigación se encuentran dentro de los niveles adecuados de potasio en la planta de fréjol. La razón de que el tratamiento 4 (R50F100) haya tenido el menor valor de potasio (2.72 %) puede ser que de acuerdo a INTAGRI S.C. (2017) el pH provoca que este macronutriente sea retenido en el suelo dificultando su absorción por las plantas y la variación de la capacidad de intercambio catiónico pudo haber afectado la capacidad del suelo para mantener los niveles altos de potasio en la solución del suelo cuando este elemento fue absorbido por las raíces, ocasionando una disminución en los niveles de potasio en este tratamiento.

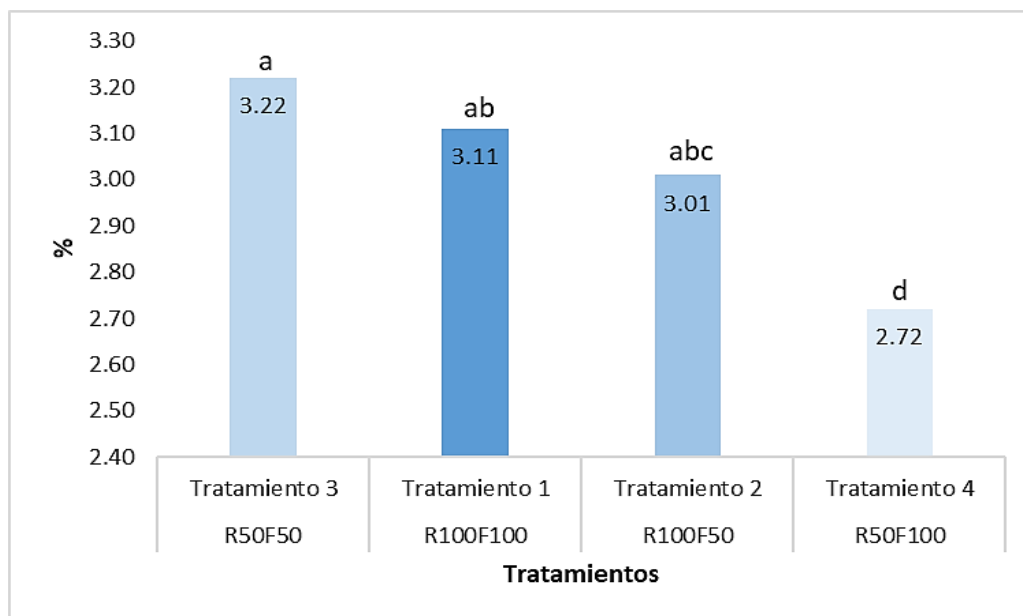


Figura 16. Valores promedio de Potasio en la planta

Al igual que en el Fósforo, se realizó una correlación entre el pH de la solución del suelo y la cantidad de Potasio presente en las plantas como se muestra en el Cuadro 22 y en la Figura 17. Se observa que el coeficiente de correlación es de -0.76 lo que significa que existe una correlación negativa significativa entre el potasio presente en las plantas y el pH de la solución del suelo. Este valor al encontrarse cerca de -1 sugiere que puede existir influencia del pH en la absorción de este nutriente, es decir que, a medida que los valores de pH se incrementan, la cantidad de potasio presente en las plantas disminuye, lo que confirma lo mencionado por INTAGRI S.C (2017) donde se establece que el pH es un factor que dificulta la absorción de este macronutriente por parte de la planta.

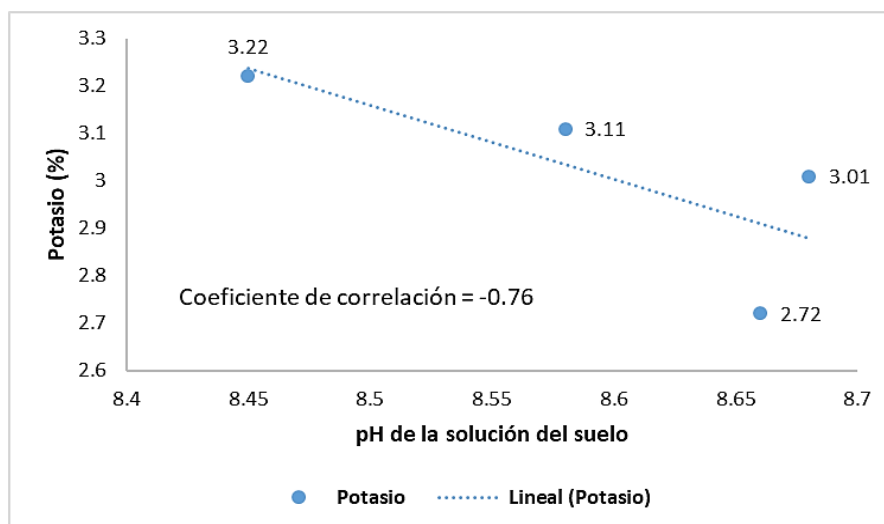


Figura 17. Correlación entre el pH de la solución del suelo y el Potasio presente en la planta

4.5.4 Calcio

Los resultados del análisis de la varianza del Calcio (Cuadro 16) no mostraron diferencia significativa para factores de estudio y la interacción entre los factores, es decir los tratamientos. El valor promedio del Calcio en la planta fue de 1.38 % con un coeficiente de variación de 7.42 % para el error tipo A y 5.96 % para el error tipo B. En el Cuadro 18 se muestran los valores promedio de Ca en cada uno de los tratamientos, siendo el tratamiento 3 (R50F50) y el tratamiento 4 (R50F100) los tratamientos que presentaron los mayores porcentajes de Ca en la planta (1.44 % y 1.43 % respectivamente) mientras que el tratamiento 1 (R100F100) y el tratamiento 2 (R100F50) presentaron el valor más bajo con 1.32 %. El hecho de que no exista diferencias significativas se debe a que el Calcio es un nutriente que por lo general se encuentra en grandes cantidades en la mayoría de los suelos (FAO, 2002), sin embargo, los resultados obtenidos se encuentran por debajo de los niveles reportados por Berríos & Bergman (1968) quienes encontraron contenidos de calcio de hasta el 6 % pero en otra investigación realizada por Abruña et al., (1974) se estableció que los niveles óptimos de calcio en la planta de fréjol deben ser de 2 %, estando de acuerdo con este último autor debido a que los resultados obtenidos en la presente investigación son cercanos a esta cantidad. Las cantidades de calcio obtenidos en cada tratamiento son considerados críticos, ya que de acuerdo al CIAT (1976) quienes muestrearon hojas maduras de fréjol, obtuvieron un valor de 1.44 %, similar al resultado obtenido en el tratamiento 3 (R50F50) y esto ocurre debido a la poca capacidad de translocación que tiene el calcio en la planta, provocando que las hojas apicales dependan de la absorción de calcio realizada por las raíces de la planta (Koontz & Foote, 1966). Además, el calcio es un nutriente considerado no lixiviable, sin embargo hay que tomar en cuenta que las concentraciones altas de Mg^{++} , Fe^{++} y en especial el K^{+} pueden disminuir la absorción de Calcio por parte de los cultivos (TETRA Technologies, 2004).

4.5.5 Magnesio

Los resultados del análisis de la varianza del Magnesio (Cuadro 16) no mostraron diferencia significativa para factores de estudio y la interacción entre los factores, es decir los tratamientos. El valor promedio del Magnesio en la planta fue de 0.42 % con un coeficiente de variación de 3.42 % para el error tipo A y 4.64 % para el error tipo B. En el Cuadro 18 se presentan los valores promedio de Magnesio en la planta, los mismos que se encuentran dentro del rango establecido por (Ortiz, 1999) quien menciona que el contenido de magnesio en fréjol se encuentra entre 0.15 % y 1 % en la materia seca de las hojas. Además, los resultados de la cantidad de magnesio en la planta de cada uno de los tratamientos fueron

superiores a los rangos reportados por el CIAT (1976), quienes explican que el rango en el cual la planta de fréjol presenta deficiencias de Magnesio es de 0.22 % a 0.3 %, lo que indica que no existió deficiencia de magnesio en las plantas durante el desarrollo de esta investigación y de acuerdo a Blasco & Pinchinat (1972) estos resultados se encuentran dentro del rango normal de magnesio en las plantas que es entre 0.35 % y 1.30 %, siendo el tratamiento 2 (R100F50) el único tratamiento que presentó la menor cantidad de magnesio con 0.39 %, en comparación con el resto de tratamientos donde se obtuvo un valor de 0.43 % en la planta.

4.5.6 Hierro

Los resultados del análisis de la varianza del Hierro (Cuadro 16) no mostraron diferencia significativa para factores de estudio y la interacción entre los factores, es decir los tratamientos. El valor promedio del Hierro en la planta fue de 229.85 mg kg⁻¹ con un coeficiente de variación de 22.04 % para el error tipo A y 15.34 % para el error tipo B. En el Cuadro 18 se muestran los valores promedio de Hierro en la planta en donde el tratamiento 3 (R50F50) obtuvo el mayor valor con 245.52 mg kg⁻¹ mientras que el tratamiento 4 (R50F100) obtuvo el menor valor con 206.19 mg kg⁻¹. El Hierro es un micro elemento insoluble en la solución del suelo cuando el pH es mayor a 5 (Meléndez & Molina, 2002), por ello el hecho de que el Tratamiento 4 (R50F100) tuvo uno de los valores más altos de pH (8.66) posiblemente influyó en la cantidad de Hierro en las plantas. Debido a esto se realizó una correlación entre el pH de la solución del suelo y la cantidad de hierro presente en las plantas como se muestra en el Cuadro 22 y en la Figura 18, donde se puede observar que el coeficiente de correlación entre el pH de la solución del suelo y la cantidad de hierro en la planta fue de - 0.43, lo que significa que existe una correlación negativa débil y por lo tanto el pH no tuvo una gran influencia en la absorción de este nutriente por parte de la planta, y fueron otros factores los que influyeron en este proceso, como por ejemplo, cuando el oxígeno en el suelo es el adecuado, se fomenta el desarrollo de quelatos de hierro (Marschner, 1986), los cuales son compuestos orgánicos de hierro solubles en el agua lo que permite que el Hierro sea absorbido por las plantas (Pizarro, 1996); siendo esta una de las posibles razones por las cuales el tratamiento 3 (R50F50) y el tratamiento 4 (R50F100) que al ser regados mediante riego por pulsos permitió que la absorción de Hierro ocurra de manera más adecuada debido a que existe una mejor relación agua – oxígeno en el suelo. Además, la calidad del agua de riego también constituye un factor con gran influencia en la disponibilidad de este nutriente, y en el CADET, el agua destinada al riego presenta una gran cantidad de bicarbonatos, afectando su disponibilidad para las plantas.

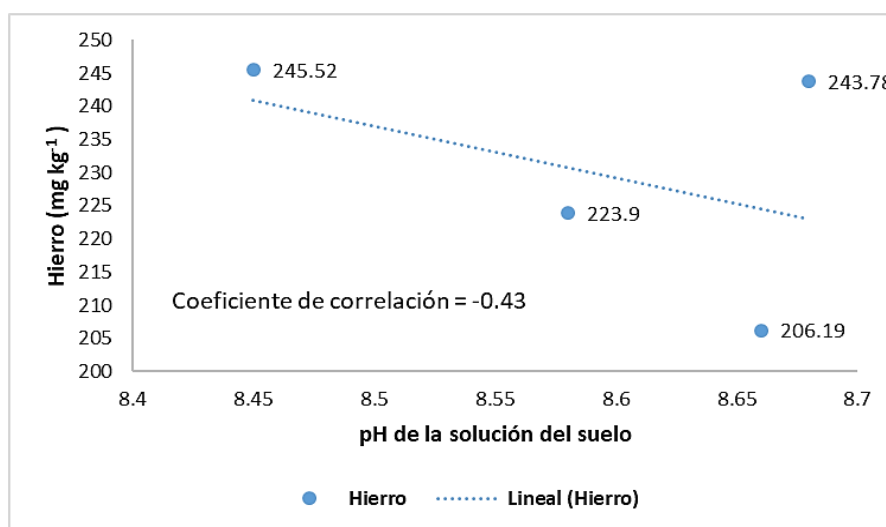


Figura 18. Correlación entre el pH de la solución del suelo y la cantidad de Hierro en la planta

Sin embargo, es importante mencionar que los resultados obtenidos en esta investigación se encuentran dentro de los niveles normales de hierro en fréjol, que de acuerdo a Berríos & Bergman (1968) y Blasco & Pinchinat (1972) oscilan entre 100 y 800 mg kg⁻¹. Lobreaux & Briat, (1991) realizaron un estudio en arveja donde determinaron niveles de 245 mg kg⁻¹ de hierro en la planta, muy similares a los obtenidos en el tratamiento 3 (R50F50), y que supera a los niveles de hierro reportados por Mark et al., (1982) quienes presentaron niveles de 139 mg kg⁻¹ en hojas de plántulas de fréjol de 25 días, y también a los resultados de un estudio realizado por Ayala-vela et al., (2008) donde determinaron el contenido de hierro y la expresión del gen ferritina, reportando valores de 89 mg kg⁻¹ de hierro en las hojas de fréjol cuando la planta se encontraba con el 50 % de floración.

4.5.7 Manganeso

Los resultados del análisis de la varianza del Manganeso (Cuadro 16) mostraron diferencia significativa para el factor de estudio métodos de aplicación del agua y la interacción entre los factores, es decir los tratamientos; además, presentó diferencia significativa en las repeticiones, posiblemente causado porque el Manganeso es el nutriente de mayor variación dentro de las plantas. El valor promedio del Manganeso en la planta fue de 33.65 mg kg⁻¹ con un coeficiente de variación de 3.65 % para el error tipo A y 4.51 % para el error tipo B. El tratamiento 4 (R50F100) obtuvo la mayor distribución de Manganeso en la planta con 37.71 mg kg⁻¹ mientras que el tratamiento 2 (R100F50) presentó el valor más bajo con 29.95 mg kg⁻¹. Al realizar la prueba de significancia Scheffé al 5 % se determinó un rango de significancia con valores comprendidos entre 37.71 mg kg⁻¹ en el tratamiento 4 hasta 29.95 mg kg⁻¹ para el tratamiento 2 siendo estadísticamente similares.

