

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
SANGOLQUÍ

**“EVALUACIÓN DE CUATRO LÁMINAS DE AGUA DE RIEGO EN EL
MANEJO DEL CULTIVO DE FRÉJOL ARBUSTIVO (*Phaseolus vulgaris* L.)
VARIEDAD CARGABELLO, EN GUAYLLABAMBA”**

PACHACAMA CUMBAL VICTOR HUGO

**INFORME DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AGROPECUARIO**

SANGOLQUÍ - ECUADOR

2012

**“EVALUACIÓN DE CUATRO LÁMINAS DE AGUA DE RIEGO EN EL
MANEJO DEL CULTIVO DE FRÉJOL ARBUSTIVO (*Phaseolus vulgaris* L.)
VARIEDAD CARGABELLO, EN GUAYLLABAMBA”**

PACHACAMA CUMBAL VICTOR HUGO

REVISADO Y APROBADO POR:

.....

ING. PATRICIA FALCONÍ

DIRECTORA DE CARRERA

CARRERA DE INGENIERIA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

.....

ING. EMILIO BASANTES

DIRECTOR

.....

ING. SOLEDAD AGUIRRE

CODIRECTORA

.....

SECRETARÍA ACADÉMICA

**“EVALUACIÓN DE CUATRO LÁMINAS DE AGUA DE RIEGO EN EL
MANEJO DEL CULTIVO DE FRÉJOL ARBUSTIVO (*Phaseolus vulgaris* L.)
VARIEDAD CARGABELLO, EN GUAYLLABAMBA”**

PACHACAMA CUMBAL VICTOR HUGO

**APROBADO POR LOS SEÑORES MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE
CALIFICACIÓN DEL INFORME TÉCNICO**

	CALIFICACIÓN	FECHA
..... ING. EMILIO BASANTES DIRECTOR	_____	_____
..... ING. SOLEDAD AGUIRRE CODIRECTORA	_____	_____

**CERTIFICO QUE ESTAS CALIFICACIONES FUERON PRESENTADAS EN
ESTA SECRETARÍA**

SECRETARÍA ACADÉMICA

DEDICATORIA

A mis padres por ser pilar fundamental para avanzar paso a paso en cada reto que me presenta la vida y en especial por el apoyo brindado para culminar una etapa más de la vida y por ayudarme a lograr el presente título. También a mi hermana por ser fuente de inspiración para cumplir una meta más. Así como también a mis profesores que fueron quienes compartieron sus conocimientos conmigo y me guiaron en la etapa universitaria, de igual forma a mis compañeras y verdaderos amigos con quienes he compartido mis triunfos y fracasos durante toda la vida universitaria.

Victor Hugo Pachacama Cumbal

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Luis Augusto Pachacama y Blanca Nelly Cumbal por todo el apoyo y la confianza incondicionales brindadas durante una de las etapas más importantes de mi vida como fue la universitaria, por sus consejos, por sus regaños y por la guía que me han sabido dar tanto en los momentos de alegría, como en los momentos difíciles. A mi hermana María Fernanda por convertirse en el ser más importante de mi vida y que sin saberlo me ha dado fuerzas y ánimo para concluir con esta etapa.

A los Ingenieros Emilio Basantes, Soledad Aguirre y Gabriel Suarez, Director, Codirector y Biometrista del presente proyecto de Tesis, por su ayuda y buenas recomendaciones brindadas, para realizar de la mejor manera posible este proyecto.

A toda mi familia que de una u otra manera se involucraron con la mejor voluntad y sin ningún interés, más que con el fin de ayudarme en las difíciles labores de campo. A mis amigos y compañeros que siempre estuvieron pendientes de mi avances y se preocuparon por incentivar me para que elabore el presente proyecto.

Victor Hugo Pachacama Cumbal

AUTORÍA

Las ideas expuestas en el presente trabajo de investigación, así como los resultados, discusión y conclusiones son de exclusiva responsabilidad del autor.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVOS.....	3
1.2	HIPÓTESIS.....	3
1.3	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1	GENERALIADES DEL CULTIVO.....	5
2.1.1	Zonas de cultivo.....	5
2.1.2	Variedades mejoradas.....	5
2.1.3	Ciclo de cultivo.....	6
2.1.4	Preparación del terreno.....	6
2.1.5	Siembra.....	7
2.1.6	Fertilización.....	7
2.1.7	Control de malezas.....	7
2.1.8	Control de plagas.....	7
2.1.9	Control de enfermedades.....	8
2.1.10	Riego.....	8
2.1.11	Cosecha, trilla y almacenamiento.....	9
2.2	NECESIDADES AMBIENTALES DEL CULTIVO.....	9
2.2.1	Temperatura.....	9
2.2.2	Luz.....	10
2.2.3	Agua.....	10
2.2.3.1	Calidad de agua.....	11
2.3	AGUA DE RIEGO.....	12
2.3.1	Distribución de agua.....	12
2.3.2	Programación del riego.....	12
2.3.3	Dosis de riego.....	14
2.3.4	Rendimiento o eficiencia de riego	15
2.3.5	Frecuencia de riego.....	16
2.3.6	Tiempo de riego.....	17

2.4	RIEGO POR SURCOS.....	18
2.4.1	Sección de los surcos.....	18
2.4.2	Separación de los surcos.....	19
2.4.3	Pendiente de los surcos.....	20
2.4.4	Longitud de los surcos.....	20
2.4.5	Caudal de riego.....	21
2.5	RELACIONES AGUA - PLANTA – SUELO.....	22
2.5.1	El suelo.....	22
2.5.2	Potencial del agua en el suelo.....	25
2.5.3	Retención del agua en el suelo.....	27
2.5.4	El tensiómetro de capa porosa.....	28
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
3.1	MATERIALES Y EQUIPOS.....	30
3.2	LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
3.2.1	Ubicación política.....	32
3.2.2	Ubicación geográfica.....	32
3.2.3	Ubicación ecológica.....	33
3.2.4	Tipo de investigación.....	33
3.3	DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA APLICADA.....	34
3.3.1	Determinación del agua a utilizarse.....	34
3.3.1.1	Método gravimétrico.....	34
3.3.1.2	Calibración e instalación de tensiómetros.....	35
3.3.1.3	Elaboración de curva de humedad.....	36
3.3.1.4	Determinación de las características físicas e hidrofísicas del suelo....	37
3.3.1.4.1	Densidad aparente del suelo.....	37
3.3.1.4.2	Densidad real del suelo.....	38
3.3.1.4.3	Determinación en el Campo de la Capacidad de Campo y Punto de Saturación.....	38
3.3.1.5	Determinación de la humedad del suelo en términos de volumen (Θ_v), lámina de agua (h) y determinación de la tensión del agua en el suelo..	39

3.4	MÉTODOS ESPECÍFICOS DE MANEJO DEL EXPERIMENTO.....	40
3.4.1	Manejo.....	40
3.4.1.1	Preparación del suelo.....	40
3.4.1.2	Análisis de suelo.....	40
3.4.1.3	Incorporación de materia orgánica.....	41
3.4.1.4	Delimitación del área experimenta.....	41
3.4.1.4.1	Trazo de parcelas.....	41
3.4.1.4.2	Establecimiento de los tratamientos.....	41
3.4.1.5	Fertilización inicial y siembra.....	42
3.4.1.6	Control fitosanitario.....	42
3.4.1.7	Control de malezas y aporque.....	43
3.4.1.8	Fertilización foliar.....	43
3.5	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	43
3.5.1	Tratamientos a comprobar.....	44
3.5.2	Tipo de diseño.....	44
3.5.3	Repeticiones o bloques.....	44
3.5.4	Características de la unidad experimental.....	45
3.5.5	Croquis del diseño.....	45
3.6	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	46
3.6.1	Esquema de análisis de varianza.....	46
3.6.2	Coefficiente de variación.....	46
3.6.3	Análisis funcional.....	46
3.6.4	Regresiones y correlaciones.....	47
3.7	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	47
3.8	VARIABLES A MEDIR.....	48
3.8.1	En el suelo.....	48
3.8.1.1	Capacidad de almacenamiento de humedad del suelo.....	48
3.8.1.2	Punto de saturación.....	48
3.8.1.3	Punto de capacidad de campo.....	48
3.8.2	En el cultivo.....	49

3.8.2.1	Emergencia.....	49
3.8.2.2	Floración.....	49
3.8.2.3	Peso de materia verde.....	49
3.8.2.4	Peso de materia seca.....	50
3.8.2.5	Rendimiento.....	50
3.8.3	Difusión de resultados.....	50
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
4.1	PORCENTAJE DE EMERGENCIA.....	51
4.2	PESO DE MATERIA VERDE.....	53
4.3	PESO DE LA MATERIA SECA.....	56
4.4	PESO VERDE DE HOJAS, VAINAS Y TALLOS 80 DÍAS.....	59
4.5	PESO SECO HOJAS VAINAS Y TALLO 80 DÍAS.....	62
4.6	PESO VERDE DE HOJAS, VAINAS Y TALLOS 100 DÍAS.....	64
4.7	PESO SECO HOJAS VAINAS Y TALLO 100 DÍAS.....	67
4.8	RENDIMIENTO G/TRAT.....	70
4.8.1	Lámina óptima de agua de riego para el cultivo de fréjol.....	73
V.	CONCLUSIONES.....	76
VI.	RECOMENDACIONES.....	78
VII.	RESUMEN.....	80
VIII.	SUMARY.....	81
IX.	BIBLIOGRAFÍA.....	82
X.	ANEXOS.....	86

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Variedades de fréjol mejoradas por el INIAP.....	6
Cuadro 2. Control de plagas del cultivo de fréjol.....	8
Cuadro 3. Control de enfermedades del cultivo de fréjol.....	8
Cuadro 4. Velocidad de infiltración, según el tipo de suelo.....	21
Cuadro 5. Clases de suelos y sus proporciones.....	23
Cuadro 6. Grado de humedad y características perceptibles del suelo.....	23
Cuadro 7. Porcentaje de agua que retienen y permeabilidad los diferentes tipos de suelos.....	25
Cuadro 8. Materiales utilizados en el proyecto.....	30
Cuadro 9. Insumos del proyecto.....	31
Cuadro 10. Equipos y materiales de laboratorio.....	31
Cuadro 11. Insumos de oficina.....	32
Cuadro 12. Capacidad de campo expresado en porcentaje, volumen, láminas y tensión.....	40
Cuadro 13. Análisis de variancia para emergencia del cultivo de fréjol bajo cuatro láminas de riego comparado con un testigo, Guayllabamba-Pichincha 2011.....	51
Cuadro 14. Efecto de las láminas de riego sobre el porcentaje de emergencia de los granos de fréjol.....	52
Cuadro 15. Análisis de variancia para el peso de materia verde g/planta de fréjol evaluado a los 20, 40, 60, 80 y 100 días bajo cuatro láminas de riego comparado con un testigo.....	54
Cuadro 16. Efecto de las láminas de riego sobre el peso de materia verde g/planta	

de fréjol evaluado a los 20, 40, 60, 80 y 100 días.....	55
Cuadro 17. Análisis de variancia para el peso de materia seca g/planta de fréjol evaluado a los 20, 40, 60, 80 y 100 días bajo cuatro láminas de riego comparado con un testigo.....	57
Cuadro 18. Efecto de las láminas de riego sobre el peso de materia seca g/planta de fréjol evaluado a los 20, 40, 60, 80 y 100 días.....	58
Cuadro 19. Análisis de variancia para el peso verde de hojas, vainas y tallo en g/planta a los 80 días bajo el efecto de cuatro láminas de riego comparado con un testigo.....	60
Cuadro 20. Efecto de las láminas de riego sobre el peso verde de hojas, vainas y tallo g/planta de fréjol evaluado a los 80 días.....	61
Cuadro 21. Análisis de variancia para el peso seco de hojas, vainas y tallos g/planta de fréjol evaluado a los 80 días bajo cuatro láminas de riego comparado con un testigo.....	62
Cuadro 22. Efecto de las láminas de riego sobre el peso seco g/planta de fréjol de hojas, vainas y tallos evaluado a los 80 días.....	63
Cuadro 23. Análisis de variancia para el peso verde de hojas, vainas y tallo g/planta a los 100 días bajo el efecto de cuatro láminas de riego comparado con un testigo.....	65
Cuadro 24. Efecto de las láminas de riego sobre el peso verde de hojas, vainas y tallo en g/planta de fréjol evaluado a los 100 días.....	66
Cuadro 25. Análisis de variancia para el peso seco de hojas, vainas y tallos en	

g/planta de fréjol evaluado a los 100 días bajo cuatro láminas de riego comparado con un testigo.....	68
Cuadro 26. Efecto de las láminas de riego sobre el peso seco g/planta de fréjol de hojas, vainas y tallos evaluado a los 100 días.....	69
Cuadro 27. Análisis de variancia para el rendimiento en g/Trat de granos de fréjol bajo cuatro láminas de riego comparado con un testigo.....	70
Cuadro 28. Efecto de las láminas de riego sobre el rendimiento de fréjol g/trat...	71

