

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN RIEGO Y DRENAJE**



**“EFECTO DEL USO DE MATERIA ORGÁNICA Y EL RIEGO
PARCIAL EN FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*) UTILIZANDO EL
RIEGO POR GOTEO”**

Presentada por:

ELIZABETH DIONICIA ORTIZ CAMONES

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN RIEGO Y DRENAJE**

Lima - Perú

2024

“EFECTO DEL USO DE MATERIA ORGÁNICA Y EL RIEGO PARCIAL EN FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*) UTILIZANDO EL RIEGO POR GOTEÓ”

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	kupdf.net Fuente de Internet	<1 %
2	www.scielo.org.pe Fuente de Internet	<1 %
3	www.ucla.edu.ve Fuente de Internet	<1 %
4	colposdigital.colpos.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
5	repositorio.una.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
6	repositorio.espam.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
7	w3w.inra.org.ma Fuente de Internet	<1 %
8	Submitted to Taibah University Trabajo del estudiante	<1 %

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN RIEGO Y DRENAJE**

**“EFECTO DEL USO DE MATERIA ORGÁNICA Y EL RIEGO
PARCIAL EN FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*) UTILIZANDO EL
RIEGO POR GOTEO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

ELIZABETH DIONICIA ORTIZ CAMONES

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Néstor Montalvo Arquíñigo
PRESIDENTE

Ph. D. Miguel Sánchez Delgado
ASESOR

Mg.Sc. Edgardo Alaluna Gutiérrez
MIEMBRO

Ph. D. Absalón Vásquez Villanueva
MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios, por darme salud y fortaleza.

A Gerardo Rafael A. mi compañero de vida por el inmenso apoyo que me brindo durante el desarrollo de la tesis.

A Soledad Camones y Walter Falcon, Mis padres, por la educación y el cuidado que me brindan.

Walter y Edwin, mis hermanos con mucho cariño.

Valentina y Diego, mis sobrinos amados.

A mi abuelita Dionisia Sandaña y mi padrino Edgar Orellano que desde el cielo cuidan de mí.

AGRADECIMIENTO

Especial agradecimiento a mi asesor, Ph. D. Miguel Sánchez Delgado, por su constante apoyo brindado en la realización de la tesis. De igual manera, agradezco a los miembros de mi comité consejero: Dr. Néstor Montalvo Arquíñigo, Ph. D. Absalon Vasquez Villanueva, y Mg.Sc. Edgardo Alaluna Gutierrez, por las críticas constructivas, compartir sus experiencias y por el tiempo brindado durante la tesis. Las lecciones aprendidas me ayudaran a ser una mejor profesional en el campo de la investigación de la rama de ingeniería agrícola.

A gradezco a la Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola, Departamento de Recursos Hídricos, al Programa de Maestría en riego y drenaje, y al centro de investigación y extensión (CIER) por brindarme las parcelas para la ejecución de la tesis y de esa manera ampliar mis conocimientos. Así mismo, agradezco a NETAFIM y ADAMA por el asesoramiento en la parte técnica.

Finalmente, agradezco a la familia Rafael Araucano por el cuidado y cariño, y a todos mis amigos del CIER por la colaboración en cada actividad realizada durante la tesis.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	OBJETIVOS	3
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1.	CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO.....	4
2.1.1.	Frijol variedad canario	4
2.1.2.	Clasificación taxonómica.....	5
2.1.3.	Descripción de etapas de desarrollo del cultivo de frijol.....	6
2.2.	FERTILIZANTE	7
2.2.1.	Fertilización.....	7
2.2.2.	Fertirrigación.....	8
2.2.3.	Fraccionamiento de la extracción de nutrientes por etapa fenológica del cultivo de frijol.....	8
2.2.4.	Consumo total de nutrientes en la planta	12
2.2.5.	Ácido húmico.....	14
2.3.	ESTRÉS POR DÉFICIT HÍDRICO	14
2.4.	RIEGO POR SECADO PARCIAL DE RAÍCES (PDR)	15
2.5.	EL ÁCIDO ABCÍSICO EN LA PLANTA (ABA).....	17
2.5.1.	Señalización radicular	17
2.5.2.	Señalización química	17
2.6.	RIEGO POR GOTEO	18
2.7.	EVAPOTRANSPIRACIÓN	18
2.7.1.	Proceso de la evapotranspiración	18
2.7.2.	Evaporación.....	19
2.7.3.	Transpiración.....	19
2.7.4.	Evapotranspiración.....	20
2.8.	EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA (ET _o)	20

2.9. DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN	21
2.9.1. Método del tanque evaporímetro	21
2.10. COEFICIENTE DE CULTIVO K_C	22
2.11. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ET_c)	23
2.12. DISEÑO AGRONÓMICO	24
2.12.1. Necesidades de agua	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	27
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS	27
3.2.1. Características del suelo.....	28
3.2.2. Características del agua de riego.....	28
3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	29
3.3.1. Diseño experimental.....	29
3.3.2. Unidad experimental bajo riego parcial con tres láminas primer factor de la investigación	29
3.3.3. Unidad experimental con dos programas de fertilización edáfica segundo factor de la investigación.....	31
3.3.4. Tratamientos.....	32
3.3.5. Diseño estadístico.....	32
3.3.4. Análisis estadístico.....	33
3.4. PROCEDIMIENTO DE CAMPO	34
3.5. RIEGO	36
3.5.1. Método del Tanque evaporímetro	36
3.6. LABORES CULTURALES DENTRO DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN	40
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1. BULBO HÚMEDO	41
4.2. FERTILIZACIÓN	42
4.3. NECESIDADES HÍDRICAS	43

V. CONCLUSIONES	54
VI. RECOMENDACIONES	55
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
VIII. ANEXOS	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Etapas de desarrollo del cultivo de frijol.....	6
Tabla 2 : Extracción de nutrientes en el cultivo de frijol para alcanzar un rendimiento de 2.90 (Mg/ha ⁻¹)	13
Tabla 3: Extracción de nutrientes del frijol (kg/ha ⁻¹).....	14
Tabla 4: Coeficientes del tanque evaporímetro (Kp) para el tanque clase A	22
Tabla 5: Valores de Ea en climas áridos.....	24
Tabla 6: Valores de Coeficiente de uniformidad (CU).....	25
Tabla 7: Análisis físicas-química del suelo	28
Tabla 8: Promedio de datos meteorológicos de la estación DAVIS.....	37
Tabla 9: Datos de lectura diaria de la evaporación.....	38
Tabla 10: Dimensiones del comportamiento del bulbo húmedo en 5 horas.....	41
Tabla 11: Requerimiento de nutrientes del cultivo de frijol.....	42
Tabla 12: Aporte al 100% de fosforo y 70% de potasio.....	42
Tabla 13: Aporte del 30% del potasio , calcio y magnesio para fertirriego	42
Tabla 14: Requerimiento de nutriente para el cultivo de frijol de acuerdo a su periodo vegetativo durante el fertirriego	42
Tabla 15: Requerimiento de nutriente para el cultivo de frijol de acuerdo los números de días de su periodo vegetativo durante el fertirriego	43
Tabla 16: Programa de fertilización edáfica para el cultivo de frijol	43
Tabla 17: Aplicación de lámina durante el trabajo de investigación.....	45
Tabla 18: volumen de agua consumido durante el periodo vegetativo del cultivo	46
Tabla 19: Análisis de varianza (SC tipo III) del rendimiento total del cultivo son adición de materia orgánica	48

Tabla 20: Análisis de varianza (SC tipo III) del rendimiento total del cultivo con adición de materia orgánica	49
Tabla 21: Análisis de la Varianza (SC tipo III) de interacción del uso de materia orgánica y la aplicación del riego en el rendimiento del cultivo de frijol variedad canario (Kg/ha)	50
Tabla 22: Prueba de LSD Fisher alfa 0.05 DMS=435.04441.....	50
Tabla 23: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=615.24570	50
Tabla 24: Productividad de agua	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Épocas de aplicación de fertilizantes, control de malezas, riego, control de plagas y cosecha, según las etapas de desarrollo del cultivo	6
Figura 2: Diagrama de flujo de la producción de fertilizantes	7
Figura 3: Fraccionamiento de la extracción de N por etapa fenológica del cultivo de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	9
Figura 4: Fraccionamiento de la extracción P por etapa fenológica del cultivo de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	10
Figura 5: Fraccionamiento de la extracción de K por etapa fenológica del cultivo de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	11
Figura 6: Fraccionamiento de la extracción de Ca por etapa fenológica del cultivo de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	12
Figura 7: Fraccionamiento de la extracción de Mg por etapa fenológica del cultivo de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	12
Figura 8: Esquema de riego parcial de la zona de raíces PDR	16
Figura 9: casos sobre la localización del tanque de evaporación	22
Figura 10: Localización de las sales en el riego por goteo	26
Figura 11: Ubicación política del área de estudio	27
Figura 12: Distribución del campo experimental	29
Figura 13: Esquema de riego secado parcial de raíces en la unidad experimental.....	30
Figura 14: Esquema de alternancia de riego parcial de raíces en la unidad experimental a base de la frecuencia de riego.....	30
Figura 15: Esquema del campo experimental con dos programas de fertilización	31
Figura 16: Nutrientes principales del fertilizante fosfatado	35
Figura 17: Nutrientes principales del ácido húmico granulado.....	35

Figura 18: Distribución del 30% de fertirriego y programa de nutrición vegetativa con fertilizantes hidrosolubles.....	36
Figura 19: Comportamiento de la evaporación durante la etapa experimental	44
Figura 20: Comportamiento de la reposición de lámina durante la etapa experimental	44
Figura 21: Volumen de agua en m ³ /ha por tratamiento.....	45
Figura 22: Humedad del suelo durante la etapa experimental , antes y después del riego alternado válvula A.....	47
Figura 23: Humedad del suelo durante la etapa experimental , antes y después del riego alternado válvula B.....	47
Figura 24: Rendimiento total del cultivo de frijol variedad canario.....	48
Figura 25: Interacción del cultivo de frijol con adición de materia orgánica y aplicación de riego	51

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Análisis de agua y suelo.....	61
Anexo 2: Prueba de infiltración.....	63
Anexo 3: Diseño agronómico.....	64
Anexo 4: Actividades durante el tiempo de investigación.	66

RESUMEN

La presente investigación fue realizada en el centro de investigación y extensión en Riego (CIER) de la UNALM. El objetivo fue evaluar el efecto del uso de materia orgánica y el riego parcial de raíces en frijol utilizando el riego por goteo, determinando el rendimiento en condiciones de estrés hídrico en un área de 825 m². Se aplicó la técnica de riego parcial de raíces (SPR) utilizando dos cintas de riego de 16 mm con caudal de 1 l/h, con separación entre emisores de 0.40 m; al ser unidas las cintas de riego, la separación entre emisores fue de 0.20 m. Se trabajaron tres tratamientos: TR-3 con lámina 100 por ciento ETc riego normal (testigo), TR-2 con lámina 100 por ciento ETc (SPR) y TR-1 con lámina 75 por ciento ETc (SPR); la reposición de lámina de riego fue mediante el método del tanque evaporímetro clase A. Se incorporó al plan nutricional dos programas de fertilización edáfica (NPK:80-120-100+20MgO+30CaO) y con 500 kg/ha de ácido húmico. El diseño experimental fue DBCA con arreglo factorial, en el cual se evaluó que hay diferencias significativas entre las técnicas de riego y entre los programas de fertilización, obteniéndose mejores resultados con el TR-3 con lámina 100 por ciento ETc (testigo) con un incremento de 3666.28 kg/ha con 13.1 por ciento y 19.31 por ciento en relación a TR-2 y TR-1. Los altos rendimientos de grano fueron, con la adición de materia orgánica y riego parcial de raíces de 3545.91 kg/ha TR-1 (75 por ciento ETc SPR) y 4079.86 kg/ha TR-3 (100 por ciento ETc testigo); asimismo, sin la adición de materia orgánica y riego parcial de raíces de 2938.27 kg/ha TR-1 (75 por ciento ETc SPR) y 3252.7 kg/ha TR-3 (100 por ciento ETc , testigo)

Palabras claves: rendimiento de frijol, riego parcial de raíces (SPR), riego por goteo.

ABSTRACT

The present research was carried out at the Centre for Irrigation Research and Extension (CIER) - UNALM. The objective was to determine the effect of partial irrigation in beans using the drip irrigation system, determining yield under water stress conditions in an area of 825 m². The partial root irrigation technique (SPR) was applied using two 16 mm irrigation tapes with a flow rate of 1 l/h, with a separation between emitters of 0.40 m. when the irrigation tapes were joined the separation between emitters was 0.20 m. Three treatments were used: TR-3 with 100 per cent ET_c normal irrigation (control), TR-2 with 100 per cent ET_c (SPR), and TR-1 with 75 per cent ET_c (SPR). the replacement of irrigation lamina was by means of the evaporimeter tank class A method. Two edaphic fertilisation programmes (NPK:80-120-100+20MgO+30CaO) and 500 kg/ha of humic acid (Ultra Zinc 4.8%Zn) were incorporated into the nutritional plan. The experimental design was DBCA with factorial arrangement, in which it is evaluated that there are significant differences between the types of irrigation and between the fertilization programs, obtaining better results with the TR-3 with 100 percent ET_c (control) with an increase of 3666.28 kg/ha with 13.1 percent and 19.31 percent in relation to TR-2 and TR-1. The high grain yields were, with the addition of organic matter and partial root irrigation of 3545.91 kg/ha TR-1 (75 percent ET_c SPR) and 4079.86 kg/ha TR-3 (100 percent ET_c control) to the same without the addition of organic matter and partial root irrigation of 2938.27 kg/ha TR-1 (75 percent ET_c SPR) and 3252.7 kg/ha TR-3 (100 percent ET_c control).

Keyword: beans yield, partial root irrigation (SPR), drip irrigation.

I. INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris*) ocupa aproximadamente el 90% del área cultivada a nivel mundial. Es un cultivo tradicional que forma parte de la dieta básica, siendo una fuente de proteína accesible y económica (Guamán *et al.* 2020). El cultivo tiene una importancia económica significativa en el Perú, destacándose por su alto contenido de proteínas (20 a 23%). Es un alimento esencial en la dieta diaria de los peruanos, y puede consumirse tanto en grano seco como en verde. Según un reporte del Mercado Mayorista de Lima, en el año 2020 se comercializaron 3379 toneladas de grano verde (Aybar *et al.* 2020). El rendimiento promedio del frijol a nivel nacional es de 1500 - 2000 kg/ha, con un máximo registrado de 2595 kg/ha. Estos rendimientos varían según las prácticas agronómicas y culturales implementadas, así como el uso adecuado de fertilizantes (Ferrer *et al.* 2005).

El 60% de la producción mundial de frijol (*Phaseolus vulgaris*) se obtiene en condiciones de déficit hídrico. El estrés por sequía es causado por la baja disponibilidad de agua en el suelo, modificando negativamente la productividad. El frijol es extremadamente sensible al estrés hídrico, con frecuencia en forma simultánea en las etapas fenológicas más sensitivas de la planta: para la formación del rendimiento en el inicio de la floración, inicio de crecimiento de las vainas y llenado de grano en las áreas de secano. La producción de cultivos es la actividad humana que más agua consume, ya que supone alrededor del 70% del agua extraída en todo el mundo (Yang *et al.* 2006, Yawson *et al.* 2014). Sin embargo, ante la creciente escasez de agua y la demanda de alimentos, es necesario aumentar la eficiencia del uso del agua (EUA) en la producción de cultivos (Carrijo *et al.* 2017).

En las tierras áridas, la escasez de agua es uno de los principales factores que limitan la producción agrícola; por ello, el uso eficiente de los recursos hídricos es un requisito imprescindible en estas zonas. Para lograrlo, existen alternativas viables, como el desarrollo de técnicas de riego deficitario (DI) con sistemas de riego por goteo, que pueden ayudar a gestionar y utilizar el agua de forma más eficiente. Entre ellas, la técnica de secado parcial de la zona .

radicular (PRD) es una técnica de riego innovadora y respetuosa con el medio ambiente que puede emplearse más fácilmente utilizando sistemas de riego por goteo (Du *et al.* 2008 citado por Topak *et al.* 2016).

Algunos estudios han demostrado que, dada la misma cantidad de agua de riego, la PRD es superior a la DI convencional (CDI) en términos de mantener el rendimiento y aumentar la eficiencia en el uso del agua (WUE) (Dodd 2007, Liu *et al.* 2009, Sadras 2009, Wang *et al.* 2010 citado por Topak *et al.* 2016).

La característica más importante de la técnica PRD es que la mitad del sistema radicular está sujeta al secado del suelo y la otra mitad crece en suelo irrigado en cada evento de riego (Kang *et al.* 1997, Kang y Zhang 2004). Si el sistema radicular de la planta es compatible con la técnica PRD, puede resultar en un ahorro significativo de agua, y el WUE puede mejorarse sustancialmente (Kang *et al.* 2000, Tang *et al.* 2005, Sepaskhah y Parand 2006, Shahnazari *et al.* 2007, Du *et al.* 2008, Ahmadi *et al.* 2010 citado por Topak *et al.* 2016).

Se realizó este trabajo donde se aplicó la técnica de riego parcial de raíces (PRD) utilizando el sistema de riego por goteo. Se probaron tres láminas de riego (75% Etc SPR, 100% Etc SPR, 100% Etc) y dos programas de fertilización edáfica.

1.1. OBJETIVOS

- **Objetivo general**

Determinar el efecto del uso de materia orgánica y el riego parcial de raíces en frijol (*Phaseolus vulgaris*) utilizando el riego por goteo.

- **Objetivos específicos**

- a. Evaluar el efecto en el rendimiento de granos del cultivo de frijol variedad Canario bajo la técnica de riego secado parcial de raíces con dos programas de fertilización mediante el sistema de riego por goteo.
- b. Evaluar el efecto de tres las láminas de riego en el rendimiento de granos del cultivo de frijol variedad Canario bajo la técnica de riego secado parcial de raíces.
- c. Determinar el volumen de agua utilizado en el cultivo de frijol variedad canario bajo la técnica de riego parcial secado de raíces.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO

2.1.1. Frijol variedad canario

El centro de origen del frijol, sin duda, es América. Las formas silvestres que dieron lugar a las variedades cultivadas actuales se encuentran ampliamente distribuidas desde México hasta Argentina. Tanto los frijoles silvestres como los cultivados en Centro y Sudamérica comparten características morfológicas que sugieren la existencia de dos grandes centros de domesticación. Los frijoles del centro mesoamericano y los del centro andino, con su gran diversidad de formas, colores y tamaños, evidencian la gran importancia que tuvo esta especie entre las culturas pre colombinas (Valladolid 2001).

Es una especie originaria de América y se considera uno de los cultivos más importantes, siendo una de las principales fuentes de proteína vegetal para los seres humanos. Este cultivo abarca más de 30 millones de hectáreas cosechadas y produce más de 26 millones de toneladas de semillas a nivel mundial (Hidalgo *et al.* 2019). El frijol común es la leguminosa de grano más importante del mundo, representando el 87% de las leguminosas consumidas globalmente. En Latinoamérica, y especialmente en Perú, este cultivo es fundamental en la dieta diaria de las personas de bajos recursos, debido a sus buenas cualidades agronómicas, alta producción y consumo (Cantaro *et al.* 2019).

El frijol canario es un cultivo de importancia económica en el Perú, caracterizado por su alto contenido de proteínas (20 a 23%) y su alta demanda en la dieta diaria de los peruanos. Puede consumirse tanto en grano seco como en verde. Según un reporte del Mercado Mayorista de Lima, en el año 2020 se comercializaron 3379 toneladas de grano verde. En el Perú, para el año 2019 se cosecharon 72 215 ha de frijol (*Phaseolus vulgaris.*), con un rendimiento promedio de 1190 kg/ha, entre las variedades más cultivadas destacan los frijoles de grano blanco, canario y panamito, entre otros. Su producción está a cargo de más de 140 mil familias (Aybar y Luis 2021).

El 60% de la producción global de frijol (*Phaseolus vulgaris*) se realiza bajo condiciones de estrés hídrico, por lo que este factor es quien más contribuye en la reducción del rendimiento después de las enfermedades. El estrés por sequía es causado por la baja disponibilidad de agua en el suelo, modificando negativamente la productividad del frijol. Esta es afectada dependiendo de la intensidad, duración de la escasez de agua y de la rapidez con la cual se alcance dicha intensidad y además de la etapa fenológica en que el efecto ocurra, así como el precondicionamiento de la planta. El frijol es extremadamente sensible al estrés hídrico y al calor presente con frecuencia en forma simultánea en las etapas fenológicas más sensitivas de la planta: para la formación del rendimiento en el inicio de la floración, inicio de crecimiento de las vainas y llenado de grano en las áreas de secano; este tipo de estrés abiótico disminuye el rendimiento y calidad de la producción. Un estudio sobre el déficit y la frecuencia de riego en el frijol (*Phaseolus vulgaris*) encontró que hubo un efecto significativo en la disminución del rendimiento de grano y el número de vainas por planta debido al déficit de humedad del suelo durante los estadios de crecimiento, floración y formación de grano. Evaluaron el impacto del estrés hídrico en el crecimiento del frijol común y observaron una rápida disminución en el índice de área foliar, con una reducción del 65% en el inicio de la floración en comparación con el testigo. Asimismo, la conductancia estomática y la fotosíntesis se redujeron bajo estrés hídrico (Reyes 2014).

2.1.2. Clasificación taxonómica

Según (Valladares 2010) menciona que a partir del punto taxonómico el frijol es de prototipo de género *Phaseolus*.

Reino: Rosidae

Sub reino: Tracheobionta

Clase: Magnoliophyta

Familia: Fabaceae

Género: Phaseolus

Especie: Vulgari

2.1.3. Descripción de etapas de desarrollo del cultivo de frijol

Cada una de las 10 etapas de la escala corresponde a un estado específico de desarrollo fisiológico y está determinada por un evento inicial y otro final que a su vez determina el comienzo de la siguiente etapa, como se resume a continuación.