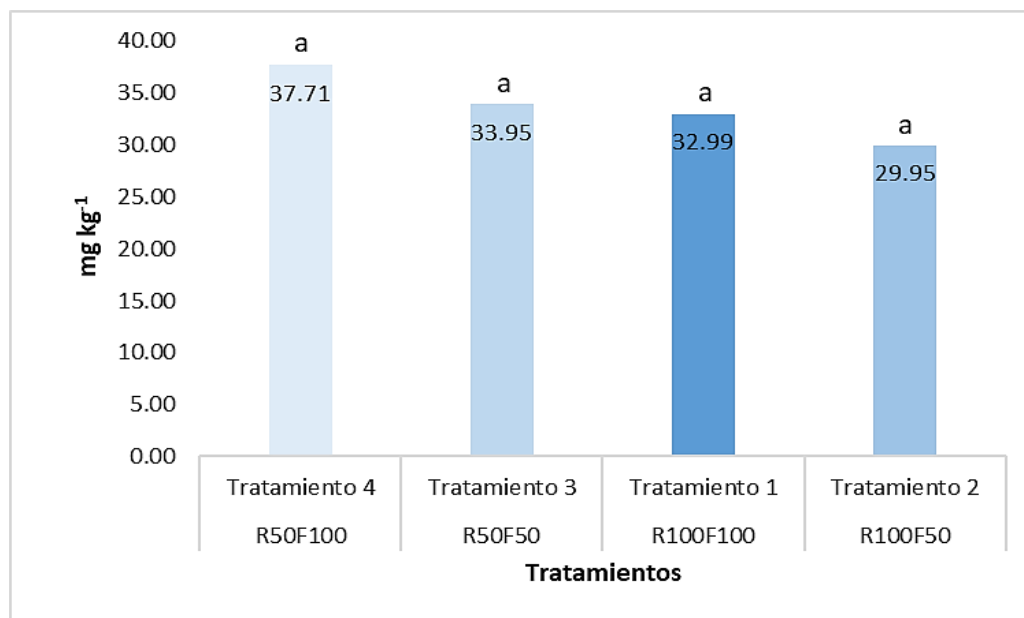


Figura 19. Valores promedio de Manganeso en la planta

Estos resultados muestran que los contenidos de Manganeso en las plantas en cada tratamiento se encuentran dentro del rango adecuado de concentración de este nutriente (20 a 10000 ppm) (Mastalerz, 1977), pero de acuerdo al CIAT (1976), cuando el contenido de manganeso se encuentra entre 1000 a 3000 ppm es un indicador de que la planta sufre de toxicidad. Mengel et al., (1987) establecen que el nivel crítico de manganeso en las plantas oscila entre 15 a 25 mg kg⁻¹ y ensayos realizados por Jones et al., (1991) determinaron que un contenido entre 15 a 49 mg kg⁻¹ de manganeso

es bajo, por lo que los resultados obtenidos en la presente investigación indican que el cultivo sufrió una deficiencia de manganeso durante su desarrollo fenológico ya que se encuentran dentro de este rango. Esto ocurrió posiblemente porque según Sierra (2017), la optimización del manejo del riego puede provocar una menor absorción de manganeso ya que al haber una mayor cantidad de aire en el suelo, este nutriente se oxida a formas menos asimilables por parte de las plantas y por ello el cultivo de la investigación presentó estos valores. Jones et al., (1991) mencionan que los rangos óptimos tanto de manganeso como de hierro debe ser entre 50 a 300 mg kg⁻¹.

4.5.8 Cobre

Los resultados obtenidos del análisis de la varianza del Cobre (Cuadro 16) no mostraron diferencia significativa para factores de estudio y la interacción entre los factores, es decir los tratamientos. Sin embargo, se presentó diferencia significativa para las repeticiones causado por la amplia variación del cobre en las plantas en donde se han encontrado concentraciones entre 1 a 50 ppm para la mayoría de la plantas (Thompson & Troeh, 1998), además, la capacidad de las diferentes especies vegetales para tolerar las concentraciones de cobre es muy variable (Marschner, 1986). El valor promedio del Cobre en la planta fue de 9.98 mg kg⁻¹ con un coeficiente de variación de 2.43 % para el error tipo A y 2.94 % para el error tipo B. En el Cuadro 18 se muestran los valores promedio de Hierro en la planta en donde el tratamiento 1 (R100F100) obtuvo el mayor valor con 10.37 mg kg⁻¹ mientras que el tratamiento 2 (R100F50) obtuvo el menor valor con 9.60 mg kg⁻¹. La razón de que no se presentó diferencia significativa puede ser debido a que la el cobre se distribuye de manera uniforme dentro de la planta. Scheffer, Stach, & Vardakis (1979) demostraron que la distribución del cobre en las hojas de cebada es relativamente uniforme para una determinada etapa del crecimiento de las plantas, por ello los resultados de cobre obtenidos en esta investigación son casi similares. Además, el hecho de que la concentración promedio de cobre en los suelos es de 13 a 24 mg kg⁻¹ (Kabata-Pendias & Pendias, 2001) también fue un factor que justifica estos resultados. Schwartz & Gálvez (1980) mencionan que el contenido de cobre en plantas normales es de 15 a 25 mg kg⁻¹ y el contenido de cobre obtenido en la presente investigación se encuentran fuera de este rango pero es importante conocer qué el cultivo de fréjol es poco sensible a la deficiencia de cobre en comparación con otros cultivos (Lucas & Knezek, 1972) y por ello el cultivo no mostró problemas de deficiencia de cobre durante el desarrollo de la investigación.

4.5.9 Zinc

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza del Zinc (Cuadro 16) no mostraron diferencia significativa para factores de estudio y la interacción entre los factores, es decir los tratamientos. Sin embargo, presentó diferencia significativa para las repeticiones causadas por la constante variación del pH en la solución del suelo de la presente investigación, lo que ocasionó variaciones en la concentración de este elemento en la solución del suelo y por lo tanto en los resultados del análisis foliar. El valor promedio del Zinc en la planta fue de 26.53 mg kg⁻¹ con un coeficiente de variación de 0.68 % para el error tipo A y 3.71 % para el error tipo B. En el Cuadro 18 se muestran los valores promedio de Zinc en la planta en donde el tratamiento 4 (R50F100) obtuvo el mayor valor con 26.86 mg kg⁻¹ mientras que el tratamiento 3 (R50F50) obtuvo el menor valor con 26.28 mg kg⁻¹. La concentración de Zinc en los tratamientos fue muy similar al igual que otros nutrientes ya analizados. Esto se debe a que el fréjol es un cultivo que tiene una alta respuesta al Zinc, y constituye un nutriente muy importante aunque se lo requiere en poca cantidad, pero tiene una gran influencia en el rendimiento del cultivo (INPOFOS, 1997), por ello, el tratamiento 4 (R50F100) tuvo un efecto positivo en su rendimiento al tener la mayor concentración de este nutriente. Además, el hecho de el Zinc es un nutriente inmóvil en el suelo, el agua cumple un papel importante para su distribución hacia las raíces, y tanto el riego por pulsos como el riego por goteo convencional brindan esa facilidad a las plantas para que puedan asimilar el Zinc

(Peñaloza, 2017). En una tesis desarrollada por Lessman (1967), se considera que niveles entre 15 a 20 mg kg⁻¹ representa un nivel crítico de zinc en el tejido foliar del fréjol pero Romero & Flores (2017) mencionan que este mismo rango es el nivel adecuado para el buen desarrollo de las plantas, al igual que Bloodnick (2018) quien también reporta que el nivel normal de zinc en las plantas es de 15 a 60 ppm; por esta razón, se concuerda con estos autores porque el zinc es un nutriente que se requiere en poca cantidad y los resultados obtenidos en la presente investigación se encuentran dentro de los rangos mencionados.

4.6 Análisis económico

La relación de Beneficio/Costo (B/C) de cada uno de los tratamientos de la presente investigación se presenta en el Figura 20, donde se observa que el tratamiento 4 (R50F100) obtuvo el mayor B/C con 2.84, seguido del tratamiento 3 (R50F50) con un B/C de 2.34, mientras que el tratamiento 2 (R100F50) y el tratamiento 1 (R100F100) obtuvieron los menores valores de B/C con 1.70 y 1.54 respectivamente.

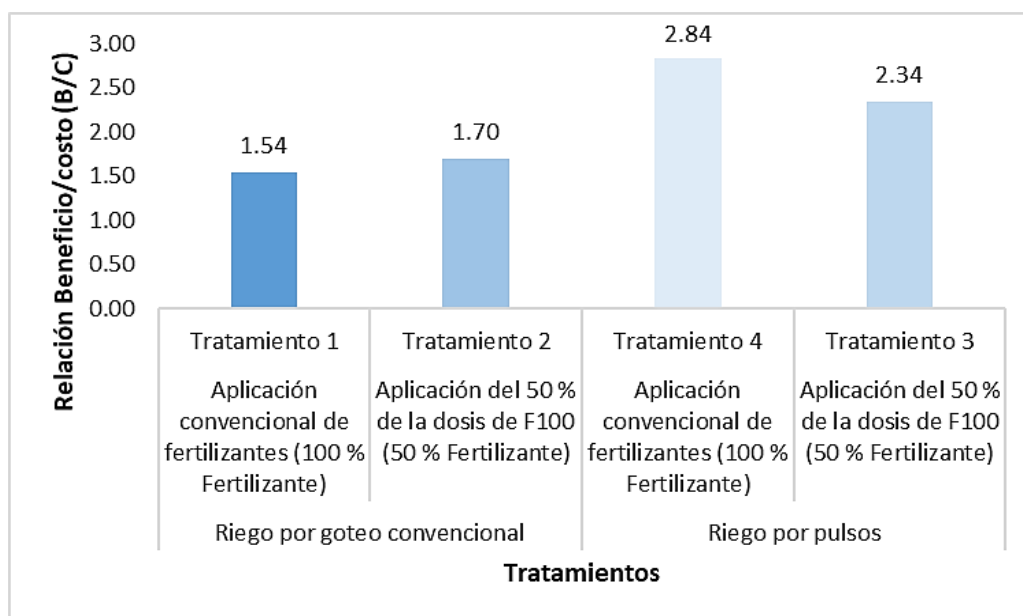


Figura 20. Relación Beneficio/costo de cada uno de los tratamientos de la investigación

5. CONCLUSIONES

El método de riego y el manejo del agua tienen una gran influencia en el rendimiento y en el desarrollo del cultivo de fréjol. El tratamiento 3 Riego por pulsos (50 % agua) + Aplicación del 50 % de la dosis de la fertilización convencional (50 % fertilizante) y el tratamiento 4 Riego por pulsos (50 % agua) + Aplicación convencional de fertilizantes (100 % fertilizante) obtuvieron los mayores rendimientos con 3.11 tn ha^{-1} y 3.46 tn ha^{-1} , lo que demuestra que el riego por pulsos brinda la posibilidad de realizar un manejo más eficiente del agua en comparación con el manejo convencional.

El manejo del agua mediante el riego por pulsos permite manejar mejores niveles de tensión de humedad en el suelo, siendo esta una variable muy importante no solo para maximizar el rendimiento del cultivo de fréjol sino también para determinar la disponibilidad de agua para las plantas, tomando en cuenta que los rangos de tensión de humedad del suelo sobre los cuales las plantas pueden satisfacer sus necesidades hídricas son muy limitados.

El monitoreo permanente de la fertilidad del suelo es un parámetro fundamental para el manejo de la fertilización, considerando que el conocimiento del pH, la conductividad eléctrica y de los nitratos en la solución del suelo permite no solo determinar el consumo de nutrientes por parte del cultivo sino también la aplicación de estrategias y decisiones que permitan mejorar el ambiente en el cual las plantas se desarrollan brindándoles la cantidad de nutrientes que realmente necesitan, disminuyendo el uso excesivo de fertilizantes y maximizando el rendimiento de los cultivos.

El tratamiento 3 Riego por pulsos (50 % agua) + Aplicación del 50 % de la dosis de la fertilización convencional y el tratamiento 4 Riego por pulsos (50 % agua) + Aplicación convencional de fertilizantes (100 % fertilizante) fueron los mejores tratamientos en cuanto al consumo de agua porque utilizaron la menor cantidad con $1650 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y $1606 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ respectivamente, lo que representa un ahorro de agua del 51.20 % (T_3) y 52.50 % (T_4) con respecto a T_1 . Esto demuestra que el manejo adecuado de este recurso mediante el riego por pulsos constituye una alternativa para producir una mayor cantidad de alimentos en base a la optimización de recursos, contribuyendo así a la Agricultura Sostenible.

El tratamiento 2 Riego por goteo convencional (100 % agua) + Aplicación convencional de fertilizantes (100 % fertilizante) y el tratamiento 3 Riego por pulsos (50 % agua) + Aplicación del 50 % de la dosis de la fertilización convencional utilizaron la menor cantidad de fertilizantes con 35.16 kg ha^{-1} de Nitrógeno, 17.34 kg ha^{-1} de Fósforo, 30.16 kg ha^{-1} de Potasio y 3.91 kg ha^{-1} de Calcio, siendo el tratamiento 3 el mejor tratamiento debido a que obtuvo una alta producción con una menor cantidad de recursos maximizando los beneficios de la explotación agrícola.