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. En el surco en forma de «U» el perímetro mojado varía poco con la altura del agua, mientras que en el surco en forma de «V» varía mucho.....	19
Gráfico 2. Infiltración del agua en suelos de diferente textura. Las líneas curvas marcan la sección del suelo que se va mojando progresivamente.....	19
Gráfico 3. El agua en el suelo.....	24
Gráfico 4. El Tensiómetro de capa porosa.....	29
Gráfico 5. Ubicación geográfica del área del estudio.....	33
Gráfico 6. Zona del cultivo.....	34
Gráfico 7. Ubicación del sitio de cultivo.....	34
Gráfico 8. Curva de retención de humedad.....	36
Gráfico 9. Croquis del diseño experimental.....	45
Gráfico 10. Porcentaje de emergencia en de fréjol por tratamiento.....	53
Gráfico 11. Peso verde de la planta de fréjol por tratamiento en evaluaciones a los 20, 40, 60, 80 y 100 días.....	56
Gráfico 12. Peso seco en g/planta de fréjol por tratamiento en evaluaciones a los 20, 40, 60, 80 y 100 días.....	58
Gráfico 13. Peso verde de las hojas, vainas y tallo en g/planta a los 80 días, para cada uno de los tratamientos.....	61
Gráfico 14. Peso seco de las hojas, vainas y tallo en g/planta de fréjol a los 80 días, para cada uno de los tratamientos.....	64
Gráfico 15. Peso verde de las hojas, vainas y tallo en g/planta a los 100 días, para cada uno de los tratamientos.....	67

Gráfico 16. Peso seco de las hojas, vainas y tallo en g/planta a los 100 días, para cada uno de los tratamientos.....	69
Gráfico 17. Rendimiento de fréjol en g/trat para cada uno de los tratamientos en estudio.....	72
Gráfico 18. Regresión cuadrática entre las láminas de la capacidad de campo expresada en porcentaje y el rendimiento de fréjol en g/trat.....	75

I. INTRODUCCIÓN

El fréjol arbustivo es un cultivo preferentemente de secano, y sus principales áreas de producción son valles de la sierra como: Mira , El Chota y Salinas de Ibarra en Imbabura, Tumbaco y Guayllabamba en Pichincha, Patate en Tungurahua, Gualaceo y Yunguilla en Azuay, además de Vilcabamba, Catamayo y Malacatos en Loja; valles que se encuentran de 1200 a 2500 msnm; así como, las estribaciones de Cordillera Occidental como Intag en Imbabura, el noroccidente de Pichincha, El Corazón, Chanchán, Huigra, Pallatanga y Chillanes; que se están entre 1000 a 2200 msnm (Peralta *et al*, 2007).

La planta de fréjol crece adecuadamente entre 15 y 27 °C, pero es importante reconocer que hay un gran rango de tolerancia entre distintas variedades. En términos generales, las bajas temperaturas retardan el crecimiento, mientras que las altas temperaturas lo aceleran. Pero temperaturas extremas producen problemas adicionales, como la falta de floración o problemas de esterilidad. Respecto a la luminosidad, incide directamente en la fenología y morfología de una planta por reacciones de fotoperiodo y elongación; mientras que a intensidades altas puede afectar la térmica de la planta.

En las áreas de secano, la tolerancia de las especies vegetales está basada principalmente en la mayor capacidad de extracción de agua de capas profundas del suelo (80 - 130 cm) debido al mayor crecimiento radicular y asociado con diferencias marcadas en temperaturas en la ubicación de las hojas y la resistencia a pérdida de agua

por actividad estomatal; a lo anterior, se suman otros mecanismos que pueden influir en la tolerancia a sequía, como es la capacidad de orientación de las hojas, ajustes osmóticos y características que reducen la pérdida de agua como área foliar reducida y baja densidad de estomas. Vale anotar que una planta de fréjol tampoco tolera excesos de agua. Cuando las raíces están en un ambiente completamente saturado con agua, el oxígeno llega a ser un factor limitante y el funcionamiento de las raíces sufre notablemente (López *et al*, 1985).

Existen dos factores importantes del suelo respecto al agua que son la capacidad de campo en la que luego de la saturación que recibe el suelo, se produce un drenaje gravitacional total, quedando el agua en mayor cantidad en los poros pequeños, ocupando así el aire los poros grandes del suelo y la permeabilidad del suelo es muy importante y se relaciona directamente con el tipo de suelo; en este caso, la permeabilidad será muy alta, en los suelos arenosos ya que estos tienen gran cantidad de poros de gran tamaño; todo esto influye directamente en la retención de humedad del suelo y la cantidad de agua de riego que se suministre a los cultivos, según la relación suelo planta.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General del Proyecto

Evaluar el suministro de cuatro láminas de agua de riego en el manejo agronómico del fréjol arbustivo en una zona semiárida como es el caso del valle de Guayllabamba.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar cuál es la mejor lámina de riego para el cultivo de fréjol.
- Mantener la humedad en capacidad de campo, para obtener los mejores resultados en el manejo en una zona semiárida.
- Evaluar la profundidad radicular en la zona de humedecimiento del suelo.
- Optimizar el manejo de agua de acuerdo a las fases fenológicas del cultivo.

1.2 HIPÓTESIS

Ho. Las cuatro láminas de agua de riego mantienen la misma respuesta tanto en fenología como en el comportamiento agronómico del cultivo del fréjol.

H1. Las cuatro láminas de agua de riego generaron resultados diferentes en cada etapa fenológica y agronómica del cultivo de fréjol.

1.3 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El presente proyecto se realizó en el valle de Guayllabamba, basándose en evaluar la óptima utilización de láminas de agua de riego en el cultivo de fréjol arbustivo. Esta investigación servirá como fuente de información para los agricultores de la parroquia de Guayllabamba y zonas de similares características agroecológicas que quieran optimizar los recursos hídricos, que en varios puntos de Guayllabamba son limitados. Además esta investigación constituye una base o guía para futuras investigaciones relacionadas con el tema.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 GENERALIADES DEL CULTIVO

Dentro de las leguminosas, el fréjol es una de las especies más importantes. Es una planta anual, herbácea intensamente cultivada desde la zona tropical hasta las templadas. Es originario de América y tiene diferentes nombres como: poroto, caraota, habichuela y otros. El fréjol es principalmente fuente de proteína (MAG Costa Rica, 1991).

2.1.1 Zonas de Cultivo

En el Ecuador las zonas de cultivo se encuentran en más valles abrigados como, Guayllabamba, Mira, Patate entre otros; Y las estribaciones de cordillera: Intag, Noroccidente de Pichincha, El Corazón, Chillanes, etc. Con altitudes entre 1200 a 2500 msnm. Zonas que tienen de 300 a 700mm de precipitación por ciclo; manteniendo temperaturas promedios de 16° a 20° C. Los suelos más apropiados son Franco, Franco-arenoso, arenosos, con buen drenaje y pH de 5.5 a 7.5 (Peralta *et al*, 2007).

2.1.2 Variedades Mejoradas

Estas variedades fueron liberadas por el INIAP y se las presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Variedades de fréjol mejoradas por el INIAP

VARIEDAD	*HABITO	COLOR DEL GRANO
INIAP 414 Yunguilla	I	Rojo moteado
INIAP 417 Blanco Imbabura	I	Blanco
INIAP 418 Je. Ma.	II	Rojo moteado
INIAP420 Canario del Chota	I	Amarillo
INIAP 424 Concepción	I	Morado moteado
INIAP 425 Blanco Fanesquero	I	Blanco
INIAP 427 Libertador	I	Rojo moteado
INIAP 428 Canario Guarandño	II	Amarillo
PARAGACHI	II	Rojo moteado

* Hábito de crecimiento I = determinado arbustivo, florece de arriba hacia abajo. Hábito de crecimiento II = indeterminado arbustivo, florece de abajo hacia arriba.

FUENTE: (INIAP, 2007)

2.1.3 Ciclo de Cultivo

En grano tierno: 80 a 90 días en valles y estribaciones.

En grano seco: 110 a 115 días en valles y estribaciones (Peralta *et al*, 2007).

2.1.4 Preparación del Terreno

En las áreas de cultivo se iniciarán con rastrado y surcado; con dos rastradas es suficiente en Guayllabamba y específicamente en el sitio del estudio. El surcado en áreas bajo riego se hace con animales, para un buen trazado de surcos; estas labores siempre en función de la pendiente.

2.1.5 Siembra

Febrero-Abril y Septiembre-Noviembre son las épocas más adecuadas; la cantidad de semilla es de 90 a 110 Kg/ha en monocultivo, con distancia entre surcos de 60 a 70 cm y distancia entre sitios de 25 a 30 cm, la siembra es por golpe, se ponen de 3 a 4 semillas con una hilera por surco (Peralta *et al*, 2007).

2.1.6 Fertilización

Se recomienda aplicar antes de la siembra, 200 kg por hectárea de 18-46-00 (nitrógeno-fosforo-potasio) más muriato de potasio. Además, se debe emplear Quelatos de Zinc en la floración y en el llenado de vaina, con una dosis de 2 kg/ha.

2.1.7 Control de Malezas

El control puede ser manual con una deshierba y aporque. O puede ser químico en monocultivo y en post-emergencia, se debe usar Fomesafen (Flex), 250 cc/ha, para malezas de hoja ancha (con 2 a 3 hojas verdaderas) (Peralta *et al*, 2007).

2.1.8 Control de Plagas

La presencia de plagas en el cultivo retardan y hasta pueden llegar a detener el desarrollo del cultivo de fréjol, además de disminuir significativamente el rendimiento

del mismo.

Cuadro 2. Control de plagas del cultivo de fréjol

Nombre Común	Nombre Científico	Producto	Dosis
Trozadores	<i>Agrotys</i> sp.	Decis	400cc/ha
Mosca Blanca	<i>Trialeurodes vaporarorum</i>	Evisect	600g/ha
Barrenador	<i>Epinotia aporema</i>	Lorsban	250cc/ha
Gorgojo	<i>Aconthosceli desobtectus</i>	Fosmamina	Tableta/50Kg de grano

FUENTE: (Peralta *et al*, 2007)

2.1.9 Control de Enfermedades

Cuadro 3. Control de enfermedades del cultivo de fréjol

Nombre común	Nombre Científico	Var. tolerante	Control
Roya	<i>Uromyces appendiculatus</i>	INIAP 418, 420, 424 y 425	Oxicarboxin, biternatol o Benomil
Antracnosis	<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	INIAP 414, 425, 427 y 428	Benomil, captafol, clorotalonil
Mancha angular	<i>Phaeoisariop sisgriseola</i>		Clorotalonil, Fentínhidroxi de estaño.
Bacteriosis común	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>Phaseoli</i>		Productos a base de cobre.
Mancha de aceite	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>Phaseolicola</i>	INIAP 427 y 428	Productos a base de cobre.
Mildiu polvoso	<i>Erysiphe polygoni</i>		Benomil o Azufre
Nemátodos	<i>Meloidogyne</i> spp.		Rotación de cultivos, M.O. descompuesta

FUENTE: Tamayo y Londoño, 2001; Schwartz y Pastor-Corrales, 1989; Peralta *et al*, 1998, citado por Peralta (2007)

2.1.10 Riego

El riego por gravedad es el más utilizado por los frijoleros y se caracteriza por

manejar el agua en base a las diferencias de carga hidráulica y su conveniente conducción, a través de surcos. Este sistema es el de menor costo, no tiene problema en parcelas irregulares, no influye en la aplicación de pesticidas, tampoco en enfermedades fungosas (Pinto, 2000). Los surcos deben trazarse siguiendo las curvas de nivel y la pendiente debe estar hasta 2%. El volumen de entrada del agua para riego no debe ser abundante y se debe distribuir simultáneamente en varios surcos; el alcance a lo largo del surco debe ser moderado no mayor a 20 m de largo. El número y frecuencia de riegos varía con el tipo de suelo, variedad, condiciones climáticas y ausencia de lluvia se necesitan hasta 13 riegos por ciclo (Peralta *et al*, 2007).

2.1.11 Cosecha, Trilla y Almacenamiento

La cosecha en vaina seca debe realizarse cuando las plantas alcancen la madurez fisiológica y con una humedad aproximada de 18 a 20%. La trilla puede realizarse por pisoteo de animales, golpeteo con varas de madera o usando trilladoras mecánicas. El grano para consumo y la semilla se deben almacenar en lugares frescos y secos, libres de gorgojo y con humedad en el grano inferior al 13% (Peralta *et al*, 2007).

2.2 NECESIDADES AMBIENTALES DEL CULTIVO

2.2.1 Temperatura

La planta de fréjol crece bien entre temperaturas de 15 a 27 °C, pero es

importante conocer que hay un gran rango de tolerancia entre variedades diferentes. En términos generales, bajas temperaturas retardan el crecimiento y las altas lo aceleran, pero los extremos pueden producir problemas adicionales e irreversibles (López *et al*, 1985).