Tabla 1. Etapas de desarrollo del cultivo de frijol

Fase	Etapa		Evento con que se inicia cada etapa
	Código	Nombre	
Vegetativa	V0	Geminación	La semilla está en condiciones favorables para iniciar la germinación.
	V1	Emergencia	Los cotiledones del 50% de las plantas aparecen al nivel del suelo.
	V2	Hojas primarias	Las hojas primarias del 50% de las plantas están desplegadas .
	V3	Primera hoja trifoliar	La primera hoja trifoliada del 50% de las plantas está desplegada .
	V4	Tercera hoja trifoliada	La tercera hoja trifoliada del 50% de las plantas está desplegada .
Reproductiva	R5	Prefloración	Los primeros botones o racimos han aparecido en el 50% de las plantas.
	R6	Floración	se ha abierto la primera flor en el 50% de las plantas.
	R7	Formación de vainas	Al marchitarse la corola, en el 50% de las plantas aparece por lo menos una vaina.
	R8	Llenado de vainas	Llenado de semillas en la primera vaina en el 50% de las plantas.
	R9	Maduración	Cambio de color en por lo menos una vaina en el 50% de las plantas (del verde al amarillo uniforme o pigmentado).

Fuente: Tomado de Centro Internacional de Agricultura Tropical de Colombia 1986.

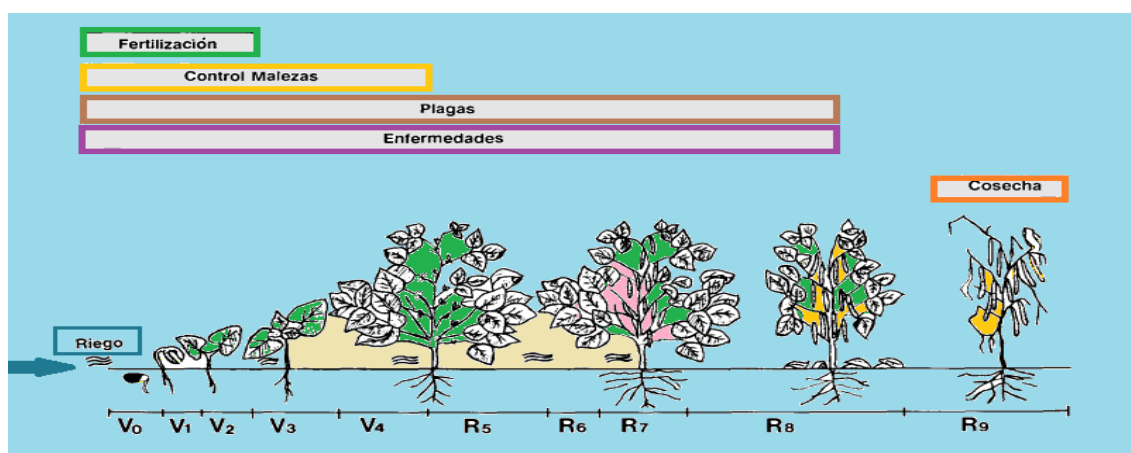


Figura 1: Épocas de aplicación de fertilizantes, control de malezas, riego, control de plagas y cosecha, según las etapas de desarrollo del cultivo

Fuente: : Adaptado de Centro Internacional de Agricultura Tropical 1986.

2.2. FERTILIZANTE

Cualquier material natural o industrializado, que contenga al menos cinco por ciento de uno o más de los tres nutrientes primarios (N, P₂O₅, K₂O) puede ser llamado fertilizante.

El amoníaco es sintetizado de los hidrocarburos (la mayor parte del gas natural pero también de la nafta o del carbón), del nitrógeno atmosférico y del vapor. El dióxido de carbono resultante de su conversión puede ser combinado con el amoníaco para formar la urea. El ácido nítrico es hecho por oxidación del amoníaco con el aire. El ácido sulfúrico es producido por la quema del azufre en el aire. La reacción con la roca produce ácido fosfórico. Las sales de potasio de los depósitos naturales son la fuente de K (IFA 1992).

2.2.1. Fertilización

la fertilización consiste en aplicar al suelo los nutrientes que se encuentran insuficientes para una producción esperada. Los suelos sometidos a una agricultura intensiva pueden tener una alta capacidad productiva; sin embargo, generalmente son deficientes en nitrógeno, fósforo, potasio y algunas veces en otro macro y microelementos que el agricultor necesita aplicarlos para obtener altos rendimientos que aseguren una rentabilidad. Existen 16 elementos químicos (nutrientes) esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Tres de estos elementos, el carbono, el oxígeno y el hidrógeno, son absorbidos del aire y del agua. Los 13 elementos restantes provienen del suelo y se denominan minerales. Cuando el suelo no suministra alguno de estos nutrientes en la cantidad necesaria para las plantas, es imprescindible añadirlo mediante fertilizantes (Condori 2019).

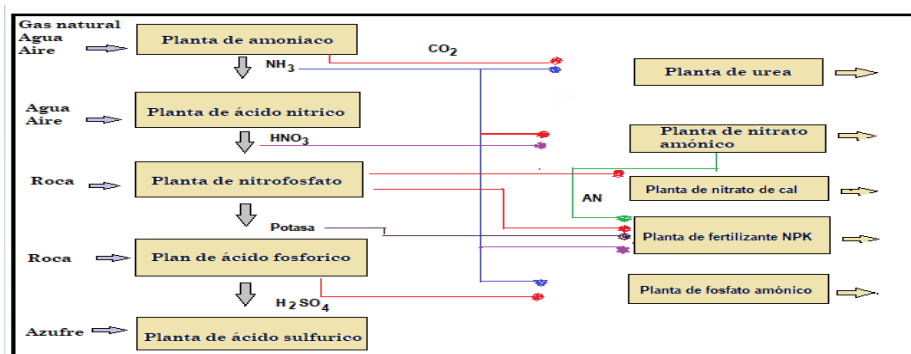


Figura 2: Diagrama de flujo de la producción de fertilizantes

Fuente: Adaptado del Manual Mundial sobre el Uso de Fertilizantes 1992.

2.2.2. Fertirrigación

Consiste en aplicar a los cultivos el fertilizante conjuntamente con el agua a través del sistema de riego. Requiere que el proceso comience una vez que las tuberías de la red han desalojado el aire y el sistema de riego ha alcanzado la presión de operación necesaria. Debe culminar antes que se cumpla el tiempo de riego para garantizar la descarga completa de los fertilizantes y el lavado de las tuberías. Sin embargo, el tiempo de operación del inyector de fertilizante se suele calcular con los requerimientos de agua obtenidos en el diseño agronómico sin considerar en el cálculo el tiempo de viaje de los agroquímicos desde el inyector hasta los goteros lejanos de cada unidad operacional. En muchos casos el tiempo posterior a la desactivación del dosificador no es suficiente para la descarga completa de la solución fertilizante en los goteros más alejados del cabezal, lo que resulta en aplicaciones poco uniformes o con problemas de obstrucción de emisores por precipitación de fertilizantes (Villafaña *et al.* 2016).

2.2.3. Fraccionamiento de la extracción de nutrientes por etapa fenológica del cultivo de frijol

Nitrógeno

El fréjol es una planta que presenta altas concentraciones de nitrógeno (N) en sus tejidos y granos. El N se acumula principalmente en la hoja (incluidas ramas), lo que explica su capacidad de movilidad dentro de la planta. Por su parte, la raíz y el tallo mantienen niveles semejantes de extracción. El N aumenta de manera significativa a los 37 días del cultivo, y se distribuye en mayor cantidad en la hoja, con 29.0 kg ha⁻¹, seguido del tallo, con 6.1 kg ha⁻¹. La etapa reproductiva empieza cuando el 50% del cultivo produce racimos en los nudos inferiores, aproximadamente a los 31 días, por lo que en el segundo muestreo se evaluó la presencia de N en las flores, la cual fue en cantidades mínimas, con 0.7 kg ha⁻¹, fue la menor de todos los órganos. Entre los 36 y 37 días después de la siembra comenzó la formación de vainas, analizadas para la tercera fase. El cultivo concentra el elemento en el grano fresco y disminuye para el follaje. La vaina presentó una concentración relevante del nutriente, con 11.2 kg ha⁻¹, al contrario del follaje en el que la presencia del elemento es el doble de la vaina. En la última etapa, la acumulación del N continúa creciendo en la planta. Un aumento desmedido se da en el grano seco, en el que se evidencia la mayor distribución, de lo que se puede deducir el alto contenido de proteínas en el fréjol. La concentración final del nutriente

disminuye en la hoja, tallo y vaina, y tiene un ligero aumento en la raíz, respecto a la etapa anterior (Lata *et al.* 2017).

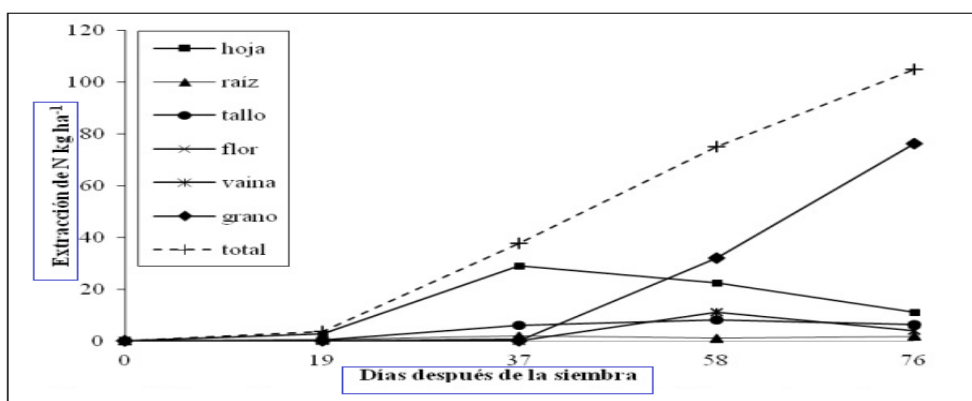


Figura 3: Fraccionamiento de la extracción de N por etapa fenológica del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*)

Fuente: Elaborado a base de Lata 2017.

Fósforo

En general, los suelos más utilizados en la producción de fréjol poseen baja disponibilidad de fósforo (P) y una alta capacidad de fijación del nutriente por parte de la planta. Durante la primera fase la extracción de P por la planta es mínima, expresa cantidades de 0.2 kg ha^{-1} para la hoja, y 0.04 kg ha^{-1} para raíz y tallo. Transcurridos los 37 días del cultivo, se observa que la concentración de P por tejido incrementa, pero no de manera considerable, ya que no sobrepasan ni los 3 kg ha^{-1} . La menor distribución de P es en la flor, con 0.1 kg ha^{-1} , mientras que la hoja tiene la mayor, con 1.7 kg ha^{-1} . Considerando solo las partes vegetativas de la planta, en la siguiente evaluación, existe una disminución del contenido de P en hoja y raíz y un ligero aumento en el tallo. Los contenidos de P de las partes vegetativas pasaron a concentrarse especialmente en el futuro órgano de cosecha y su cubrimiento, observándose cantidades entre 4.6 kg ha^{-1} para grano fresco, y 1.5 kg ha^{-1} para vaina. La última fase indica un incremento final del P en la planta que logra los 13.2 kg ha^{-1} . El P en la hoja y raíz tiende a subir en la cuarta etapa, siendo los valores más altos de consumo de todo el ciclo de cultivo. Por su parte, el tallo revela un aumento mínimo y poco significativo, similar al valor de extracción a los 58 días. En el grano seco se da la mayor acumulación del elemento, con 9.8 kg ha^{-1} , y el contenido en vaina disminuye, pasa a formar parte posiblemente del grano (Lata *et al.* 2017).

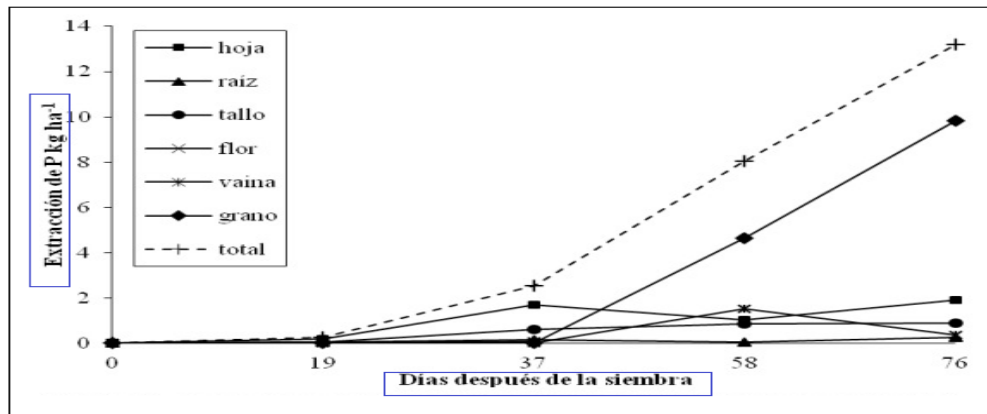


Figura 4: Fraccionamiento de la extracción P por etapa fenológica del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*)

Fuente: Elaborado a base de Lata 2017.

Potasio

El potasio (K), en ocasiones, se toma más temprano que el N y P, y su asimilación se incrementa más rápido que la producción de materia seca. En la primera etapa, el K ocupa espacio principalmente en la hoja, con 2.5 kg ha^{-1} , lo que declara su movilidad dentro de la planta. Sin embargo, la raíz tiene la menor concentración del elemento, mientras que el tallo cuenta con un valor intermedio de 1.1 kg ha^{-1} de extracción de K. Para la segunda fase del cultivo, el K continúa ocupando mayor lugar en la hoja.

El sistema radicular se queda con la menor proporción del elemento, y el tallo pasa a ocupar el segundo lugar. En este sentido, se observa que, en la tendencia de la curva de extracción total de K, es notable su incremento. La presencia de K en la flor, al igual que en la raíz, es muy baja. El K se acumula temprano en el período de crecimiento y luego es traslocado a otras áreas de la planta.

En el transcurso de la tercera etapa, el contenido del nutriente pasa a transportarse desde el follaje hacia el grano y vainas, aunque en mayor proporción en el grano, alcanza el grado máximo de extracción durante esta etapa. Los contenidos de K en hoja y raíz, respecto al ciclo anterior, disminuyeron, mientras que para el tallo aumentó. El órgano de cosecha al final es el que logra la máxima extracción de K. La vaina exhibe un bajo aumento de la acumulación del elemento (Lata *et al.* 2017).

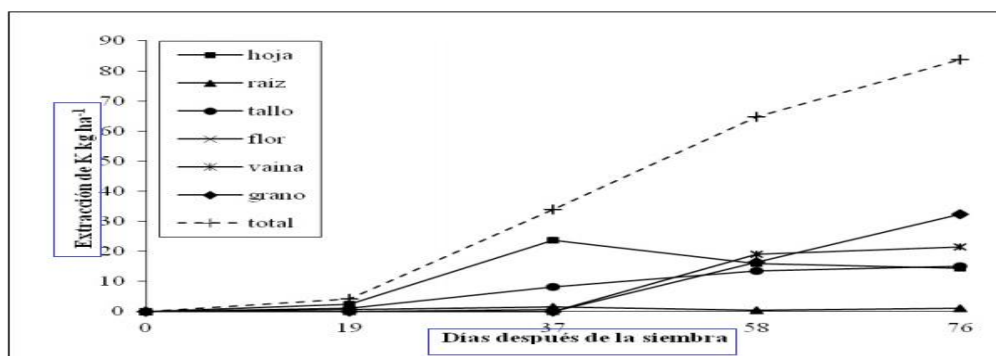


Figura 5: Fraccionamiento de la extracción de K por etapa fenológica del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*)

Fuente: Elaborado a base de Lata 2017.

Calcio

Las plantas en general, tienen contenidos variables de calcio (Ca) lo cual depende de sus condiciones de crecimiento, variedad y especie. A los 19 días del cultivo, se promueve la mayor distribución de Ca hacia las hojas, mientras que una buena cantidad se queda en el sistema radicular debido a su inmovilidad dentro de la planta. En el tallo se concentra una menor cantidad de Ca, con tan solo 0.3 kg ha^{-1} . Durante la fase reproductiva, continúa acumulándose mayormente en las hojas, aumenta su contenido, mientras que las flores tienen el contenido más bajo. En la segunda etapa, la presencia de Ca en el tallo y raíz incrementa en pequeñas proporciones respecto a la fase anterior. En la tercera etapa, el Ca se acumula principalmente en las hojas, mientras que en la raíz su presencia es mínima, con 1.5 kg ha^{-1} . El Ca se concentra más en la vaina que en el grano fresco, extrayendo una cantidad de 4.1 kg ha^{-1} frente a 3 kg ha^{-1} del grano. Por último, el Ca se acumula mayormente en la hoja, seguido por el tallo que también presenta buen contenido del elemento, con 11.5 kg ha^{-1} (Lata *et al.* 2017).

Magnesio

El contenido de magnesio (Mg) en la planta puede variar si se trata de especies, variedades o etapas fenológicas. En la primera fase de desarrollo del cultivo, no hay mucha dinámica de acumulación de Mg en los tejidos, sin embargo, existe mayor extracción en la hoja, con 0.3 kg ha^{-1} , seguido de la raíz, con 0.1 kg ha^{-1} y el tallo, 0.04 kg ha^{-1} . El Mg, al ser un elemento muy móvil dentro de la planta, se distribuye en mayor cantidad hacia las hojas, quedan proporciones poco expresivas del elemento en los demás tejidos de la planta. A los 58 días del cultivo, se observa un ligero incremento del nutriente en la hoja. El desarrollo de

vainas y granos requieren de Mg, y se indica que el grano absorbe mayor cantidad que la vaina. En general, los niveles de Mg en tallo y raíz continúan siendo relativamente bajos, los cuales no llegan ni a 1 kg ha⁻¹. En la fase final, la extracción de Mg en la hoja experimenta un leve aumento, los valores foliares de Mg incrementan ligeramente con la edad, se verifican aumentos mínimos de extracción durante el desarrollo del cultivo. El grano seco y vaina terminan acumulando mayor cantidad del elemento (Lata *et al.* 2017).

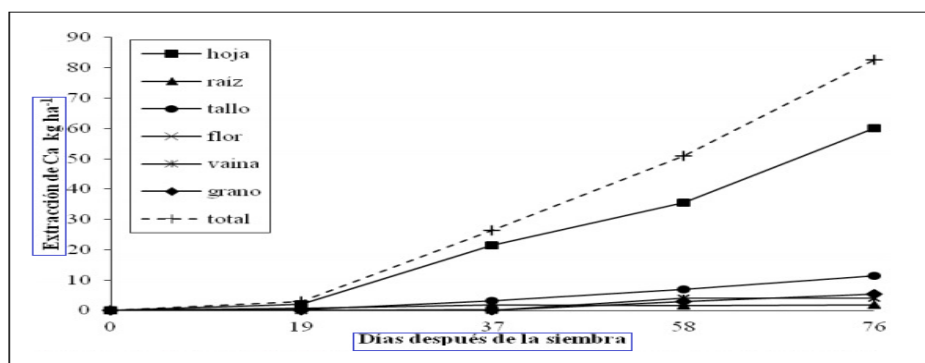


Figura 6: Fraccionamiento de la extracción de Ca por etapa fenológica del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*).

Fuente: Elaborado a base de Lata 2017.

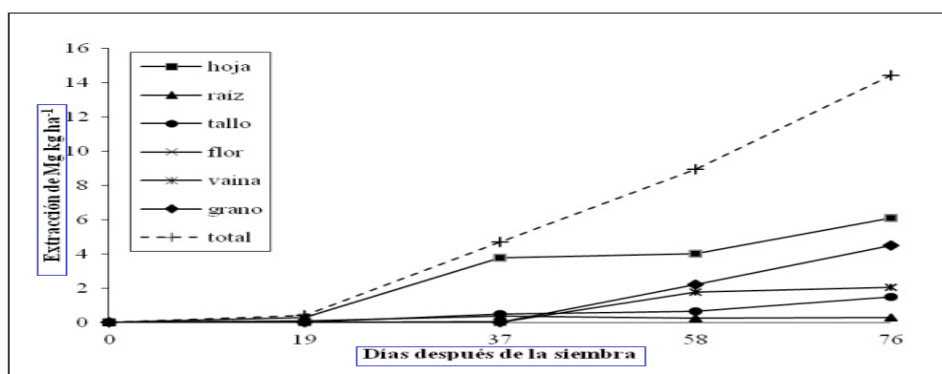


Figura 7: Fraccionamiento de la extracción de Mg por etapa fenológica del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*).

Fuente: Elaborado a base de Lata 2017.

2.2.4. Consumo total de nutrientes en la planta

El frijol, es una planta que presenta extracciones moderadas de nutrientes en relación con otros cultivos. Sin embargo, cuando algún nutriente se encuentra deficiente, esta carencia se

expresa en un menor crecimiento o posible muerte de los tejidos de la planta. El frijol extrae en mayores cantidades N, K₂O y CaO, definidos en ese orden, y en menores proporciones se presenta la extracción de P₂O₅ y MgO, Generalmente se indica que la extracción de todos los nutrientes mantiene un continuo crecimiento y el incremento empieza a partir de los 19 días (3ra hoja trifoliada), etapa en la cual se hacen diferenciables las estructuras vegetativas como tallo, ramas y otras hojas trifoliadas, en un experimento en invernadero manifiestan que la máxima tasa de extracción de nutrientes en el fréjol corresponde a los 50 días después de la siembra para el N, K y Ca, y a los 60 días para Mg y S.

La máxima extracción de los elementos sucedió al final del ciclo fenológico del cultivo, aproximadamente entre los 65 y 80 días, se ubica en primer orden el N, seguido por el K y Ca, en cantidades casi semejantes y por último el Mg y P. El P es sin duda el nutriente menos absorbido por el fréjol, lo que refleja su baja distribución en los órganos de la planta, no llega a alcanzar ni los 15 kg ha⁻¹, durante la fase final, en contraste con el N que sobrepasa los 100 kg ha⁻¹. La mayor cantidad extraída de nutrientes en el cultivo de fréjol es para el N, seguido del K y el Ca, para los tres casos es en la última fase del cultivo donde ocurre la mayor acumulación de los elementos. Muy por debajo se encuentran el Mg y el P con cantidades inferiores de extracción, indica que la planta probablemente no necesita grandes cantidades estos nutrientes para su desarrollo (Lata *et al.* 2017).

Tabla 2 : Extracción de nutrientes en el cultivo de frijol para alcanzar un rendimiento de 2.90 (Mg/ha⁻¹)

Nut.	Etapas fenológicas (Kg ha-1)				Total (Kg ha-1)	Ecuación de extracción	Coeficiente de determinación
	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta			
N	3.8	37.8	75.6	105	221.8	y=28.145x-40-083	R2=0.96
P	0.3	25	8	13.2	24	y=3.4206x-5.4546	R2=0.90
K	4.1	33.9	64.6	83.8	186.5	y=22.818x-31.156	R2=0.96
Ca	2.8	26.5	50.9	82.6	162.8	y=21.325x-31.424	R2=0.9+4
Mg	0.4	4.7	8.9	14.5	28.5	y=3.742x-5.5218	R2=0.94

Fuente: Elaborado a base de Lata 2017.