Los tratamientos manejados mediante el riego por pulsos (Tratamiento 3 y Tratamiento 4) obtuvieron una mejor distribución de nutrientes durante su desarrollo fenológico, debido a que esta metodología de aplicación del agua brinda una mayor facilidad en la absorción de nutrientes por parte de las raíces en comparación con al manejo convencional, razón por la cual ambos tratamientos obtuvieron los mayores rendimientos de la investigación.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con las investigaciones sobre el riego por pulsos y su efecto en otros cultivos de importancia económica y social como es el caso del maíz, hortalizas, chocho, haba entre otros, de manera que se puede mejorar los procesos productivos.

Durante el monitoreo de la fertilidad del suelo, se recomienda medir también la concentración del fósforo, potasio, nutrientes secundarios y micro elementos para que el manejo de la fertilización sea mucho más completo y combatir los problemas por deficiencias en los cultivos.

Es muy importante continuar con el desarrollo de tecnologías y estrategias que permitan manejar de manera más eficiente y en menor cantidad recursos como el agua y los fertilizantes, de manera que la producción de alimentos esté sujeta a la optimización, en la calidad y sobre todo en el buen trato ambiental.

7. RESUMEN

El desafío de la Agricultura, hoy en día, es la producción de alimentos a través del manejo sostenible de los recursos naturales y la reducción del impacto ambiental. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el manejo del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo con dos dosis de fertilización en el CADET.

Se evaluaron dos factores en estudio: el Factor A fue los métodos de aplicación del agua (Riego por goteo convencional 100 % agua y Riego por pulsos 50 % agua) y el Factor B fue los niveles de fertilización (Aplicación convencional de fertilizantes 100 % fertilizante y Aplicación del 50 % de la dosis de F100). Los tratamientos fueron: T₁ (Agua 100 % y fertilizantes 100 %); T₂ (Agua 100 % y fertilizantes 50 %); T₃ (Agua 50 % y fertilizantes 50 %) y T₄ (Agua 50 % y fertilizantes 100 %). Se utilizó un diseño experimental de parcela dividida con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones; la parcela grande fue el riego con dos niveles mientras que la parcela pequeña fue la fertilización con dos niveles. Las variables en estudio fueron: Rendimiento del cultivo, monitoreo de la humedad del suelo, monitoreo de la fertilidad del suelo, medición del volumen de agua y de disolución de fertilizantes y la distribución de los nutrientes en la planta. La aplicación del agua en T₁ y T₂ fue convencional y en T₃ y T₄ por pulsos.

La cosecha del cultivo se realizó cuando el cultivo presentó un amarillamiento ocasionado por el secado natural de las plantas. La humedad del suelo se monitoreó mediante tensiómetros análogos en tiempo real a través de una laptop. Se instalaron succionadores en el suelo para el monitoreo de la fertilidad del suelo, de los cuales se extrajo su solución y se midió el pH, la conductividad eléctrica y los nitratos. La medición del volumen de agua aplicado se realizó de manera diaria mediante la observación del volumen de agua regado registrado en los medidores de volumen instalados para cada tratamiento. Además, se realizaron análisis foliares en el Laboratorio de Suelos, Foliares y Aguas de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario – AGROCALIDAD para conocer la cantidad de nutrientes presentes en el cultivo de fréjol.

Los resultados principales del estudio son: i) El T₁ tuvo un rendimiento de 2.44 tn ha⁻¹, T₂ de 2.44 tn ha⁻¹, T₃ de 3.11 tn ha⁻¹ y T₄ de 3.46 tn ha⁻¹; ii) En T₁ y T₂ se aplicó una lámina de agua (mm) de 338 y 322 respectivamente y en T₃ y T₄ de 165 y 160 respectivamente; iii) En T₁ y T₂, la dosis de NPK (Kg ha⁻¹) fue de: 70.31-34.69-60.31 y en T₃ y T₄, el 50 % de la dosis anterior; iv) El T₄ obtuvo la mejor relación B/C con 2.84.

8. SUMMARY

The challenge of Agriculture, today, is the production of food through the sustainable management of natural resources and the reduction of environmental impact. The objective of the present investigation was to evaluate the management of drip irrigation in the shrubby bean crop with two fertilization doses in the CADET.

Two factors under study were evaluated: Factor A was the water application methods (conventional drip irrigation 100 % water and pulse irrigation 50 % water) and Factor B was the fertilization levels (conventional fertilizer application 100 % fertilizer and Application of 50 % of the dose of F100). The treatments were: T₁ (100 % water and 100 % fertilizers); T₂ (100 % water and 50 % fertilizers); T₃ (50 % water and 50 % fertilizer) and T₄ (50 % water and 100 % fertilizer). An experimental plot design divided with four treatments and four repetitions was used; the large plot was irrigation with two levels while the small plot was fertilization with two levels. The variables under study were: Crop yield, soil moisture monitoring, soil fertility monitoring, water volume measurement and fertilizer dissolution and nutrient distribution in the plant. The application of water in T₁ and T₂ was conventional and in T₃ and T₄ by pulses.

The harvest of the crop was carried out when the crop presented a yellowing caused by the natural drying of the plants. Soil moisture was monitored by analog tensiometers in real time through a laptop. Soil suckers were installed to monitor soil fertility, from which their solution was extracted and pH, electrical conductivity and nitrates were measured. The measurement of the volume of water applied was made on a daily basis by observing the volume of water irrigated registered in the volume meters installed for each treatment. In addition, foliar analyzes were carried out in the Soils, Foliar and Waters Laboratory of the Fito and Zoosanitary Regulation and Control Agency - AGROCALIDAD to know the amount of nutrients present in the bean crop.

The main results of the study are: i) T₁ had a yield of 2.44 tn ha⁻¹, T₂ of 2.44 tn ha⁻¹, T₃ of 3.11 tn ha⁻¹ and T₄ of 3.46 tn ha⁻¹; ii) In T₁ and T₂ a sheet of water (mm) of 338 and 322 respectively was applied and in T₃ and T₄ of 165 and 160 respectively; iii) In T₁ and T₂, the dose of NPK (Kg ha⁻¹) was: 70.31-34.69-60.31 and in T₃ and T₄, 50 % of the previous dose; iv) T₄ obtained the best B / C ratio with 2.84.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abruña, F., Perez - Escobar, R., Vicente, J., Figarella, J., & Silva, S. (1974). Response of green beans to acidity factors in six tropical soils. *Journal Agronomy Universidad de Puerto Rico*, 58, 44-58.
- Acevedo, C., Álvarez, M., Hernández, E., & Améndola, R. (2011). Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 325-332.
- Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario - AGROCALIDAD. (2015a). *Instructivo para la toma de muestra de aguas*. Quito, Ecuador: AGROCALIDAD. Recuperado de <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/laboratorios/suelos-foliare-aguas/instructivo-muestreo-aguas-laboratorios-agrocalidad.pdf>
- Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario - AGROCALIDAD. (2015b). *Instructivo para toma de muestras de foliares*. Quito: AGROCALIDAD. Recuperado de <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/laboratorios/suelos-foliare-aguas/instructivo-muestreo-foliare-laboratorios-agrocalidad.pdf>
- Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario - AGROCALIDAD. (2015c). *Instructivo para toma de muestras de suelos*. Quito: AGROCALIDAD. Recuperado de <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/laboratorios/suelos-foliare-aguas/instructivo-muestreo-suelos-laboratorios-agrocalidad.pdf>
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO:Estudios FAO Riego y Drenaje 56 (Primera). FAO. <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529143>
- Antúñez, A., Vidal, M., Felmer, S., & González, M. (Eds.). (2015). *Riego por Pulsos en Maíz Grano* (No. 312). Rengo, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Recuperado de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40307.pdf>
- Arango, C. J. (1998). *Relación Suelo-Agua-Planta* (Primera). Medellín: UNAL.
- Araya, R., Martínez, K., López, A., & Murillo, A. (2013). *Protocolo para el Manejo de Poscosecha de la Semilla de Frijol* (Primera). San José: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3410s.pdf>
- Arias, J., Rengifo, T., & Jaramillo, M. (2007). *Manual: Buenas Prácticas Agrícolas, en la producción de frijol voluble*.
- Armijos, D. S., & Ordoñez, D. Y. (2011). *Determinación de parámetros del sistema de riego por pulsos en surcos y su incidencia en la producción del cultivo de fréjol (Phaseolus vulgaris) en la Quinta Experimental «La Argelia» de la Universidad Nacional de Loja*. Universidad Nacional de Loja.
- Artigao Ramirez, A., Botella Miralles, O., Campos Garaulet, I., Caselles Miralles, V., De Juan Valero, A., Delegido Gómez, J., ... Tarjuelo Martin-Benito, J. (1993). *AGRONOMIA DEL RIEGO* (Primera). Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Aruani, M., Sánchez, E., Reeb, P., & Aun, E. (2007). Variación de la concentración de nitratos en un suelo franco limoso del Alto Valle de Río Negro. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo*, (January), 25-33.
- Ayala-vela, J., Guía-gonzález, M., Espinosa-huerta, E., Acosta-gallegos, J. A., Horacio, S., & Mora-avilés, M. A. (2008). Iron content and ferritin gene expression in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.).

Agricultura Técnica en México, 34, 481-489.

- Barbaro, L., Karlanian, M., & Mata, D. (2015). *Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas* (Primera). Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf
- Berríos, L., & Bergman, E. . (1968). La influencia de magnesio en el análisis foliar, rendimiento y calidad de habichuelas tiernas (*Phaseolus vulgaris* L.). *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 11, 151-158.
- BIOAGROTECSA. (2018). SUELOS. Recuperado 2 de noviembre de 2018, de <http://www.bioagrotecsa.com.ec/laboratorios/suelos.html>
- Blanquer, J. M., Ibáñez, S., & Moreno, H. (2010). La textura del suelo. *ResearchGate*, (January 2010), 1-9. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/50839531_La_textura_del_suelo
- Blasco, M., & Pinchinat, A. . (1972). Absorción y distribución de nutrientes en el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Turrialba, Costa Rica: IICA - CATIE.
- Bloodnick, E. (2018). La función del zinc en el cultivo de plantas. Recuperado 15 de abril de 2019, de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-zinc-en-el-cultivo-de-plantas/>
- Borja, J., & Valdivia, R. (2014). *Introducción a la Agronomía* (Primera). Quito: EDIMEC. <https://doi.org/10.13140/2.1.1072.6722>
- Bos, M. G., Burton, M. ., & Molden, D. J. (2005). *Irrigation and Drainage Performance Assessment : Practical Guidelines*. CABI International Wallingford.
- Bracy, R. P., Parish, R. L., & Rosendale, R. M. (2003). Fertigation Uniformity Affected by Injector Type. *HortTechnology*, 13(March), 103-105. Recuperado de <http://horttech.ashspublications.org/content/13/1/103.full.pdf>
- Bustamante, D. E., Domenicucci, T., Guariglia, C., Hidalgo, J., López, H., Ludueña, M., ... Romeu, S. (2006). *Gran Atlas de la Ciencia - ROCAS Y MINERALES*. Barcelona: Editorial Sol 90.
- Calvache, A. M. (2008). Fertirriego en Ecuador, presente y futuro. *ResearchGate*, (May), 1-10.
- Caviglia, O. P., Sadras, V. O., & Andrade, F. H. (2004). Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas I . Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat – soybean. *Field Crops Research*, 87, 117-129. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.10.002>
- Céspedes, A., Pérez, J., Bonachela, S., & Gallardo, M. (2001). *Programación del riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español* (CAJA MAR). Almería: Escobar Impresiones, S.L. El Ejido (Almería).
- Chulim, Á. C., Guadalupe, L., Guerrero, R., Manuel, H., Escobar, O., & Crespo, E. C. (2014). Germinación y crecimiento de plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. en condiciones de salinidad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 753-763.
- CIAT. (1976). *Sistemas de Producción de Frijol*. Cali, Colombia.
- CITRA. (2006). ¿Qué es el Coeficiente de Cultivo? Talca: Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad

- de Talca. Recuperado de http://agriculturers.com/wp-content/uploads/2017/09/S106_Boletin_Coeficiente_de_cultivo.pdf
- Cuéllar, S., & Covarrubias, A. (2005). Los fenómenos climáticos siempre han existido e impactado en todos los sectores de la actividad económica de cualquier parte del mundo . Su presencia se ve reflejada generalmente en dos vertientes , el que beneficia al medio ambiente , y el que la devasta. *Claridades Agropecuarias*, 142, 32-41.
- Delatorre, J. (2015). Salinidad de agua y suelos en fertirriego para frutales: Manejo y control. *ResearchGate*, (January), 1-29. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/266047123_SALINIDAD_DE_AGUA_Y_SUELOS_EN_FERTIRRIEGO_PARA_FRUTALES_MANEJO_Y_CONTROL
- Doerge, T., Kitchen, N. R., Lund, E., & Lobo-Guerrero, A. (1999). *Mapeo de Conductividad Eléctrica del Suelo. Guías para el Manejo del Suelo Adecuado a cada Sitio - SSMG - 30*. Potash & Phosphate Institute (PPI). Recuperado de <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/HO/HO-237-SW.pdf>
- Dorot Managment Control Valves. (2002). Medidores Para Agua. Ciudad de México. Recuperado de <http://www.grisa.com.mx/web/images/pdf/DOROT/Medidores de Agua Tipo WOLTMAN marca DOROT.pdf>
- Edward, J. P. (2000). *La Ciencia del Suelo y su Manejo*. Madrid: Editorial Paraninfo.
- Epstein, E., & Bloom, A. J. (2004). *Mineral Nutrition of Plants: principles and perspectives* (Segunda). Sunderland: Sinauer Associates.
- Espín, M. (2015). *Evaluación de los efectos de la contaminación ambiental en la productividad de los cultivos agrícolas en los barrios La Morita, La Tola, El Arenal, La Esperanza y Collaquí ubicados en la parroquia de Tumbaco, Distrito Metropolitano de Quito*. Escuela Politécnica Nacional.
- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y Encalado de los suelos* (Primera). Quito: International Plant Nutrition Institute (IPNI). Recuperado de <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez y encalado de suelos, libro por J Espinosa y E Molina.pdf>
- Estévez, C., & Murgueitio, P. (2009). *Perfil de frèjol*. Quito.
- EuroChem AGRO. (2013). EntecSolub Abonado Eficiente y rentable en fertirrigación. Recuperado de http://es.eurochemagro.com/uploads/page/folletos/entec_solub.pdf
- FAO. (2002). *Los Fertilizantes y su Uso* (Cuarta). París: Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA). Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- FAO. (2005). World crop and livestock statistics 1948-85. Recuperado 25 de octubre de 2017, de <http://www.fao.org/ag/agl/rla128/iiap2/capituloiii.com>
- FAO. (2009). La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. En *Foro de Expertos de Alto Nivel - Cómo alimentar al mundo en 2050* (p. 4). Roma: FAO. Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf
- FAO. (2015). Agricultura Sostenible. Recuperado 13 de noviembre de 2018, de <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-post-2015/sustainable-agriculture/es/>