2.2.2 Luz

El papel principal de la luz es la fotosíntesis; también afecta la fenología y morfología de la planta por medio de reacciones de fotoperiodo y elongación, y a intensidades altas puede afectar la temperatura de la planta. La radiación solar tiene ondas de 290 a 3000 mm de largo, pero la clorofila solo capta ondas de 380 mm a 740 mm, que corresponde el 50% de la energía que recibe la planta. La eficiencia máxima de conversión de esta energía química es del 12%, pero en un cultivo sin limitaciones, la eficiencia puede disminuir debido a la reducción en intensidad de la luz dentro del follaje. La luz regula el desarrollo de la planta, siendo el fréjol una planta de días cortos, días largos demoran floración y madurez (López *et al*, 1985).

2.2.3 Agua

El agua es importante para el crecimiento de las plantas y la necesidad del cultivo de fréjol es de hasta 700 mm de precipitaciones por ciclo de cultivo; por lo que el rendimiento final de un cultivo depende de su disponibilidad. Además el agua actúa como reactivo de fotosíntesis, elemento estructural, medio de transporte y regulador de

temperatura. Pero, se estima que más del 60% de los cultivos de fréjol en Ecuador sufren de sequía.

En lo que se refiere a los recursos de agua disponibles provenientes de la precipitación de la zona, además de la proveniente de ríos o manantiales, cuyos caudales deben ser medidos en los periodos más críticos de agua, pues es allí donde se va a notar el máximo déficit. Respecto al agua de lluvia es importante medir su cantidad en forma anual y sobre todo su distribución a través del calendario (Rodríguez, 1982).

2.2.3.1 Calidad de Agua

En el agua se destacan propiedades físicas y químicas. La temperatura es una propiedad física importante, el agua de riego no debe tener temperaturas extremas, especialmente bajas. El contenido de sales es un factor químico de importancia, en general el cloruro de sodio en una concentración de 0.45 a 0.5 g/l en el agua a utilizar no trae inconvenientes. La permeabilidad del suelo es importante en esta valoración, ya que a poca permeabilidad las sales tóxicas se acumulan rápido, afectando más el sodio, ya que actúa negativamente, al acumularse en el complejo absorbente siendo difícil su lixiviación. La lucha contra las sales tóxicas puede llevarse a cabo por la desalinización por lavado, o neutralizándolas con sustancias antagónicas como el yeso (Rodríguez, 1982).

2.3 AGUA DE RIEGO

2.3.1 Distribución del Agua

El suministro del agua no presenta problemas si se dispone de concesiones particulares. Por eso el suministro a una zona regable debe ser estudiado con cuidado, de tal forma que los regantes reciban suficiente agua.

La distribución de agua se puede efectuar por tres métodos: a) Distribución continua, que suministra a cada parcela todo el período de riego con el caudal previsto; b) Distribución por turnos, entrega a cada parcela el módulo de riego previsto en día y hora prefijado; c) Distribución a la demanda, permite regar cuando y cuanto que el agricultor lo necesite. Si el suministro es por cauces abiertos, los regantes tienen que hacer sus peticiones con anticipo y el caudal de los canales debe ser regulado (Castañón, 2000).

2.3.2 Programación del Riego

Para hacer una programación confiable se debe tomar en cuenta los siguientes puntos: ¿Cuándo hay que regar?, ¿Cuánto hay que aplicar? y ¿Cuánto tiempo hay que hacerlo?. Hay que regar antes de que la tensión de agua en el suelo reduzca el suministro hídrico a la planta. Para esto se deben conocer las características de los cultivos, datos climatológicos reales, capacidad de retención del terreno, fuerza de absorción de las

raíces y la demanda atmosférica, de tal forma que el agua del suelo sea aprovechable.

La programación del riego se puede realizar a dos niveles: a) Efectuando un balance de agua, para esto es necesario conocer la cantidad de agua existente en el suelo, para lo cual se da un riego al comienzo de campaña, con el que el terreno estará a CC y la reserva de agua será máxima, a dicha reserva se suman aportaciones y resta los consumos. b) Disponiendo de instrumentos de medición del contenido de humedad, en este caso, la medición de humedad puede determinarse en el suelo o planta y permite conocer, las condiciones hídricas. Se procede a regar al alcanzar unos valores previamente determinados, que varían según la resistencia del cultivo a la sequía. Se dispone actualmente de métodos directos e indirectos para la medición del contenido humedad del suelo entre los cuales encontramos al tensiómetro, bloques de yeso, sonda de neutrones, psicrómetro entre otros (Fuentes, 2003).

En la presente investigación se utilizó como instrumento de medición, el tensiómetro de capa porosa. Para obtener resultados correctos se recomienda utilizar al menos dos tensiómetros, uno situado en la zona de máxima actividad de las raíces y otro a la máxima profundidad de raíces, también es necesario variar el número de datos en puntos representativos, para un adecuado riego de todo el conjunto (Castañón, 2000).

2.3.3 Dosis de Riego

Se debe determinar un valor mínimo de la cantidad de agua en el suelo que no produzca disminución apreciable en la producción. Cuando se alcance dicho valor será necesario regar. La extracción del agua depende principalmente del cultivo, la cantidad de agua en el suelo, de las condiciones atmosféricas y de la adaptación del cultivo a estas condiciones (Castañón, 2000).

La dosis de riego es la cantidad de agua que se aplica en cada riego por unidad de superficie. Se puede expresar como lámina o altura que hay que aplicar, generalmente en mm de agua o como volumen en m^3/ha y L/m^2 . Una lámina de riego de 1 mm de altura corresponde a $10 m^3/ha$ y L/m^2 (Castañón, 2000). Dicha dosis de riego depende de las condiciones hidrofísicas del terreno y de la profundidad de las raíces del cultivo. La dosis máxima que se puede aportar, apurando al máximo el contenido de agua útil para las plantas, viene expresada por la siguiente expresión:

$$D_m = 100 H (CC-PM), \text{ donde:}$$

D_m : es la dosis máxima.

H: es la profundidad de las raíces en metros.

CC y PM: Capacidad de Campo y Punto de Marchitez

La profundidad de las raíces depende del cultivo, tipo de terreno y riego. A mayor frecuencia de riego las raíces crecen menos que con riegos deficientes. Las raíces

se desarrollan buscando el agua, aumentando su profundidad a medida que el agua escasea. Una misma planta desarrolla diferentemente su sistema radicular en función del régimen de lluvias o de riegos que recibe. Con alta frecuencia de aportes hídricos las raíces necesitan alcanzar menor profundidad que en caso de aportes más espaciados, con periodos de menor humedad en el suelo (Castañón, 2000).

La dosis de riego neta es la cantidad que deben recibir o requieren las plantas para cubrir sus necesidades, de ahí que se llame dosis requerida. Se suele determinar en función de la cantidad de agua que se desea quede en el suelo o fracción útil f del agua disponible. Una práctica habitual es que dicho valor no descienda por debajo del 50%. Una vez determinada la dosis de riego, conociendo las necesidades mensuales de agua de los cultivos, se determina el número de riegos de cada mes dividiendo dichas necesidades entre la dosis requerida (Castañón, 2000).

2.3.4 Rendimiento o Eficiencia del Riego

El agua es aportada a los cultivos según el método empleado, produciendo pérdidas durante las operaciones de riego. Por eso, la cantidad de agua aplicada es mayor que la utilizada por las plantas, existiendo un rendimiento de riego. Mismo que puede ser:

Rendimiento de transporte que en riego por gravedad varía según el recorrido por canales, el estado de los mismos y las pérdidas por el manejo del agua.

Rendimiento de aplicación varía con el método, estado de las instalaciones y manejo del mismo. En general se puede decir que el rendimiento de aplicación o eficiencia de aplicación, es mayor en riego localizado, después en aspersión y finalmente en riego por gravedad.

Actualmente, con las modernas tecnologías de riego por gravedad se pueden alcanzar eficiencias parecidas a la del goteo. En general un buen rendimiento del riego está directamente relacionado con una buena uniformidad de distribución del agua. Una uniformidad de distribución perfecta, no existe, teniendo puntos que reciben más agua y otros menos (Castañón, 2000).

2.3.5 Frecuencia de Riego

El riego debe tender a mantener la mayor cantidad posible de agua en el suelo, en aras de una mayor producción. Los riegos de alta frecuencia, reponiendo rápidamente el agua consumida por el cultivo, incluso con periodicidad diaria en riegos al aire libre y de pocos minutos en cultivos protegidos, permiten que la tensión de agua en el suelo sea pequeña, sin sufrir las grandes variaciones de los riegos tradicionales con aporte de grandes dosis de agua. En consecuencia las plantas pueden disponer de mayor cantidad de agua y aumentar su desarrollo y producción (Castañón, 2000).

Uno de los problemas genéricos de las zonas áridas o semiáridas como el caso de Guayllabamba, es la escasez de volumen de suelo y en consecuencia se presenta el

problema de poder retener una cierta cantidad de agua y nutrientes a disposición de las plantas (Castañón, 2000).

Experiencias con diferentes cultivos, variando la frecuencia de riego pero no la cantidad global de agua aportada, han demostrado unas mayores pérdidas por lixiviación a medida que se aumentaba la separación entre riegos y, en consecuencia, la dosis. En zonas donde el agua es escasa, esta influencia de la variación de frecuencia de riego debe ser tomada muy en cuenta, por la disminución de consumo que puede obtenerse (Castañón, 2000).

2.3.6 Tiempo de Riego

El tiempo de riego determina la cantidad de agua a suministrarse en determinada superficie de terreno en un determinado tiempo. De ahí que se determina mediante la siguiente fórmula:

$$T_r \text{ (hs)} = 10 \times \frac{\text{Sup (ha)} \times \text{Lr (mm)}}{Q \text{ (m}^3\text{/hs)}}$$

Donde: Tr: es el tiempo de riego
 Sup: Es la superficie en hectáreas
 Lr: Lámina real de riego en mm
 Q: Caudal en m³/h

Con esta fórmula, podemos obtener el tiempo que necesitamos regar una parcela dado un caudal y la lámina que pretendemos aplicar de reposición (Beláustegui, 2010).

2.4 RIEGO POR SURCOS

Es aconsejable para cultivos sensibles al exceso de humedad en el pie de los tallos y para los que se cultivan en hileras. En surcos largos con desagüe libre, la lámina disminuye progresivamente desde la cabecera hasta la cola; además es probable que se produzcan pérdidas por escorrentía al final de los surcos. El riego suele realizarse en dos operaciones: el mojado del surco se hará lo más rápido posible, para que la diferencia de agua infiltrada en los extremos del surco sea lo menor posible. Cuando el agua llega al final del surco, empieza el riego propiamente dicho, modificando el caudal de acuerdo con la intensidad de absorción del suelo. Hay que tener en cuenta que la velocidad de infiltración disminuye con rapidez cuando el suelo se va saturando (Fuentes, 2003).

2.4.1 Sección de Surcos

La sección transversal del surco debe ser amplia para conducir el caudal necesario. Los surcos estrechos y poco profundos admiten un caudal escaso, que influye negativamente sobre la eficiencia y uniformidad del riego. La forma más común es la sección en «V», con variable altura, el frejol se suele dar una altura de 20 cm. Hay que tener en cuenta que al humedecer el terreno con el primer riego se reduce la altura (Fuentes, 2003).

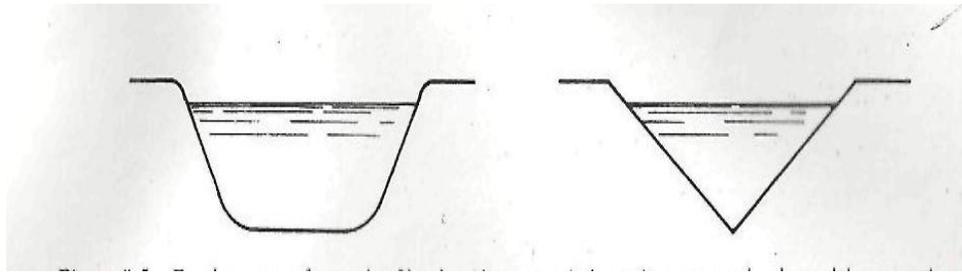


Gráfico 1. En el surco en forma de «U» el perímetro mojado varía poco con la altura del agua, mientras que en el surco en forma de «V» varía mucho.

FUENTE: (Fuentes, 2003)

2.4.2 Separación de los Surcos

La distancia entre el eje de los surcos depende de los siguientes factores: tipo de suelo, de cultivo y maquinaria que se pretende utilizar. El objetivo principal es asegurar que el movimiento lateral de agua entre dos surcos consecutivos moje la totalidad de la zona radical de la planta, antes de que alcance profundidades superiores a las previstas y existan pérdidas de agua por percolación.

El movimiento horizontal y vertical del agua en el suelo depende, especialmente, de su textura: En los suelos de textura media como en Guayllabamba se produce una infiltración compensada en sentido vertical y horizontal. Los surcos pueden tener una separación de 50 a 100 cm (Fuentes, 2003).

2.4.3 Pendiente de los Surcos

La uniformidad de riego se consigue, aparte de otras consideraciones, cuando la pendiente del surco es igual en toda su longitud, caso contrario se originan zonas con falta de agua y con exceso, produciendo encharcamientos y desbordamientos del agua. Al aumentar la pendiente de los surcos aumenta la velocidad del agua y existe peligro de erosión. La pendiente óptima es de 0.2 a 0.5 %, pudiendo llegar hasta 2 %. Con caudales pequeños y surcos cortos se pueden sobrepasar estas cifras (Fuentes, 2003).