El fréjol absorbe cantidades altas de N, K y Ca y en menor cantidad S, Mg y P. una idea de los requerimientos de los nutrientes esenciales para el fréjol, obtenida a partir de trabajos realizados en el trópico con fréjoles de hábito de crecimiento I (determinado arbustivo) muestra que absorbe un total de 97- 9-93 de NPK (Arias *et al.* 2007).

Tabla 3: Extracción de nutrientes del frijol (kg/ha⁻¹)

Frijol	Rendimiento	Nitrógeno	Fósforo	P	Potasio	K
	Kg/ha	N	P ₂ O ₅		K ₂ O	
	2400	155 [^] 2	50	22	120	100

Fuente: Elaborado con base en Manual Mundial sobre el Uso de Fertilizantes 1992.

2.2.5. Ácido húmico

Los ácidos húmicos (AH) son una fracción de la materia orgánica humificada (MOH) cuya estructura se puede explicar como una mezcla heterogénea de moléculas de bajo peso molecular producidas por la descomposición parcial y reorganización supramolecular de la materia orgánica depositada en el suelo. Entre otras propiedades, los AH presentan la capacidad de promover el crecimiento vegetal como consecuencia de las interacciones químicas (hidrofílicas o hidrofóbicas) que se dan entre ellas. Estas sustancias son solubles en soluciones alcalinas (Valero *et al.*, 2018).

La Leonardita, por otro lado, es una forma oxidada de lignitos de carbono que se obtiene de materiales orgánicos fosilizados y este tipo de material se utiliza para la extracción de ácidos húmicos (AH). Los mismos autores demuestran que los ácidos húmicos obtenidos al resto de los tratamientos. Sin embargo, se sugiere realizar estudios similares donde se evalúe durante un periodo más prolongado para determinar el tiempo que se mantiene el efecto sobre la productividad en el cultivo de rosas en condiciones de invernadero. partir de leonardita incrementaron la estabilidad de los agregados del suelo en cultivos (Gonzales *et al.* 2017).

2.3. ESTRÉS POR DÉFICIT HÍDRICO

El estrés por déficit hídrico o por sequía se produce en las plantas en respuesta a un ambiente escaso en agua, en donde la tasa de transpiración excede a la toma de agua. el déficit hídrico no sólo ocurre cuando hay poca agua en el ambiente, sino también por bajas temperaturas y por una elevada salinidad del suelo, condiciones que pueden provocar una reducción del agua disponible en el citoplasma de las células, también se conocen como estrés osmótico (Moreno 2009).

El agua es indispensable en la vida de las plantas e influye en su crecimiento y productividad. La poca disponibilidad de agua en el suelo puede ocasionar que la transpiración exceda el agua absorbida por las raíces, lo que se conoce como estrés hídrico (Flores *et al.* 2012). El déficit hídrico en las plantas genera el cierre de estomas y disminuye la entrada del CO₂, lo cual reduce la tasa fotosintética. De manera que este carácter es susceptible a cambiar en ciertas etapas de crecimiento de la planta o en respuesta a diversos estímulos ambientales . En función de la disponibilidad de agua, las plantas ajustan la densidad, la cantidad de hojas y la distribución de las estomas. Estos últimos establecen un control sobre el gasto del agua a lo largo del día en función de la cantidad de luz, temperatura y disponibilidad del agua en las hojas, las legumbres que comúnmente se asocian a los rizobios, en condiciones de déficit hídrico, mantienen su contenido de agua en las hojas y evitan la deshidratación del tejido, además regulan su conductancia estomática, la abscisión de las hojas y el cierre estomático . Esto conduce posteriormente a una disminución en las concentraciones internas de CO₂, lo que limita la fotosíntesis y el crecimiento de los brotes. El control estomático o regulación estomática, es un fenómeno de suma importancia para las plantas, debido a que permite evitar la deshidratación y asegurar la entrada de CO₂ (Estrada *et al.* 2021).

El 60% de la producción mundial de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) se obtiene en condiciones de déficit hídrico. Por lo que este factor es quien más contribuye en la reducción del rendimiento después de las enfermedades. El estrés por sequía, es causado por la baja disponibilidad de agua en el suelo, modificando negativamente la productividad del frijol. Esta es afectada dependiendo de la intensidad, duración de la escasez de agua y de la rapidez con la cual se alcance dicha intensidad y además de la etapa fenológica en que el efecto ocurra, así como el preacondicionamiento de la planta . El frijol es extremadamente sensible al estrés hídrico y al calor presente con frecuencia en forma simultánea en las etapas fenológicas más sensitivas de la planta: para la formación del rendimiento en el inicio de la floración, inicio de crecimiento de las vainas y llenado de grano en las áreas de secano; este tipo de estrés abiótico disminuye el rendimiento y calidad de la producción (Reyes *et al.* 2014).

2.4. RIEGO POR SECADO PARCIAL DE RAÍCES (PDR)

El RPR es una estrategia potencial en el ahorro de agua para riego (aproximadamente 50%). Consiste en regar solo una parte del sistema radicular de forma alternada y su complemento

se deja sin riego, hasta un determinado nivel de abatimiento de la humedad en el suelo (Stoll et al.2000). Se estima que el RPR podría mantener el rendimiento similar a plantas bien regadas (Loveys et al. 2000). Esto se basa en que el potencial hídrico de plantas bajo RPR se equilibre con la parte de la rizosfera que se encuentra en el suelo húmedo y, por lo tanto, sea similar a plantas con riego completo. El RPR es una forma de riego deficitario (RD) (Zegbe et al., 2007). La técnica de riego por secado parcial de raíces (PRD) consiste en regar lados alternos de la planta durante periodos específicos de tiempo, esto crea una zona radicular con "estrés hídrico", donde se sintetiza ácido abscísico (ABA), que es transportado a las hojas, induciendo el cierre estomático. Mientras tanto, en la zona radicular regada, se forma un bulbo húmedo que permite a la planta continuar con normalidad sus funciones fisiológicas (Ramírez et al. 2016). Alternar las zonas húmedas y secas del sistema radicular es esencial para mantener continua la emisión de señales de la raíz al follaje, ya que la raíz no es capaz de mantener su producción de ABA por largos períodos de tiempo. La frecuencia de la alternancia se determina de acuerdo al cultivo, tipo de suelo y factores ambientales (Rojas et al.2007).

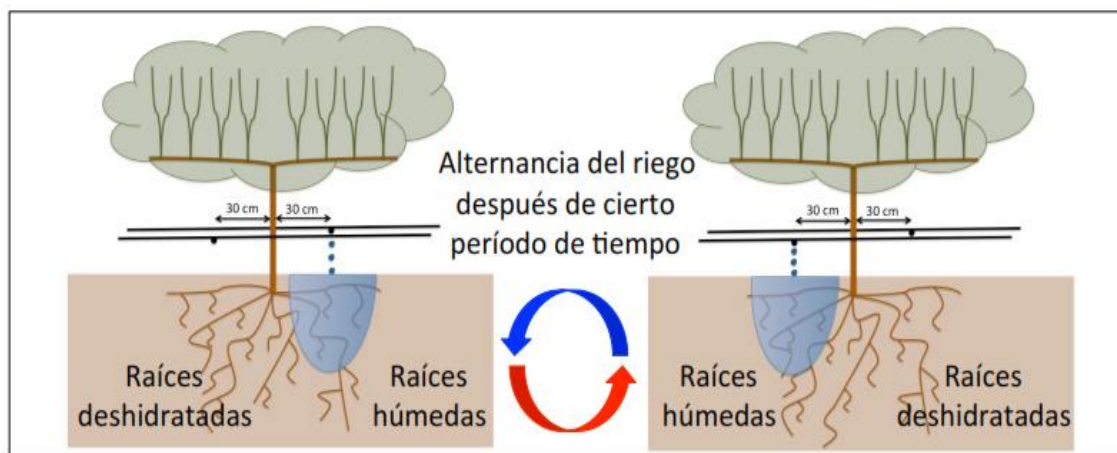


Figura 8: Esquema de riego parcial de la zona de raíces PDR.

Fuente: Elaborado a base de Gutiérrez et al . 2016.

Siendo una técnica de riego que se ha desarrollado para permitir la explotación del sistema de señalización a larga distancia de la planta. Al optimiza el sistema, se puede regular el comportamiento estomático, el estado hídrico de los brotes y el crecimiento de las hojas pueden regularse de forma que se incremente significativamente la eficiencia en el uso del agua. Este enfoque demuestra como una comprensión profunda de la fisiología de la planta, especialmente en caso de estrés por sequia puede conducir a un ahorro sustancial de agua de riego en la agricultura (Davies et al. 2001).

2.5. EL ÁCIDO ABCÍSICO EN LA PLANTA (ABA)

El nivel de ácido abscísico (ABA) es dinámico en los tejidos vegetativos durante su desarrollo. Es una herramienta de adaptación frente a varias formas de estrés ambiental. Se define al estrés hídrico como morfológicas, mecanismos fisiológicos y, finalmente, procesos bioquímicos. Es así que el aumento significativo en la síntesis de la fitohormona Acido Abscísico durante el estrés hídrico, específicamente la sequía, hace que se le considere como “la hormona del estrés”. La tolerancia a condiciones de sequía está directamente relacionada con la capacidad de producir ABA en la planta; sin embargo, esta relación también depende del genotipo o cultivar, intensidad y duración del estrés, así como también de la etapa fenológica del cultivo (Huánuco *et al.* 2017). El ABA es la hormona vegetal más importante en la transducción de señales relacionadas con el estrés por sequía, una de sus funciones es la estimulación del cierre de estomas para reducir la pérdida de agua por transpiración, las estomas constan de dos células guarda que detectan los altos niveles de ABA, por lo que reducen su volumen y turgencia mediante la salida de iones y aniones de potasio (Méndez *et al.* 2019).

2.5.1. Señalización radicular

El ácido abscísico (ABA), que promueve fuertemente el cierre estomático, ha sido destacado como una importante señal química generada por la raíz y enviada a las hojas a través de la xilema. Una reducción en la concentración de citoquinina en la xilema con el secado del suelo contribuye al cierre estomático como señal negativa generada por la raíz (Davies *et al.* 2001).

2.5.2. Señalización química

El comportamiento estomático de las plantas en suelos secos puede estar regulado por señales químicas que proporcionan al brote alguna medida de la disponibilidad de agua. La desecación del suelo eleva el pH de la savia de la xilema y a menudo puede ver una buena relación entre estas dos variables. La alcalinización del Xilema es una señal de desecación del suelo de origen radicular que inducía cambios en la fisiología foliar. Un pH elevado

puede cerrar estomas y limitar el crecimiento foliar, pero solo cuando se suministra el ABA en la xilema. El estado iónico de la xilema puede ser, por tanto, un mecanismo de señalización muy eficaz que permita a la planta a responder a pequeños cambios en la disponibilidad de agua o nutrientes del suelo sin necesidad de sintetizar hormonas adicionales (Davies *et al.* 2001).

2.6. RIEGO POR GOTEEO

El riego por goteo se utiliza en muchas regiones áridas y semiáridas, sobre todo para reducir las desviaciones de agua y mejorar el rendimiento de los cultivos. Cuando están bien diseñados y funcionan correctamente, los sistemas de riego por goteo pueden alcanzar niveles de eficiencia superiores a los del riego de superficie. Sin embargo, cuando están mal diseñados o se utilizan de forma inadecuada, la eficiencia de riego de un sistema de goteo puede ser muy inferior a su potencial. Cuando se utiliza el riego por goteo superficial, el agua infiltrada en el suelo forma una zona húmeda de forma similar a un elipsoide, dependiendo de la descarga del emisor, del volumen total de agua aplicada y de las propiedades hidráulicas del suelo. Una de las consideraciones más importantes al diseñar sistemas de riego por goteo es el volumen de suelo que se humedece bajo un único emisor. El radio y la profundidad son los principales parámetros del volumen de suelo mojado (bulbo). La profundidad del patrón de humectación debe ser coherente con la profundidad prevista de la zona radicular, mientras que su anchura está asociada a la separación entre emisores y laterales. (Ogaidi *et al.* 2016). El ahorro de agua con el riego por goteo, en comparación con el riego por aspersión, es del 40,9%, y respecto al riego por surcos, es del 100%. En el riego por goteo, la aplicación de agua en pequeños volúmenes y con alta frecuencia reduce el consumo de agua entre un 30% y un 60% en comparación con la aplicación continua (Lucero *et al.* 2017).

2.7. EVAPOTRANSPIRACIÓN

2.7.1. Proceso de la evapotranspiración

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo (Allen G. *et al.* 2006)

2.7.2 Evaporación

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua y se retira de la superficie evaporante. El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada. Para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere energía. La radiación solar directa y, en menor grado, la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía. La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la diferencia entre la presión del vapor de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento son parámetros climatológicos a considerar al evaluar el proceso de la evaporación.

En zonas en las que el suelo es capaz de proveer agua con velocidad suficiente para satisfacer la demanda de la evaporación del suelo, este proceso está determinado solamente por las condiciones meteorológicas. Sin embargo, en casos en que el intervalo entre la lluvia y el riego es grande y la capacidad del suelo de conducir la humedad cerca de la superficie es reducida, el contenido en agua en los horizontes superiores disminuye y la superficie del suelo se seca. En ausencia de cualquier fuente de reabastecimiento de agua a la superficie del suelo, la evaporación disminuye rápidamente y puede cesar casi totalmente en un corto lapso de tiempo (FAO 2006).

2.7.3. Transpiración

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de las estomas. El agua, junto con algunos nutrientes, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta. La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales. La transpiración, al igual que la evaporación directa, depende del aporte de energía, del

gradiente de presión del vapor y de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento deben considerarse en su determinación (FAO 2006).

2.7.4. Evapotranspiración

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo que puede ser una hora, día, década, mes o un ciclo de cultivo completo (FAO 2006).

2.8. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA (ET_o)

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia y se denomina ET_o. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. No se recomienda el uso de otras denominaciones como ET potencial, debido a las ambigüedades que se encuentran en su definición. El concepto de evapotranspiración de referencia se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo. Los únicos factores que afectan ET_o son los parámetros climáticos, por lo que puede ser calculada a partir de datos meteorológicos. ET_o expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo. Desde este punto de vista, el método FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método de determinación de ET_o con parámetros climáticos. Este método ha sido seleccionado debido a que aproxima de una manera cercana la ET_o de cualquier localidad evaluada, tiene bases físicas sólidas e incorpora explícitamente

parámetros fisiológicos y aerodinámicos. Además, se han desarrollado procedimientos para la estimación de los parámetros climáticos faltantes (FAO 2006).

2.9. DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

2.9.1. Método del tanque evaporímetro

El tanque evaporímetro Clase A proporciona una medida integrada del efecto de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso evaporativo que ocurre en una superficie libre de agua, a pesar de que existen varios factores que difieren entre la evaporación y la transpiración, como: reflexión de la radiación solar, almacenamiento de calor en el agua contenida en el tanque, turbulencia alrededor del tanque, transferencia de calor a través de las paredes del tanque y localización (variables que influyen en el balance energético); el tanque evaporímetro puede utilizarse para estimar la ETo en forma confiable cuando las lecturas de la lámina de agua se realizan correctamente. La ETo se determina a través de la utilización de un coeficiente empírico derivado de las condiciones físicas y ambientales que rodean al tanque, el cual varía entre 0.40 y 0.85. La evaporación del tanque está relacionada con la evapotranspiración de referencia por un coeficiente empírico derivado del mismo tanque: (Allen *et al.* 2006)

$$E_{To} = k_p * E_{pan}$$

Donde:

ETo : Evapotranspiración de referencia (mm/día)

Kp : Coeficiente del tanque evaporímetro

E_{pan} : Evaporación del tanque Evaporímetro (mm/día)

2.9.1.1 Coeficiente del tanque evaporímetro (Kp)

a) Ambiente del tanque evaporímetro

Para seleccionar el coeficiente apropiado para un tanque evaporímetro dado, se debe considerar no solamente el tipo del tanque, sino también la cobertura del suelo donde se ubica el tanque, sus alrededores, así como el viento y las condiciones generales de humedad. La localización y el ambiente del tanque evaporímetro también tienen influencia en los resultados. Esto es particularmente cierto en casos en los que el tanque evaporímetro se

encuentra en suelos en barbecho y no en campos cultivados. Bajo esta condición, se suelen considerar dos casos: el Caso A, en el que el tanque evaporímetro está ubicado en una zona de pasto corto verde y rodeado por suelo en barbecho; y Caso B en que el tanque evaporímetro se localiza sobre un suelo en barbecho y está rodeado por un cultivo verde (FAO 2006).

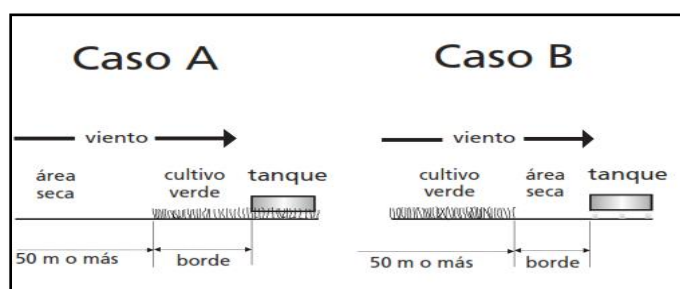


Figura 9: casos sobre la localización del tanque de evaporación

Fuente: Elaborado a base de FAO 2006.

Tabla 4: Coeficientes del tanque evaporímetro (K_p) para el tanque clase A

Caso A: tanque situado en un suelo desnudo					Caso B: tanque situado en un suelo desnudo				
velocidad del viento (m s ⁻¹)	Distancia del barbecho a barlovento (m)	HR media			velocidad del viento (m s ⁻¹)	Distancia del barbecho a barlovento (m)	baja	media	alta
		<40	40-70	>70					
Baja <2	1	0.55	0.65	0.75	Baja <2	1	0.7	0.8	0.85
	10	0.65	0.75	0.85		10	0.6	0.7	0.8
	100	0.7	0.8	0.85		100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85		1000	0.5	0.6	0.7
Moderada 2-5	1	0.5	0.6	0.65	Moderada 2-5	1	0.65	0.75	0.8
	10	0.6	0.7	0.75		10	0.55	0.65	0.7
	100	0.65	0.75	0.8		100	0.5	0.6	0.65
	1000	0.7	0.8	0.8		1000	0.45	0.55	0.6
Alta 5-8	1	0.45	0.5	0.6	Alta 5-8	1	0.6	0.65	0.7
	10	0.55	0.6	0.65		10	0.5	0.55	0.65
	100	0.6	0.65	0.7		100	0.45	0.5	0.6
	1000	0.65	0.7	0.75		1000	0.4	0.45	0.55
Muy alta >8	1	0.4	0.45	0.5	Muy alta >8	1	0.5	0.6	0.65
	10	0.45	0.55	0.6		10	0.45	0.5	0.55
	100	0.5	0.6	0.65		100	0.4	0.45	0.5
	1000	0.55	0.6	0.65		1000	0.35	0.4	0.45

Fuente: Elaborado a base de FAO 2006 .

2.10. COEFICIENTE DE CULTIVO K_c

En el enfoque del coeficiente único del cultivo, los efectos de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo son combinados en un coeficiente K_c único. Este coeficiente integra las diferencias en la evaporación en el suelo y en la tasa de transpiración del cultivo, entre el

cultivo y la superficie del pasto de referencia. Como la evaporación en el suelo puede fluctuar diariamente como resultado de la lluvia o el riego, el coeficiente único del cultivo es solamente una expresión de los efectos promedios en el tiempo, la evapotranspiración del cultivo. Debido a que el coeficiente único K_c representa un promedio de la evaporación en el suelo y la transpiración, este procedimiento se utiliza para estimar ET_c para períodos de tiempo semanales o mayores, a pesar de que los cálculos puedan realizarse a nivel diario. El coeficiente único K_c promediado en el tiempo se utiliza para estudios a nivel de planificación y para el diseño de sistemas de riego donde sea razonable y pertinente considerar los efectos promedios del humedecimiento del suelo (FAO 2006).

2.11. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ET_c)

Las condiciones estándar de los cultivos son: que se desarrollen en campos extensos, bajo condiciones agronómicas excelentes y sin limitaciones de humedad en el suelo. La evapotranspiración de un cultivo será diferente a la del cultivo de referencia (ET_o) en la medida en que sus características de cobertura del suelo, propiedades de la vegetación y resistencia aerodinámica difieran de las correspondientes al pasto. Los efectos de las características que distinguen al cultivo del pasto están incorporados en el coeficiente del cultivo (K_c). la evapotranspiración del cultivo ET_c se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, ET_o y el coeficiente del cultivo K_c (FAO 2006).

$$ET_c = ET_o * K_c$$

Donde:

ET_c : Evapotranspiración de cultivo (mm/día)

ET_o : Evapotranspiración de referencia (mm/día)

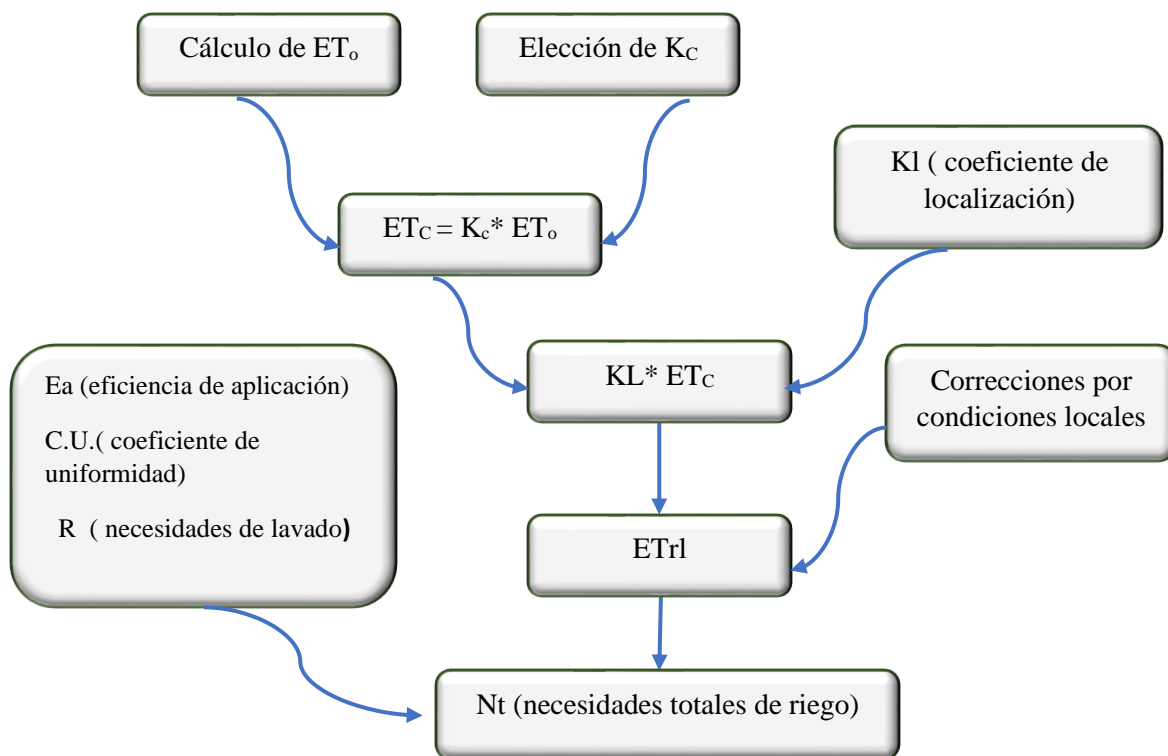
K_c : Coeficiente de cultivo

b) Eficiencia de aplicación

La E_a indica la cantidad de agua incorporada al suelo hasta la profundidad de estudio, en relación con la cantidad total de agua aplicada por el sistema de riego; así, la diferencia entre éstas indica el volumen de agua perdido por percolación o por evaporación (Florez *et al.* 2013).