- Felicita, R. (2013). *Funciones Agua-Rendimiento para cultivos de importancia agrícola en Cuba*. Instituto De Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical «Alejandro de Humboldt». Recuperado de http://karin.fq.uh.cu/acc/2014/CAP/074_2014/Evidencias_publicaciones/tesis_Felicita_2013.pdf
- Felicita, R., Herrera, J., López, T., & Cid, G. (2014). Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4), 21-27.
- Fernández, F., Gepts, P., & López, M. (1985). Morfología de la planta de frijol. *Frijol: Investigación y promoción*. CIAT, Calí, Colombia. p, 61-68.
- Fernández, F., Gepts, P., & López, M. (1986). *Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)*.
- Fernandez, M. T. (2007). Fósforo: Amigo o enemigo. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, XLI*, 51-57. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223114970009.pdf>
- Flor, C. A. (1985). Revisión de algunos criterios sobre la recomendación de fertilizantes en frijol. En M. Lopez, F. Fernández, & A. van Schoonhoven (Eds.), *Frijol: Investigación y producción. Referencia de los cursos de Capacitación sobre Frijol dictados por el Centro Internacional de Agricultura Tropical*. (pp. 287-326). Recuperado de http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_ciat/2015/26201.pdf#page=296
- FNDR, CNR, & INIA. (2000). *Estimacion de la demanda de agua en los cultivos* (Primera). Coquimbo: Gobierno Regional de Coquimbo. Recuperado de <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/9851/CNR-0244.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fuentes, J. L. (1991). Características agronómicas del riego por goteo. *HOJAS DIVULGADORAS*. Madrid. Recuperado de https://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1990_17.pdf
- García, A. (1995). Manejo de suelos con acumulacion de sales. En *VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo* (pp. 1-21). Portoviejo. Recuperado de <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/2-Manejo-de-suelos-con-acumulacion-de-sales-Garcia-A.pdf>
- García, F. (2004). El Rol Del Fosforo En La Produccion De Pasturas. *Informaciones Agronómicas*, 7, 9. Recuperado de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/7600F971E3B3EF0085258013005D62E2/\\$FILE/Art_4.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/7600F971E3B3EF0085258013005D62E2/$FILE/Art_4.pdf)
- González, P., Ordóñez, R., Peregrina, F., & Espejo, R. (2007). Variación el pH en el Horizonte Labrado de un suelo ácido cultivado de forma intensiva. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*, VIII, 253-256. Recuperado de http://www.zonanosaturada.com/zns07/publications_files/area_3/09.pdf
- Guerrero, R. (Ed.). (1998). *Fertilización de cultivos en clima frío* (Segunda). Barranquilla: Sáenz y Cía. Ltda. Recuperado de <http://www.monmeros.com/descargas/dpmanualfrio.pdf>
- Halperín, F. (2006). *Gran Atlas de la Ciencia - ECOLOGÍA*. Barcelona: Editorial Sol 90.
- HANNA instruments. (2002). Medidores de pH/CE/TDS con una única sonda y ATC HI 9811-5. Recuperado 2 de noviembre de 2018, de <http://www.hannainst.es/catalogo-productos/medidores-combinados/portatil/medidores-de-ph--ce--tds-con-una-unica-sonda-y-atc-hi-9811-5>
- Hernández, J. C. (2009). *Manual de Recomendaciones Técnicas. Cultivo de Frijol* (Primera). San José:

- INTA. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-9533.pdf>
- Herrera, P., Cid, G., & Llanos, M. (1986). Relaciones Tensión - Humedad en algunos suelos de Cuba. En *Suelo y Agua*. Paris: ORSTOM.
- Hoffman, G., Evans, R., Jensen, M., Martin, D., & Elliott, R. (1983). *Design and Operation of Farm Irrigation Systems. Salinity in Irrigated Agriculture*. Michigan: ASAE Monograph.
- Hoffman, G., Rhoades, J., & Letey, J. (1990). Salinity Managment. En *Managment of Farm Irrigation Systems* (pp. 667-715). Michigan: The American Society of Agricultural Engineers.
- HORIBA Instruments. (2018). Medidor de nitrato LAQUAtwin-NO3-11. Recuperado 2 de noviembre de 2018, de <http://www.horiba.com/es/application/material-property-characterization/water-analysis/water-quality-electrochemistry-instrumentation/compact/details/laquatwin-no3-11c-no3-11s-no3-11-32579/>
- Huribe, H., & Maldonado, I. (2000). Programación de riego. Ni de más ni de menos. *Tierra Adentro*, 18-39.
- IICA. (2017). *El agua para la Agricultura de la Américas*. Mexico: Content Delivery Mexico (CODEX+). Recuperado de <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/6148/1/BVE17109367e.pdf>
- IICA, RED SICTA, COSUDE, & ASOPROL. (2009). *Guía técnica para el cultivo de frijol en los municipios de Santa Lucía, Teustepe y San Lorenzo del Departamento de Boaco, Nicaragua* (Primera). Santa Lucía, Boaco: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Recuperado de <http://repiica.iica.int/DOCS/B2170E/B2170E.PDF>
- INEC-ESPAC. (2018). Ficha Técnica - Fréjol Seco. Recuperado 20 de agosto de 2018, de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/otros-productos>
- INPOFOS. (1997). *Manual Internacional de Fertilidad en los suelos* (Primera). Instituto de la Potasa y el Fósforo.
- INTA. (2009). Guía tecnológica para la producción de Frijol. *Instituto Nicaraguense de Tecnología Agropecuaria, Segunda Ed*, 1-32.
- INTAGRI S.C. (2017). Fijación de Potasio en el Suelo. Celaya: Intagri S.C. Recuperado de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/fijacion-de-potasio-en-el-suelo>
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo* (Primera). Medellín: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - FACULTAD DE CIENCIAS. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>
- Jones, J. B., Wolf, B., & Mills, H. (1991). *Plant analysis Handbook: A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide*. USA: Micro - Macro Publishing, Inc.
- Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2001). *Trace Elements in Soils and Plants* (Third). New York: CRC Press LLC.
- Kafkafi, U., & Tarchitzky, J. (2012). *Fertirrigación. Una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua* (Primera). París: Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA) - Instituto Internacional de la Potasas (IPO).
- Koontz, H. V., & Foote, R. E. (1966). Transpiration and Calcinm Deposition by Unifoliate Leaves of

- Phaseolus vulgaris Differing in Maturity. *Physiologia Plantarum*, 19, 313-321.
- Kremmer, S., & Kenig, E. (1996). *Principles of Drip Irrigation*. Israel.
- Larriva, N. (2003). Síntesis de la importación del Potasio en el suelo y plantas.pdf. *La Granja*, 2(1), 23-24.
- Lata, L. (2015). *Determinación de la curva de absorción de nutrientes (N,P,K, Ca, Mg) en cuatro etapas fenológicas del cultivo de fréjol (Phaseolus vulgaris L.)*. Universidad Técnica de Machala.
- Lessman, G. (1967). *Zinc-phosphorus interactions in Phaseolus vulgaris*. Universidad de Michigan.
- Liotta, M., Carrión, R., Ciancaglini, N., & Olguín, A. (2015). Riego por goteo. En *MANUAL DE CAPACITACIÓN : RIEGO POR GOTEO* (Primera, p. 22). Buenos Aires, Argentina: Marta Laura Paz. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf
- Lobreaux, S., & Briat, J. (1991). Ferritin accumulation and degradation in different (Pisum sativum) during development. *Biochemical Journal*, 274, 601-606.
- López, R. (2016). *Manejo y uso eficiente del agua de riego intrapredial para el sur de Chile*. Temuco: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Lorite, I. J., Mateos, L., & Fereres, E. (2004). Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment. *Irrigation Science*, (23), 77-84. <https://doi.org/10.1007/s00271-004-0095-9>
- Lucas, R. E., & Knezek, B. D. (1972). Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. En *Micronutrients in agriculture* (pp. 265-288). Madison: Soil Science Society of America.
- Luchsinger, A., Villa, R., Ocqueteau, G., & Suter, F. (2006). Siembra Con Labranza Tradicional Y Cero Labranza, Mediante La Adaptación De Una Sembradora De Cereales Y Dos Distancias Entre Hileras En Cultivares De Frejol Para Verde Y Seco. *Idesia (Arica)*, 24(2), 77-84. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292006000200009>
- Maas, E. V. (1985). Crop tolerance to sprinkling water. *Plant and Soil*, 373-354.
- Maathuis, F. J., & Sanders, D. (1994). Mechanism of high-affinity potassium uptake in roots of Arabidopsis thaliana. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(20), 9272-9276. <https://doi.org/10.1073/pnas.91.20.9272>
- Mackay, D. ., & Leefe, J. . (1962). Optimum leaf levels of nitrogen, phosphorus and potassium in sweet corn and snap beans. *Canadian Journal Plant of Science*, 42, 238-246.
- Mark, F. Van Der, Briel, M. L. Van Den, Oers, J. W. A. M. Van, & Bienfait, H. F. (1982). Ferritin in bean leaves with constant and changing iron status. *Planta*, (156), 341-344.
- Marschner, H. (1986). *Mineral Nutrition of Higher Plants* (Primera). Londres: Academic Press.
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants* (Segunda). Londres: Academic Press.
- Mastalerz, J. W. (1977). *The greenhouse environment*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Meléndez, G., & Molina, E. (Eds.). (2002). *Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones* (Primera). Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Recuperado de <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria Curso Fertilización Foliar.pdf>
- Mendoza, A. (2013). *Riego por goteo*. El Salvador.

- Mengel, K., & Kirkby, E. (1987). *Principles of plant nutrition* (5.^a ed.). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Molden, D. (1997). *Accounting for Water Use and Productivity*. Colombo, Sri Lanka: SWIM Paper 1. International Irrigation Management Institute.
- Molden, D., Murray-rust, H., & Sakthivadivel, R. (2003). A Water-productivity Framework for Understanding and Action. En J. W. Kijne, R. Barker, & D. Molden (Eds.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement* (Primera, pp. 1-18). Colombo, Sri Lanka: CAB International. <https://doi.org/10.1079/9780851996691.0001>
- Nolan, B. (1999). Nitrate Behavior in Ground Waters of the Southeastern USA. *Journal of Environmental Quality*, 28(Mcl), 1518-1527. <https://doi.org/10.2134/jeq1999.00472425002800050017x>
- Ortiz, P. (1999). *Cuantificación de los niveles de absorción de magnesio en frijol común en tres diferentes suelos bajo condiciones de invernadero*. Universidad Zamorano. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2717/1/CPA-1999-T089.pdf>
- Ortiz, R. (2008). *Hidroponía en el Suelo* (Primera). Quito: Ediciones ABYA-YALA.
- Pedrosa, I., Juarros, J., Robles, A., Basteiro, J., & García, E. (2015). Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar? *Universitas Psychologica*, 14(1), 245-254. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.upsy13-5.pbad>
- Pellegrini, A. (2017). *Fósforo en el suelo*. La Plata. Recuperado de http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35407/mod_resource/content/1/TEMA_13_FÓSFORO.pdf
- Peñaloza, E. (2017). El Zinc en las plantas y su relación con otros elementos esenciales en la nutrición vegetal. Recuperado 9 de enero de 2019, de <https://www.phloem.cl/el-zinc-en-las-plantas-y-su-relacion-con-otros-elementos-esenciales-en-la-nutricion-vegetal/>
- Peralta, E., Murillo, A., Mazon, N., Monar, C., & Rivera, M. (2010). *Manual agrícola de fréjol y otras leguminosas. Iniap* (Vol. 135).
- Peralta, E., Murillo, A., Mazón, N., Pinzón, J., & Ernest, E. G. (2012). INIAP-481 Rojo del Valle: Variedad mejorada de fréjol arbustivo de grano de color rojo moteado. Quito: Quito, EC: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos, 2012.
- Perdomo, C., & Barbazán, M. (2002). *Nitrógeno* (Primera). Montevideo: Facultad de Agronomía de la Universidad de la República. Recuperado de <http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/publica/TomoN.pdf>
- Pereira, C., Maycotte, C., Restrepo, B., Mauro, F., Calli, A., & Esther, M. (2011). *EDAFOLOGIA 1* (Primera). Caldas - Colombia: Espacio Gráfico Comunicaciones S.A. Recuperado de <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>
- Pettigrew, W. T. (2008). Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiologia Plantarum*, 133(4), 670-681. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01073.x>
- Pizarro, F. (1996). *Riegos Localizados de Alta Frecuencia* (Primera). Barcelona: Mundi-Prensa.
- Power, J., & Prasad, R. (1997). *Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture* (Primera). Boca

Ratón - New York: Lewis Publishers.