2.4.4 Longitud de los Surcos

La longitud de los surcos viene condicionada por los siguientes factores:

Economía: A medida que disminuye la longitud de los surcos aumenta la mano de obra.

Textura del suelo: En suelos de textura arenosa hay que limitar la longitud de los surcos, para evitar larga permanencia del agua y por consiguiente pérdidas por percolación.

Cultivo: Para el cultivo de frejol por no presentar raíces profundas los surcos pueden tener longitudes cortas y medianas.

Como regla general se puede aconsejar hacer los surcos hasta una longitud máxima de 20 metros (Peralta *et al*, 2007), a condición de que se tenga controlada la erosión y haya una eficiencia de riego razonable. Los surcos cortos pueden ser convenientes en el cultivo de hortalizas, que requieren una mano de obra abundante y en donde, en muchos casos, los surcos y caballones se construyen a mano (Fuentes, 2003).

2.4.5 Caudal de Riego

El caudal de cada surco se debe ajustar a la longitud y pendiente del mismo y a la naturaleza del suelo. A mayor caudal corresponde un avance más rápido del agua en el surco. Por lo general, el mayor aprovechamiento del riego se consigue cuando el mojado del surco se hace con el avance más rápido posible, y ello requiere utilizar el máximo caudal que no cause erosión. Una vez que el agua ha llegado al extremo del surco se reduce el caudal de forma que satisfaga únicamente los requerimientos de la velocidad de infiltración, y se mantiene hasta el final del riego. (Fuentes, 2003)

El caudal permanente se calcula de acuerdo con la velocidad media de infiltración en el surco.

Cuadro 4. Velocidad de infiltración, según el tipo de suelo.

Tipo de suelo	Velocidad de infiltración (l/min y por 100m)
Arcilla compacta	0 – 12
Arcillo - limoso a arcilloso	6 – 15
Franco - arcilloso a franco limoso	12 – 25
Franco - limoso a franco	12 – 35
Franco – arenoso	20 – 125
Arenoso – franco	60 – 175

FUENTE: (Fuentes, 2003)

2.5 RELACIONES AGUA - PLANTA - SUELO

2.5.1 El Suelo

Factores importantes del suelo respecto al agua son la capacidad de campo, que es la cantidad de agua que puede almacenar el suelo; lo importante es la cantidad útil para las plantas, determinada por las características físicas del suelo además del tipo de enraizamiento (Rodríguez, 1982); La permeabilidad es la velocidad de infiltración del agua, misma que es mayor en los suelos arenosos como Guayllabamba, donde parece que necesitan mayor cantidad de agua y generalmente se sobre dosifica el riego ocasionando un lavado del perfil (Suppo, 1982). Las clases de suelo están catalogadas según el porcentaje de los diferentes materiales que lo componen, ya sea arena, limo o arcilla. El sitio en estudio tiene una clase textural franco (Anexo A1).

El agua y el aire permanecen en equilibrio en el suelo; el agua se ubica en los microporos; en cambio, el aire que contiene CO₂ y oxígeno necesario para la aireación y oxigenación de las raíces y de la flora y fauna edáfica, se halla en los macroporos. Este equilibrio entre el aire y el agua dentro del perfil determina muchas características importantes del suelo; Mismo que tiene proporciones que varían según el tipo de textura y estructura (Rodríguez, 1982).

Cuadro 5. Clases de suelos y sus proporciones.

Clases de Suelo	Proporciones del suelo		
	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
Franco	< 52	28 -50	7-27
Arenosos	85 o más	% de limo, no más de 1 ½ partes de arcilla, no superior al 15%	
Arenoso–franco:			
Límite superior	85-90	% de limo, más de 1 1/2 partes de arcilla, menor al 15%	
Límite inferior	70 — 35	% de limo, más 2 de arcilla no >30%	
Franco-arenoso	52 o más	% de limo más de 2 partes de arcilla, menor que el 30%	20% máx.
Franco-arenoso	43 — 52	> 50% limo	< 70

FUENTE: (Rodríguez, 1982)

En la variación de la humedad del suelo es posible establecer las siguientes fases:

El suelo saturado.- El agua ocupa todos los espacios libres, microporos y macro poros.

La capacidad de campo.- El suelo posee la máxima cantidad de agua retenida por los microporos después del drenaje por gravedad. Aire y agua se hallan en equilibrio.

El suelo semi-húmedo.- Es la pérdida de la capacidad de campo por la evapotranspiración. Cada vez son más delgadas las películas de agua de los microporos.

El punto de marchitez.- El suelo se seca por la evapotranspiración quedando sólo el agua higroscópica, misma que no puede ser absorbida por las plantas (Rodríguez, 1982).

Cuando el suelo está en su capacidad de campo (C.C.) el agua está retenida con poca fuerza, aproximadamente con 0.05 kg/cm^2 ; en cambio a medida que se agota el

agua la fuerza de retención aumenta hasta el punto de marchitez (P.M.) siendo de 16 kg/cm².

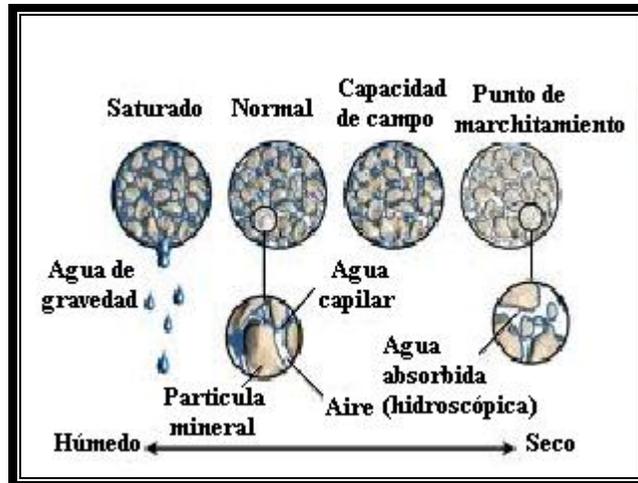


Gráfico 3. El agua en el suelo.
FUENTE: www.meted.ucar.edu

Es posible corroborar el grado de humedad del suelo, en primera instancia, mediante las características perceptibles. Cada suelo tiene por sus características edáficas distintos estados de C C. y PM.

Para conocer el agua útil de un suelo, expresada en milímetros de agua, se tienen en cuenta tres datos: 1) el porcentaje de agua útil: 2) la densidad aparente del suelo, y 3) la profundidad; el porcentaje de agua útil se determina según los distintos niveles que posea el suelo.

De allí se establece la siguiente fórmula:

Agua útil en mm = % agua útil x densidad aparente x profundidad (cm) (Rodríguez, 1982).

Cuadro 6. Grado de humedad y características perceptibles del suelo.

Grado de Humedad	Características perceptibles	Porcentaje de capacidad de campo
Seco	Polvo seco	
Bajo	Desmenuzado, no forma pelotas o agregación	Menos de 25
Mediano	Forma pelotas, pero se desmenuzan apenas golpeadas o agitadas	25 – 50
Bueno	Forma pelotas que permanecen intactas, pueden modificarse por presión	50 – 75
Excelente	Forma pelotas durables y flexibles, se modifican fácilmente	75 – 100
Muy mojado	Demasiada plasticidad	

FUENTE: (Rodríguez, 1982)

2.5.2 Potencial del agua en el suelo

La disponibilidad de agua del suelo para las plantas depende del estado de energía del agua, lo que determina la dificultad de las plantas para absorber el agua. Del tipo de energía del agua, cinética y potencial, la primera se desprecia. Por eso, en el sistema suelo-agua-planta el estado energético en cada punto está dado por la energía potencial, expresada como diferencia de potencial con respecto a un estado de referencia. El potencial del agua en el suelo se puede expresar como energía libre y se

puede medir en unidades de presión. El potencial de referencia vale cero, que corresponde al agua pura, libre y a la presión atmosférica (Fuentes, 2003).

Al moverse el agua por el suelo interacciona con las partículas sólidas y con los iones en disolución, quedando sometida a un conjunto de fuerzas.

Cada una de estas fuerzas da lugar a un potencial parcial:

Potencial gravitacional, se produce al añadir agua a un suelo seco, ésta se mueve hacia abajo debido a la acción de la gravedad. Es positivo para los puntos situados encima del sistema de referencia, y negativo en los puntos situados debajo del mismo.

Potencial matricial, por la interacción del agua con las partículas sólidas del suelo, se reduce la movilidad de las moléculas de agua cercanas a la superficie y se reduce su energía libre. Tiene valor nulo si no hay interacciones y valor cuando las hay.

Potencial osmótico, debido a la interacción del agua con los iones en disolución se reduce la movilidad de las moléculas de agua que rodean al soluto. Cuan mayor sea la concentración del soluto, menor será la movilidad de las moléculas de agua y su energía libre. Tiene valor nulo para el agua pura y valor negativo cuando hay sustancias disueltas.

Potencial de presión, es debido a la presión hidrostática en suelos saturados. Expresa la presión de la columna de agua por encima del sistema de referencia (Fuentes, 2003).

El potencial total es la suma de potenciales parciales:

$$\psi_t = \psi_g + \psi_m + \psi_o + \psi_p$$

ψ_t = Potencial total.

ψ_g = Potencial gravitatorio.

ψ_m = Potencial matricial.

ψ_o = Potencial osmótico.

ψ_p = Potencial de presión hidrostática.

El potencial total es la cantidad de trabajo necesario, por unidad de cantidad de agua pura, que debe realizarse por fuerzas externas al sistema, para transferir reversible e isotérmicamente una cantidad infinitesimal de agua desde el estado de referencia al punto considerado. Los potenciales matricial y osmótico influyen en la absorción de agua por las plantas. Con el fin de evitar el empleo de valores negativos, se utiliza el concepto de tensión, que es la succión necesaria para liberar el agua del suelo, su valor es igual al del potencial, pero con signo cambiado. Desde el punto de vista de absorción del agua por las plantas no se consideran las tensiones de gravedad y de presión (Fuentes, 2003).

El agua se desplaza de sitios de mayor potencial a sitios de menor potencial, siendo el flujo directamente proporcional a la diferencia de potencial. La absorción del agua del suelo por la raíz se produce en un suelo normal cuando éste contiene una adecuada cantidad de agua. Si ésta es escasa, su potencial matricial se hace negativo, en cuyo caso el potencial del agua en el suelo puede alcanzar valores más bajos que el potencial del agua en la raíz, con lo cual la absorción se interrumpe (Fuentes, 2003).

2.5.3 Retención de Agua en el suelo

Las condiciones normales en un suelo son las de subsaturación, coexistiendo en los poros aire y agua. En este caso existen unas fuerzas capilares y absorbentes, debidas a las características de las moléculas de agua, cuyo resultado es que la fase sólida del suelo retiene las partículas de agua con la llamada tensión matricial. Dichas fuerzas de retención aumentan a medida que disminuye la cantidad de agua en el suelo, misma que se da a mayor velocidad en un suelo franco-arenoso, dificultando la absorción de agua por las raíces, determinando la cantidad de agua que puede recibir la planta. El riego tiene como finalidad aportar el agua necesaria para que la tensión matricial no alcance valores demasiado elevados que dificulten la absorción hídrica de las plantas, provocando, en general, una disminución de la producción (Castañón, 2000).

Cuadro 7. Porcentaje de agua que retienen y permeabilidad los diferentes tipos de suelos

Suelos	Porcentaje de agua retenida	Permeabilidad máxima (mm/h)
Arenosos	4.1 - 5.8	19
Arenosos – francos	5.8 - 9.1	12.7
Franco-arenosos	6.6 —11.6	10.9
Francos	5.3 - 16.6	8.9

FUENTE: (Castañón, 2000)

2.5.4 El Tensiómetro de Capa Porosa

Es un aparato constituido por un tubo lleno de agua unido por un lado a un manómetro y por el otro, a través de una cápsula porosa, al suelo. Cuando este no está saturado, la tensión del agua en el suelo y la de la columna alcanzan el equilibrio, que se

produce cuando el potencial de presión de la cápsula es igual al potencial matricial del suelo. El diámetro de los poros de la cápsula debe ser muy pequeño para que los efectos capilares no permitan que la tensión matricial pueda producir la salida del agua y el vaciado del aparato. En la práctica este aparato se mide hasta 0.8 atm, ya que tensiones mayores a 1 atm se descargaría toda el agua contenida en el aparato (Castañón, 2000).

Los tensiómetros constituyen el método más adecuado para medir el potencial matricial del agua en el suelo y el grado en que el agua es utilizable pero no indica que puede servir para el desarrollo vegetativo (Forsythe, 1975).



Gráfico 4. El tensiómetro de capa porosa.

FUENTE: (Fueyo, 1998)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES Y EQUIPOS

Cuadro 8. Materiales utilizados en el proyecto.