2.12. DISEÑO AGRONÓMICO

2.12.1. Necesidades de agua



Fuente: Tomado de Pizarro 2006.

Tabla 5: Valores de Ea en climas áridos

profundidad de raíces (m)	Muy porosa (grava)	Textura		
		Arenosa	Media	Fina
<0.75	0.85	0.9	0.95	0.95
0.75-1.50	0.9	0.9	0.95	1
>1.50	0.95	0.95	1	1

Fuente: Tomado de Pizarro 2006.

c) Coeficiente de uniformidad (CU)

La uniformidad es una magnitud que caracteriza a todo sistema de riego y que además interviene en su diseño, tanto en el agronómico pues afecta al cálculo de las necesidades totales de agua. Como en el hidráulico pues en función de ella se definen los límites entre los que se permite que varíen los caudales de los emisores.

$$CU = \frac{q_{25}}{q_a}$$

Donde:

q_a : Es el caudal medio de todos los emisores de la instalación.

q_{25} : Es el caudal medio de los emisores que constituyen el 25 % más bajo caudal.

El CU se puede utilizar para la evaluación de las instalaciones en funcionamiento o para el diseño de nuevas instalaciones (Pizarro 2006).

Tabla 6: Valores de Coeficiente de uniformidad (CU)

Emisores	Pendiente	CU	
		clima árido	clima húmedo
Emisores espaciados más de 4 m en cultivos permanentes	Uniforme ($i < 2\%$)	0.90-0.95	0.80-0.85
	Uniforme ($i > 2\%$) u ondulada	0.85-0.90	0.75-0.80
Emisores espaciados menos de 2.5 m en cultivos permanentes o semipermanente	Uniforme ($i < 2\%$)	0.85-0.90	0.75-0.80
	Uniforme ($i > 2\%$) u ondulada	0.80-0.90	0.70-0.80
Mangueras o cintas de exudación en cultivos anuales	Uniforme ($i < 2\%$)	0.80-0.90	0.70-0.80
	Uniforme ($i > 2\%$) u ondulada	0.70-0.85	0.65-0.75

Fuente: Tomado de Pizarro 2006.

d) Necesidades de lavado

En los sistemas de riego localizado, el régimen de sales en el suelo se ve afectado por la alta frecuencia y por la localización de los riegos. En el caso de la alta frecuencia su efecto es positivo, ya que permite un manejo del agua de riego favorable para la absorción de agua y nutrientes de los cultivos. Después de la aplicación de un riego, las sales que contenía la solución del suelo, más las aportadas por el agua de riego se encuentran disueltas en el agua del suelo. A partir de ese momento la evapotranspiración disminuye la humedad del suelo, pero no elimina las sales disueltas. En consecuencia, la concentración salina va aumentando hasta que se aplica el riego siguiente, cuanto mayor sea el intervalo entre riegos, mayor será la salinidad presente en la solución del suelo antes del próximo riego (Bautista *et al.* 2016) citado por (Rodríguez *et al.* 2022)

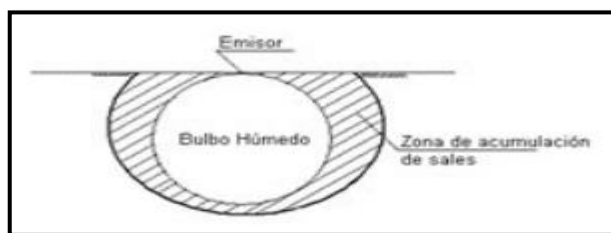


Figura 10: Localización de las sales en el riego por goteo

Fuente: Tomado de Pizarro 1985.

$$LR = \frac{CEi}{2CEe}$$

$$k = 1 - Ea$$

Donde:

CEi: Conductividad eléctrica del agua de riego.

CEe: Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo.

Ea : Eficiencia de aplicación

e) Lámina de riego

Es la cantidad de agua que se aplica a una extensión unitaria de cultivo en el momento del riego, donde el valor del aporte se expresa comúnmente en $m^3 ha^{-1}$ o como lámina de riego, pues este término expresa el espesor de la capa de agua con que un área de suelo resultaría abarcada por el aporte del riego (Losada, 2009).

$$Lr = \frac{Ln}{(1 - k) * CU}$$

$$k = LR$$

Donde:

CU : Coeficiente de uniformidad

ETc : Evapotranspiración del cultivo

d) Tiempo de riego

$$\frac{lb \text{ l/m}^2}{Q \text{ emisor } \left(\frac{l}{h}\right)} * \frac{1}{N^{\circ} \frac{\text{emisores}}{m^2}} * 60$$

Donde:

Lb : Lamina bruta / necesidades totales (Nt)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La investigación se realizó en el centro de investigación y extensión en riego (CIER) de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) ubicada en distrito de la Molina, provincia de Lima y departamento de Lima. en las coordenadas UTM E 287581 - N 8663496 y altitud 259.8 m.s.n.m. de la zona geográfica 18L.



Figura 11: Ubicación política del área de estudio

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

Equipos

- Horno de secado
- Tanque evaporímetro tipo A
- Balanza
- Medidor de humedad de tierra TDR-150
- Medidor de Ph
- Medidor de conductividad eléctrica

- Equipos de labores culturales
- Laptop

Materiales

- Semillas de frijol
- Fertilizantes
- Útiles de escritorio

3.2.1. Características del suelo

El análisis de la muestra de suelo obtenida del área de estudio se realizó en el laboratorio de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego, de la facultad de Ingeniería Agrícola. Los resultados del análisis indican que el suelo presenta una textura franco arenoso donde la infiltración de agua es regular reteniendo la humedad y presentando una buena aeración. De acuerdo a la conductividad eléctrica se clasifica muy ligeramente salino, la materia orgánica presenta un bajo porcentaje a si mismo la cantidad del nitrógeno será limitada, respecto al pH tenemos un suelo ligeramente alcalino y un contenido bajo en calcáreo.

Tabla 7: Análisis físicas-química del suelo

CE dS/m Relación 1:1	pH Relación 1:1	M.O %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cc %	Parámetros hidricos	
							Pm %	dap gr/cm ³
4.51	7.55	1.2	38.16	179	2.18	15.58	8.17	1.52

Fuente: Tomado de Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego-FIA

3.2.2. Características del agua de riego

La fuente de agua proviene del río Rímac siendo almacenada en el reservorio de 10000 m³ que se encuentra ubicada en el centro de investigación y extensión en riego (CIER). El cual abastece a las parcelas de investigación. Para el análisis respectivo se tomó una muestra del reservorio donde fue analizada por el laboratorio de Agua, Suelo y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Agrícola, obteniendo como resultado la CE de 0.74 dS m⁻¹ y pH de 7.33 siendo apta para riego a sí mismo no presenta riesgo de salinidad.

3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.3.1. Diseño experimental

El diseño estadístico que se empleó fue de Diseño Bloque completamente al Azar (DBCA) con arreglo factorial, los factores: láminas de riego y dos programas de fertilización edáfica, en el ensayo se instaló en arreglo factorial de 3 x 2 con seis repeticiones cada una distribuidos en 825 m² de área neta cada unidad experimental con 44 m² la separación de surco fue de 0.80 m², la longitud del surco fue de 55 m² en el cual el espaciamiento entre planta fue de 0.20 m haciendo un total de 275 plantas y por golpe se depositó 3 semillas.

3.3.2. Unidad experimental bajo riego parcial con tres láminas primer factor de la investigación

Riego parcial con tres láminas	
Descripción	Medida
Distancia entre plantas	0.2 m
Distancia entre surcos	0.8 m
Largo de surco	55 m
Ancho de surco	0.8 m
Área de surco	44 m ²
Número de planta por surco	275
Número de surco	18
Número de unidades experimentales	18

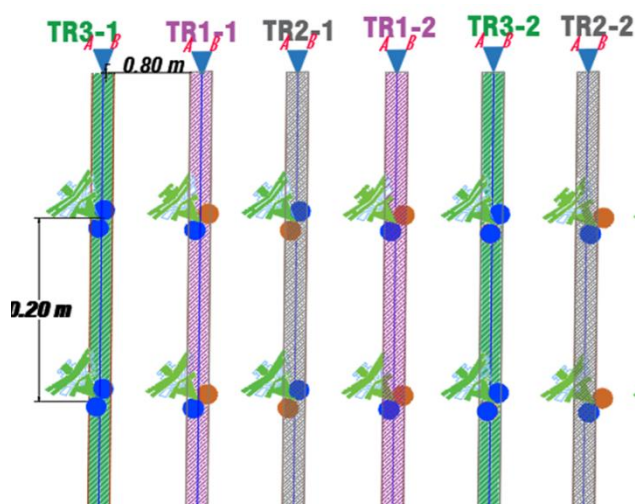


Figura 12: Distribución del campo experimental .

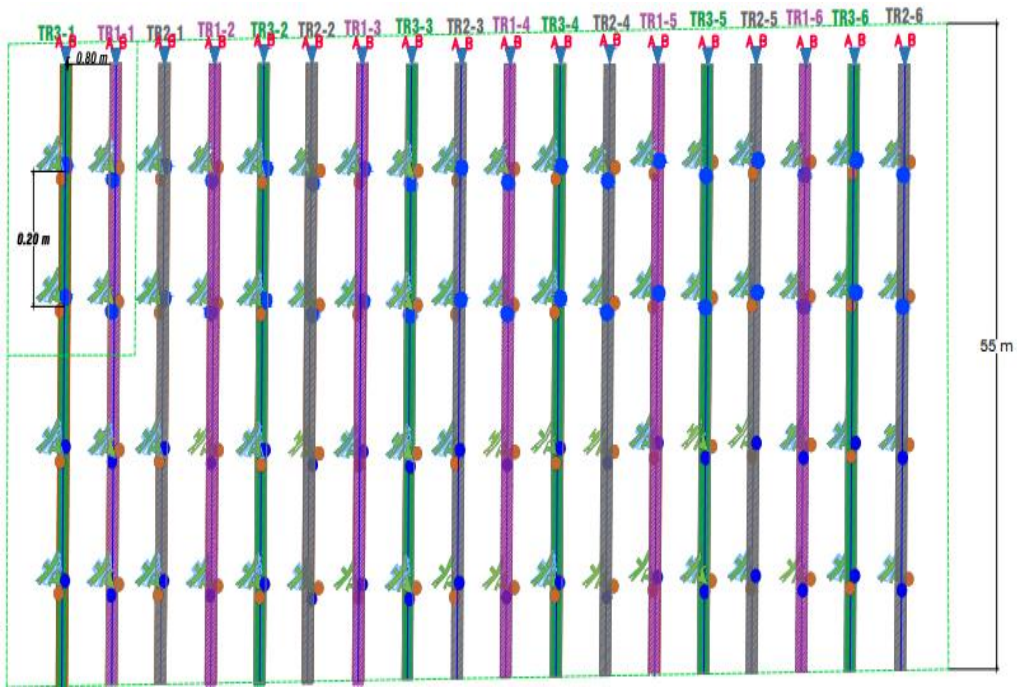


Figura 13: Esquema de riego secado parcial de raíces en la unidad experimental

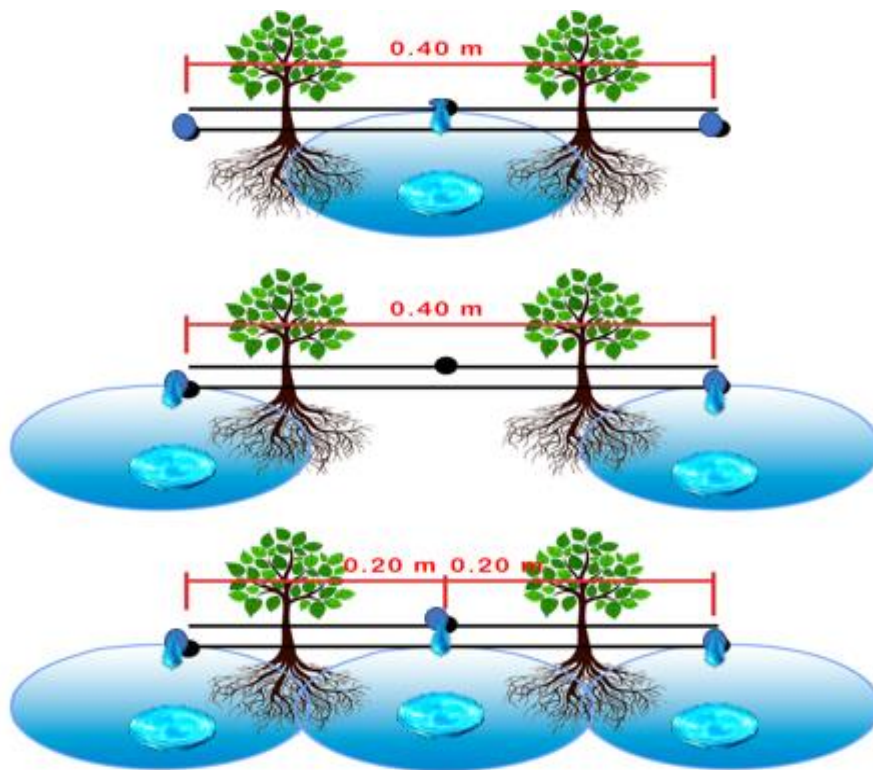


Figura 14: Esquema de alternancia de riego parcial de raíces en la unidad experimental a base de la frecuencia de riego

3.3.3. Unidad experimental con dos programas de fertilización edáfica segundo factor de la investigación

- (NPK:80-120-100+20MgO+30CaO)
- 500 kg/ha de ácido húmicos.

Programa de fertilizacion edáfica con ácido húmico	
Descripción	Medida
Distancia entre plantas	0.2 m
Distancia entre surcos	0.8 m
Largo de surco	27 m
Ancho de surco	0.8 m
Área de surco	21.6 m ²
Número de planta por surco	275
Número de surco	18
Número de unidades experimentales	18

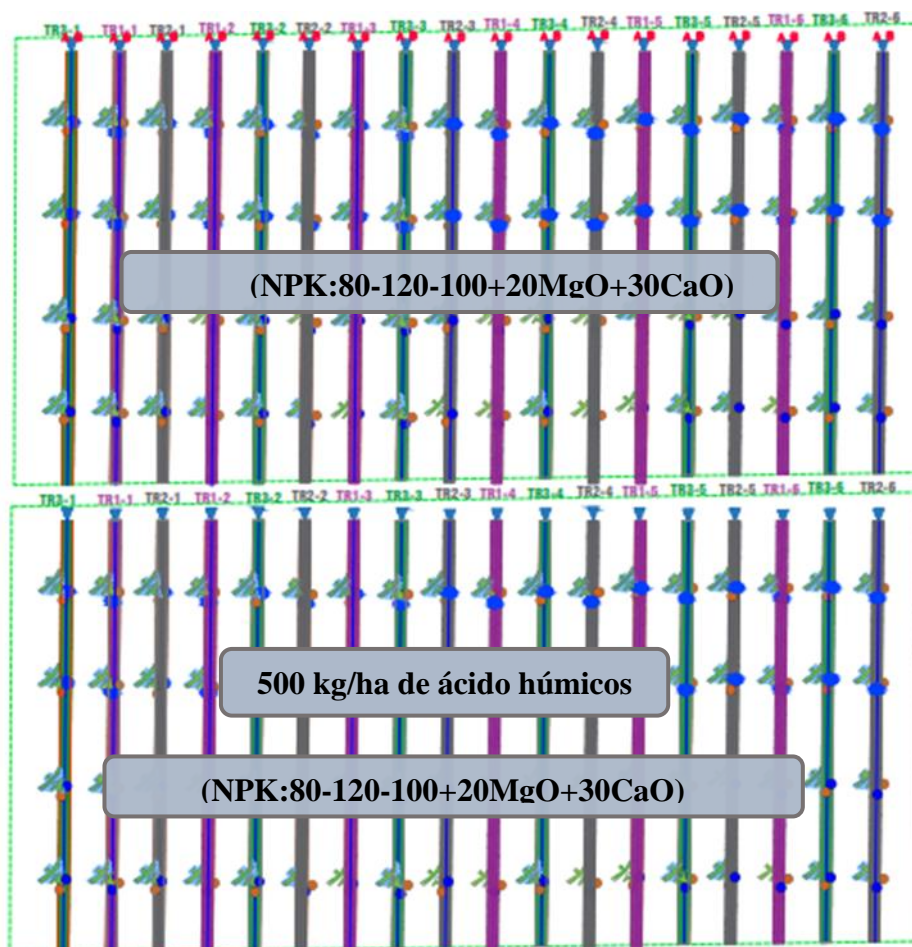
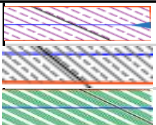


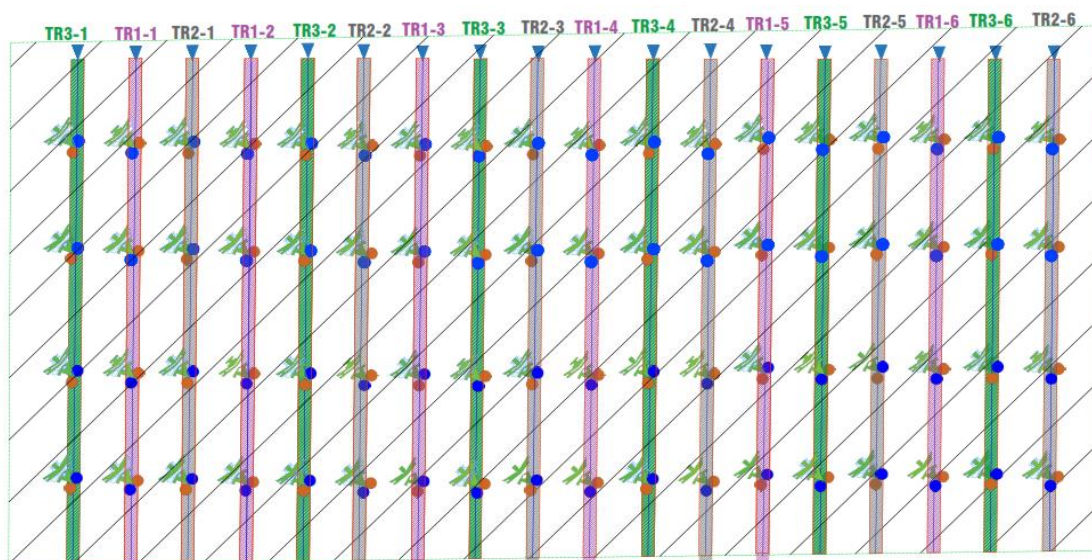
Figura 15: Esquema del campo experimental con dos programas de fertilización

3.3.4. Tratamientos

Se determino el rendimiento del cultivo mediante Riego Parcial de Raíces durante el crecimiento vegetativo del frijol variedad canario. Se consideraron tres tratamientos TR-1: Riego parcial de raíces por goteo con lamina 100% Etc, TR-2: Riego parcial de raíces por goteo con lamina 75 % Etc, TR-3: testigo de riego por goteo con lámina 100% Etc y dos programas de fertilización edáfica. Se tuvo 3 tratamientos con 6 repeticiones cada uno haciendo un total de 18 unidades experimentales.