- Prat Pérez, L. (1981). *Importancia de la Reacción del Suelo* (Primera). Salamanca: I.O.A.T.O. Centro de Edafología y Biología Aplcada. Recuperado de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/23538/1/TEMASMONOGRAFICOS5.pdf>
- Predes. (2005). Manual de operación y mantenimiento de un sistema de riego por goteo, 26. Recuperado de http://www.predes.org.pe/predes/cartilla_riegoteo.pdf
- Quereda Sala, J. (2005). *Curso de Climatología General*. (Universitat Jaume I, Ed.) (Segunda). Castelló de la Plana: UNIVERSITAS.
- Ramirez, F. (2006). Muestreo De Suelos Para Analisis De Fertilidad. *Informaciones Agronómicas*, (32), 8-11. Recuperado de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33851.pdf>
- Ramírez, G. (1984). Efecto de la fertilización con nitrógeno y fósforo del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) en un suelo de Upala. *Agronomía Costarricense*, 4(1), 69-73.
- Ramírez, S. (1969). *Síntomas de deficiencia de minerales en plantas de frijol (Phaseolus vulgaris) y sus relaciones nutritivas específicas*. Universidad de Costa Rica.
- Richards, L. (1962). *Diagnóstico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Ed.) (Primera). México: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.
- Robaina, F. G., Seijas, T. L., & Puebla, J. H. (2015). Indicadores de productividad del agua por cultivos y técnicas de riego en Cuba Water productivity estimates for agricultural crops and irrigation techniques in Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(4), 57-63. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v24n4/rcta10415.pdf>
- Romay, C., & Morábito, J. (2001). Evaluación de los sistemas de riego por superficie técnica de caudal discontinuo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo*, 12, 1-7.
- Romero, J., & Flores, M. (2017). El zinc en las plantas. *Revista Ciencia*, 68(3), 28-35. Recuperado de https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68_3/PDF/zinc_plantas.pdf
- Ruiz, A., & Molina, J. (2010). *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*. (Marcombo, Ed.) (Primera). Barcelona: Ediciones Tecnicas Marcombo.
- Salazar, R., Rojano, A., & López, I. (2014). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y Ciencias del Agua*, V(2), 177-183. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v5n2/v5n2a12.pdf>
- Scheffer, K., Stach, W., & Vardakis, F. (1979). Über die Verteilung der Schwermetallen Eisen. Mangan, Kupfer und Zink in Sommergesternpflanzen,. *Landwirtsch Forsch*, 2.
- Schwartz, H., & Gálvez, G. (Eds.). (1980). *Problemas Producción del Frijol*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Shaxson, F., & Barber, R. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal*. Roma, Italia: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-y4690s.pdf>
- Shekhar, S., Mishra, D., Agrawal, A., & Sahu, K. K. (2017). Physical and chemical characterization and recovery of potash fertilizer from glauconitic clay for agricultural application. *Applied Clay Science*,

143, 50-56. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.03.016>

- SIAR. (2005). Fertilización. *Universidad Castilla-la Mancha*, 11, 8. Recuperado de <http://crea.uclm.es/siar/publicaciones/files/HOJA11.pdf>
- Sierra, C. (2017). El manganeso, el suelo y las plantas. Recuperado 15 de abril de 2019, de <http://www.elmercurio.com/campo/noticias/analisis/2016/03/09/el-manganeso-el-suelo-y-las-plantas.aspx>
- Talavera, F. (1988). *Efecto de diferentes niveles y formas de aplicación del fertilizante fosfórico en el rendimiento del frijol común (Phaseolus vulgaris L.)*. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias.
- TETRA Technologies, I. (2004). La Importancia del Cal. Texas: TETRA technologies. Recuperado de http://www.tetrachemicals.com/getFile.asp?File_Content_ID=963
- Thompson, L., & Troeh, F. (1998). *Los suelos y su fertilidad* (Cuarta). Barcelona: Editorial Reverté.
- Torres, A. P., Camberato, D., Lopez, R. G., & Mickelbart, M. (2001). Producción Comercial de Cultivos Bajo Invernadero Y Vivero Medición de pH y Conductividad Eléctrica en Sustratos. West Lafayette: PURDUE UNIVERSITY. Recuperado de <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/HO/HO-237-SW.pdf>
- Torres Navarrete, E. D., Sánchez Laiño, A., Cedeño Briones, A., Haro Chong, A., Torres Navarrete, A., González Osorio, B., ... Reyes Bermeo, M. (2014). Caracterización De La Producción De Frijol En La Provincia De Cotopaxi Ecuador: Caso Comuna Panyatug. *Ciencia y Tecnología*, 6(1), 23-31. <https://doi.org/10.18779/cyt.v6i1.88>
- Valladares, C. (2010). Taxonomía y Botánica de los Cultivos de Grano. Recuperado de http://institutorubino.edu.uy/materiales/Federico_Franco/6toBot/unidad-ii-taxonomia-botanica-y-fisiologia-de-los-cultivos-de-grano-agosto-2010.pdf
- Vásquez, A., Zetina, R., & Meneses, I. (2014). Extracciones nutrimentales en tres cultivos básicos en Veracruz, México. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 2(3), 347-353.
- Vela, F. (2010). Normalidad de los errores. México, D.F: Universidad Autónoma Metropolitana.
- 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*, 4(2), 1-7.
- Villafáfila, E., & Wyss, F. (2009). *Riego en Horticultura. Guía para la instalación de Pequeños Sistemas de Riego* (No. 1, 1.^a ed.). Santo Pipó, Misiones. Recuperado de <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-riego-en-horticultura.pdf>
- 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>
- Welch, R. M., & Shuman, L. (1995). Micronutrient Nutrition of Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 14(1), 49-82. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/254217979_Micronutrient_Nutrition_of_Plants
- Yara Internacional ASA. (2010). *Nutriente Puro* (Segunda). Oslo: YARA INTERNACIONAL. Recuperado de https://www.europeanlandowners.org/files/cside/159_aout_sep/YA_N2_leaching_ES_1-1-BD.pdf

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

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

Cambio en la salinidad Este cambio está indicado por la tasa promedio de cambio en la conductividad eléctrica (CE) del extracto de agua saturada del suelo.

Conductividad eléctrica: En la gestión del agua en la agricultura, es la medida en que una muestra líquida puede conducir electricidad. La CE de una solución acuosa, cuando se mide en condiciones estándar, se correlaciona bien con la concentración de soluto. A menudo se usa como un indicador del contenido de sal del agua de riego, del agua de drenaje (el agua del suelo que se ha filtrado debajo de la zona de la raíz) o el extracto saturado del suelo.

Coefficiente de cultivo: La relación entre evapotranspiración y evapotranspiración máxima. El coeficiente de cultivo varía según la etapa de crecimiento del cultivo y depende en cierta medida de la humedad y las condiciones del viento en las que se cultiva el cultivo.

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

Contenido de agua en el suelo: La cantidad de agua contenida en el suelo. Puede expresarse como porcentaje en masa, como porcentaje en volumen o como profundidad equivalente para una profundidad de suelo dada.

Control de salinidad: Disminución o prevención de la contaminación por agua salada de los suministros de agua agrícolas, industriales y municipales, o reducir las sales alcalinas y prevenir el deterioro de las tierras cultivables.

Curva de demanda: Un gráfico que muestra la cantidad de agua necesaria para el riego en diversos momentos durante una temporada de cultivo.

Curva de suministro: Un gráfico que muestra el agua disponible según los elementos de tiempo y cantidad.

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

Degradación del suelo: Un proceso que reduce la capacidad actual y / o potencial del suelo para producir bienes o servicios (a través de una o más de 6 categorías: erosión hídrica, erosión eólica, inundación y exceso de sales, degradación química, degradación física, degradación biológica).

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

Depresión del bulbo húmedo: Diferencia entre las lecturas de los termómetros de bulbo húmedo y seco a una temperatura determinada.

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

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

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

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

Eficiencia de almacenamiento de agua: La relación del agua almacenada en la profundidad de la raíz mediante el riego y el agua necesaria en la profundidad de la raíz para llevarla a la capacidad del campo.

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

Eficiencia de riego: La proporción o porcentaje del agua de riego consumida por los cultivos de una granja, campo o proyecto regados mediante el agua proveniente de la fuente de suministro. Cuando se mide en la puerta principal de la granja, se denomina "eficiencia de riego de la granja" o "eficiencia de entrega de la granja"; cuando se mide en el campo o parcela, se designa como "eficiencia de riego en el campo", y cuando se mide en la fuente de suministro, se denomina "eficiencia de transporte y suministro de agua" o "eficiencia general".

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

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

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

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

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

Etapas de mitad de temporada: Para un cultivo dado, el tiempo entre la cobertura total del suelo efectiva y el inicio de la madurez (es decir, cuando las hojas comienzan a decolorarse o caerse).

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

Evaporación potencial: La evaporación de una superficie dada cuando todas las interfaces entre la superficie y la atmósfera están húmedas (saturadas), por lo que no hay restricciones debido al control biológico o al contenido de agua del suelo en la pérdida de vapor de agua de la superficie. Su magnitud dependerá principalmente de las condiciones atmosféricas y del albedo de la superficie, pero también

variará con las características geométricas de la superficie. Estas características (rugosidad aerodinámica, y estructura y densidad vegetativa) se rigen por el tipo de vegetación presente.

Evapotranspiración (ET): La pérdida total de vapor de agua por evaporación y transpiración de una superficie con vegetación durante un período determinado. Incluye la evaporación del agua del suelo, del rocío y de la precipitación interceptada, así como la transpiración de las plantas. Puede expresarse como la tasa total o promedio en unidades de masa o volumen por unidad de área o como una profundidad de agua equivalente para el período en cuestión.

Evapotranspiración calculada: Evapotranspiración calculada por medio de fórmulas (métodos de combinación, por ejemplo, Thornthwaite, Blaney-Criddle o Penman, etc.) y no se mide realmente.

Evapotranspiración de cultivos en condiciones estándar: Evapotranspiración de cultivos bien fertilizados y libres de enfermedades, cultivados en grandes campos, en condiciones óptimas de agua del suelo, y que logran la producción total en las condiciones climáticas dadas.

Evapotranspiración del cultivo de referencia: Evapotranspiración de un cultivo determinado bien adaptado seleccionado para propósitos comparativos bajo condiciones meteorológicas dadas y con un alcance adecuado (suficiente para que los efectos de borde sean relativamente poco importantes) y para un régimen de riego estandarizado apropiado para este cultivo y la región en cuestión.

Evapotranspiración de referencia: Representa la tasa de evapotranspiración en las condiciones climáticas dadas, si una superficie extendida de 8-15 cm de altura cubierta de pasto verde está creciendo activamente con un suministro de agua adecuado y sombreando completamente el suelo.

Evapotranspiración máxima: Cantidad de agua adecuada para el crecimiento y desarrollo sin restricciones de un cultivo y representa la tasa de evapotranspiración máxima de un cultivo saludable, que se cultiva en grandes campos bajo un óptimo manejo agronómico y de riego.

Evapotranspiración potencial: La cantidad de evapotranspiración de un cultivo dado, bajo condiciones climáticas dadas, si el agua del suelo no es limitante.

Evapotranspiración óptima: Evapotranspiración de un cultivo en particular en condiciones meteorológicas y de recuperación determinadas, cuando el cultivo se ha regado de manera óptima para un propósito agronómico o económico específico.

Grado de salinidad: Porcentaje de sales solubles en las zonas radicales.

Grupo vegetativo de cultivos, o Categoría vegetativa de cultivos: Categoría en la que se pueden clasificar los cultivos, en gran medida según la duración del período de cultivo desde la plantación hasta la maduración y sus características de consumo de agua.

Horas de sol: Número de horas de sol brillante por día, también a veces definidas como la duración de las huellas o quemaduras realizadas en una tabla por el registrador de Campbell Stokes. No debe confundirse con el brillo del sol.

Humedad relativa máxima: Cantidad máxima de vapor de agua en el aire en relación con la cantidad de vapor de agua que el aire mantendría cuando se satura, a la misma temperatura. Generalmente se mide de manera diaria.

Humedad relativa mínima: Cantidad mínima de vapor de agua en el aire en relación con la cantidad de vapor de agua que el aire mantendría cuando se saturara a la misma temperatura. Generalmente se mide de manera diaria.

Medidor Venturi o tubo Venturi: Un medidor de flujo de tipo constricción que consiste en una sección circular paralela corta (denominada garganta) coaxial con el tubo en el que se inserta, una sección

cónica convergente hacia arriba y una sección divergente de un ángulo menor hacia abajo. Los piezómetros conectados a la tubería por encima de la sección convergente y en la garganta indican la caída en el cabezal de presión que se puede correlacionar con el caudal. Las definiciones no se aplicarían si el tubo tiene una longitud de garganta cero.

Método de suministro de agua: Manera de hacer que un sistema de riego funcione para transportar agua desde la fuente de suministro a cada campo atendido por el sistema.

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

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

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

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

Radiación solar: Cantidad de radiación de onda corta recibida en la superficie de la tierra.

Requerimiento de agua del cultivo: El agua total necesaria para la evapotranspiración, desde la siembra hasta la cosecha para un cultivo determinado en un régimen climático específico, cuando el agua del suelo es adecuada por la lluvia y / o el riego para que no limite el crecimiento de la planta y el rendimiento del cultivo.

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

Requerimiento de agua de riego, Necesidad de riego: La cantidad de agua, excluyendo las precipitaciones que se requieren para la producción normal de cultivos. Incluye la evaporación de la superficie y algunas pérdidas inevitables en las condiciones dadas. Por lo general, se expresa en unidades de profundidad de agua o profundidad por unidad de área y se puede establecer como mensual, estacional, anual o para un período de crecimiento de cultivos. Es exactamente lo mismo que 'water duty' cuando este último se expresa en unidades similares.