MATERIAL	UNIDAD	DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS
Tractor	1	Se realizaron dos rastradas.
Azadón	1	Empleado para la formación de los surcos.
Hoyadora	1	Utilizado para colocar postes alrededor del ensayo, para protegerlo.
Azadilla	1	Empleado para la deshierba manual y el aporque.
Rastrillo	1	Utilizado para remover la maleza.
Machete	3	Empleado para realizar los hoyos para la siembra.
Postes	10	Empleados para colocar malla para proteger el ensayo.
Piola	1	Rollo de cien metros.
Manguera	1	Rollo de cien metros de ½ pulgada.
Fundas plásticas	5	Fundas de 15 x 30cm para recolección de muestras de suelo.
Fundas de papel	100	Fundas de 10 x 30 para toma de muestras.
Estacas	20	De 1 metro para colocar las denominaciones de los tratamientos.
Bomba de agua	1	0,5 HP de potencia.
Tijera podadora	1	FELCO. Para la recolección de las muestras.
Palín	1	Para recolectar las muestras de suelo.
Tensiómetros	10	Irrometer de 30 cm.

Cuadro 9. Insumos del proyecto.

INSUMOS	UNIDAD	DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS
Nitrato de calcio	2Kg	Se utilizaron dosis de 3g/l para todo el cultivo.
10N-30P-10K	100g	Se utilizó 37g en la fertilización inicial.
Nitrato de amonio	2Kg	Se utilizaron dosis de 3g/l para todo el cultivo.
Muriato de potasio	100g	Se utilizó 31g en la fertilización inicial.
Estimufol	500g	Se utilizaron dosis de 4g/l de agua
Sulfato de amonio	100g	Se utilizaron 10 g en la fertilización inicial
Kristalon	500g	Se utilizaron dosis de 4g/l de agua
Zineb	2kg	Se utilizaron dosis de 3g/l para todo el cultivo.
Cobrefix	2kg	Se utilizaron dosis de 3g/l para todo el cultivo.
Bala	300ml	Se dosificó en 10ml/bomba de 20 litros
Cipermetrina	300ml	Se dosificó en 15ml/bomba de 20 litros
Semilla	5Kg	Variedad "Cargabello"

Cuadro 10. Equipos y materiales de laboratorio.

EQUIPOS DE LABORATORIO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS
Balanza	1	Utilizada para pesar las muestras recolectadas y los insumos
Vaso de precipitación	2	Vasos de 600 cc
Estufa	1	Utilizada para la desecación de las muestras
Balón	1	Balón de 50 cc de capacidad
Agua destilada	20	Botellas de 1 litro

Cuadro 11. Insumos de oficina

INSUMOS DE OFICINA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS
Libreta	1	Pequeña para toma de dato
Lápiz y esferográficos	3	Para la toma de datos
Hojas de papel bond	1	Paquete de 500 hojas para impresora
Computador	1	ACER para procesamiento de datos
Impresora	1	Lexmark para impresión de documentos

3.2 LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 Ubicación Política

Provincia: Pichincha
Cantón: Quito
Parroquia: Guayllabamba
Sector: Barrio San Lorenzo

3.2.2 Ubicación Geográfica

Longitud: 78°20'29"W
Latitud: 0°3'33"S
Altitud: 1890 msnm



Gráfico 5. Ubicación geográfica del área de estudio
 FUENTE: (Google Earth, 2012)

3.2.3 Ubicación Ecológica

Zona de vida.-	Bosque seco, templado subtropical
Temperatura.-	26°C a la sombra, 30°C campo abierto
Precipitación.-	350 - 750 mm/año
Suelos.-	Franco-arenoso, arenoso
Vegetación.-	Algarrobo, matorrales, tuna, pencos.

3.2.4 Tipo de investigación

La presente es una investigación netamente de campo, puesto que todos los datos fueron determinados en el sitio mismo de la investigación, exponiendo al cultivo

a condiciones medioambientales naturales, utilizando protocolos previamente establecidos y que sirvieron de base para realizar de la manera más adecuada el presente proyecto. Además la evaluación de los tratamientos se realizó siempre en el campo, vale recalcar, que para todas las variables evaluadas se utilizaron equipos de laboratorio sin que esto quiera decir que la investigación es de este tipo.

3.3 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA APLICADA

3.3.1 Determinación del Agua a Utilizarse

3.3.1.1 Método Gravimétrico

Es un método directo y consiste en tomar muestras a diferentes profundidades y sitios en el campo, en esta investigación se trabajó a profundidades de 20 y 30 cm, obteniéndose luego un promedio de humedad del suelo. El método es simple, no requiere equipo complicado y puede ser utilizado en todos los suelos agrícolas. Sin embargo es lento y requiere de muchas repeticiones para reducir los errores debido a la variación del suelo.

Las muestras tomadas en el campo con el barreno se depositan inmediatamente en una lata o funda y se las cierra herméticamente, luego de pesarlas en húmedo (PH), se secan hasta un peso constante en una estufa a 105°C por 24 horas y se pesan nuevamente en seco (PS). La diferencia de peso es debido a la pérdida de agua y se

calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\% \theta_g = \left(\frac{PH - PS}{PS} \right) \times 100 \quad (\text{Basantes, 2010})$$

3.3.1.2 Calibración e Instalación de Tensiómetros

Para la calibración de los tensiómetros se procedió a llenar una tina con agua potable y limpia para colocar en la misma los tensiómetros a los cuales se los afora con agua destilada, los tensiómetros deben ser colocados sin taparlos, hecho esto se debe dejar durante 24 horas antes de instalarlos en el sitio del proyecto, se recomienda de ser posible usar un líquido algicida (Fueyo, 1998).

Una vez calibrados los tensiómetros se procede a instalarlos de la siguiente manera; en el terreno destinado a la investigación se limpió cuatro espacios de un metro cuadrado en distintas partes de terreno; en dos espacios se colocó en cada uno un tensiómetro en el centro del cuadrado a una profundidad de 20 cm; mientras que, en los dos restantes se ubicó los tensiómetros a 30 cm de profundidad. Instalados los tensiómetros se inundó el área, hasta llegar al punto de saturación según el tensiómetro que oscila entre 5 a 8 cbar y se dejaba reposar para el siguiente día verificar las lecturas de cada tensiómetro y tomar una muestra de suelo y llevarla al laboratorio donde se determinó el peso húmedo y seco en la estufa a una temperatura de 105°C durante 24 horas. Este procedimiento se lo realizó 25 veces con los tensiómetros colocados a 20

cm de profundidad y 27 veces con los tensiómetros colocados a 30 cm de profundidad.

3.3.1.3 Elaboración de Curva de Humedad

Con los datos obtenidos por método gravimétrico anteriormente descrito, se procedió a analizar los mismos y mediante una regresión lineal, se determinó la curva de retención de humedad que fue básica para el establecimiento de los niveles de humedad que se utilizaron en la administración del agua de riego en cada uno de los tratamientos estudiados.

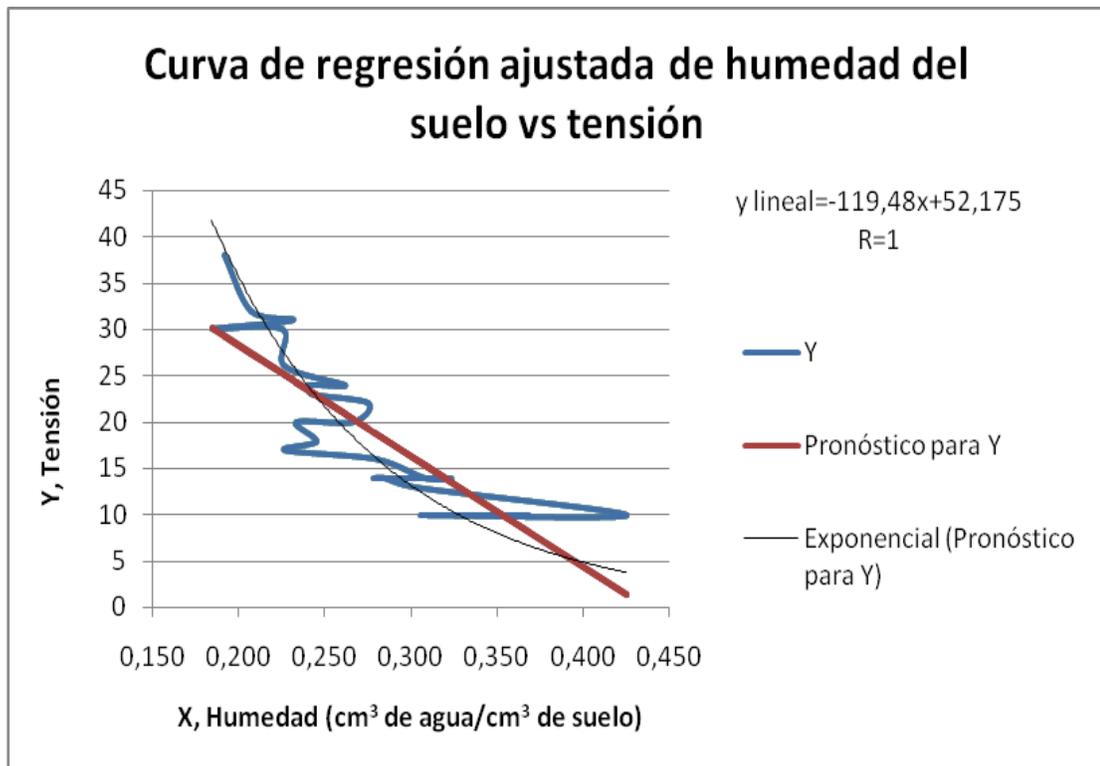


Gráfico 8. Curva de retención de humedad

3.3.1.4 Determinación de las Características Físicas e Hidrofísicas del Suelo

3.3.1.4.1 Densidad Aparente del Suelo

La densidad aparente refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para el manejo de los suelos (refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire). También es un dato necesario para transformar muchos de los resultados de los análisis de los suelos en el laboratorio (expresados en % en peso) a valores de % en volumen en el campo (Dorrosoro, 2010). La fórmula empleada para el cálculo de la densidad aparente es:

$$\delta\alpha \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{peso suelo seco}}{\text{volumen cilindro}}$$

Para la investigación la densidad aparente se determinó en base al promedio de las densidades aparentes de dos muestras de suelo:

Muestra	Ms (gr)	Volumen cilindro (cm3)	Da (g/cm3)
1	624	525	1,188
2	646,2	540	1,196
Promedio			1,192

3.3.1.4.2 Densidad Real del Suelo

La densidad real es el peso del suelo libre de poros y humedad, no siendo afectada por la textura y porosidad; depende apenas de la naturaleza mineralógica y contenido de M.O. La densidad real en suelos cultivados es muy variable y oscila entre 2.1-2.5 g/cm³. Los carbonatos presentan una densidad algo menor, así como la M.O. que puede llegar a los valores de 0.15 g/cm³. La fórmula empleada en este caso fue la siguiente:

$$\delta r \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{peso suelo seco}}{50 - \text{volumen alcohol gastado}}$$

En el laboratorio se determina de la siguiente manera: se toma una muestra de 20 g de suelo seco a 105 °C y se coloca en un balón volumétrico de 50 ml, con 25 ml de alcohol etílico (96 grados), se agita brevemente de 2 a 3 veces al día, y al día siguiente se afora con alcohol y se divide el peso del suelo seco, para la diferencia entre los 50 ml del balón menos el volumen del alcohol gastado (Basantes, 2010), dando como resultado para la presente investigación una densidad real de 2,16 g/cm³.

3.3.1.4.3 Punto de Saturación y Capacidad de Campo

En base a las densidades aparente y real obtenidas, se determinó el punto de saturación y la capacidad de campo del suelo en estudio. Para la determinación del punto de saturación del suelo se calculó el % de poros del suelo, con la formula %

poros = $1 - (da/dr) \times 100$, obteniendo el resultado de 44,5 % poros; a este resultado se lo divide para 100 para obtener $0,445 \text{ cm}^3$ de agua/ cm^3 de suelo.

Para obtener la capacidad de campo se multiplicó $0,445 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ por 0.72, que es el porcentaje promedio de poros ocupados por el agua en suelos francos al 100% de la capacidad de campo, obteniendo como resultado una capacidad de campo de $0,331 \text{ cm}^3$ de agua/ cm^3 de suelo (Basantés, 2010).

3.3.1.5 Determinación de la Humedad del Suelo en Términos de Volumen (Θ_v), Lámina de agua (h) y Determinación de la Tensión del Agua en el suelo.

Teniendo como dato principal el punto de capacidad de campo del suelo en estudio ($0,331 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) y utilizando la ecuación lineal obtenida en la curva de regresión ajustada se pudo determinar la tensión del agua en el suelo al 100% de la capacidad de campo y matemáticamente se pudo hacer lo mismo para calcular la humedad del suelo en términos de volumen al 80, 60 y 40% de la capacidad de campo, con su respectiva tensión. Posteriormente y utilizando la fórmula: Lámina = ($\Theta_v \times Pr$) se pudo obtener las láminas respectivas representadas en el siguiente cuadro:

Para el análisis se consideró una profundidad (Pr) de 200mm.

Cuadro 12. Capacidad de Campo determinado en: porcentaje (%), términos de volumen (Θ_v), lámina de agua (h) y tensión del agua en el suelo.