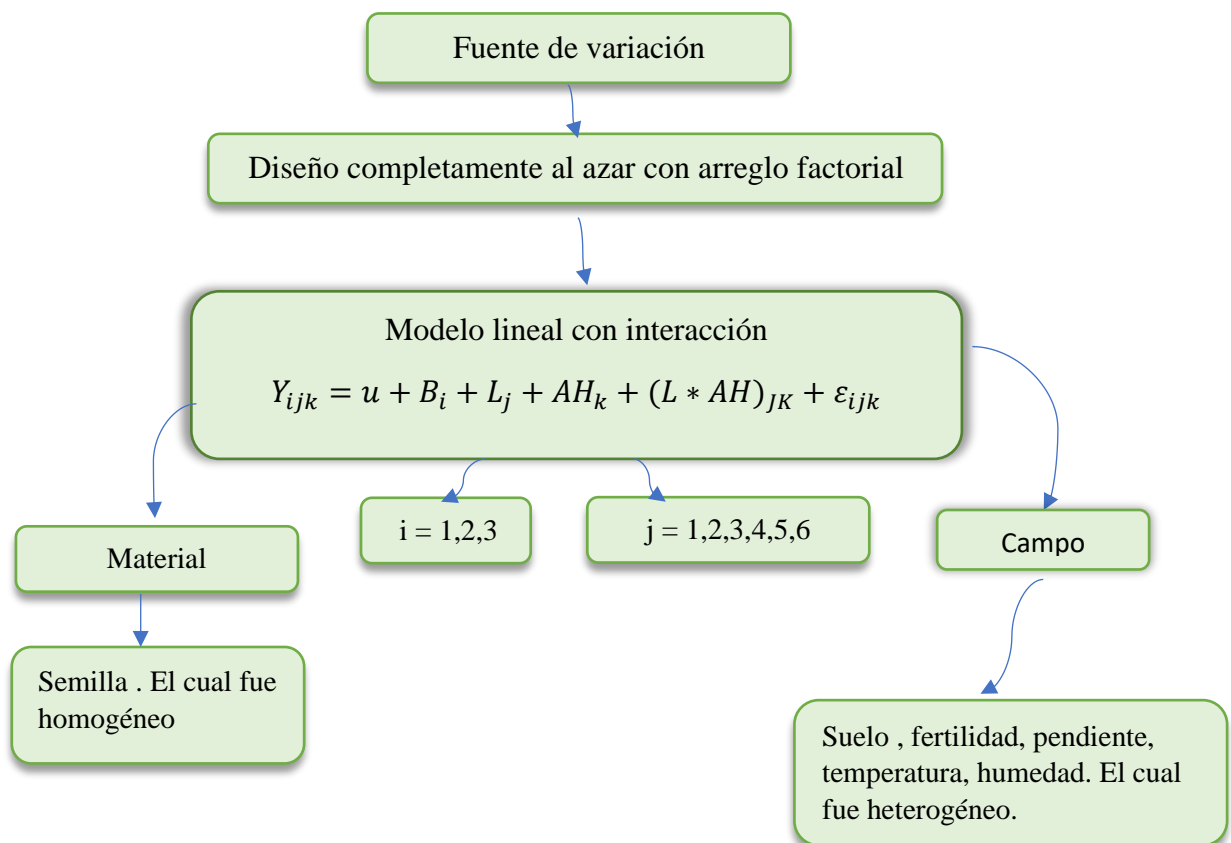
Descripción	Repetición					
	1	2	3	4	5	6
TR-1	TR1-1	TR1-2	TR1-3	TR1-4	TR1-5	TR1-6
TR-2	TR2-1	TR2-2	TR2-3	TR2-4	TR2-5	TR2-6
TR-3	TR3-1	TR3-2	TR3-3	TR3-4	TR3-5	TR3-6

Descripción de los tratamientos		
TR-1	Riego parcial de raíces (SPR) con lamina de riego 75 % Etc	
TR-2	Riego parcial de raíces (SPR) con lamina de riego 100 % Etc	
TR-3	Riego por goteo 100 % Etc	



3.3.5. Diseño estadístico

El diseño estadístico que se empleó en el experimento fue de Diseño Bloques Completamente al Azar (D.B.C.A) con arreglo factorial 2 x 3 con tres tratamientos y seis bloques. El modelo aditivo general es el siguiente:



Donde:

Y_{ijk} : Variable respuesta.

μ : Media general .

B_i : Efecto del i-ésima bloque.

L_j : Efecto de la j-ésima laminas .

AH_k : Efecto de la k -ésima fertilización edáfica con y sin ácidos húmicos

$L*AH_{jk}$: Efecto a la interacción entre láminas de riego y ácidos húmicos.

ϵ_{ijk} : Efecto del error experimental, asociado a la observación Y_{ijk} .

3.3.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos obtenidos de la evaluación se realizó con el software InfoStat, las variables se evaluaron mediante un análisis de varianzas (ANOVA), donde el ANOVA indico diferencia a nivel de tratamientos y para ello realizamos la prueba de comparación de medias con la prueba de Tukey a un nivel de significancia de 0.05.

3.4. PROCEDIMIENTO DE CAMPO

a) Prueba de infiltración

En nuestro campo de investigación se empleó el método de cilindro infiltrometro doble anillo, el valor de esta prueba nos permitió ver si la descarga del gotero es menor o igual a la velocidad de infiltración básica del suelo, esto nos ayudó a evitar encharcamiento o escurrimiento superficial de lámina aplicada.

b) Bulbo húmedo

Se realizó el humedecimiento por 5 emisores con caudal de 1 l/h, por espacio de 5 horas en un área de 5 metros de largo por 1 metro de ancho.

c) Preparación del terreno

Para la preparación del terreno se suministró un riego pesado mediante el sistema de riego por goteo de esa manera con la ayuda del tractor agrícola y utilizando el implemento arado de disco se realizó aeración del suelo y los surcados. con la ayuda de un rastrillo manualmente se definió los surcos para que el cultivo tenga mejor desarrollo.

d) Instalación de las cintas de riego por goteo

Por cada surco se instaló un par de cintas, los emisores tienen una distancia de 0.40 m estas fueron traslapadas y formado una sola cinta de riego con nueva distancia de los emisores de 0.20 m, para poder realizar el ensayo, dichos emisores son auto compensados esto hace que el suministro de agua y nutrientes sean exactas e iguales para el cultivo, la cinta empleada fue Dripnet clase 15 mil con caudal de 1 l/h y una presión de trabajo de 2 bares.

d) Siembra

La siembra se efectuó el 21 de junio del 2022 siendo época para la siembra del cultivo de frijol, se empleó la semilla de la variedad Canario dicha semilla se obtuvo del programa de leguminosa de la universidad Nacional Agraria La Molina.

Las semillas fueron desinfectadas para eliminar cualquier agente patógeno, estas fueron depositadas tres semillas por golpe al suelo en capacidad de campo a una profundidad de 15 cm con distanciamiento de 0.20 m entre golpe y 0.80 entre surco.

f) Abonamiento

El abonamiento se realizó el 5 de julio del 2022 aproximadamente 15 días después de la siembra, para ello se realizó dos programas de fertilización al 70 % edáfico y 30% vía fertirriego, para ello se trabajó con el análisis de suelo de 20 cm de profundidad, así mismo con la muestra de agua. Para esta actividad fue importante trabajar con una tabla de absorción de nutrientes del cultivo para su rendimiento, (la tabla 2) de absorción obtuvo 2900 kg/ha.

El fosforo es importante en la primera etapa del cultivo donde tiene que desarrollar su máximo potencial y el crecimiento de raíces para la mayor absorción de nutrientes, por ello el fertilizante MicroEssential ayudara a la absorción de fosforo al cultivo ya que tiene una reacción acida siendo ideal para suelos alcalinos.

Para realizar la fertilización a la parcela de investigación fue edáfica, utilizando 16 gramos por planta del fertilizante fosfatado MicroEssentials SZ teniendo como nutrientes principales lo siguiente:

MicriEssential SZ	
Nitrogeno (N)	12%
Fósforo (P ₂ O ₅)	40%
Asufre total	10%
Asufre Elemental (S)	5%
Sulfato(SO ₄ ⁻²)	5%
Zinc (Zn)	1%




Figura 16: Nutrientes principales del fertilizante fosfatado

La incorporación de ácido húmico fue de manera edáfica utilizando 16 gramos ayudando aumentar la actividad microbiana del suelo de esa manera los nutrientes estarán dispuestos para el cultivo de frijol la composición de este producto se basa en :

Cropfield EcoKraft Ultra Zinc	
Ácidos Húmicos	40.00%
Silicio (H ₄ SiO ₄)	35.00%
Azufre (SO ₄)	12.50%
Calcio (CaO)	12.00%
Magnesio (MgO)	8.00%
Zinc	4.80%
Hierro	3.00%
Potasio (K ₂ O)	1.50%
Fosforo (P ₂ O ₅)	1.00%
Cobre	0.70%
Manganeso	0.30%
Boro	0.20%

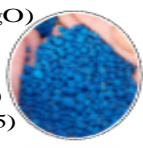


Figura 17: Nutrientes principales del ácido húmico granulado

El 30% restante fue por fertirriego, se realizó un programa según el periodo vegetativo del cultivo para suministrar los nutrientes, para ello empleamos los siguientes fertilizantes hidrosolubles:

Nitrato de Calcio	
Nitrógeno nítrico (NO ₃)	13.50%
Nitrógeno amoniacal (NH ₄ ⁺)	1.00%
òxido de Calcio (CaO)	26.50%
Calcio total Ca+2	18.80%
MULTI-K Phast (Nitrato de potasio Ácido)	
Nitrógeno nítrico (N-NO ₃)	13.50%
òxido de potasio (k ₂ O)	46.20%
Potasio (K)	38.40%
Haifa Mag (nitrato de Magnesio)	
Nitrógeno nítrico (NO ₃)	10.70%
òxido de Magnesio (MgO)	15.50%
Magnesio (+2)	9.30%

Figura 18: Distribución del 30% de fertirriego y programa de nutrición vegetativa con fertilizantes hidrosolubles

g) Desahije

Se realizo el 12/07/2022, el cultivo tenía 22 día y estaba en la etapa de hojas primarias, se homogenizo eliminado una planta de tres por golpe en la parcela. Esta actividad se desarrolló para evitar la competencia entre ellas.

3.5. RIEGO

La reposición para la lámina de riego al cultivo de frijol dependió de las lecturas tomadas de evaporación y coeficiente del cultivo (kc).

3.5.1. Método del Tanque evaporímetro

El tanque de evaporación clase A se encuentra ubicado en el centro de investigación y extensión en riego (CIER). Se realizo dos lecturas de la evaporación en mm /día de manera diaria en los horarios de 8:00 am y 17:00 pm de lunes a sábado, Se trabajo con el caso B ya que el tanque se encuentra localizado en suelo barbecho y está rodeado de vegetación, los datos de velocidad del viento y humedad relativa fueron tomadas diariamente de la estación DAVIS del departamento de recursos hídricos -UNALM.

Tabla 8: Promedio de datos meteorológicos de la estación DAVIS

Mes	Barómetro hPa	Temperatura °C	Humedad %	velocidad del viento m/s	ET mm	RAD SOLAR W/m ²
Agosto	990.19	18.1	94.1	1.95	0.23	403.8
Setiembre	990.33	17.94	93.42	2.03	0.23	407.21
Octubre	989.92	18.96	93.31	2.39	0.30	519.44

a) Evapotranspiración de referencia (ET_o)

Para obtener el ET_o inicialmente se obtiene la evaporación del tanque evaporímetro clase A multiplicado por el coeficiente (K_p) del caso B considerando la velocidad del viento, la humedad relativa y la distancia de barvecho.

$$ET_o = k_p * E_{pan}$$

b) Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

La evapotranspiración del cultivo (ET_c) se calcula mediante la multiplicación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) por el coeficiente de cultivo (K_c).

$$ET_c = ET_o * K_c$$

los datos de coeficiente de cultivo fueron tomados de la investigación Dosis de riego y coeficiente del cultivo (K_c) en la producción del frijol (*Phaseolus vulgaris*) en Lima, Perú. (K_c inicial, K_c medio y K_c final) fueron de 0,56; 1,19 y 0,81 (Cruz *et al.* 2021).

c) Necesidades de lavado de riego (LR)

La fracción de necesidades de lavado de riego, se define como el cociente de la conductividad eléctrica del agua (CE_i) y la conductividad eléctrica del agua (CE_e) está siendo multiplicada por dos.

$$LR = \frac{CE_i}{2CE_e}$$

$k=1-E_a$
 $k=LR$

} Se elige el valor más alto de k

la conductividad eléctrica del agua (CE_i) 0.63 ds/m

la conductividad eléctrica del suelo (CE_i) 4.51 ds/m

la eficiencia de aplicación de tomo según la clasificación :

profundidad de raíces < 0.75 m

clima árido

textura Arenosa

eficiencia de aplicación 90%

k=0.10 mayor percolación para evitar la salinización

k=0.069

Tabla 9: Datos de lectura diaria de la evaporación

Fecha	Días desde la siembra	Etapa	Lectura de tanque	
			8:00 a.m	5:00 p.m
11/08/2022	52		19.1	18.8
12/08/2022	53		16	15.2
13/08/2022	54		15.9	14.9
14/08/2022	55			
15/08/2022	56		14.9	7
16/08/2022	57		6.1	5.8
17/08/2022	58		5.4	5.2
18/08/2022	59		24	22.9
19/08/2022	60		22.7	21.6
20/08/2022	61			
21/08/2022	62		21.6	15.3
22/08/2022	63		15.3	14.7
23/08/2022	64		13.7	12.4
24/08/2022	65		11	8.1
25/08/2022	66		7.06	6.42
26/08/2022	67		5.8	4
27/08/2022	68		27.5	22.5
28/08/2022	69		22.5	20.2
29/08/2022	70		20.2	20.1
30/08/2022	71		20.1	17
31/08/2022	72		17	15.3
01/09/2022	73		14.2	13.1
02/09/2022	74		12.4	10.4
03/09/2022	75		9.7	6.95
04/09/2022	76		6.95	3.78
05/09/2022	77		3.78	1.72
06/09/2022	78		26.8	23.8
07/09/2022	79		23.2	22.7
08/09/2022	80		22.4	21.6
09/09/2022	81		20.8	19.1
10/09/2022	82		18.1	17.5
11/09/2022	83		17.5	12.6
12/09/2022	84		12.6	11.7
13/09/2022	85		11.3	10.9
14/09/2022	86		10.4	9.2
15/09/2022	87		8.48	7.34
16/09/2022	88		6.54	3.5
17/09/2022	89		30	27.4
18/09/2022	90		27.4	24.1
19/09/2022	91		24.1	22.3
20/09/2022	92		21.4	20.4
21/09/2022	93		19.3	17.5
22/09/2022	94		16.4	14.5
23/09/2022	95		13	11.7
24/09/2022	96		10.6	9.3
25/09/2022	97		9.25	4.91
26/09/2022	98		4.91	3.88
27/09/2022	99		34.4	31.5
28/09/2022	100		30.3	28.3
29/09/2022	101		26.4	23.8
30/09/2022	102		22.3	20.6
01/10/2022	103		19.7	15.7
02/10/2022	104		15.7	11.7
03/10/2022	105		11.7	9.3
04/10/2022	106		8.7	7.25
05/10/2022	107		6.9	5.1
06/10/2022	108		32.4	30.2
07/10/2022	109		28.4	25.8
08/10/2022	110		24.5	22.1
09/10/2022	111		22.1	16.4
10/10/2022	112		16.4	15
11/10/2022	113		12.4	10.7
12/10/2022	114		7.06	6.52
13/10/2022	115		5.76	5.34
14/10/2022	116		31.5	28.9
15/10/2022	117		27.3	25.1
16/10/2022	118		25.1	19.4

d) Lámina bruta (lb)

Para definir la lámina bruta se calculó la lámina neta sin considerar la precipitación por ser mínimo en la costa, se tomó el valor más alto de k caso de lavado, el coeficiente de uniformidad es de 90% por emplear riego por goteo siendo los emisores autocompensados.

$$Lb = \frac{Ln}{(1 - k) * CU}$$

$$Lb = \frac{1.88}{(1 - 0.10) * 0.90}$$

e) Tiempo de riego

se determinó mediante la relación de lámina bruta (lb), el caudal del emisor y número de emisores por m²

$$\frac{lb \text{ l/m}^2}{Q \text{ emisor } \left(\frac{l}{h}\right)} * \frac{1}{N^{\circ} \frac{\text{emisores}}{m^2}} * 60$$
$$\frac{0.21 \text{ l/m}^2}{1 \left(\frac{l}{h}\right)} * \frac{1}{3.33} * 60$$

d) Riego

Durante la fase vegetativa, en la etapa de la tercera hoja foliar del cultivo, el riego fue uniforme desde el día 1 hasta al día 52, para asegurar el desarrollo vegetativo, luego se procedió a aplicar el riego parcial de raíces mediante la reposición de lámina con frecuencia de dos días, obtenida a base del tanque evaporímetro tipo A hasta el día 119 siendo la etapa reproductiva.

f) Operación y mantenimiento del sistema de riego

Para mantener adecuadamente el sistema de riego, involucrando el tema técnico como administrativo, se realizó una programación de riego y mantenimiento para que la entrega de agua a cada parcela de investigación sea de forma equitativa para satisfacer el requerimiento hídrico del cultivo en su periodo vegetativo. La frecuencia de riego se consideró cada dos días por el tema detallado.

g) Coeficiente de uniformidad

Se realizó la prueba de uniformidad al comienzo cuando el cultivo tenía 10 días de periodo vegetativo y después de la cosecha. Con la ayuda de una probeta de 10 ml, se colocaron recipientes en seis goteros por tratamiento durante un minuto obteniendo una uniformidad de riego del 90 % siendo excelente para un buen riego.

3.6. LABORES CULTURALES DENTRO DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

Deshierbo

Dicha actividad fue realizada a mano de marea constante, no se aplicó ningún producto herbicida. Para el control de plaga de la mosca blanca se utilizó de forma preventiva las trampas amarillas de esa manera se fue controlando las plagas.

Cosecha

Se realizó el corte del cultivo de frijol para su respectivo secado el 09/11/2022 y el 23/11/2022 se procedió con el aporreo obteniendo los granos del frijol.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. BULBO HÚMEDO

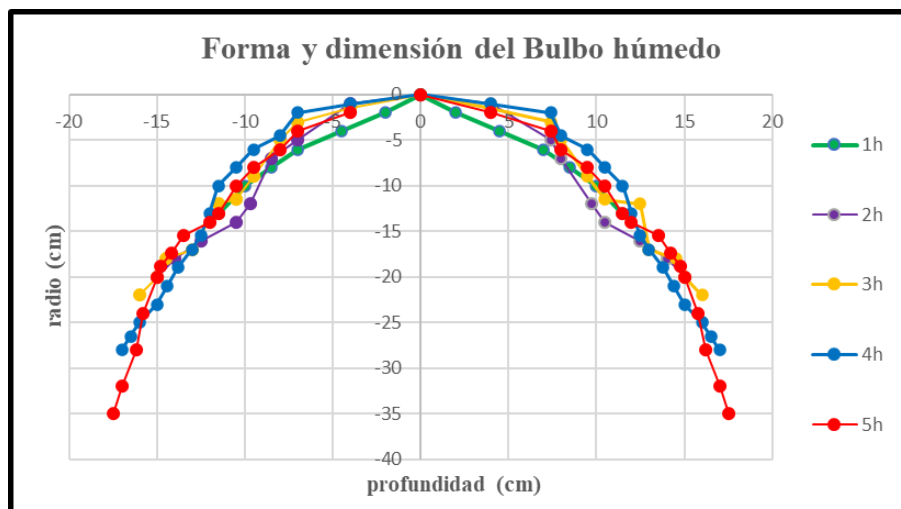
Para lograr que el sistema de riego sea eficiente tenemos que conocer el comportamiento del agua sobre el suelo, de esa manera definimos la distribución de la humedad para el diseño agronómico.

Como respuesta de la prueba se obtuvo que el emisor con caudal de 1 l/h. El mayor radio es de 17.5 cm, en la superficie. La profundidad máxima del bulbo fue de 35 cm en el tiempo de 5 h.

Tabla 10. Dimensiones del comportamiento del bulbo húmedo en 5 horas

Dimensión de radio (x) y profundidad (y)			
Tiempo (h)	x	y	x
0	0	0	0
1	-11.5	-13	11.5
2	-15	-20	15
3	-16	-22	16
4	-17	-27	17
5	-17.5	-35	17.5

Como respuesta de la prueba se obtuvo que el emisor con caudal de 1 l/h. El mayor radio es de 17.5 cm, en la superficie. La profundidad máxima del bulbo fue de 35 cm en el tiempo de 5 h.



4.2. FERTILIZACIÓN

Es importante conocer la disponibilidad de nutriente que proporciona el suelo y el agua para la planta, para determinar la cantidad de nitrógeno disponible, se utilizó el dato de la materia orgánica y la capa arable considerando un factor de uso al 25%. La fertilización edáfica se realizó al 70 por ciento y el 30 por ciento restante se completó mediante fertirriego durante su periodo vegetativo. La tabla de extracción de nutrientes del cultivo de frijol es para un rendimiento de 2900 kg/Ha. El fertirriego fue para ambos programas

Tabla 11: Requerimiento de nutrientes del cultivo de frijol

DOSIS DE FERTILIZACION DE LA DEMANDA					
Elemento	N	P2O5	K2O	CaO	MgO
(Kg) * eficiencia	100	110	72	50	18
Aporte de Suelo y agua	9	66	23	0	20
Dosis final	91	44	49	50	-2

Tabla 12. Aporte al 100% de fosforo y 70% de potasio

FERTILIZACIÓN EDAFICA	PORCENTAJE (%)			70	
FERTILIZACIÓN	NUTRIENTES (Kg/Ha)			Dosis kg/ha	Dosis Kg.
	N	P2O5	K2O		
MicroEsenials SZ	12	44	34	109	
APORTE TOTAL DE NUTRIENTES	12	44	34		

Tabla 13: Aporte del 30% del potasio , calcio y magnesio para fertirriego

DOSIS REQUERIDA PARA FERTIRRIGACIÓN						30 %
Elemento	N	P2O5	K2O	CaO	MgO	
Dosis de fer (Kg)	79	0	15	50	-2	

Tabla 14: Requerimiento de nutriente para el cultivo de frijol de acuerdo a su periodo vegetativo durante el fertirriego

NUTRIENTES REQUERIDOS kg/ha							
Etapa fenologica	Periodo	Descripcion	N	2O5	K2O	CaO	MgO
Primero	V0-V4	Germinacion - 3ra hoja	1.35	0.00	0.32	0.86	-0.02
Segundo	R5-R6	Prefloracion - Floracion	13.41	0.0	2.65	8.14	-0.27
Tercero	R7-R9	Formacion de vaainas	26.82	0.0	4.55	15.63	-0.52
Cuarto	R10	Maduracion	37.26	0.0	7.39	25.37	-0.8
TOTAL			78.84	0.00	14.91	50.00	-1.66

Tabla 15: Requerimiento de nutriente para el cultivo de frijol de acuerdo los números de días de su periodo vegetativo durante el fertirriego

ETAPAS FENOLOGICAS	Nº de días	Nutriente	FERTILIZANTE	Dosis kg/ha	Dosis Kg/ha/día	NUTRIENTES (Kg/Ha)				
						N	P2O5	K2O	CaO	MgO
Primero	19	K2O	N.Potasio	0.7		0.1		0.3		
		MgO	N. Magnesio	-0.2		-0.1				-0.02
		CaO	N. Calcio	3.2		0.5			0.9	
segundo	37	K2O	N.Potasio	5.8		0.7		2.6		
		MgO	N. Magnesio	-1.8		-0.7				-0.27
		CaO	N. Calcio	3.2		0.5			0.9	
tercero	58	K2O	N.Potasio	9.9		1.3		4.6		
		MgO	N. Magnesio	-3.4		-1.4				-0.52
		CaO	N. Calcio	58.8		9.1			15.6	
cuarto	76	K2O	N.Potasio	16.1		2.1		7.4		
		MgO	N. Magnesio	-5.5		-2.2				-0.85
		CaO	N. Calcio	95.4		14.8			25.4	
Ciclo del cultivo	190									
					TOTAL	25	0	15	43	-2

Tabla 16: Programa de fertilización edáfica para el cultivo de frijol

DEMANDA DEL CULTIVO		
Fertilizante	Demanda en kg	Eficiencia %
N	80	80%
P2O5	275	40%
K2O	120	60%
CaO	30	60%
MgO	20	50%
Ácido húmico	500	

La fórmula empleada para la fertilización en la investigación fue de NPK: 80-120-100

4.3. NECESIDADES HÍDRICAS

Lámina de riego

La diferencia de los datos registrados del tanque evaporímetro nos proporcionó la evaporación, la cual, al ser multiplicada por el coeficiente del tanque evaporímetro permitió determinar la evapotranspiración de referencia (ET_o) posteriormente al multiplicar con el coeficiente de cultivo (K_c) de forma diaria se obtuvieron los datos de la evapotranspiración del cultivo (ET_c).