Requerimiento de agua, Requerimiento neto de agua, Requerimiento total de agua: La cantidad de agua, independientemente de las fuentes, requerida por un cultivo o un patrón diversificado de cultivos en un período de tiempo determinado para un crecimiento normal en condiciones de campo. Incluye la evapotranspiración y algunos residuos económicamente inevitables. También puede expresarse como igual al consumo estacional más la filtración, como puede ser inevitable. Generalmente se expresa en unidades de profundidad de agua o unidades de área de profundidad por unidad de área. En el caso de que parte del suministro de agua (complementario a la precipitación) provenga de fuentes naturales o artificiales situadas lejos del área de la finca, el uso neto, que excluye las pérdidas de transporte, se denomina "requerimiento neto de agua". El "requerimiento total de agua" incluye las pérdidas de transporte.

Requerimiento de agua de cultivo rentable, o requerimiento de agua de unidad: El volumen de agua realmente utilizado por los cultivos para producir una unidad de masa de materia seca.

Requerimiento óptimo de agua: La profundidad estacional del uso beneficioso del agua que resulta en rendimientos máximos de diferentes cultivos, donde la profundidad incluye la humedad del suelo suministrada por la precipitación y el agua suministrada por el riego.

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

Salinidad del agua: La presencia de iones disueltos en el agua. Puede referirse a agua subterránea, agua del suelo o suministros de agua para uso doméstico, industrial o agrícola. Generalmente, el agua se puede usar sin restricción para cualquier propósito si la salinidad está por debajo de algún valor de umbral, pero a medida que la salinidad aumenta por encima del umbral, su uso está restringido ya que comienza a causar daños y finalmente se vuelve inutilizable. La salinidad se mide comúnmente como la masa de los iones disueltos por unidad de volumen de solución en equivalentes químicos por volumen o se indica, indirectamente, por la conductividad eléctrica de la solución.

Temperatura del bulbo húmedo: Temperatura registrada en un termómetro con el bulbo rodeado por una bolsa de muselina húmeda, lo que reduce la temperatura por la pérdida de calor latente a través de la evaporación.

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

Tensión del agua del suelo: Fuerza a la cual el agua retiene el suelo o la presión negativa o succión que se debe aplicar para llevar el agua en una taza porosa al equilibrio estático con el agua en el suelo. La tensión del agua del suelo no incluye la presión osmótica.

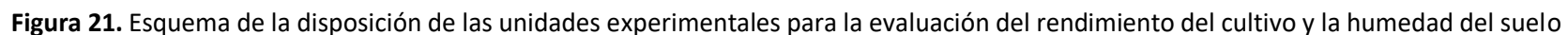
Transpiración: Evaporación de los estomas de las plantas vivas, cuya velocidad está regulada por procesos físicos y fisiológicos.

Unidad de eficiencia de riego: Relación de la suma del volumen de agua de riego utilizada en la evapotranspiración en el área especificada y la necesaria para mantener una concentración favorable de sal en la solución del suelo, con el volumen de agua suministrada al área.

Uso consuntivo óptimo: Uso consuntivo que produce el máximo rendimiento de los cultivos.

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

Anexo 1. Esquema de la disposición de las unidades experimentales para la evaluación del manejo del riego en el cultivo de fréjol arbustivo con dos dosis de fertilización en el CADET.



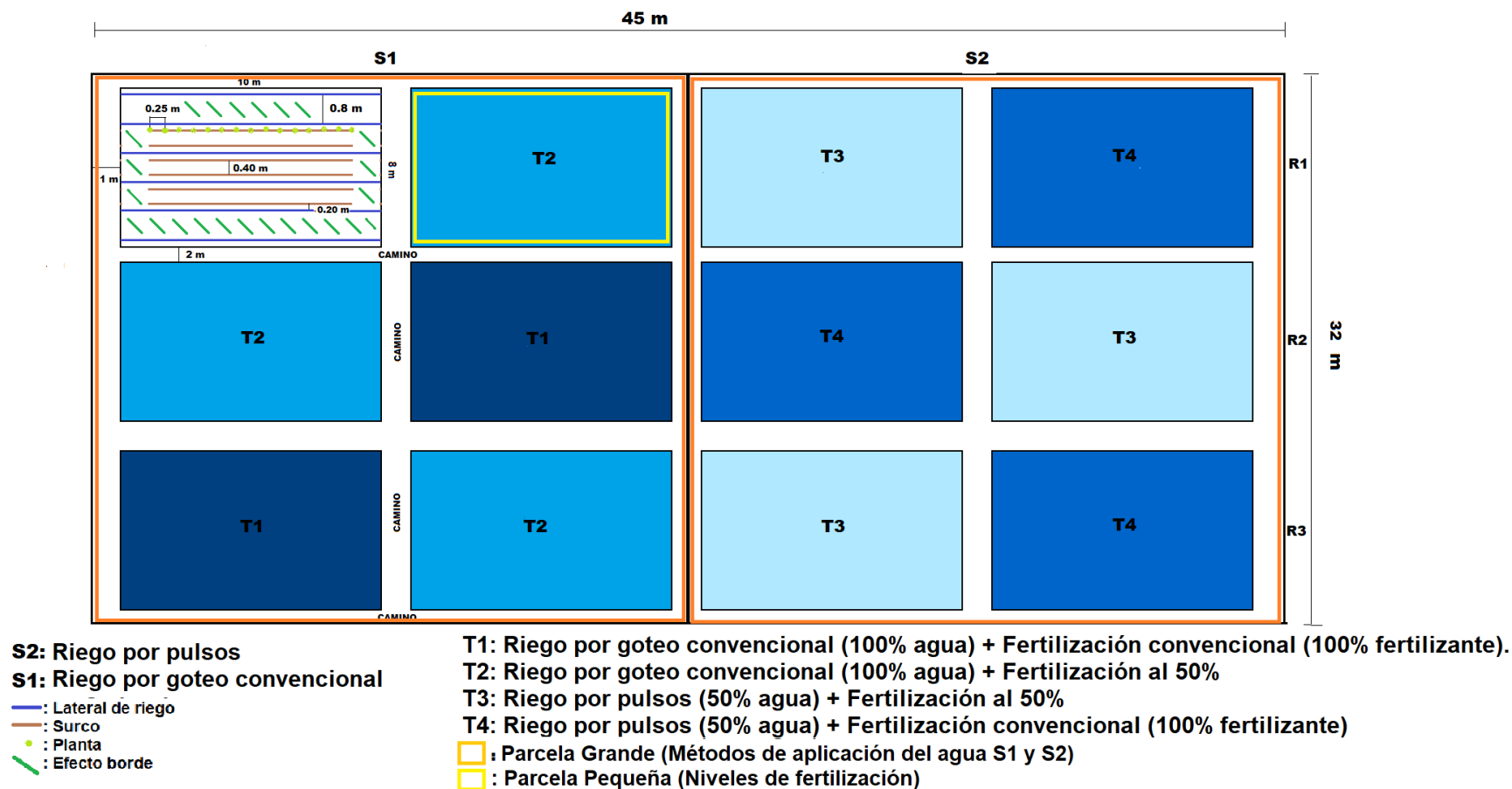


Figura 22. Es quema de la disposición de las unidades experimentales para la evaluación de la fertilidad del suelo y la distribución de nutrientes en la planta

Anexo 2. Cosecha del cultivo de fréjol de la investigación realizada en el CADET en Tumbaco - La Morita



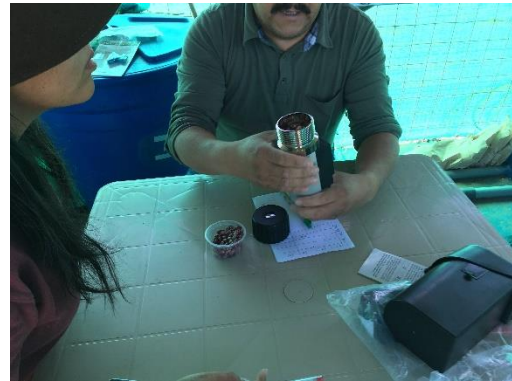
Anexo 3. Desvainado y secado del grano de fréjol de la investigación realizada en el CADET en Tumbaco - La Morita



Anexo 4. Limpieza del grano de fréjol en la investigación realizada en el CADET en Tumbaco - La Morita



Anexo 5. Medición del contenido de humedad del grano de fréjol mediante el equipo agraTronix MT – 16 en la investigación realizada en el CADET en Tumbaco – La Morita



Anexo 6. Instalación de tensiómetros análogos para monitorear la humedad del suelo en tiempo real en la investigación realizada en el CADET en Tumbaco – La Morita



Anexo 7. Extracción de la solución del suelo y medición de la fertilidad del suelo (pH, conductividad eléctrica y nitratos) de la investigación realizada en el CADET en Tumbaco – La Morita



Anexo 8. Cabezal de riego y equipos para la medición del pH, CE y Nitratos de la solución del suelo en la investigación realizada en el CADET en Tumbaco - La Morita



Fotografía 1 y 2: Filtros de grava



Fotografía 3: Controladores de riego



Fotografía 4: Tanques de almacenamiento de fertilizantes



Fotografía 5: Cintas de goteros



Fotografía 6. Medidor de nitratos



Fotografía 7. Medidor de pH, CE y TDS

Anexo 9. Análisis de los suelos de La Morita - Tumbaco

LABORATORIO DE LA FIGEMPA Ciudadela Universitaria, calle Jerónimo Leyton y Av. La Gasca Teléfonos: 2550-588 / 2566-726 Ext. 139			
Parámetro Analizado	Unidad	Límite permitido	Resultado
pH	-	6 a 8	6.5
Conductividad	uS mm ⁻¹	200	102.8
CIC	meq 100g ⁻¹	NA	16.88
Materia Orgánica	%	NA	4.61
Nitrógeno Total	%	NA	0.23
Fósforo	mg l ⁻¹	NA	164.1
Potasio	cmol kg ⁻¹	NA	0.066
Cobre	mg kg ⁻¹	25	45.73
Zinc	mg kg ⁻¹	60	78.3
Organoclorados	mg kg ⁻¹	0.1	< 0.001
Organofosforados	mg kg ⁻¹	0.1	< 0.001

Fuente: Análisis de Laboratorio LABFIGEMPA. Adaptado de Espín (2015)

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS – REGIÓN SIERRA, COSTA Y AMAZONÍA					
Parámetro	Ácido	Ligeramente Ácido	Prácticamente Neutro	Ligeramente Alcalino	Alcalino
pH	5.5	5.6 – 6.4	6.5 – 7.5	7.6 – 8.0	8.1

Anexo 10. Resultados del Análisis de Suelo realizado en cada tratamiento al finalizar la investigación realizada en el CADET en Tumbaco – La Morita.

LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS DE AGROCALIDAD					
Vía Interoceánica Km. 14 ^{1/2} y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP					
Tumbaco – Quito					
Teléf: 02-2372-844/2372-845					
RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUELO					
Parámetro Analizado	Unidad	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
pH	-	6.78	6.67	6.78	6.76
Materia Orgánica	%	3.10	3.48	3.10	7.76
Nitrógeno	%	0.15	0.17	0.15	0.39
Fósforo	mg/kg	45.9	40.7	42.8	39.0
Potasio	cmol/kg	0.92	0.77	0.74	0.57
Calcio	cmol/kg	10.77	9.25	8.99	7.17
Magnesio	cmol/kg	5.73	5.05	4.83	4.26
Hierro	mg/kg	241.3	246.2	270.5	249.1
Manganeso	mg/kg	19.10	20.18	17.52	14.45
Cobre	mg/kg	9.78	9.18	9.81	9.38
Zinc	mg/kg	1.71	<1.60	<1.60	<1.60

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS – REGIÓN SIERRA				
Parámetro	Unidad	Bajo	Medio	Alto
MO	%	<1.0	1.0 – 2.0	>2.0
Nitrógeno	%	0 – 0.15	0.16 – 0.3	>0.31
Fósforo	mg/kg	0 – 10.0	11.0 – 20.0	>21.0
Potasio	cmol/kg	<0.2	0.2 – 0.38	>0.4
Calcio	cmol/kg	<1.0	1.0 – 3.0	>3.0
Magnesio	cmol/kg	<0.33	0.34 – 0.66	>0.66
Hierro	mg/kg	0 – 20.0	21.0 – 40.0	>41.0
Manganeso	mg/kg	0 – 5.0	6.0 – 15.0	>16.0
Cobre	mg/kg	0 – 1.0	1.1 – 4.0	>4.1
Zinc	mg/kg	0 – 3.0	3.1 – 6.0	>6.1

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS – REGIÓN SIERRA, COSTA Y AMAZONÍA					
Parámetro	Ácido	Ligeramente Ácido	Prácticamente Neutro	Ligeramente Alcalino	Alcalino
pH	5.5	5.6 – 6.4	6.5 – 7.5	7.6 – 8.0	8.1

Anexo 11. Análisis de la calidad del agua de riego del CADET

LABORATORIO DE LA FIGEMPA			
Ciudadela Universitaria, calle Jerónimo Leyton y Av. La Gasca			
Teléfonos: 2550-588 / 2566-726 Ext. 139			
Parámetro Analizado	Unidad	Límite permitido	Resultado
pH	-	6 a 9	7.95
Boro	mg l ⁻¹	< 0.75	0.36
Calcio	mg l ⁻¹	< 200	21.20
Cloruros	mg l ⁻¹	< 10	8.80
Cobre	mg l ⁻¹	< 0.2	< 0.05
Coliformes Totales	NMP 100 ml ⁻¹	< 1000	4050
Fósforo Total	mg l ⁻¹	< 5	0.78
Magnesio	mg l ⁻¹	< 150	11.26
Nitratos	mg l ⁻¹	< 5	0.8
Potasio	mg l ⁻¹	< 30	6.11
Sulfatos	mg l ⁻¹	< 200	24.47

Fuente: Análisis de Laboratorio LABFIGEMPA. Adaptado de Espín (2015)

Anexo 12. Resultados de los Análisis Foliare realizados en cada tratamiento durante la investigación realizada en el CADET en Tumbaco - La Morita.

LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS DE AGROCALIDAD					
Vía Interoceánica Km. 14 ^{1/2} y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP					
Tumbaco – Quito					
Teléf: 02-2372-844/2372-845					
RESULTADOS DEL ANÁLISIS FOLIAR					
Parámetro Analizado	Unidad	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Cenizas	%	10.3	10.1	10.6	10.7
Materia Orgánica	%	89.7	89.9	89.4	89.3
Nitrógeno	%	4.28	4.22	4.04	3.90
Fósforo	%	0.51	0.48	0.45	0.48
Potasio	%	3.14	3.11	3.19	2.83
Calcio	%	1.19	1.10	1.44	1.32
Magnesio	%	0.41	0.36	0.44	0.41
Hierro	mg/kg	157.08	138.05	244.80	158.42
Manganeso	mg/kg	31.85	26.50	29.53	34.53
Cobre	mg/kg	10.80	9.75	10.69	10.44
Zinc	mg/kg	28.25	26.85	28.13	27.59

LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS DE AGROCALIDAD					
Vía Interoceánica Km. 14 ^{1/2} y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP					
Tumbaco – Quito					
Teléf: 02-2372-844/2372-845					
RESULTADOS DEL ANÁLISIS FOLIAR					
Parámetro Analizado	Unidad	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Cenizas	%	12.3	12.8	12.0	11.8
Materia Orgánica	%	87.7	87.2	88.0	88.2
Nitrógeno	%	3.76	3.53	3.97	4.08
Fósforo	%	0.46	0.41	0.45	0.45
Potasio	%	3.08	2.90	3.24	2.61
Calcio	%	1.45	1.54	1.43	1.53
Magnesio	%	0.44	0.42	0.42	0.45
Hierro	mg/kg	290.72	349.50	246.23	253.95
Manganeso	mg/kg	34.12	33.40	38.37	40.88
Cobre	mg/kg	9.94	9.45	9.09	9.69
Zinc	mg/kg	24.83	26.00	24.43	26.13

Anexo 13. Preparación del terreno para la siembra del cultivo de fréjol de la investigación realizada en el CADET en Tumbaco – La Morita



Anexo 14. Siembra del cultivo de fréjol de la investigación realizada en el CADET en Tumbaco – La Morita



Anexo 15. Manejo de la Fertilización

Cuadro 23. Caudal de inyección de fertilizantes de cada tratamiento

	Tratamiento 1 (R100F100)	Tratamiento 2 (R100F50)	Tratamiento 3 (R50F50)	Tratamiento 4 (R50F100)
Caudal de inyección (l h ⁻¹)	60	30	60	120

Cuadro 24. Pesos de cada fertilizante utilizados para la preparación de la solución madre

Semana	Peso de Fertilizantes (Kg)					Micronutrientes
	Fosfato mono amónico	Nitrato de potasio	Nitrato de amonio	Nitrato de calcio	Sulfato de magnesio	
1	1.4	1	0.8			0.0833
2	1.4	1	0.8			0.0833
3	1.4	1	0.8			0.0833
4	2.22	1.56	1.22			0.0833
5	1.1	0.78	0.61			0.0833
6	1.1	0.65	0.66			0.0833
7	2.54	1.78	0.19	1.74	2.45	0.0833
8	2.54	1.78	0.19	1.74	2.45	0.0833
9	2.54	1.78	0.19	1.74	2.45	0.0833
10	2.54	1.78	0.19	1.74	2.45	0.0833
11	2.54	1.78	0.19	1.74	2.45	0.0833
12	2.54	1.78	0.19	1.74	2.45	0.0833
13	2.54	1.78	0.19	1.74	2.45	0.0833
Total	52.8	36.9	12.44	24.36	34.3	2.2
Volumen del Tanque (litros)			250			
Total de Fertilizaciones			25			

Nota: Se realizaron dos fertilizaciones por semana los días lunes y jueves

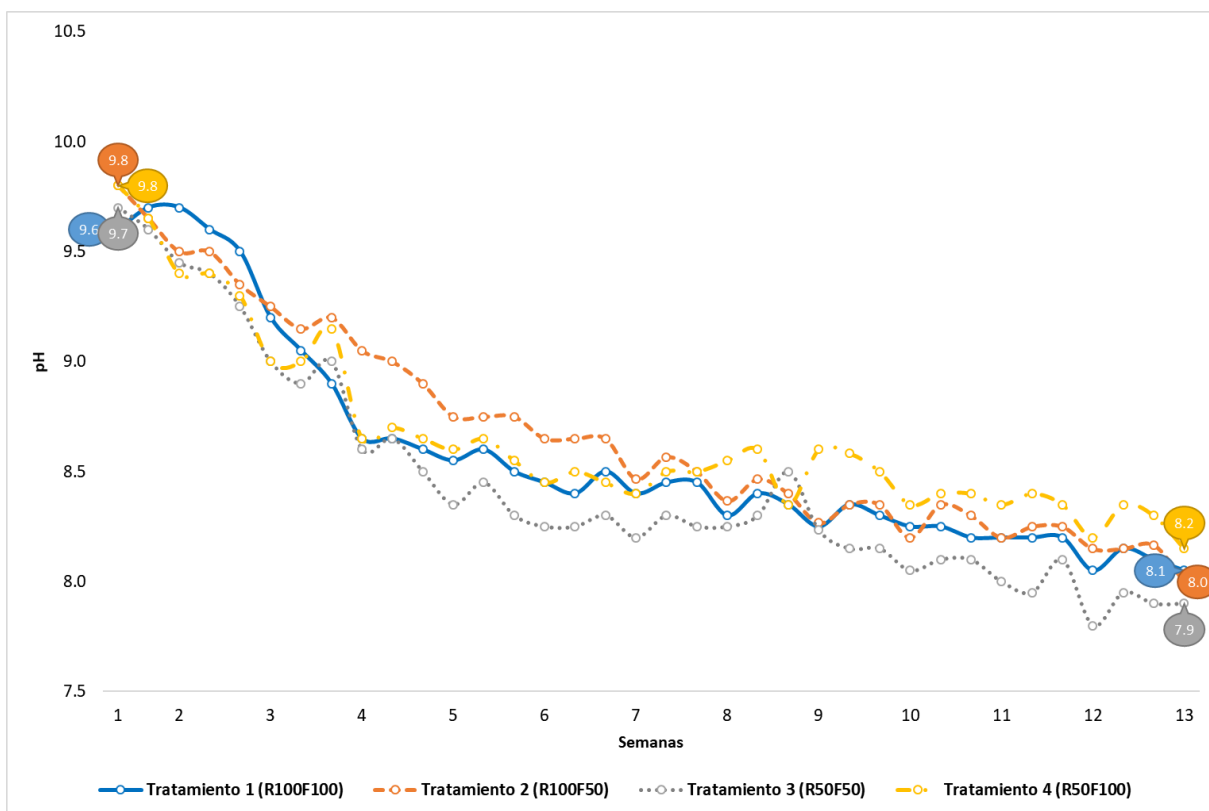
Anexo 16. Análisis de normalidad (Skewness/Kurtosis) del rendimiento del cultivo y distribución de nutrientes en la planta.

Variables	Observaciones	Prob>chi²
Rendimiento del Cultivo	16	0.2747
Distribución de nutrientes		
Nitrógeno	12	0.1767
Fósforo	12	0.6288
Potasio	12	0.3186
Calcio	12	0.2569
Magnesio	12	0.0502
Hierro	12	0.8422
Manganeso	12	0.9716
Cobre	12	0.9079
Zinc	12	0.8996

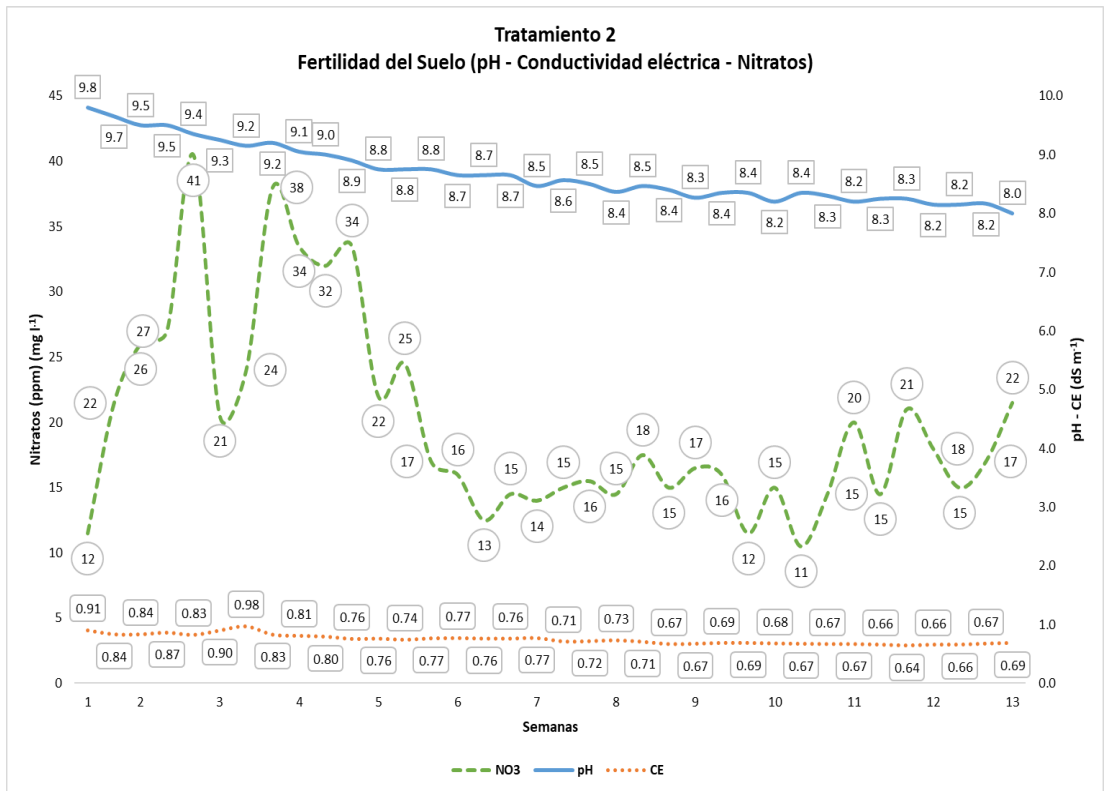
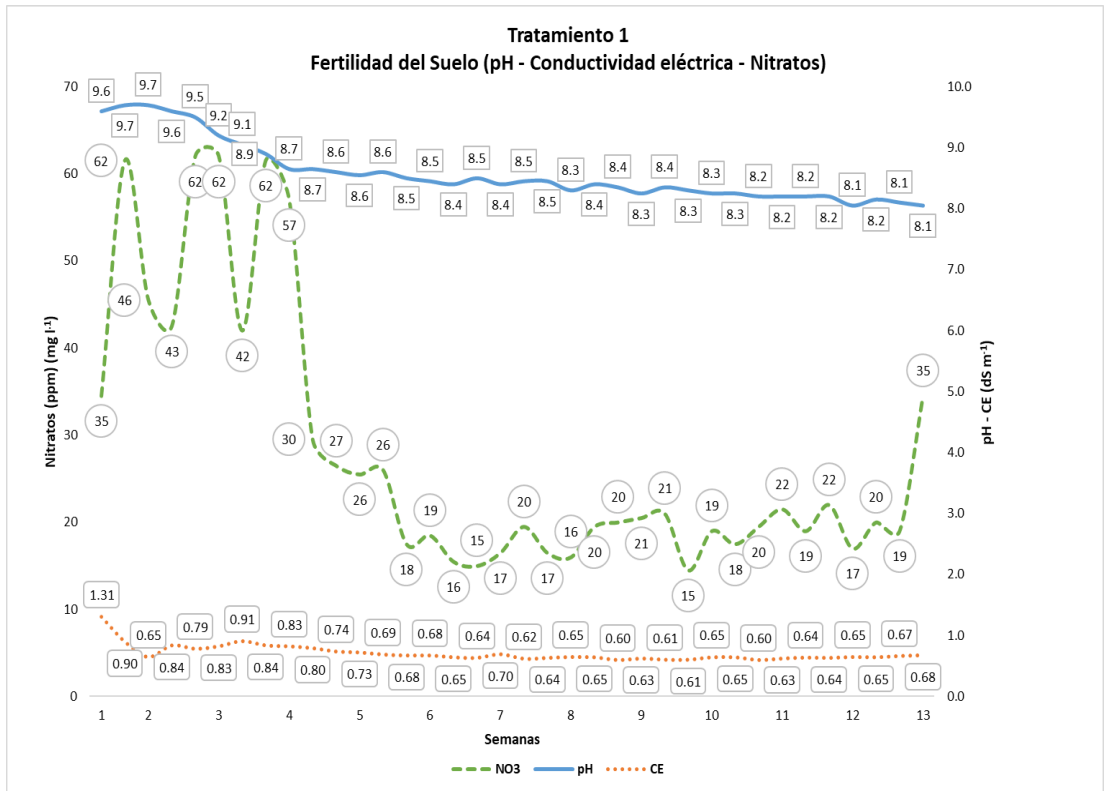
Anexo 17. Análisis de normalidad (Shapiro-Wilk) de las variables Humedad del Suelo y Fertilidad del Suelo