% C.C.	Θ_v (cm³/ cm³)	h (mm)	Tensión (cbar)
100%	0,331	66,2	12
80%	0,264	52,8	20
60%	0,199	39,8	29
40%	0,132	26,4	37

3.4 MÉTODOS ESPECÍFICOS DE MANEJO DEL EXPERIMENTO

3.4.1 Manejo

3.4.1.1 Preparación del Suelo

La preparación del terreno se la realizó utilizando un tractor agrícola con el cual se realizaron tres pasadas de rastra únicamente debido a que las características de terreno no requerían mayor demanda.

3.4.1.2 Análisis de Suelo

Se tomaron cuatro muestras del suelo y se las colocó en un saco con el fin de homogenizar la muestra y se envió una sola muestra de 200 gramos al laboratorio de agrocalidad en el INIAP, para su respectivo análisis.

3.4.1.3 Incorporación de Materia Orgánica

Una vez obtenidos los análisis de suelos respectivos, se procedió a incorporar materia orgánica, como compensación por la falta de la misma. La dosis aplicada fue de 2 Kg/ m², es decir 800 Kg en los 400m² del terreno.

3.4.1.4 Delimitación del Área Experimental

3.4.1.4.1 Trazo de Parcelas

Con el terreno listo para la siembra, con la ayuda de estacas de madera y piola, se realizó el trazo de las parcelas en el terreno, según las especificaciones de cada tratamiento y repetición.

3.4.1.4.2 Establecimiento de los Tratamientos

Una vez realizado el trazo de las parcelas en el terreno, se sorteó cada tratamiento y repetición para establecer el estudio con una disposición completamente al azar. Luego se colocaron los tensiómetros en dos repeticiones de cada tratamiento y se irrigó según la necesidad de cada uno utilizando una bomba de agua de 0,5 HP para sacar el agua del reservorio y con una manguera de 100 metros y ½ pulgada, tomando en cuenta el caudal proporcionado por la bomba que fue de 20 l/min y el tiempo de irrigación requerido según marque el tensiómetro y según la profundidad que se quiera

proveer el riego este podía ser de 10 o 20 cm, dicho tiempo fue controlado con un cronómetro.

3.4.1.5 Fertilización Inicial y Siembra

En un mismo día se realizó la siembra del cultivo y la fertilización de arranque que tomando en cuenta el análisis de suelo realizado, llegando a determinar dosis de 36,6 g/surco del fertilizante completo 10 – 30 – 10; 7,6 g/surco de sulfato de amonio y 30,17 g/surco de muriato de potasio, el modo de fertilización fue al suelo, colocando el fertilizante en el costado que fue colocada la semilla y con un rastrillo se procedió a incorporar en fertilizante al suelo.

3.4.1.6 Control Fitosanitario

Se realizaron cuatro controles fitosanitarios durante todo el ciclo del cultivo de la presente investigación utilizando productos de mediana y baja toxicidad, rotando los productos en cada aplicación. Para la rotación se utilizó dos combinaciones que contaron de Bala como insecticida y Zineb como fungicida; y Cipermetrina como insecticida con Cobrefix como fungicida; en una sola aplicación se utilizó azufre micronizado para controlar roya.

3.4.1.7 Control de Malezas y Aporque

Posterior a la siembra, el mismo día se aplicó un herbicida al cultivo (Afolon en una dosis de 2 g/l), con que se erradicó la maleza que recién brotaba, a los 60 días después de la siembra se realizaron una deshierba manual y simultáneamente el aporque del cultivo.

3.4.1.8 Fertilización Foliar

Se realizaron tres aplicaciones foliares, en tres fases distintas del cultivo:

- a) La primera aplicación se la realizó en la época vegetativa con estimufol y nitrato de amonio, en dosis de 3 g/lt; para obtener un cultivo bien robustecido antes de entrar a la fase de floración.
- b) La segunda fertilización se la realizó en la época de floración, aplicando nitrato de calcio y estimufol con alto contenido de microelementos, en dosis de 3 g/lt.
- c) La última fertilización foliar, se realizó en la etapa de fructificación aplicando kristalon Inicial por su alto contenido en fosforo y estimufol por tener microelementos fundamentales, para el llenado del fruto y favorezca la producción.

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Existen cinco factores a probar como alternativas de irrigación.

3.5.1 Tratamientos a Comprobar

- **Tratamiento 1:** Lámina de agua de riego con el 100% de la capacidad de campo del suelo ($0,331 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ correspondiente a 12 cbar de tensión).
- **Tratamiento 2:** Lámina de agua de riego con el 80% de la capacidad de campo del suelo ($0,264 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ correspondiente a 20 cbar de tensión).
- **Tratamiento 3:** Lámina de agua de riego con el 60% de la Capacidad de campo del suelo ($0,199 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ correspondiente a 29 cbar de tensión).
- **Tratamiento 4:** Lámina de agua de riego con el 40% de la Capacidad de campo hasta el punto de marchites permanente ($0,132 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ correspondiente a 37 cbar de tensión).
- **Tratamiento 5:** Testigo que está en función de las condiciones climáticas de la zona ($0,018 \text{ cm}^3$ correspondiente a 50 cbar de tensión).

3.5.2 Tipo de Diseño

El diseño que se utilizó fue el de bloques al azar.

3.5.3 Repeticiones o Bloques

Se establecieron 4 repeticiones o bloques para cada uno de los tratamientos, la determinación de los bloques dependió exclusivamente de la uniformidad o relieve del terreno donde se desarrollo el proyecto.

3.5.4 Características de la Unidad Experimental

La unidad experimental estuvo constituida por una parcela de 5 x 4 m; formada por 6 surcos, con un total de 144 plantas estableciendo 2 plantas por sitio, con una distancia entre golpe de 40 cm y de 60 cm entre surcos. La información de las variables en estudio se la determinarán exclusivamente en los 3 surcos centrales.

3.5.5 Croquis del Diseño

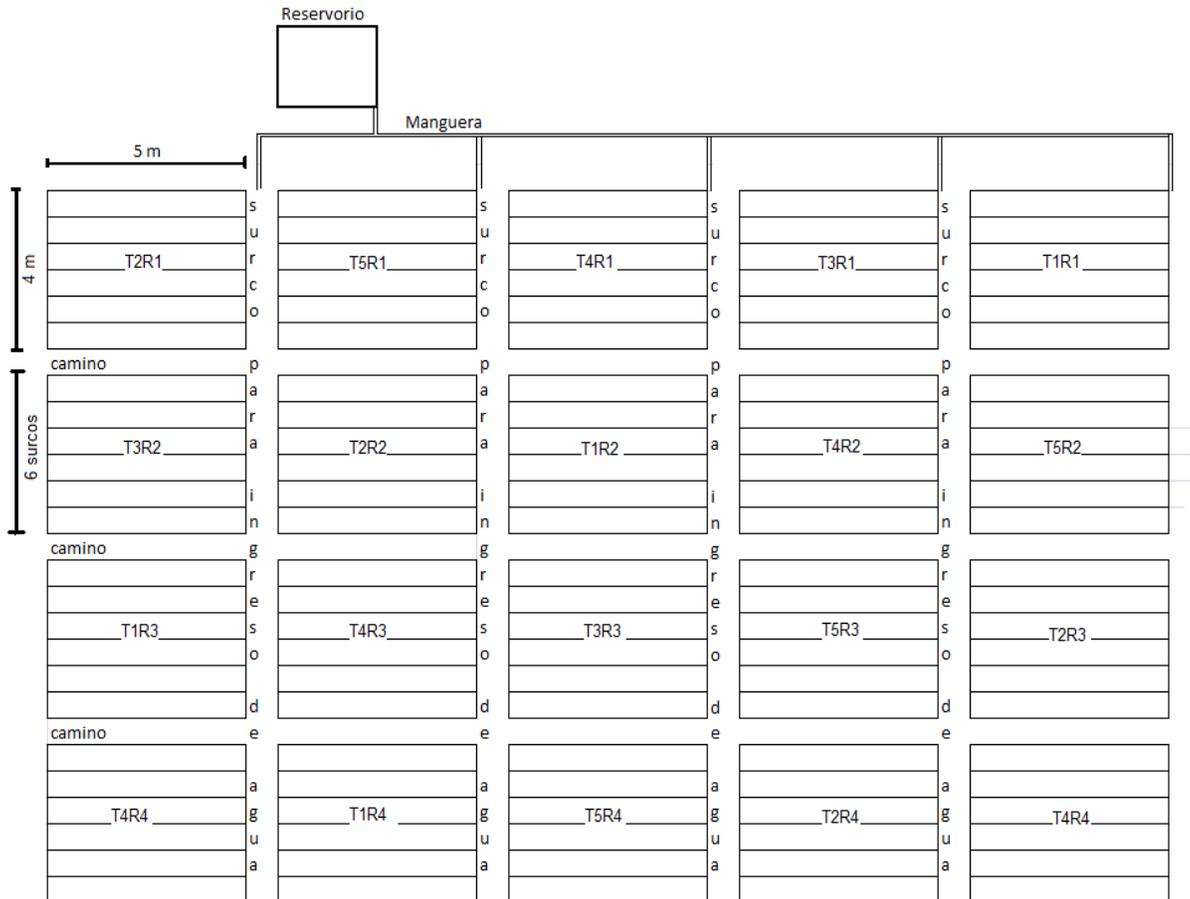


Gráfico 9. Croquis del diseño experimental.

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.6.1 Esquema de Análisis de Varianza

FUENTES DE VARIACIÓN	GL
Total	19
Repeticiones	3
Tratamientos	(4)
T4 vs T1, T2, T3	1
Lámina lineal	1
Lámina cuadrática	1
Lámina cúbica	1
ERROR	12

3.6.2 Coefficiente de Variación

$$CV = (\sqrt{CME} / \bar{x}) * 100$$

3.6.3 Análisis Funcional

Prueba de Duncan al 5% para tratamientos, comparaciones y polinomios ortogonales.

3.6.4 Regresiones y Correlaciones

Regresión y correlación de las láminas de riego con los diferentes variables en estudio.

3.7 ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico se lo realizó del presupuesto parcial, expuesto por Perrín *et al.* (1981), para lo cual, se obtuvo el beneficio bruto correspondiente a los rendimientos obtenidos en la producción de cada tratamiento, multiplicado al valor del mercado; además se determinaron los costos variables invertidos dentro de cada tratamiento (*semilla, fertilizantes, fungicidas, mano de obra*).

Una vez obtenidos los datos se procedió a calcular el óptimo agrícola el mismo que fue de 117.33 y en razón que este fue superior a 100 no se puede calcular el óptimo económico debido a que se encuentra fuera del parámetro por lo que se recomienda analizar el mejor tratamiento basado únicamente en el rendimiento de cada uno de los tratamientos y en las diferentes variables.

Para el cálculo del óptimo agrícola se utilizó la siguiente fórmula, obtenida previamente en la regresión lineal realizada con respecto a los rendimientos obtenidos en los diferentes tratamientos:

$$Y = 166.8250 + 3.9894X - 0.017X^2$$

$$X = 117.33 \text{ Óptimo agrícola}$$

3.8 VARIABLES A MEDIR

Las variables a medir fueron de dos tipos:

3.8.1 En el Suelo

3.8.1.1 Capacidad de Almacenamiento de Humedad del Suelo

Esta variable se la calculo en el campo a una profundidad de suelo de 20 cm, en base al contenido de humedad volumétrica del suelo, método gravimétrico y tensiómetros.

3.8.1.2 Punto de Saturación

Variable calculada en base a la densidad aparente y densidad real del suelo determinadas en campo.

3.8.1.3 Punto de Capacidad de Campo

Variable calculada en base a la densidad aparente y densidad real del

suelo determinadas en campo.

3.8.2 En el Cultivo

3.8.2.1 Emergencia

Se determinó el porcentaje de emergencia a los 12 días de la siembra del cultivo en la parcela neta, contabilizando el número de plantas emergidas exitosamente versus la cantidad de semilla utilizada.

3.8.2.2 Floración

Se registró cuando el 50% de las plantas de cada unidad experimental presentaron floración; su medida fue en días después de la siembra (dds); teniendo como precoz al testigo que floreció a los 39dds a los tratamiento 3 y 4 a los 41 dds y por último, los tratamiento 1 y 2, mismos que florecieron a los 45 dds.

3.8.2.3 Peso de Materia Verde

Se recolectaron 2 plantas por cada tratamiento y repetición cada 20 días, después de la emergencia y cada una de ellas fue pesada como planta total y con sus partes.

3.8.2.4 Peso de Materia Seca

De las muestras utilizadas para la variable anterior se procedió a secarlas en la estufa a una temperatura de 70°C por 48 horas y se tomó su peso después de la desecación.

3.8.2.5 Rendimiento

Esta variable se la procedió a tomar una vez que el ensayo concluyó, de acuerdo a su fisiología y basándome en la coloración de las vainas, en su paso de verde a amarillo, se realizó la trilla de las vainas y se procedió a calcular el rendimiento por parcela neta y luego por parcela total, de acuerdo a cada tratamiento.