Los datos del K_c del cultivo de frijol fueron tomadas de acuerdo a su periodo vegetativo K_c: 0.56 se empleó en la fase vegetativa durante las etapas de germinación, emergencia, hojas primarias haciendo un total de 22 días; K_c: 1.19 se empleó durante 68 días en la fase vegetativa durante las etapas de las primeras hojas tri foliares y las terceras, culminando en

los inicios de la fase reproductiva; $K_c : 0.81$ esta fase reproductiva duro 30 días (Pérez *et al.* 2021).

Consumo de agua por riego de secado parcial de raíces

En la figura 16 podemos observar que la evaporación máxima fue de 7.84 mm en el día 57 y la mínima fue de 0.12 mm en el día 69 de la etapa reproductiva del cultivo de frijol. Durante la investigación se establecieron tres tratamientos experimentales, donde el tratamiento TR-3 testigo de riego por goteo con lamina 100 por ciento de la ETC se le aplicó una lámina igual a 40.47 mm. El TR-2 en riego de secado parcial de raíces al 100 por ciento de la ETC se le aplicó una lámina de 40.47 mm y al TR-1 en riego de secado parcial de raíces al 75 por ciento de la ETC se le aplicó una lámina de 30.35 mm. En la figura 19 se observa la máxima lámina repuesta para los tratamientos TR-2 y TR-3 fue de 4.24 mm y la mínima 0.29 mm y para el TR-1 la máxima fue de 3.18 mm y la mínima 0.22 mm durante la etapa reproductiva del cultivo de frijol.

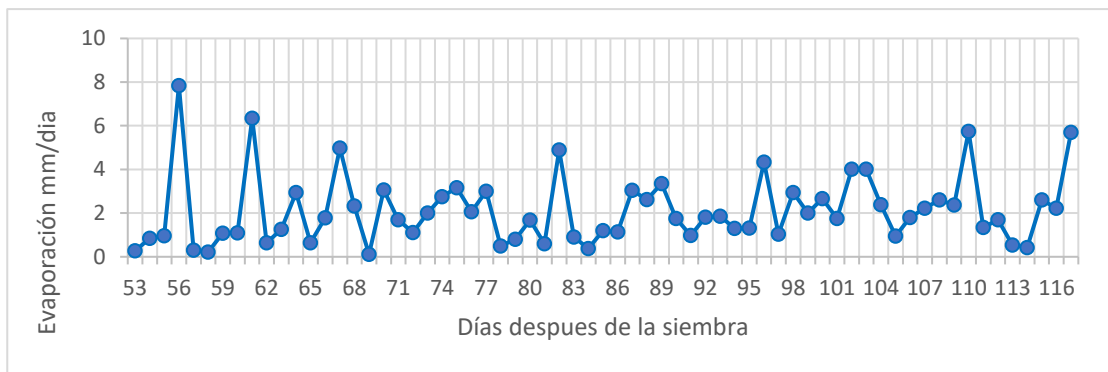


Figura 19: Comportamiento de la evaporación durante la etapa experimental

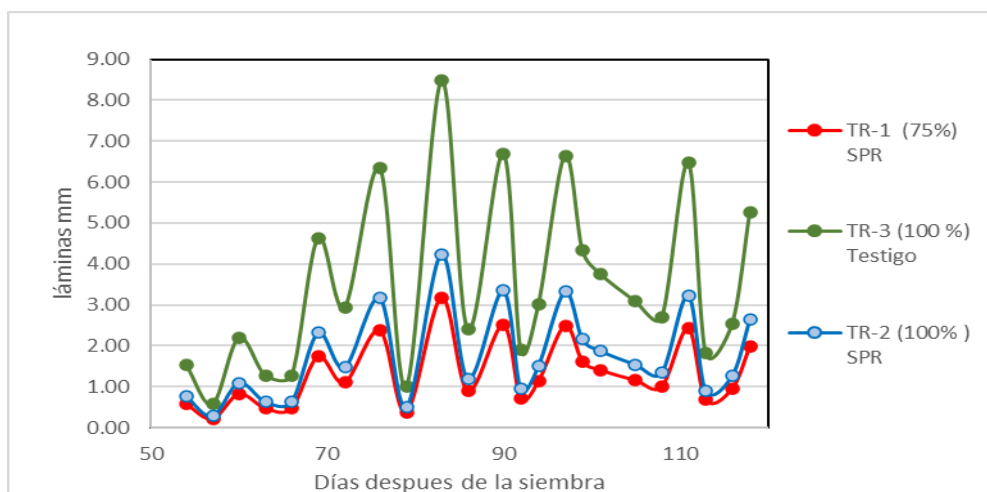


Figura 20: Comportamiento de la reposición de lámina durante la etapa experimental

Tabla 17: Aplicación de lámina durante el trabajo de investigación

Fecha de riego	Nº de riego	Días después de la siembra	Lámina aplicada por tratamiento (mm)		
			TR-1 SPR (75%)	TR-2 SPR (100%)	TR-3 (100%)
13/08/2022	1	54	0.58	0.77	1.55
16/08/2022	2	57	0.22	0.29	0.58
19/08/2022	3	60	0.82	1.10	2.20
22/08/2022	4	63	0.48	0.64	1.28
25/08/2022	5	66	0.48	0.64	1.28
28/08/2022	6	69	1.74	2.32	4.64
31/08/2022	7	72	1.11	1.47	2.95
04/09/2022	8	76	2.38	3.17	6.34
07/09/2022	9	79	0.38	0.50	1.00
11/09/2022	10	83	3.18	4.24	8.48
14/09/2022	11	86	0.90	1.20	2.40
18/09/2022	12	90	2.51	3.35	6.70
20/09/2022	13	92	0.71	0.95	1.89
22/09/2022	14	94	1.13	1.50	3.01
25/09/2022	15	97	2.49	3.32	6.65
27/09/2022	16	99	1.62	2.17	4.33
29/09/2022	17	101	1.41	1.88	3.77
03/10/2022	18	105	1.16	1.55	3.09
06/10/2022	19	108	1.01	1.35	2.69
09/10/2022	20	111	2.43	3.24	6.48
11/10/2022	21	113	0.68	0.91	1.82
14/10/2022	22	116	0.96	1.28	2.55
16/10/2022	23	118	1.98	2.63	5.27
TOTAL			30.35	40.47	80.94

Consumo de agua durante el periodo vegetativo del cultivo de frijol

El riego se inició a partir del 28/06/23 durante el cual todos los tratamientos recibieron un volumen uniforme de agua , culminando 05/08/23, con un consumo de 543 m³/ha. Posteriormente, el 13/08/23 se realizó el riego según las especificaciones de cada tratamiento. Durante el periodo vegetativo del cultivo, se observó el consumo de agua detallado en la figura 16, donde se aplicaron los siguientes volúmenes de agua por hectárea para cada tratamiento: TR-3 , 2668.59 m³/ha ; TR-2 , 1605.81 m³/ha ; TR-1 , 1344.26 m³/ha .El porcentaje de ahorro para el tratamiento TR-1 fue de 49.62 y para el TR-2 fue de 39.82

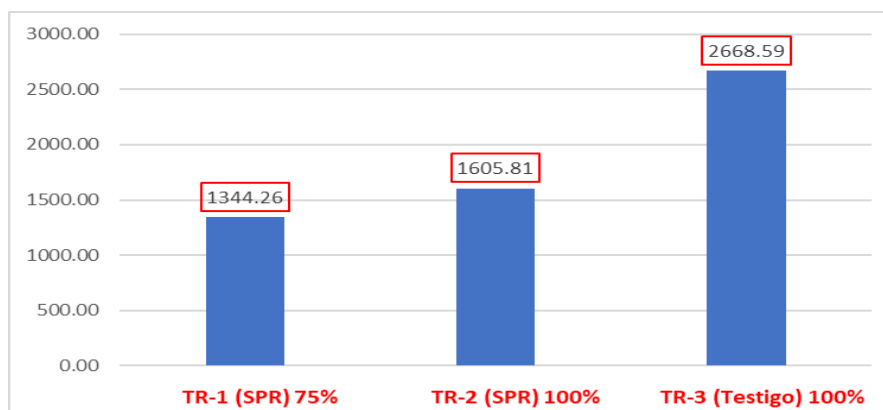


Figura 21: Volumen de agua en m³/ha por tratamiento

Tabla 18: volumen de agua consumido durante el periodo vegetativo del cultivo

Mes	Desarrollo de la planta		Fecha de riego	Tratamientos								
	Fase	Etapa		TR-1 75% (SPR)			TR-2 100% (SPR)			TR-3 100% Testigo		
				Tiempo (min)	m ³	m ³ /ha	Tiempo (min)	m ³	m ³ /ha	Tiempo (min)	m ³	m ³ /ha
Junio		Emergencia	28/06/2022	20	1.64	19.93	20	1.64	19.93	20	1.64	19.93
			30/06/2022	120	9.86	119.56	120	9.86	119.56	120	9.86	119.56
			04/07/2022	120	9.86	119.56	120	9.86	119.56	120	9.86	119.56
Julio	V E G E T A T I V O	primaria	11/07/2022	120	9.86	119.56	120	9.86	119.56	120	9.86	119.56
			14/07/2022	60	4.93	59.78	60	4.93	59.78	60	4.93	59.78
			19/07/2022	30	2.47	29.89	30	2.47	29.89	30	2.47	29.89
			22/07/2022	30	2.47	29.89	30	2.47	29.89	30	2.47	29.89
			27/07/2022	15	1.23	14.95	15	1.23	14.95	15	1.23	14.95
			05/08/2022	30	2.47	29.89	30	2.47	29.89	30	2.47	29.89
Agosto		Floración	13/08/2022	33	0.34	12.97	33	0.45	17.13	33	0.90	34.25
			16/08/2022	148	1.52	57.60	148	2.03	76.80	148	4.06	153.61
			19/08/2022	45	0.47	17.64	45	0.62	23.35	45	1.23	46.70
			22/08/2022	134	1.37	51.89	134	1.84	69.54	134	3.67	139.08
			25/08/2022	82	0.84	31.66	82	1.12	42.55	82	2.25	85.11
			28/08/2022	161	1.66	62.79	161	2.21	83.55	161	4.41	167.10
			31/08/2022	89	0.92	34.77	89	1.22	46.19	89	2.44	92.37
			04/09/2022	158	1.62	61.23	158	2.16	81.99	158	4.33	163.98
			07/09/2022	99	1.01	38.40	99	1.36	51.38	99	2.71	102.75
			Septiembre		Llenado de vaina	11/09/2022	134	1.37	51.89	134	1.84	69.54
14/09/2022	47	0.48				18.16	47	0.64	24.39	47	1.29	48.78
18/09/2022	158	1.62				61.23	158	2.16	81.99	158	4.33	163.98
20/09/2022	51	0.52				19.72	51	0.70	26.47	51	1.40	52.93
22/09/2022	61	0.63				23.87	61	0.84	31.66	61	1.67	63.31
25/09/2022	106	1.08				41.00	106	1.45	55.01	106	2.90	110.02
27/09/2022	58	0.60				22.83	58	0.79	30.10	58	1.59	60.20
29/09/2022	68	0.84				31.66	68	0.93	35.29	68	1.86	70.58
Octubre			03/10/2022	133	1.37	51.89	133	1.82	69.02	133	3.64	138.04
			06/10/2022	60	0.62	23.35	60	0.82	31.14	60	1.64	62.27
			09/10/2022	118	1.21	45.67	118	1.62	61.23	118	3.23	122.47
			14/10/2022	35	0.36	13.49	35	0.48	18.16	35	0.96	36.33
			16/10/2022	70	0.73	27.50	70	0.96	36.33	70	1.92	72.65
Total						1344.26			1605.81			2668.59

(Cruz, citado por Huaranga 2004) menciona que el cultivo frijol canario 2000 bajo riego por goteo, presenta un requerimiento hídrico 2414.27 m³/ha, En la variedad canario molinero el requerimiento es 2428.25 m³/ha (Falcón 2001)) citado por (Huaranga 2004) . la comparación de riego bajo aspersión y gravedad en las condiciones de la molina presenta un requerimiento por gravedad de 3480 m³/ha y por aspersión de 2486 m³/ha (Mesa, citado por Huaranga 2004) . Esto evidencia la optimización del recurso hídrico mediante la implementación de sistemas de riego por goteo en comparación con el riego por gravedad , especialmente al aplicar la técnica de riego parcial de raíces.

Contenido de Humedad en el suelo

Durante el desarrollo de la investigación se realizó 32 riegos en total, para obtener la germinación y alcanzar a un 50% de emergencia, el riego fue intensivo tres días antes de la siembra. En esta fase, el riego fue uniforme para poder lograr un desarrollo vegetativo adecuado durante la aplicación de los tratamientos. En la figura 19 y 20 se observa el comportamiento de la humedad durante la etapa experimental, en el cual se indujo el estrés hídrico la mitad de la raíz del cultivo mediante riego alternado. Se utilizaron dos válvulas

denominadas A y B para alternar el riego; la humedad se monitorio en 36 puntos con el aparato TDR-150 antes y después de riego. El contenido de humedad y el punto de marchites se tomó según el tipo de suelo considerando suelo franco arcilloso arenoso que nos arrojó el análisis de suelo. (Ferreyra *et al.* 2013) dice que el 31 por ciento de capacidad de campo y 15 por ciento de punto de marchitez corresponde a la textura de suelo mencionada.

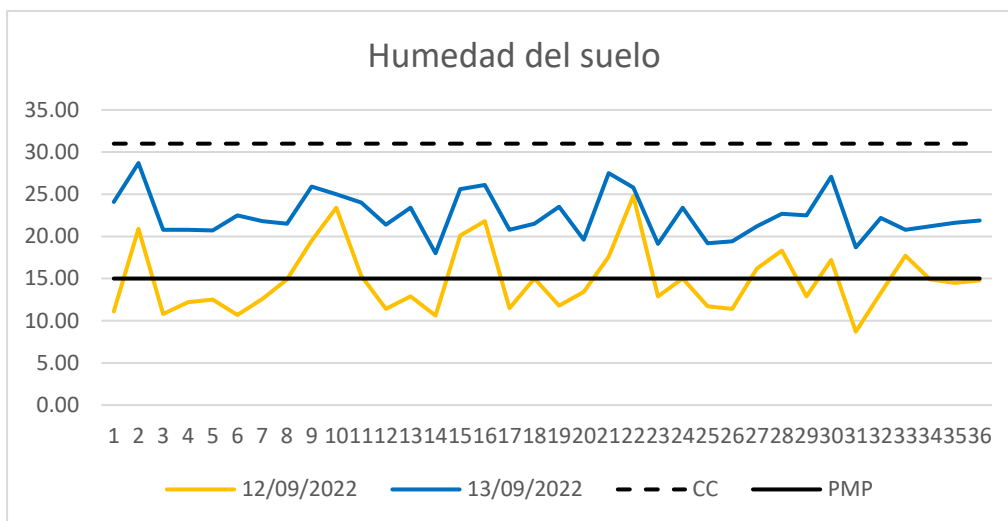


Figura 22: Humedad del suelo durante la etapa experimental , antes y después del riego alternado válvula A

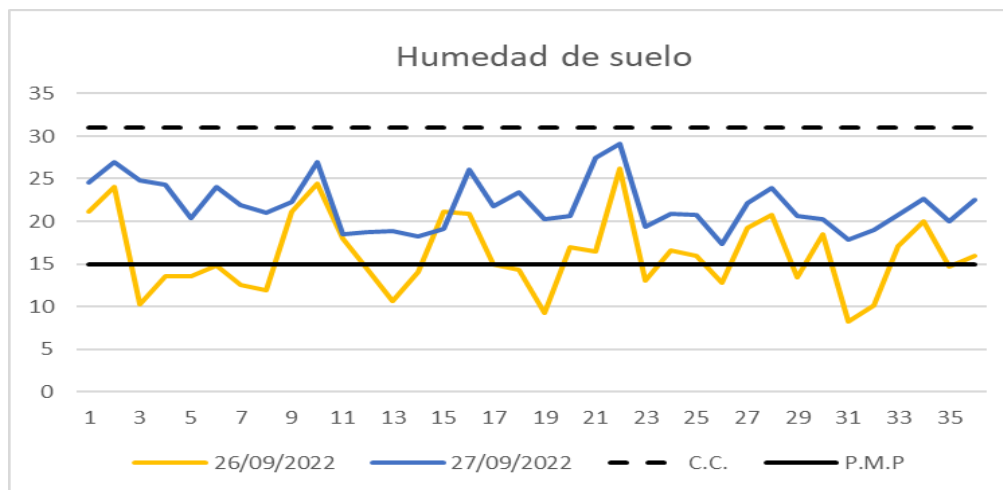


Figura 23: Humedad del suelo durante la etapa experimental , antes y después del riego alternado válvula B

Rendimiento total del cultivo de frijol variedad canario

Los rendimientos obtenidos del cultivo de frijol variedad canario sin la adición de materia orgánica (Ácido húmico) fue de 3252.7 kg/ha para el tratamiento TR-3, 2938.27 kg/ha para el tratamiento TR-1 y 2768.52 kg/ha para el tratamiento TR-2 . con la incorporación de materia orgánica (Ácido húmico) fue de 4079.86 kg/ha para el tratamiento TR-3,

3377.31 kg/ha para el tratamiento TR-1 y 3545.91 kg/ha para el tratamiento TR-2. Por lo tanto, los rendimientos fueron mayores con la adición de materia orgánica (Ácido húmico) en un porcentaje de 17.14 por ciento para el tratamiento TR-1, 18.03 por ciento para el tratamiento TR-2 y 20.27 por ciento para el tratamiento TR-3.

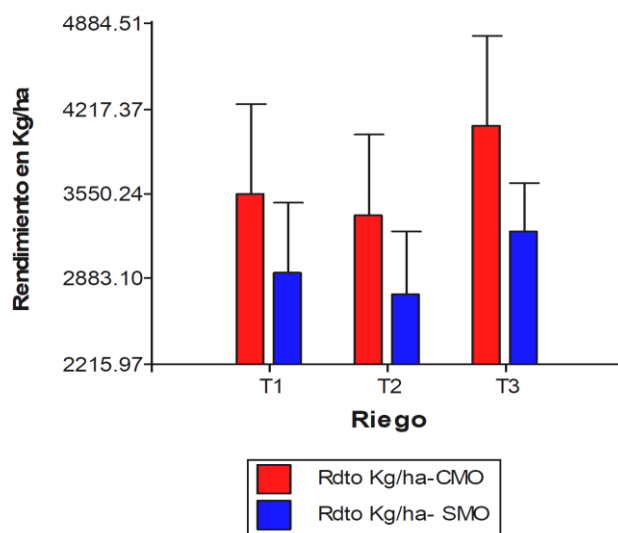


Figura 24: Rendimiento total del cultivo de frijol variedad canario

Análisis de varianza del rendimiento

El resultado de las medias obtenidas del análisis de varianza del rendimiento, indican que no hay diferencia significativa entre los tratamientos TR-1, TR-2 y TR-3 tanto sin adición de materia orgánica como con adición de materia orgánica. Estos datos se expresan en las tablas 19 y 20.

Tabla 19: Análisis de varianza (SC tipo III) del rendimiento total del cultivo son adición de materia orgánica .

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1744754.9	7	249250.7	1.21	0.37
Riego	724227.48	2	362113.74	1.76	0.22
Error	2056774.1	10	205677.41		0.46
Total	38011529	17			

Prueba Tukey Alfa=0.05

Riego	Medias	n	E.E	Significaciòn
TR1	2938.27	6	195.16	A
TR2	2768.52	6	195.16	A
TR3	3252.7	6	195.16	A

Tabla 20: Análisis de varianza (SC tipo III) del rendimiento total del cultivo con adición de materia orgánica

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3502612.5	7	500373.22	1.21	0.42
Riego	1614206.8	2	807103.38	1.76	0.21
Error	4468312.9	10	377681.15	0.85	0.54
Total	7970925.5	17			

Prueba Tukey Alfa=0.05

Riego	Medias	n	E.E	Significación
TR1	3545.91	6	287.6	A
TR2	3377.31	6	287.6	A
TR3	4079.86	6	287.6	A

Interacción del riego parcial de raíces con adición de materia orgánica en el cultivo de frijol

Las pruebas de LSD de Fisher (Least significant difference) siendo unas tes de comparaciones múltiples, el cual nos ayuda a realizar comparaciones de las medias de los t niveles de un factor, esto después de haber rechazado la hipótesis nula por medio de la técnica ANOVA. La interacción entre el uso de materia orgánica y aplicación del riego utilizando la técnica de riego parcial de raíces con láminas mediante sistema de goteo resultó en un incremento del rendimiento del cultivo de frijol. El riego tuvo efecto positivo en el rendimiento de los granos , en las tablas 21 y 22 se presentan los resultados del análisis de varianza. En la prueba LSD los resultados muestran que hay diferencias significativas entre las de los rendimientos al emplear materia orgánica en comparación con la ausencia de su uso., referente a la aplicación del riego.

En el análisis de varianza, tabla 22 se observa que el TR-3 supera significativamente a los otros tratamientos, mientras TR-1 y TR-3 son estadísticamente similares y superior a TR-2 según la prueba tukey al 5 por ciento. En la interacción del uso de materia orgánica y la aplicación del riego el TR-3 con lámina 100 por ciento ETc con incremento de 3666.28 kg/ha con 13.1 por ciento y 19.31 por ciento en relación a TR-2 y TR-1 reflejándose en la figura 25.