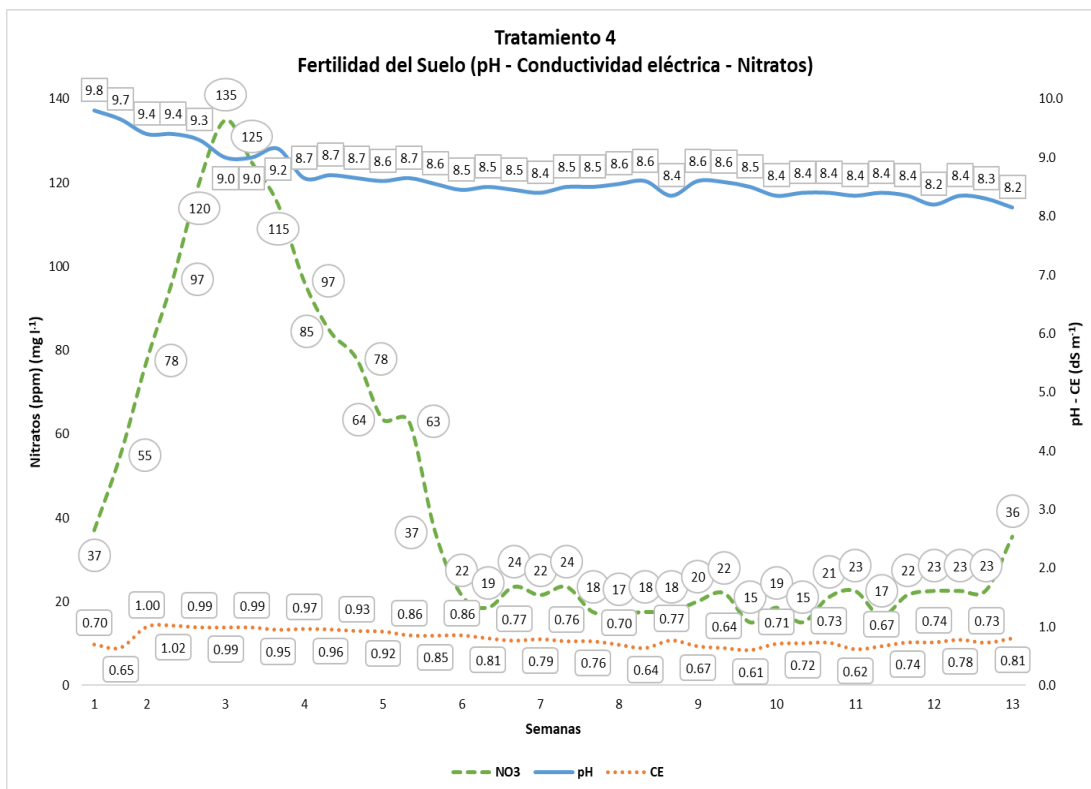
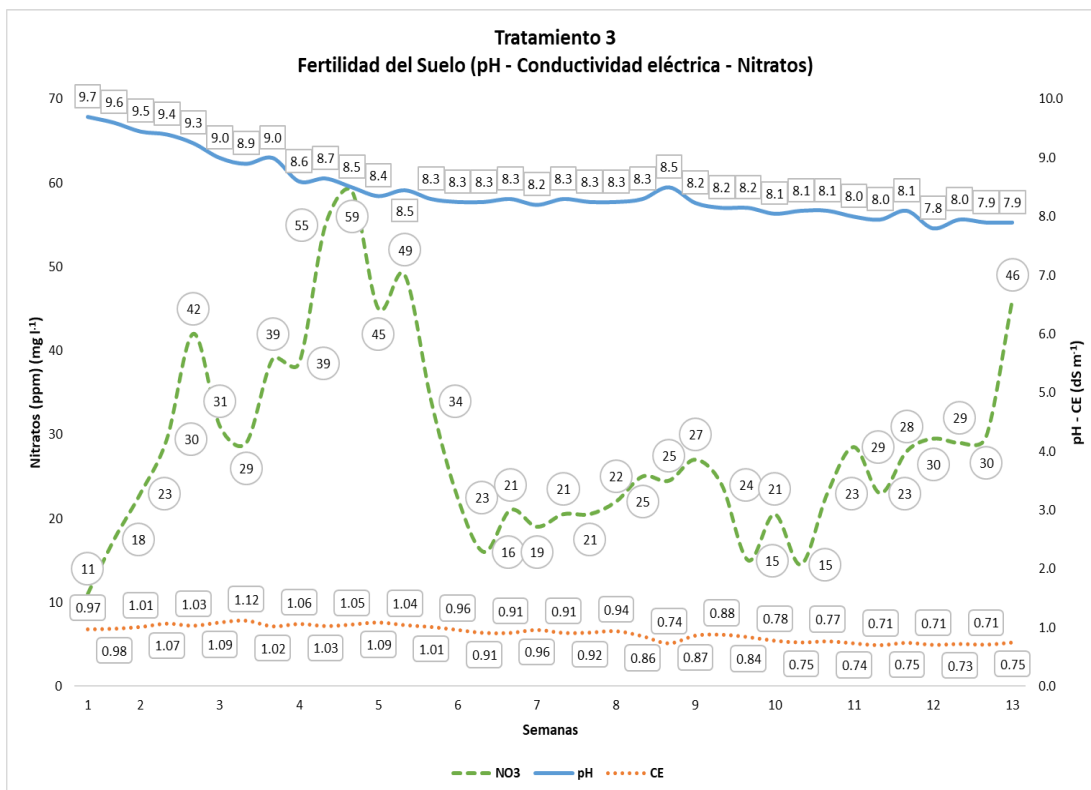
Variables	Observaciones	Prob>z
Humedad del Suelo	16	0.6895
Fertilidad del Suelo		
pH	12	0.8429
Conductividad eléctrica	12	0.1324
Nitratos	12	0.3364

Anexo 18. Comportamiento del pH de la solución del suelo en cada tratamiento de la investigación



Anexo 19.Fertilidad del suelo de cada uno de los tratamientos de la investigación





Anexo 20. Evaluación Financiera y Económica de cada uno de los tratamientos de la Investigación

INVERSIONES (FASE DE REALIZACIÓN)	TOTALES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Arado	2,278.0	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8
Alquiler de la tierra (1.0 hectárea)	8,000.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0
Rastrado	2,278.0	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8
Sistema de riego 1 Ha	8,000.0	5,000.0					3,000.0				
COSTOS (FASE DE EXPLOTACIÓN) TOTAL	20,556.0	6,255.6	1,255.6	1,255.6	1,255.6	1,255.6	4,255.6	1,255.6	1,255.6	1,255.6	1,255.6
Siembra (1 hectárea, dos siembras)	4,330.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0
Fertilización (ácido 1600 usd/año, 332 USD/año fertilizantes)	19,320.0	1,932.0	1,932.0	1,932.0	1,932.0	1,932.0	1,932.0	1,932.0	1,932.0	1,932.0	1,932.0
Control plagas (dos controles por ciclo)	3,872.0	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2
Deshierba (dos por ciclo)	16,240.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0
Cosecha (recolección, secado, ensacado)	16,240.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0
BENEFICIOS TOTAL	60,002.0	6,000.2	6,000.2	6,000.2	6,000.2	6,000.2	6,000.2	6,000.2	6,000.2	6,000.2	6,000.2
Producción anual dos cosechas; (105.6 qq/ha/año, 90 USD/qq)	95,040.0	9,504.0	9,504.0	9,504.0	9,504.0	9,504.0	9,504.0	9,504.0	9,504.0	9,504.0	9,504.0
TOTAL	95,040.0	9504.00	9504.00	9504.00	9504.00	9504.00	9504.00	9504.00	9504.00	9504.00	9504.00
VALOR NETO (ANUAL)	14482.00	-2751.80	2248.20	2248.20	2248.20	2248.20	-751.80	2248.20	2248.20	2248.20	2248.20

Figura 23. Evaluación Financiera y Económica del Tratamiento 1 (1.0 hectáreas)

INVERSIONES (FASE DE REALIZACION)	TOTALES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Arado	2,278.0	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8
Alquiler de la tierra (1.0 hectárea)	8,000.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0
Rastrado	2,278.0	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8
Sistema de riego 1 Ha	8,000.0	5,000.0					3,000.0				
COSTOS (FASE DE EXPLOTACIÓN) TOTAL	20,556.0	6,255.6	1,255.6	1,255.6	1,255.6	1,255.6	4,255.6	1,255.6	1,255.6	1,255.6	1,255.6
Siembra (1 hectárea, dos siembras)	4,330.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0
Fertilización (ácido 1600 usd/año, 166 USD/año fertilizantes)	17,660.0	1,766.0	1,766.0	1,766.0	1,766.0	1,766.0	1,766.0	1,766.0	1,766.0	1,766.0	1,766.0
Control plagas (dos controles por ciclo)	3,872.0	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2
Deshierba (dos por ciclo)	16,240.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0
Cosecha (recolección, secado, ensacado)	16,240.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0
BENEFICIOS TOTAL	58,342.0	5,834.2	5,834.2	5,834.2	5,834.2	5,834.2	5,834.2	5,834.2	5,834.2	5,834.2	5,834.2
Producción anual dos cosechas; (107.8 qq/ha/año, 90 USD/qq)	97,020.0	9,702.0	9,702.0	9,702.0	9,702.0	9,702.0	9,702.0	9,702.0	9,702.0	9,702.0	9,702.0
TOTAL	97,020.0	9,702.00	9,702.00	9,702.00	9,702.00	9,702.00	9,702.00	9,702.00	9,702.00	9,702.00	9,702.00
VALOR NETO (ANUAL)	18122.00	-2387.80	2612.20	2612.20	2612.20	2612.20	-387.80	2612.20	2612.20	2612.20	2612.20

Figura 24. Evaluación Financiera y Económica del Tratamiento 2 (1.0 hectáreas)

INVERSIONES (FASE DE REALIZACIÓN)	TOTALES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Arado	2,278.0	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8
Alquiler de la tierra (1.0 hectárea)	8,000.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0
Rastrado	2,278.0	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8
Sistema de riego 1 Ha	9,000.0	6,000.0					3,000.0				
COSTOS (FASE DE EXPLOTACIÓN) TOTAL	21,556.0	7,255.6	1,255.6	1,255.6	1,255.6	1,255.6	4,255.6	1,255.6	1,255.6	1,255.6	1,255.6
Siembra (1 hectárea, dos siembras)	4,330.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0
Fertilización (ácido 800 usd/año, 166 USD/año fertilizantes)	9,660.0	966.0	966.0	966.0	966.0	966.0	966.0	966.0	966.0	966.0	966.0
Control plagas (dos controles por ciclo)	3,872.0	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2
Deshierba (dos por ciclo)	16,240.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0
Cosecha (recolección, secado, ensacado)	32,480.0	3,248.0	3,248.0	3,248.0	3,248.0	3,248.0	3,248.0	3,248.0	3,248.0	3,248.0	3,248.0
BENEFICIOS TOTAL	66,582.0	6,658.2	6,658.2	6,658.2	6,658.2	6,658.2	6,658.2	6,658.2	6,658.2	6,658.2	6,658.2
Producción anual dos cosechas; (136.84 qq/ha/año, 90 USD/qq)	123,156.0	12,315.6	12,315.6	12,315.6	12,315.6	12,315.6	12,315.6	12,315.6	12,315.6	12,315.6	12,315.6
TOTAL	123,156.0	12315.60	12315.60	12315.60	12315.60	12315.60	12315.60	12315.60	12315.60	12315.60	12315.60
VALOR NETO (ANUAL)	35018.00	-1598.20	4401.80	4401.80	4401.80	4401.80	1401.80	4401.80	4401.80	4401.80	4401.80

Figura 25. Evaluación Financiera y Económica del Tratamiento 3 (1.0 hectáreas)

INVERSIONES (FASE DE REALIZACIÓN)	TOTALES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Arado	2,278.0	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8
Alquiler de la tierra (1.0 hectárea)	8,000.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0	800.0
Rastrado	2,278.0	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8	227.8
Sistema de riego 1 Ha	9,000.0	6,000.0					3,000.0				
COSTOS (FASE DE EXPLOTACIÓN) TOTAL	21,556.0	7,255.6	1,255.6	1,255.6	1,255.6	1,255.6	4,255.6	1,255.6	1,255.6	1,255.6	1,255.6
Siembra (1 hectárea, dos siembras)	4,330.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0	433.0
Fertilización (ácido 800 usd/año, 332 USD/año fertilizantes)	11,320.0	1,132.0	1,132.0	1,132.0	1,132.0	1,132.0	1,132.0	1,132.0	1,132.0	1,132.0	1,132.0
Control plagas (dos controles por ciclo)	3,872.0	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2	387.2
Deshierba (dos por ciclo)	16,240.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0	1,624.0
Cosecha (recolección, secado, ensacado)	32,480.0	3,248.0	3,248.0	3,248.0	3,248.0	3,248.0	3,248.0	3,248.0	3,248.0	3,248.0	3,248.0
BENEFICIOS TOTAL	68,242.0	6,824.2	6,824.2	6,824.2	6,824.2	6,824.2	6,824.2	6,824.2	6,824.2	6,824.2	6,824.2
Producción anual dos cosechas; (152.24 qq/ha/año, 90 USD/qq)	137,016.0	13,701.6	13,701.6	13,701.6	13,701.6	13,701.6	13,701.6	13,701.6	13,701.6	13,701.6	13,701.6
TOTAL	137,016.0	13,701.60	13,701.60	13,701.60	13,701.60	13,701.60	13,701.60	13,701.60	13,701.60	13,701.60	13,701.60
VALOR NETO (ANUAL)	47218.00	-378.20	5621.80	5621.80	5621.80	5621.80	2621.80	5621.80	5621.80	5621.80	5621.80

Figura 26. Evaluación Financiera y Económica del Tratamiento 4 (1.0 hectáreas)