3.8.3 Difusión de Resultados

La difusión de los resultados y la metodología se impartirán a los interesados para su conocimiento y aplicación mediante la elaboración de un artículo científico, el cual será publicado en el boletín divulgativo de la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PORCENTAJE DE EMERGENCIA

Al realizar el análisis de variancia para emergencia del fréjol, no se encontró diferencias estadísticas para repeticiones y tratamientos, sin embargo, se detectó diferencias estadísticas al comparar el testigo vs el resto de tratamientos, pero no se observó ningún efecto de las láminas de riego, debido a que todos los tratamientos en el momento de la siembra fueron regados con la misma cantidad de agua hasta siete días después de la siembra (Cuadro 13). El promedio de emergencia fue de 87.85%, con un coeficiente de variación del 6.51%

Cuadro 13. Análisis de variancia para emergencia del cultivo de fréjol bajo cuatro láminas de riego comparado con un testigo, Guayllabamba-Pichincha 2011.

FUENTES DE VARIACION	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F
TOTAL	19			
REPETICIONES	3	86.08	28.69	0.88 ns
TRATAMIENTOS	(4)	209.04	52.26	1.60ns
Test. Vs resto	1	174.23	174.23	5.33 *
Lámina lineal	1	0.39	0.39	0.01 ns
Lámina cuadrática	1	9.73	9.73	0.30 ns
Lámina cúbica	1	24.69	24.69	0.76ns
ERROR	12	391.99	32.67	
\bar{X} (%)			87.85	
CV (%)			6.51	

Todos los tratamientos correspondientes a las láminas de riego presentaron una mayor emergencia en relación al testigo, el cual al no recibir riego muestra un 81.85 %; mientras que el resto mantuvo un comportamiento superior al 86%, llegando inclusive con el T1 (100% de la capacidad de campo) al 90.45% de emergencia (Cuadro 14), además de estos antecedentes el bajo porcentaje de emergencia se debió, a que la siembra se la realizó en la época de mayor elevación de temperatura del verano, esto ratifica lo expuesto por Cevallos (1975), quien manifiesta que sin agua, el sol es imponente, los fertilizantes no pueden disolverse ni penetrar en las plantas, entre otros factores que contribuyen a dar cosechas abundantes. Además de lo anteriormente expuesto Basantes (2010), manifiesta que el agua tiene un efecto de enfriamiento a medida que se mueve a través de la planta y es descargada a la atmósfera. El consumo de agua por las plantas va a depender primordialmente del tipo de cultivo, etapa de crecimiento y cantidad de agua disponible en el suelo. La energía solar que recibe un cultivo tiene efecto en el uso de agua. El cultivo usará más agua en un día soleado que en un día nublado.

Cuadro 14. Efecto de las láminas de riego sobre el porcentaje de emergencia de los granos de fréjol.

TRATAMIENTOS	PORCENTAJE DE EMERGENCIA
T1 Lámina 100% capacidad de campo	90.45
T2 Lámina 80% capacidad de campo	86.81
T3 Lámina 60% capacidad de campo	90.28
T4 Lámina 40% capacidad de campo	89.76
T5 Testigo	81.85

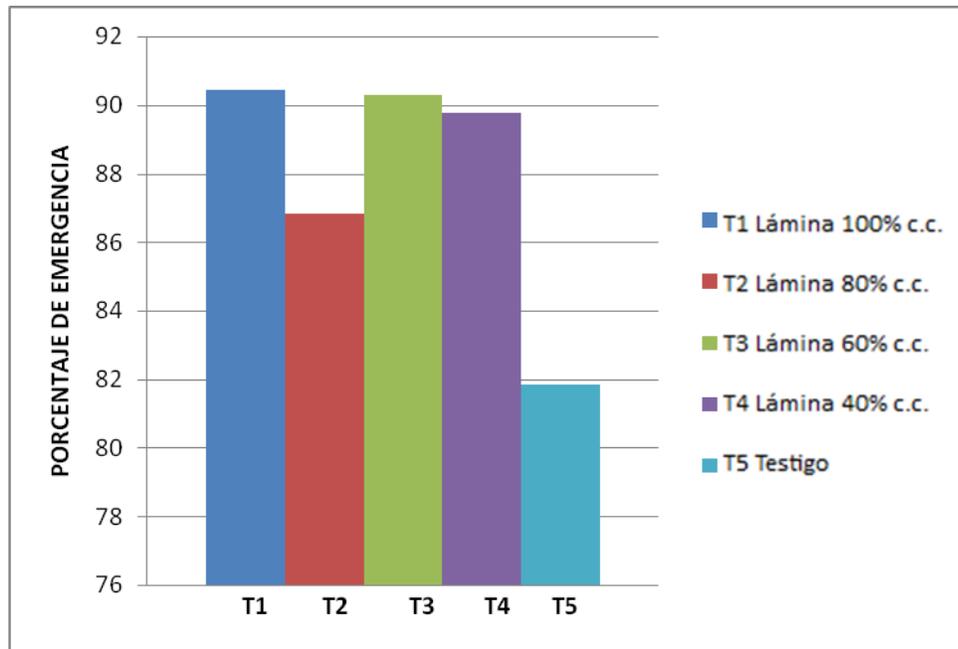


Gráfico 10. Porcentaje de emergencia en de fréjol por tratamiento

4.2 PESO DE MATERIA VERDE

En el análisis de variancia para peso de materia verde en g/planta en cada evaluación establecida; esta a 20, 40, 60, 80 y 100 días, no se encontró diferencias estadísticas para repeticiones; mientras que los tratamientos, se diferenciaron a nivel del 5% a los 20, 40 y 80 días y a nivel del 1% a los 100 días; además, se detectó diferencias estadísticas al 1% al comparar el testigo vs los tratamientos con las láminas de riego en los registros a los 40, 80 y 100 días; por otro lado, se observa una tendencia cuadrática por efecto las láminas de riego al nivel del 1% a los 20 días, y en la última evaluación, realizada a los 100 días, se estableció una significación al 1% en el efecto lineal y al 5% en el efecto cuadrático (Cuadro 15).

Los promedios generales del peso de materia verde en g/planta fue de 9.31 g., llegando a su máximo a los 80 días con un promedio de 203.30 g., para luego decrecer a 104.30 g. a los 100 días.

Cuadro 15. Análisis de variancia para el peso de materia verde g/planta de fréjol evaluado a los 20, 40, 60, 80 y 100 días bajo cuatro láminas de riego comparado con un testigo.

FUENTES DE VARIACION	GL	MATERIA VERDE (g/pl)				
		20 DÍAS	40 DÍAS	60 DÍAS	80 DÍAS	100 DÍAS
TOTAL	19					
REPETICIONES	3	0.23 ns	86.58 ns	72.73 ns	1585.73 ns	366.73 ns
TRATAMIENTOS	(4)	2.31 *	249.33 *	118.70 ns	10180.05 *	6536.43 **
Testigo vs resto	1	2.31 ns	594.05 **	94.61 ns	34486.51 **	12776.51 **
Lámina lineal	1	0.16 ns	259.20 ns	357.01 ns	5297.51 ns	10192.61**
Lámina cuadrática	1	6.76 **	144.00 ns	22.56 ns	517.56 ns	2730.06 *
Lámina cúbica	1	0.01 ns	0.05 ns	0.61 ns	418.61 ns	446.51ns
ERROR	12	0.70	56.46	82.07	2413.48	318.36
\bar{X} (g/pl)		9.31	48.65	78.10	203.30	104.30
CV (%)		9.01	15.44	11.60	24.16	17.11

Bajo el suministro de láminas de riego se logró un mayor peso de materia verde en g/planta que en el tratamiento testigo, en cada una de las evaluaciones, a excepción de la establecida a los 60 días donde el testigo superó a la lámina L4 (40% de la capacidad de campo), pero sin diferenciarse estadísticamente. Las mayores diferencias se presentaron a los 80 días donde las láminas L1 (100% de la capacidad de campo) y L2

(80% de la capacidad de campo) duplicaron el peso verde en g/planta de fréjol, esto es como consecuencia a la mayor presencia de vainas y por ende a una mayor producción que tuvieron los dos tratamientos antes mencionados en comparación con los dos tratamientos restantes y el testigo. La evapotranspiración del cultivo tiene mucho que ver con la cantidad de materia verde producida por la planta pues, como manifiesta Jara y Valenzuela (1998), la cantidad de agua removida desde el suelo y la planta se denomina evapotranspiración. Esta agua, debe reponerse periódicamente al suelo para no dañar el potencial productivo de la planta. (Cuadro 16).

Cuadro 16. Efecto de las láminas de riego sobre el peso de materia verde g/planta de fréjol evaluado a los 20, 40, 60, 80 y 100 días.

TRATAMIENTOS	MATERIA VERDE (g/pl)				
	20 DÍAS	40 DÍAS	60 DÍAS	80 DÍAS	100 DÍAS
T1 Lámina 100% c.c.	10.25 a	53.75 ab	84.25 a	240.50 a	161.50 a
T2 Lámina 80% c.c.	8.90 ab	56.25 a	82.75 a	244.75 a	122.25 b
T3 Lámina 60% c.c.	8.75 b	52.50 ab	78.00 b	214.75 a	85.50 c
T4 Lámina 40% c.c.	10.00 ab	43.00 bc	71.75 c	195.25 a	98.50 bc
T5 Testigo	8.63 b	37.75 c	73.75 bc	120.25 b	53.75 d

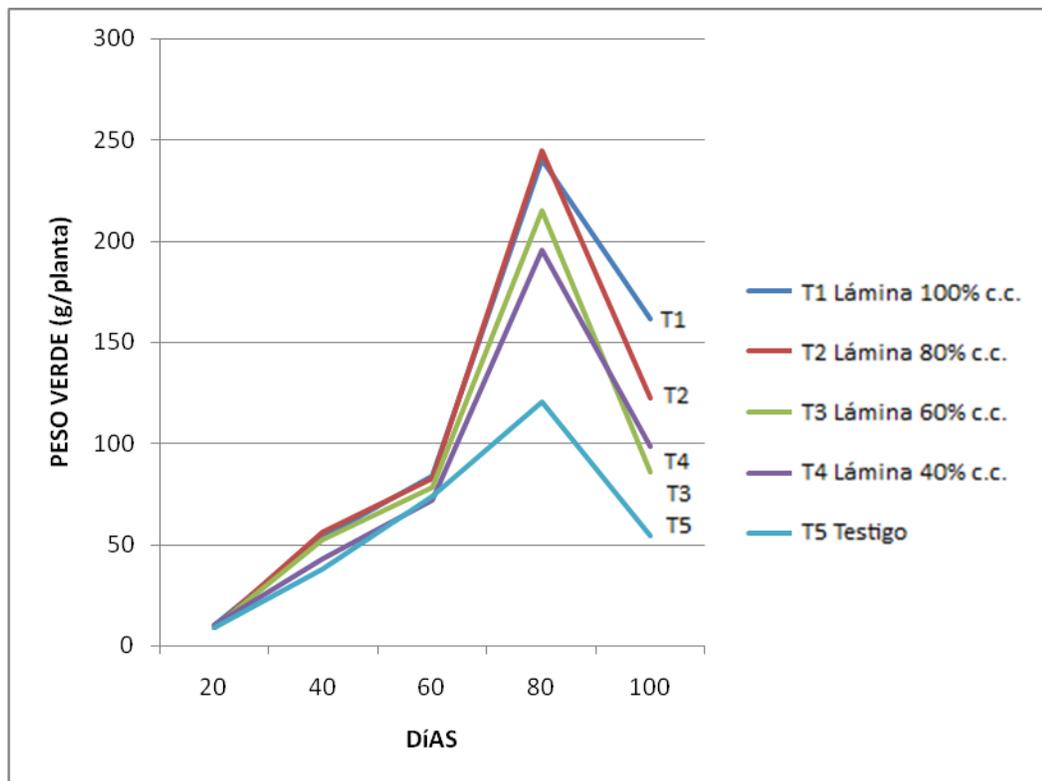


Grafico 11. Peso verde de la planta de fréjol por tratamiento en evaluaciones a los 20, 40, 60, 80 y 100 días.

4.3 PESO DE LA MATERIA SECA

Al establecer los análisis de variancia para el peso de materia seca en g/planta, no se encontró diferencias estadísticas para repeticiones en cada una de las evaluaciones establecidas mientras que los tratamientos se diferenciaron a nivel del 1% a los 80 y 100 días, y al 5% a los 40 días. Además se encontró diferencias estadísticas al nivel del 1% al comparar los tratamientos con la aplicación de láminas de agua con el testigo en las evaluaciones a los 40, 80 y 100 días. A los 100 días se encontró un efecto lineal de los niveles de láminas de riego significativo al 5%, mientras que a los 20 días se manifestó un efecto cuadrático al 1% (Cuadro 17).

Cuadro 17. Análisis de variancia para el peso de materia seca g/planta de fréjol evaluado a los 20, 40, 60, 80 y 100 días bajo cuatro láminas de riego comparado con un testigo.