Tabla 21: Análisis de la Varianza (SC tipo III) de interacción del uso de materia orgánica y la aplicación del riego en el rendimiento del cultivo de frijol variedad canario (Kg/ha)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9255754.7	10	925575.47	3.46	0.0057
M.O	4176266.9	1	4176266.9	15.6	0.0006
Riego	2242559.1	2	1121279.5	4.19	0.027
Bloque	2741053.6	5	548210.72	2.05	0.1063
M.O*Riego	95875.1	2	47937.55	0.18	0.8371
Error	6692966.7	25	267718.67		

Prueba de LSD Fisher 0.05

MO	Medias	n	E.E	Significaciòn
S.MO	2986.5	18	121.96	A
C.MO	3667.7	18	121.96	B

Tabla 22: Prueba de LSD Fisher alfa 0.05 DMS=435.04441

Riego	Medias	n	E.E	Significaciòn
TR2	3072.92	12	149.36	A
TR1	3242.09	12	149.36	A B
TR3	3666.28	12	149.36	B

Tabla 23: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=615.24570

M.O	Riego	Medias	n	E.E	Significaciòn
S.MO	TR2	2768.52	6	211.23	A
S.MO	TR1	2938.27	6	211.23	A B
S.MO	TR3	3252.7	6	211.23	A B
C.MO	TR2	3377.31	6	211.23	A B
C.MO	TR1	3545.91	6	211.23	B C
C.MO	TR3	4079.86	6	211.23	C

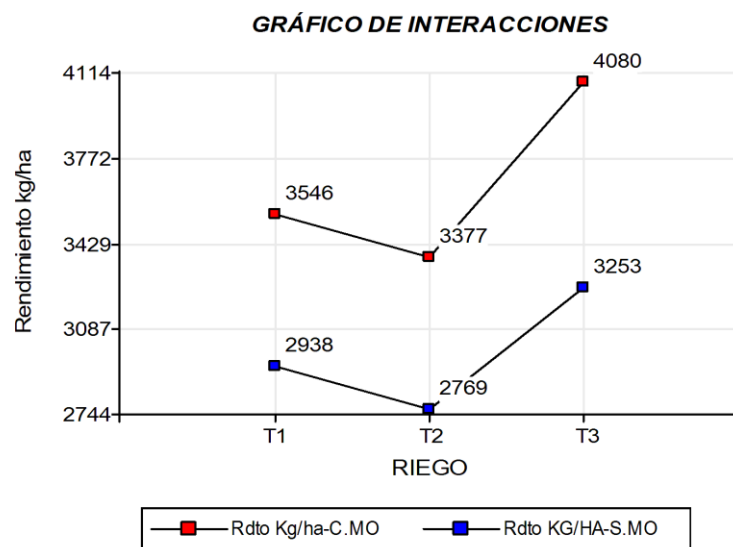


Figura 25: Interacción del cultivo de frijol con adición de materia orgánica y aplicación de riego

En la interacción del uso de materia orgánica y la aplicación del riego. Se observaron rendimientos de 3666.28 kg/ha con el TR-3 (100 por ciento ETc testigo) 3072.92 kg/ha 3242.09 kg/ha TR-1 (75 por ciento ETc SPR) .

El análisis LSD para la interacción del riego y el uso de materia orgánica sobre el rendimiento total del cultivo se observa que el TR-3 con adición de materia orgánica supera significativamente a los otros tratamientos con y sin adición de materia orgánica mientras que los tratamientos TR-1,TR-2, TR-3 sin adición de materia orgánica y TR-1, TR-2 con adición de materia orgánica son similares estadísticamente.

Durante los cuatro meses de su desarrollo vegetativo del cultivo de frijol variedad canario, se observaron altos rendimientos de grano que, con la combinación de la adición de materia orgánica y riego parcial de raíces, se obtuvieron rendimientos de 3545.91 kg/ha TR-1 (75 por ciento ETc SPR) y 4079.86 kg/ha TR-3 (100 por ciento ETc testigo). Por otro lado, sin la adición de materia orgánica y con el riego parcial de raíces, se registraron rendimientos de 2938.27 kg/ha TR-1 (75 por ciento ETc SPR) y 3252.7 kg/ha TR-3 (100 por ciento ETc testigo) .

Los rendimientos obtenidos superan los valores reportados en estudios previos (Vásquez *et al.* 2023) mencionan que el año 2020 cosecharon 68,478 ha de frijol (*Phaseolus Vulgaris*), teniendo un rendimiento de 1,282.8 kg/ha. Por su parte, (Huaranga 2004) indica que la

variedad “canario 2000” bajo el efecto de la interacción nitrógeno – fósforo-potasio con riego localizado, alcanzó un rendimiento 2905.3 kg /ha. (Camarena *et al.* 2009) menciona que el frijol variedad canario 2000 INIA obtuvo un rendimiento de 2590 kg/ha. Según (Ascensión 2019), reportaron un rendimiento utilizando abono orgánico siendo el rendimiento del frijol canario 2000 variedad INIA de 2235.7 kg/ha. Según (Albujar 2019) el año 2018 la superficie cosechada de frijol grano seco fue de 73789 ha con rendimiento de 1192 Kg/ha. Finalmente, para el año 2022 , la superficie cosechada fue 68175 ha con rendimiento de 1286 Kg/ha (DEIA 2022).

Eficiencia de uso de agua

La eficiencia de uso del agua (EUA) en el cultivo de frijol, se observaron los siguientes valores de 2.64, 2.10 y 1.53 Kg/m³ con adición de materia orgánica para los tratamientos TR1, TR2 y TR3, respectivamente. Mientras que sin adición de materia orgánica 2.19,1.72,1.22 Kg/m³ para los tratamientos TR1 ,TR2 y TR3.

Tabla 24: Productividad de agua

Tratamiento	consumo de agua m ³ /ha	Rendimiento con materia orgánica kg/ha	Rendimiento sin materia orgánica kg/ha	Eficiencia de uso de agua con materia orgánica kg/m ³	Eficiencia de uso de agua sin materia orgánica kg/m ³
TR1 (75 % ETc)	1344.26	3545.91	2938.27	2.64	2.19
TR2(100% ETc)	1605.81	3377.31	2768.52	2.10	1.72
TR3(100% T)	2668.59	4079.86	3252.7	1.53	1.22

(Huamancusi , citado por Huaranga 2004) menciona que la eficiencia de uso de agua fue de 3.16 Kg/m³ bajo riego por goteo. En un estudio realizado en la Molina, durante los meses del fenómeno del niño de 1998, la eficiencia de uso de agua bajo sistema de riego localizado alcanzo 0.23 Kg/m³ (Veli, citado por Huaranga, 2004). Para el caso de riego por gravedad la eficiencia en condiciones de la Molina expreso un valor de 0.51 Kg/m³ (Meza, citado por Huaranga 2004). Los resultados obtenidos de la eficiencia de uso de agua en la investigación concuerdan con el rango reportado por otros autores .Citado por (Sliman *et al.* 2019, citado por Du *et al.* 2008) por ejemplo, demostraron en un estudio experimental de viñedos en condiciones áridas que el tratamiento con PRD (riego parcial en zona de raíz) mejoraba la eficiencia del uso del agua y aumentaba el número de uvas, la concentración de vitamina C y el índice de madurez. (Zegbe *et al.*2008) aplicaron PRD en clima húmedo en manzanos y demostraron que no afectaba negativamente al rendimiento ni a la calidad de la fruta, pero

mejoraba la eficiencia del uso del agua en un 20%. (Dos Santos *et al.* 2003) obtuvieron resultados similares en la vid cuando un estrés hídrico moderado inhibió el crecimiento vegetativo. De hecho, sostuvieron que la vid y los árboles frutales son los más adecuados para la estrategia de PRD, sabiendo que las respuestas eran variables, dependiendo de la especie, la variedad y las condiciones climáticas. No obstante, la PRD podría aplicarse con éxito también al tomate y repercutir en los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante (Casa y Rouphael 2014 Sun *et al.* 2014 Bogale *et al.* 2016). Los estudios de PRD en patata se remontan a 2005, cuando (Saeed *et al.* 2005) informaron de que el tratamiento con PRD modifica el crecimiento de los brotes, reduce la superficie foliar de la planta y aumenta la eficiencia del uso del agua.

V. CONCLUSIONES

- a) Los rendimientos obtenidos son mayores con la adición de materia orgánica (ácido húmico) en un porcentaje de 17.14 por ciento para el tratamiento TR-1, 18.03 por ciento para el tratamiento TR-2 y 20.27 por ciento para el tratamiento TR-3, Sin la adición de materia orgánica los rendimientos son de 2938.27 kg/ha para el TR-1 (75 por ciento ETc, SPR), 2768.52 kg/ha para el TR-2 (100 por ciento ETc, SPR), 3252.7 kg/ha para el TR-3 (100 por ciento ETc, testigo).

- b) El efecto de la aplicación de láminas sobre el rendimiento para el TR-3 (100 ETc, testigo) logro el mayor rendimiento, siendo favorable, es decir la adición de materia orgánica (ácido húmico) permitió un incremento en la producción de 22.81 por ciento en comparación con la producción sin la adición (ácido húmico) de materia orgánica.

- c) La lámina de riego aplicada durante el del periodo vegetativo del cultivo de frijol para los tratamientos de riego parcial de raíces varía entre 134,4 mm (1344.26 m³ / ha) a 160.581 mm (1605.81 m³ / ha) mientras que para el tratamiento testigo fue de 266.859 mm (2668.59

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación del riego parcial de raíces en áreas áridas o con escasos recursos hídricos, especialmente cuando se complementa con la adición de materia orgánica (ácido húmico) a través del sistema de riego por goteo.
- Se recomienda para la reposición de la lámina de riego monitorear la humedad del suelo mediante la utilización de instrumentos calibrados para obtener datos confiables.
- Los resultados obtenidos demuestran la recomendabilidad de implementar el riego parcial de raíces en surcos con riego alternado mediante sistema de riego por goteo. Esto se debe a que la eficiencia en el uso de agua, mejora significativamente en comparación con el riego testigo. Es importante incorporar materia orgánica en el suelo, ya que tiene efectos benéficos que contribuyen al incremento del rendimiento del cultivo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aybar, L; Luis, DB. 2021. Evaluación agronómica de seis genotipos de frijol canario en condiciones del valle de Chincha, Ica, Perú, *Peruvian Agricultural Research* , 3(1).18-22. <https://doi.org/10.51431/par.v3i1.661>.
- Ascensión, T. 2019 Rendimiento de frijol (*Phaseolus Vulgaris L.*) con cuatro fuentes de abonos organicos en el distrito Nuevo Imperial , Cañete. Tesis para obtener el título de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 94 p.
- Arias, J; Rengifo, T; Jaramillo, M. 2007. Manual Técnico buenas prácticas, en la producción agrícola de frijol voluble *Centro de investigación "LA SELVA"* . 167 p.
- Allen G, R ; Pereira, LS; 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, 297. Recuperado a partir de <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>.
- Albujar. E. 2019. Anuario estadístico de producción agrícola 2018 . *MINAGRI*.
- Camarena, M; Huaranga, J; Mostacero, N. 2009. Innovación Tecnológica para el incremento de la producción de Frijol Común (*Phaseolus vulgaris L.*). *Primera Edición. Universidad Nacional Agraria La Molina. Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. Lima.2009.* 232 p. Recuperado en <https://downloads.editoracientifica.org/articles/210102684.pdf>.
- Cántaro, H; Huaranga, A; Zuñiga ,D. 2019. Efectividad simbiótica de dos cepas de *Rhizobium sp.* En cuatro variedades de frijol (*phaseolus vulgaris L.*) en Perú, *IDESIA (Chile)*,37(4):73-81.
- Condori, J. 2019. Influencia del riego intermitente y parcial de la zona de raíces en el rendimiento del cultivo de papa variedad única . Tesis para obtener el grado Mg. Sc. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 116 p.

- Carrijo, D.R; Lundy, M.E; LinquisT, BA. 2017. Rice yields and water use under alternate wetting and drying irrigation. *A meta análisis field crop .Res.*203,173-180.
- Dirección de Estadística e Información Agraria (DEIA) .2022. Boletín estadístico mensual el agro en cifras. (MINAGRI).Recuperado en <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYjYwYTk5MDgtM2M0MS00NDMyLTgzNDk5MjNhNjEzYWQyOTNlIiwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9>
- Davies, W; Wilkinson, S; Loveys , B. 2001. Stomatal control by chemical signalling and the exploitation of this mechanism to increase wáter use efficieny in agriculturae. *New phytologia.* 153, 449-460. Recuperado en www.newphytologist.com.
- Estrada, W; Chávez L; Maceo ,Y; Jerez , E; Napoles, M. 2021. Efecto del Azofert-F en la respuesta estomática del frijol ante el déficit hídrico. *Agronomía Mesoamericana* 32(2), 442-451 . DOI:10.15517/am.v32i2.42001.
- Ferreira, R; Sellès, G. 2013. Manual de riego para frutales: uso eficiente del agua de riego y estrategias para enfrentar periodos de escasez. *Boletín INIA Nª 278.Instituto de investigaciones agrarias.* 319 p.
- Ferrer ,T; Valverde, A. 2020. Rendimiento del frejol (*Phaseolus Vulgaris L.*) variedad canario con tres fuentes de abonos orgánicos en el distrito de Cholón , Huánuco-Perú. *Investigación agraria* 2(3), 33-44.
- Fernández, F; Gepts , P; López, M .1986. Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus Vulgaris L.*) *Centro de Agricultura Tropical CIAT* , 1-33.
- Flores, L; Estrada, H; Jiménez, J; Pinzón, L. 2012. Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. *Terra latinoamericana* 30(4), 343-353. Recuperado en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792012000400343
- FAO (Organización de la Naciones Unidas para la agricultura y alimentación).2017. Escasez de agua uno de los retos más grandes de nuestro tiempo. Roma: FAO. <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/880888/>

- Flórez, N; Zution, G; Rodriguez, D; Aguellos, E; Ponciano, F; Diego, Eiji, E. 2013 Eficiencia de aplicación de agua en la superficie en el perfil del suelo en un sistema de riego por aspersión. *AGROAGENCIA*. 47,107-119.
- Gonzales, M; Jiménez , L ; Yáñez, W; Parducci, P. 2017 . Potencial uso de la leonardita para el cultivo de rosa en condiciones de invernadero. *Agronomía costarricense* .42 (1) , 155-162.
- Guamán, R; Desiderio, T; Villavicencio, A; Ulloa, S; Romero , E. 2020. Adaptabilidad de cuatro variedades de frejol (*Phaseolus vulgaris L*) en la parroquia luz de Amèrica-Ecuador. *Siembra* 7 (1), 001-011. DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1908>.
- Huaranga, A. 2004. Efecto de la fertiirrigación NPK en el frijol rendimiento de cuatro variedades de frijol (*Phaseolus Vulgaris L.*) bajo riego localizado de alta frecuencia; goteo. *Idesia*. 22 (2) 92-42.
- Hidalgo, J; Ramos, C. 2019. Coinoculación de *Rhizophagus irregularis* y *Rhizobium SP*. En (*Phaseolus vulgaris L*). var. Canario (Fabaceae) “ frijol canario ”, *ARNALDOA* , 26 (3). 961-1006.DPI: <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26309>.
- Huánuco, Lucia; Gutiérrez, R; Müller , G. Estandarización de un protocolo para la cuantificación de Ácido abscísico mediante la técnica de Elisa competitivo. *Ecología Aplicada* 16(1). DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v16i1.898>.
- IFA (Asociación internacional de la industria de los fertilizantes). 1992. Los fertilizantes y su uso, Paris 632 p . <http://www.fertilizer.org>.
- Lucero, G; Troyo, E; Murillo, B; Nieto, A; Ruiz, F; Beltrán, M; Zamora, S. 2016. Diseño de un sistema de riego subterráneo para abatir la evaporación en suelo desnudo comparado con dos métodos convencionales. *Agroagencia*. 51, 487-505.
- Lata, L; Villaseñor, D; Chabla, J. 2017 . Fraccionamiento de la absorción de nutrientes en cuatro etapas fenológicas del cultivo de frejol. *Universidad y sociedad* .9 (1), 20-27. Recuperado en <http://rus.ucf.edu.cu/>
- Loveys, B Dry; P, Stoll; Mearthy, M. 2000. Uso de la fisiología vegetal para mejorar la eficiencia en el uso del agua en cultivos hortícolas. *Acta horticulturae*. 537,187-197. DOI: [10.17660/ActaHortic.2000.537.19](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.537.19).
- Losada, V. 2009. El riego fundamentos hidráulicos . (4ta ed.). Mundi-prensa. Madrid, España.

- Moreno, L. 2009 Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. *Agronomía Colombiana* 27 (2) , 179-191.
- Méndez, C; Vallejo, M. 2019. Mecanismo de respuesta al estrés abiótico : hacia una perspectiva de las especies forestales. *Revista mexicana de ciencias forestales*. 10(56). DOI : <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i56.567>.
- Ogaidi , A; Wayayok, A; Rowshon, M; Fikri, A. 2016 . Wetting patterns estimation under drip irrigation systems using an enhanced empirical model. *Agricultural water management* 176,203-213. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.06.002>.
- Pizarro, F. 1990. Riego localizado de alta frecuencia (RLAF) . *Madrid :Mundi- prensa*. 471 p.
- Pérez, C; Sánchez. M; Razuri, L; Enciso, A. 2021. Dosis de riego y coeficiente del cultivo (Kc) en la producción del frijol (*Phaseolus Vulgaris L.*) en Lima , Perú. *Universidad de Carabobo* .28(3), 349-359. DOI: <https://doi.org/10.54139/revinguc.v28i3.44>.
- Reyes, J; Martínez, D; Rueda, L ; Rodríguez, T.2014. Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) en condiciones de invernadero, *Iberoamericana de Ciencias* 1(2),192-203.
- Ramírez, P; León, J; Martín , A; Egea ,C; Lasheras , J. 2016. Efecto de distintos tipos de riego en *Vitis Vinifera* cv. Syrah cultivada en clima mediterráneo. *Instituto de investigación y formación agraria y pesquera* . 1-32 p.
- Rojas, G; Posadas, A; Quiroz, R; Holle, M; Málaga, M. 2007 . Secado parcial de raíces una técnica de riego en papa (*Solanum Tuberosum L.*) . *Zonas Áridas* .11(1).206-218. Recuperado en <http://www.lamolina.edu.pe/zonasaridas/za11/pdfs/ZA11%2000%20art15.pdf>.
- Rodríguez, P ; Méndez, A; Pérez, F; Pacheco, R; Ferreira , O. 2023. Manejo del riego con aguas de salinidad media en la casa de cultivo cabacú . *Ciencias técnicas agropecuarias* , 32 ,1.
- Sliman, E; Maroua, H; Edina,C; Zantar, Z; Ahlam, H; Vanda, V; Ahmed, D; bamfalvi, Z. 2019. Effects of partial root- zone drying and déficit irrigation on yield, irrigation water – use efficiency and some potato (*Solanum tuberosum L*) quality traits under glasshouse conditions. *Agricultural water managemnet*. 224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105745>.
- Stoll, M; Loveys, B; Dry, P. 2000. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *Journal of Experimental Botany* 585, 671-675.

- Topak, R; Acar, B; Uyanoz,R; Ceyhan, E. 2016. Performance of partial root – zone drip irrigation for beet production in a semi- arid área. *Agricultural water Management* 176, 180-190. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.06.004>.
- Valladolid, A. 2001. El cultivo de frijol (*Phaseolus Vulgaris L.*) en la costa de Perú. *Instituto Nacional de Investigación Agraria INIA*. Lima , Perú. 9 p.
- Valladares, C. 2010. Taxonomía y Botánica de los Cultivos de Grano . CURLA. 27 p.
- Villafañe, R; Alcides, J; Lima, J; y Basso, C. 2014. Comportamiento de la descarga de fertilizantes en goteros cercano y lejano al inyector. *Biagro* .28 (8), 209-214.
- Valero , N; Salgado , J; Corzo D. 2018 . Metodología sencilla para evaluar bioactividad de ácidos húmicos obtenidos de lignito mediante extracción alcalina y bacterias solubilizadoras de carbón. *Información tecnológica* . 29 (4), 78-82 . <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000400075>.
- Vásquez. J; Vilca. V; Valqui. R. 2023. Manual de manejo agronómico de frijol en regiones andinas . *Instituto nacional de innovación agraria -INIA*. Recuperado en <https://repositorio.inia.gob.pe/>.
- Yang, H; Wang, L; AbbaspouR , K.C; Zehnder, AJB. 2006. Virtual water highways:water use efficiency in global food trade. *Hydrol. Earth syst.sci.* 10, 443-454.
- Zegbe, J; Hossein , M; Brent , E . 2007. Respuesta del tomate para proceso al riego parcial de la raíz . *Terra latinoamericana* . 25, 61-67. Recuperado en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311513008>.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Análisis de agua y suelo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n. Telf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 01

ANÁLISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : ING. MIGUEL SANCHEZ DELGADO
UBICACIÓN : CIER- UNALM- LA MOLINA
RESPONSABLE ANÁLISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 24 de agosto de 2023

N° LABORATORIO		10639
N° DE CAMPO		Reservorio
CE	dS m ⁻¹	0.74
pH		7.33
Calcio	meq l ⁻¹	3.86
Magnesio	meq l ⁻¹	0.70
Sodio	meq l ⁻¹	2.62
Potasio	meq l ⁻¹	0.01
SUMA DE CATIONES		7.19
Cloruro	meq l ⁻¹	1.61
Sulfato	meq l ⁻¹	3.07
Bicarbonato	meq l ⁻¹	2.51
Nitratos	meq l ⁻¹	0.00
Carbonatos	meq l ⁻¹	0.00
SUMA DE ANIONES		7.19
SAR		1.74
CLASIFICACION		C2-S1
Boro	mg l ⁻¹	0.30

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

Dra. Rocío Pastor Jáuregui
JEFA DE LABORATORIO



SOLICITANTE : MOLINOS & CIA. SA
 PREDIO : MOLINOS & CIA. SA
 MATRIZ : SUELO AGRICOLA

 ANÁLISIS N° : 267-015 -2023
 LUGAR : CHICLAYO
 FECHA DE RECEP. : 28/02/2023

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACION CON MICRONUTRIENTES DISPONIBLES
MUESTRA : RUBEN - 20cm

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Textura				
Arena	60.30	%		
Limo	17.73	%		
Arcilla	21.97	%	MES - 001	Bouyoucos
Clase Textural	FRANCO ARCILLO ARENOSA			
Porcentaje de Saturación de Agua	32.00	%	MES - 002	Gravimétrico
Carbonato de Calcio Total	3.37	%	MES - 003	Gravimétrico
Conductividad Eléctrica (E.S) a 25 °C.	4.51	dS / m	MES - 004	Electrónico
pH (1/1) a Temp. 26.9 °C	7.61		MES - 005	Electrónico
Fósforo Disponible	38.10	ppm	MES - 006	Olsen
Materia Orgánica	1.21	%	MES - 007	Walkley y Black
Potasio Disponible	179.00	ppm	MES - 009	Acetato de Amonio
Cationes Cambiables				Extractante: Ac. Amonio
Calcio	12.09	mEq / 100 g	MES - 010	FAAS
Magnesio	1.19	mEq / 100 g	MES - 011	FAAS
Sodio	0.29	mEq / 100 g	MES - 012	FAAS
Potasio	0.43	mEq / 100 g	MES - 013	FAAS
P.S.I	2.06	%	MES - 015	Cálculo Matemático
C.I.C.E	14.00	mEq / 100 g	MES - 017	Cálculo Matemático
Micronutrientes Disponibles				Extractante: DTPA
Cobre	5.76	ppm.	MES - 018	FAAS
Zinc	20.70	ppm.	MES - 019	FAAS
Manganeso	17.58	ppm.	MES - 020	FAAS
Hierro	11.32	ppm.	MES - 021	FAAS
				Extractante: CaCl₂.2H₂O
Boro	0.96	ppm.	MES - 022	Colorimétrico

UNITS:

 E.S. Extracción de Extracto
 (1/1) Relación Masa del Suelo / Volumen del Agua
 P.S.I. Porcentaje de Sodio Intercambiable
 C.I.C.E. Capacidad de Intercambio Cationes Efectivo

 % Masa / Masa
 ppm - mg / kg
 MES Método Propio del Laboratorio
 FAAS Espectrometría de Absorción Atómica por Llama

NOTA:

- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

 MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
 JEFE DEL LABORATORIO

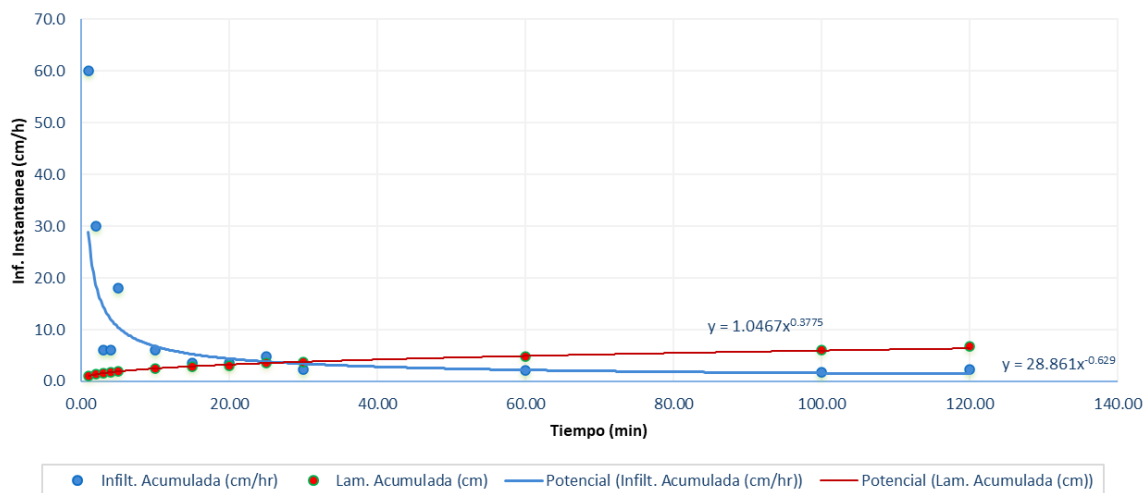
 MSc. Agr. Julio Castro Lezo
 DIRECTOR DEL LABORATORIO

 Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular
 Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú
 Teléfono: (511) 581.2261 | Celular: 991 692 563
 Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 2: Prueba de infiltración

Tiempo			Lámina		Velocidad	
Parcial (min)	acumulado (min)	altura (cm)	infiltrada (cm)	acumulada (cm)	infiltración instantánea (cm/hr)	infiltración horaria (cm/h)
0.00	0.00	23.00	0	0	0	0
1.00	1.00	22.00	1.00	1.00	60.00	60.00
1.00	2.00	21.50	0.50	1.50	30.00	45.00
1.00	3.00	21.40	0.10	1.60	6.00	32.00
1.00	4.00	21.30	0.10	1.70	6.00	25.50
1.00	5.00	21.00	0.30	2.00	18.00	24.00
5.00	10.00	20.50	0.50	2.50	6.00	15.00
5.00	15.00	20.20	0.30	2.80	3.60	11.20
5.00	20.00	19.90	0.30	3.10	3.60	9.30
5.00	25.00	19.50	0.40	3.50	4.80	8.40
5.00	30.00	19.30	0.20	3.70	2.40	7.40
30.00	60.00	18.20	1.10	4.80	2.20	4.80
40.00	100.00	17.00	1.20	6.00	1.80	3.60
20.00	120.00	16.20	0.80	6.80	2.40	3.40

Tiempo vs. Infiltracion



Anexo 3: Diseño agronómico

FECHA		DIAS DESDE LA SIEMBRA	DESARROLLO DE LA PLANTA		LECTURA TANQUE		EVAPORACIÓN	VELOCIDAD DEL VIENTO	HUMEDAD RELATIVA	Distancia del barbecho a barlovento	Kp	Eto	Kc	Etc	Cu
MES	DIA		FASE	ETAPA	8:00 a. m.	5:00 p. m.	mm	m/s	%	m		mm/d		mm/d	
AGOSTO	11/08/2022	52			19.07	18.80	0.27	2.2	91	100	0.65	0.18	1.07	0.188	90%
	12/08/2022	53			16.00	15.16	0.84	0.84	95	100	0.75	0.63	1.09	0.686	90%
	13/08/2022	54			15.85	14.88	0.97	2.2	93	100	0.65	0.63	1.11	0.697	90%
	14/08/2022	55													90%
	15/08/2022	56			14.88	7.04	7.84	1.8	93	100	0.75	5.88	1.14	6.685	90%
	16/08/2022	57			6.14	5.84	0.3	1.3	94	100	0.75	0.23	1.15	0.259	90%
	17/08/2022	58			5.40	5.18	0.22	1.8	95	100	0.75	0.17	1.17	0.193	90%
	18/08/2022	59			23.98	22.90	1.08	1.3	93	100	0.75	0.81	1.18	0.959	90%
	19/08/2022	60			22.74	21.64	1.1	1.6	95	100	0.75	0.82	1.20	0.990	90%
	20/08/2022	61													
	21/08/2022	62			21.64	15.30	6.34	1.8	95	100	0.75	4.76	1.20	5.706	90%
	22/08/2022	63			15.30	14.66	0.64	1.8	95	100	0.75	0.48	1.20	0.576	90%
	23/08/2022	64			13.68	12.42	1.26	2.2	93	100	0.65	0.82	1.20	0.983	90%
	24/08/2022	65			11.00	8.06	2.94	2.7	95	100	0.65	1.91	1.20	2.293	90%
	25/08/2022	66			7.06	6.42	0.64	1.3	95	100	0.75	0.48	1.20	0.576	90%
	26/08/2022	67			5.76	3.98	1.78	1.3	96	100	0.75	1.34	1.20	1.602	90%
	27/08/2022	68			27.48	22.50	4.98	2.2	94	100	0.65	3.24	1.20	3.884	90%
	28/08/2022	69			22.50	20.18	2.32	1.3	95	100	0.75	1.74	1.20	2.088	90%

FECHA		DIAS DESDE LA SIEMBRA	DESARROLLO DE LA PLANTA		Cu	Ea	LR	Ln	Lb	Lb	Lb	SEPARACION ENTRE EMISORES (se)	CAUDAL DEL EMISOR (qa)	SEPARACION LATERAL (sl)	NUMERO DE GOTEROS/ m2
MES	DIA		FASE	ETAPA				m3/ha-d	m3/ha-d	m3/ha	mm	m	L/H		
AGOSTO	11/08/2022	52			90%	90%	0.1	1.88	2.09	2.09	0.21	0.4	1.0	0.8	3.13
	12/08/2022	53			90%	90%	0.1	6.86	7.63	7.63	0.76	0.4	1.0	0.8	3.13
	13/08/2022	54			90%	90%	0.1	6.97	7.74	7.74	0.77	0.4	1.0	0.8	3.13
	14/08/2022	55			90%	90%									
	15/08/2022	56			90%	90%	0.1	66.85	74.27	74.27	7.43	0.4	1.0	0.8	3.13
	16/08/2022	57			90%	90%	0.1	2.59	2.88	2.88	0.29	0.4	1.0	0.8	3.13
	17/08/2022	58			90%	90%	0.1	1.93	2.14	2.14	0.21	0.4	1.0	0.8	3.13
	18/08/2022	59			90%	90%	0.1	9.59	10.66	10.66	1.07	0.4	1.0	0.8	3.13
	19/08/2022	60			90%	90%	0.1	9.90	11.00	11.00	1.10	0.4	1.0	0.8	3.13
	20/08/2022	61													
	21/08/2022	62			90%	90%	0.1	57.06	63.40	63.40	6.34	0.4	1.0	0.8	3.13
	22/08/2022	63			90%	90%	0.1	5.76	6.40	6.40	0.64	0.4	1.0	0.8	3.13
	23/08/2022	64			90%	90%	0.1	9.83	10.92	10.92	1.09	0.4	1.0	0.8	3.13
	24/08/2022	65			90%	90%	0.1	22.93	25.48	25.48	2.55	0.4	1.0	0.8	3.13
	25/08/2022	66			90%	90%	0.1	5.76	6.40	6.40	0.64	0.4	1.0	0.8	3.13
	26/08/2022	67			90%	90%	0.1	16.02	17.80	17.80	1.78	0.4	1.0	0.8	3.13
	27/08/2022	68			90%	90%	0.1	38.84	43.16	43.16	4.32	0.4	1.0	0.8	3.13
	28/08/2022	69			90%	90%	0.1	20.88	23.20	23.20	2.32	0.4	1.0	0.8	3.13

FECHA		DIAS DESDE LA SIEMBRA	DESARROLLO DE LA PLANTA		Tiempo de riego						Tiempo de riego Acumulado			
MES	DIA		FASE	ETAPA	100%Eto (T) Horas	100%Eto (T) min	100 %Eto Horas	100%Eto min	75%Eto Horas	75%Eto min	100%Eto (T) Horas	100%Eto (T) min	100 %Eto Horas	100
AGOSTO	11/08/2022	52			0.07 H	4'.01"	0.07 H	4'.01"	0.05 H	3'.01"				
	12/08/2022	53			0.24 H	14'.39"	0.24 H	14'.39"	0.18 H	10'.59"				
	13/08/2022	54			0.25 H	14'.52"	0.25 H	14'.52"	0.19 H	11'.09"	0.56 H	33'.32"	0.56 H	
	14/08/2022	55												
	15/08/2022	56			2.38 H	142'.36"	2.38 H	142'.36"	1.78 H	106'.57"				
	16/08/2022	57			0.09 H	5'.32"	0.09 H	5'.32"	0.07 H	4'.09"	2.47 H	148'.08"	2.47 H	1
	17/08/2022	58			0.07 H	4'.07"	0.07 H	4'.07"	0.05 H	3'.05"				
	18/08/2022	59			0.34 H	20'.28"	0.34 H	20'.28"	0.26 H	15'.21"				
	19/08/2022	60			0.35 H	21'.07"	0.35 H	21'.07"	0.26 H	15'.50"	0.76 H	45'.42"	0.76 H	
	20/08/2022	61												
	21/08/2022	62			2.03 H	121'.44"	2.03 H	121'.44"	1.52 H	91'.18"				
	22/08/2022	63			0.20 H	12'.17"	0.20 H	12'.17"	0.15 H	9'.13"	2.23 H	134'.01"	2.23 H	1
	23/08/2022	64			0.35 H	20'.58"	0.35 H	20'.58"	0.26 H	15'.43"				
	24/08/2022	65			0.82 H	48'.55"	0.82 H	48'.55"	0.61 H	36'.41"				
	25/08/2022	66			0.20 H	12'.17"	0.20 H	12'.17"	0.15 H	9'.13"	1.37 H	82'.11"	1.37 H	
	26/08/2022	67			0.57 H	34'.11"	0.57 H	34'.11"	0.43 H	25'.38"				
	27/08/2022	68			1.38 H	82'.52"	1.38 H	82'.52"	1.04 H	62'.09"				
	28/08/2022	69			0.74 H	44'.33"	0.74 H	44'.33"	0.56 H	33'.24"	2.69 H	161'.35"	2.69 H	1

FECHA		DIAS DESDE LA SIEMBRA	DESARROLLO DE LA PLANTA		LECTURA TANQUE		EVAPORACIÓN	VELOCIDAD DEL VIENTO	HUMEDAD RELATIVA	Distancia del barbecho a barlovento	Kp	Eto	Kc	Etc	Cu
MES	DIA		FASE	ETAPA	8:00 a. m.	5:00 p. m.	mm	m/s	%	m		mm/d		mm/d	
SEPTIEMBRE	07/09/2022	79	REPRODUCTIVA		23.18	22.68	0.5	1.3	95	100	0.75	0.38	1.20	0.450	90%
	08/09/2022	80		22.42	21.62	0.8	2.2	94	100	0.65	0.52	1.20	0.624	90%	
	09/09/2022	81		20.76	19.08	1.68	2.7	93	100	0.65	1.09	1.20	1.310	90%	
	10/09/2022	82		18.1	17.5	0.6	1.8	93	100	0.75	0.45	1.20	0.540	90%	
	11/09/2022	83		17.5	12.61	4.89	2.2	92	100	0.65	3.18	1.20	3.814	90%	
	12/09/2022	84		12.61	11.71	0.9	1.3	92	100	0.75	0.67	1.20	0.810	90%	
	13/09/2022	85		11.26	10.88	0.38	1.8	93	100	0.75	0.28	1.20	0.342	90%	
	14/09/2022	86		10.38	9.18	1.2	1.3	95	100	0.75	0.90	1.20	1.080	90%	
	15/09/2022	87		8.48	7.34	1.14	1.8	95	100	0.75	0.86	1.20	1.026	90%	
	16/09/2022	88		6.54	3.5	3.04	2.2	93	100	0.65	1.98	1.20	2.371	90%	
	17/09/2022	89		30.04	27.42	2.62	2.7	94	100	0.65	1.70	1.20	2.044	90%	
	18/09/2022	90		27.42	24.07	3.35	1.8	94	100	0.75	2.51	1.20	3.015	90%	
	19/09/2022	91		24.07	22.32	1.75	1.8	95	100	0.75	1.31	1.18	1.549	90%	
	20/09/2022	92		21.42	20.44	0.98	1.8	94	100	0.75	0.74	1.16	0.853	90%	
	21/09/2022	93		19.31	17.5	1.81	1.8	94	100	0.75	1.36	1.14	1.548	90%	
	22/09/2022	94		16.4	14.54	1.86	2.7	92	100	0.65	1.21	1.12	1.354	90%	
	23/09/2022	95		13.04	11.74	1.3	1.3	94	100	0.75	0.97	1.10	1.073	90%	
	24/09/2022	96		10.56	9.25	1.31	2.2	93	100	0.65	0.85	1.08	0.920	90%	

Anexo 4: Actividades durante el tiempo de investigación.

Prueba de bulbo húmedo , vista de planta.



Prueba de bulbo húmedo , vista



Prueba de infiltración



Preparación del terreno y surcado



Preparado de los surcos



Encharcamiento del terreno de sembrío



Siembra del cultivo de frijol Canario



aplicación de preventivo contra la mosca blanca



aplicación de azufre contra los hongos



Prueba de uniformidad



Abonamiento del cultivo a los 10 días



Desahije del cultivo



Comportamiento del riego parcial



Monitoreo de humedad con TDR



Bulbo formado por riego parcial



riego parcial y con riego testigo



Formación de vainas del cultivo



Vista panorámica de los tratamientos



Secado del cultivo de frijol



Prueba de uniformidad al final de la investigación

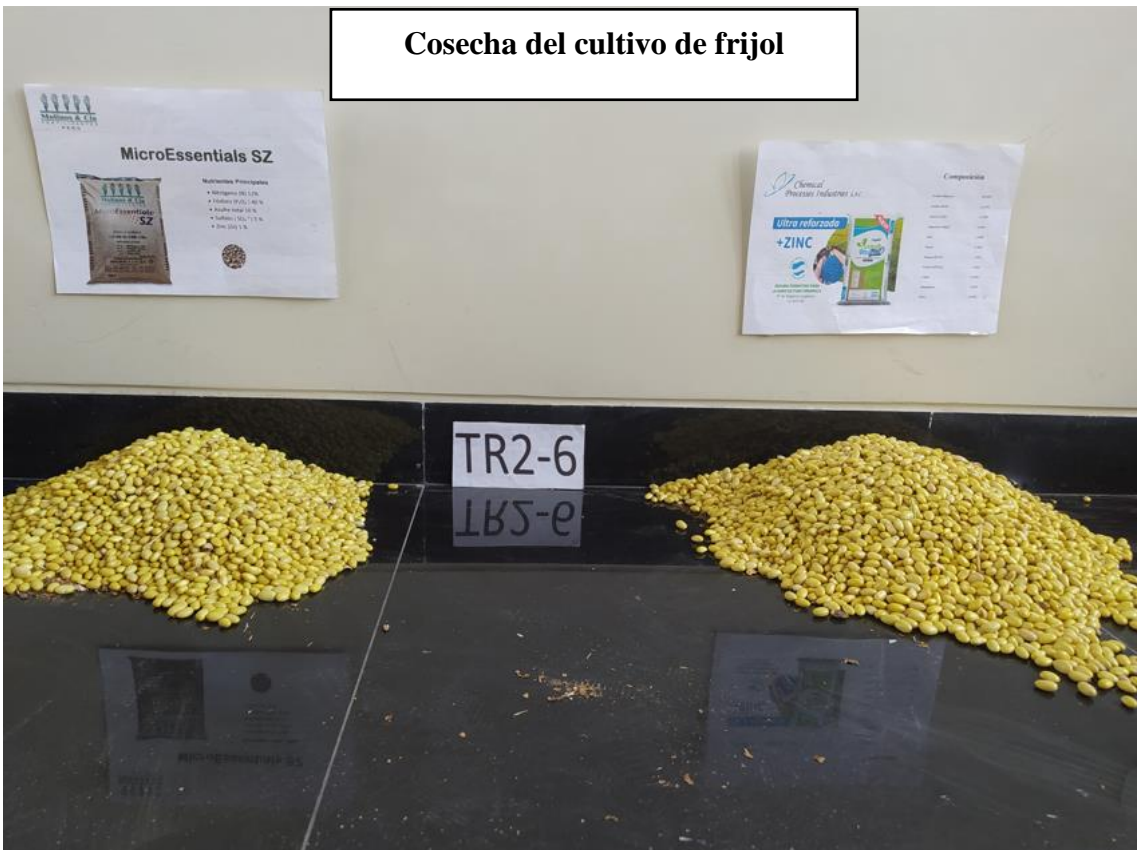


Cosecha del cultivo de frijol

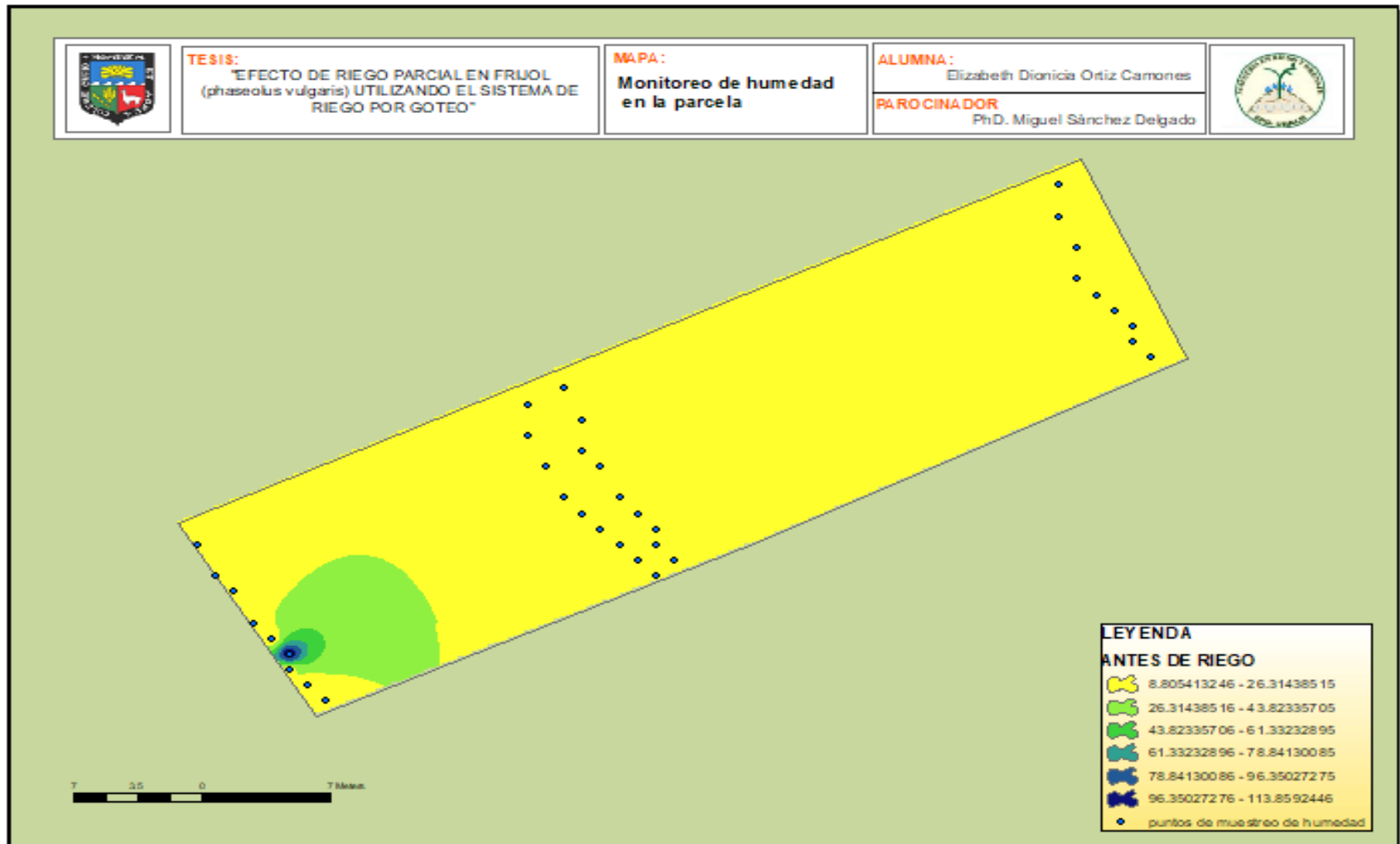


Cosecha del cultivo de frijol





Anexo 5: Monitoreo de humedad antes de riego



Monitoreo de humedad antes de riego