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	MATERIA SECA (g/pl)				
		20 DÍAS	40 DÍAS	60 DÍAS	80 DÍAS	100 DÍAS
TOTAL	19					
REPETICIONES	3	0.01 ns	3.00 ns	4.13 ns	57.92 ns	83.80 ns
TRATAMIENTOS	(4)	0.09 ns	8.80 *	7.05 ns	521.00 **	967.38 **
Testigo vs resto	1	0.09 ns	21.01 **	5.51 ns	1852.81 **	2152.81 **
Lámina lineal	1	0.01 ns	9.11 ns	21.01 ns	122.51 ns	987.01 *
Lámina cuadrático	1	0.23 **	5.06 ns	1.56 ns	105.06 ns	540.56 ns
Lámina cúbica	1	0.00 ns	0.01 ns	0.11 ns	3.61 ns	189.11 ns
ERROR	12	0.03	2.00	4.55	44.00	115.34
\bar{X} (g/pl)		1.96	9.30	18.80	41.75	46.50
CV (%)		8.68	15.21	11.35	15.89	23.10

En términos generales el efecto del riego fue notorio en el desarrollo de las plantas de fréjol, pues en cada una de las evaluaciones todos los tratamientos que recibieron láminas de agua presentaron un mayor peso de materia seca en g/planta, a excepción de la lámina L4 (40% de la capacidad de campo) que a los 60 días fue superada ligeramente por el testigo. Por los resultados expuestos en la siguiente tabla podemos manifestar que los dos tratamientos con menor irrigación son los de peor peso de materia seca, esto basándonos con lo expuesto por Basantes (2010), que dice que a medida que el contenido de humedad del suelo disminuye, para las plantas es cada vez

más difícil absorberla, llegando a un nivel en que si no reciben agua adicional, se ponen marchitas y no pueden recuperarse (Cuadro 18).

Cuadro 18. Efecto de las láminas de riego sobre el peso de materia seca g/planta de fréjol evaluado a los 20, 40, 60, 80 y 100 días.

TRATAMIENTOS	MATERIA SECA (g/pl)				
	20 DÍAS	40 DÍAS	60 DÍAS	80 DÍAS	100 DÍAS
T1 Lámina 100% c.c.	2.15 a	10.25 ab	20.00 ab	40.50 a	66.50 a
T2 Lámina 80% c.c.	1.88 b	10.75 a	20.25 a	47.25 a	54.00 ab
T3 Lámina 60% c.c.	1.85 bc	10.00 ab	18.75 bc	51.00 a	48.50 b
T4 Lámina 40% c.c.	2.10 a	8.25 bc	17.25 c	47.50 a	37.75 bc
T5 Testigo	1.83c	7.25 c	17.75 c	22.50 b	25.75 c

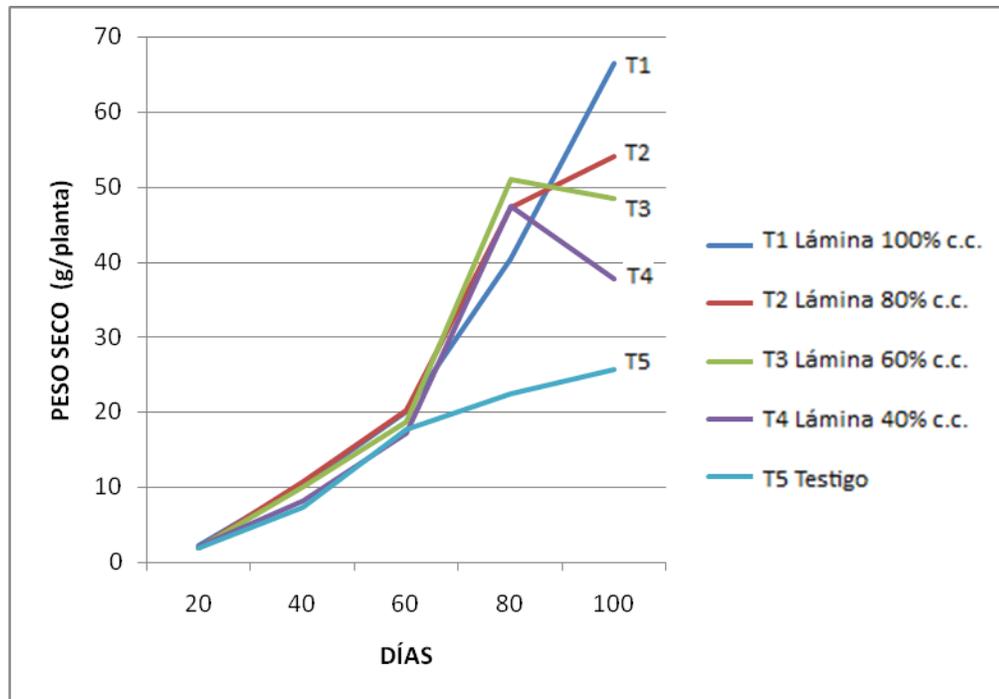


Gráfico 12. Peso seco en g/planta de fréjol por tratamiento en evaluaciones a los 20, 40, 60, 80 y 100 días.

4.4 PESO VERDE DE HOJAS, VAINAS Y TALLOS 80 DÍAS

Al realizar los análisis de variancia para el peso de materia verde de hojas, vainas y tallo no se encontró diferencias estadísticas para repeticiones, mientras que los tratamientos se diferenciaron a nivel del 1% en el peso de las hojas y al nivel del 5% en el peso de las vainas y el tallo. Al comparar el testigo vs los tratamientos en donde se suministro las láminas de riego se encontró diferencias estadísticas a nivel del 1% en cada uno de los pesos en verde de hojas, vainas y tallo, el resto de fuentes de variación no manifestaron significación estadística (Cuadro 19).

Los promedios generales del peso en verde de hojas, vainas y tallo de fréjol/planta fueron de 74.45, 98.70 y 29.10 g., respectivamente, con coeficientes de variación de 22.83, 28.76 y 25.11%. Esto fue un efecto directo de la dosis y frecuencia de agua de riego suministrada a cada tratamiento, puesto que una planta bien hidratada tiende a tener un peso en verde mayor por la cantidad de agua presente en el suelo y en todos los tejidos de la planta. Como lo manifiesta Basantes (2010), al decir que la cantidad de agua contenida en el volumen del suelo y el estado de energía del agua en el suelo son factores importantes que afectan el crecimiento y producción de las plantas.

Cuadro 19. Análisis de variancia para el peso verde de hojas, vainas y tallo/planta a los 80 días bajo el efecto de cuatro láminas de riego comparado con un testigo.

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	PESO EN VERDE (g/pl)		
		HOJAS	VAINAS	TALLO
TOTAL	19			
REPETICIONES	3	142.18 ns	679.53 ns	13.93 ns
TRATAMIENTOS	(4)	1128.30 **	2508.18 *	195.33 *
Test. Vs resto	1	3432.20 **	9768.20 **	672.80 **
Lámina lineal	1	720.00 ns	1140.05 ns	101.25 ns
Lámina cuadrática	1	361.00 ns	20.25 ns	2.25 ns
Lámina cúbica	1	0.00 ns	304.20 ns	5.00 ns
ERROR	12	288.93	805.74	53.39
\bar{X} (g/pl)		74.45	98.70	29.10
CV (%)		22.83	28.76	25.11

El mayor peso en verde de las hojas y las vainas, se presentaron con la lámina 2 (80% de la capacidad de campo) manifestando una tendencia cuadrática, mientras que el mayor peso del tallo se presentó con L1 (100% de la capacidad de campo). Por otro lado es notorio el efecto del riego sobre el desarrollo del fréjol y es así que obtuvieron el mayor peso en verde que el testigo, llegando inclusive a duplicarlo como sucede en las vainas y tallo con las láminas L1 (100% de la capacidad de campo) y L2 (80% de la capacidad de campo) como efecto directo del agua de riego estas dos últimas láminas pesaron más puesto que la mayor cantidad de agua alarga la fase de crecimiento

vegetativo del cultivo, en comparación con las dos láminas restantes y en especial con el testigo que tuvieron menos pesos por la deshidratación de sus tejidos (Cuadro 20).

Cuadro 20. Efecto de las láminas de riego sobre el peso verde de hojas, vainas y tallo en g/planta de fréjol evaluado a los 80 días.

TRATAMIENTOS	PESO EN VERDE (g/pl)		
	HOJAS	VAINAS	TALLO
T1 Lámina 100% capacidad de campo	85.25 a	118.00 a	34.75 a
T2 Lámina 80% capacidad de campo	88.75 a	120.50 a	34.25 a
T3 Lámina 60% capacidad de campo	82.75 a	101.25 a	30.50 a
T4 Lámina 40% capacidad de campo	67.25 ab	99.25 a	28.50 ab
T5 Testigo	48.25 b	54.50 b	17.50 b

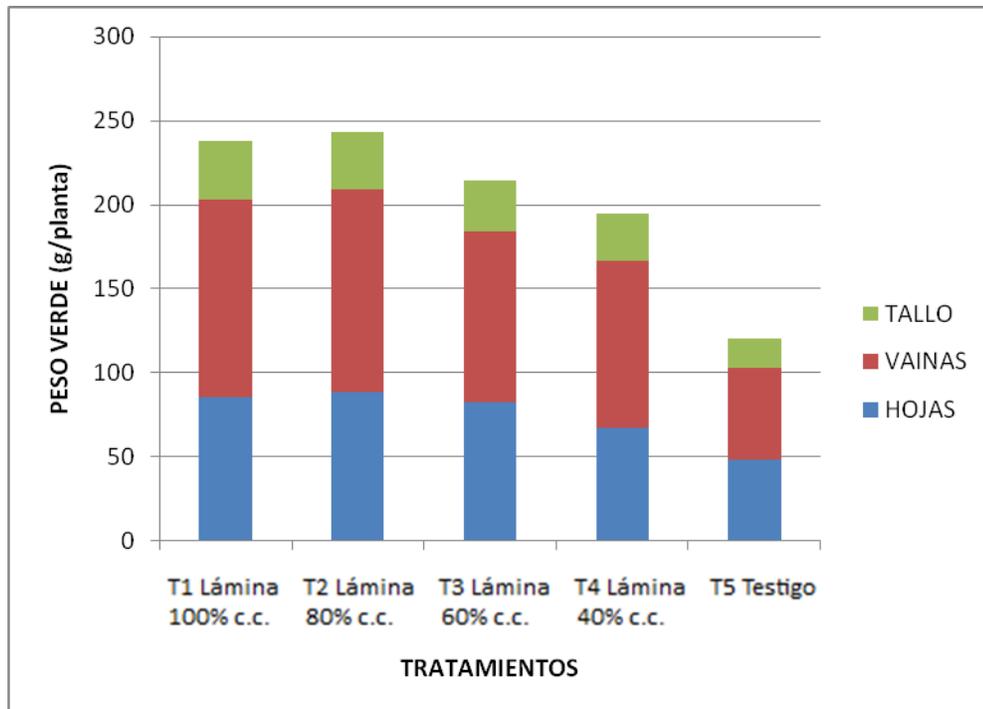


Gráfico 13. Peso verde de las hojas, vainas y tallo en g/planta a los 80 días, para cada uno de los tratamientos.

4.5 PESO SECO HOJAS VAINAS Y TALLO 80 DÍAS

En los análisis de variancias el peso en seco de las hojas, vainas y tallos en g/planta, no se encontró diferencias estadísticas para repeticiones, mientras que los tratamientos se diferenciaron a nivel del 5% en las hojas y tallo y al nivel del 1% en las vainas. Al comparar las láminas de agua con el testigo se encontró diferencias estadísticas al 1%, únicamente en las vainas se manifestó una tendencia lineal de las láminas de riego sobre el peso en seco (Cuadro 21). Los promedios generales de peso seco de las hojas, vainas y tallos de fréjol fueron de 9.66, 0.54 y 2.78 en g/planta, respectivamente, con coeficientes de variación de 23.02, 19.97 y 30.02 %.

Cuadro 21. Análisis de variancia para el peso seco de hojas, vainas y tallos en g/planta de fréjol evaluado a los 80 días bajo cuatro láminas de riego vs un testigo.

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	PESO SECO (g/pl)		
		HOJAS	VAINAS	TALLOS
TOTAL	19			
REPETICIONES	3	2.20 ns	41.67 ns	0.32 ns
TRATAMIENTOS	(4)	31.63 *	257.68 **	10.68 *
Test. Vs resto	1	90.31 **	744.20 **	39.20 **
Lámina lineal	1	12.01 ns	211.25 **	0.00 ns
Lámina cuadrática	1	10.56 ns	30.25 ns	2.25 ns
Lámina cúbica	1	13.61 ns	45.00 ns	1.25 ns
ERROR	12	9.66	0.54	2.78
\bar{X} (g/pl)		13.50	22.70	5.55
CV (%)		23.02	19.97	30.02

El suministro riego al cultivo de fréjol es muy importante para el desarrollo del fréjol y es así que logro un mayor peso en seco de las hojas, vainas y tallos a los 80 días en relación al testigo, el cual se encuentra ocupando el último lugar del rango final con los menores promedios mediante la prueba de Duncan al 5%. Como lo manifiesta Basantes (2010), el agua es componente del citoplasma vivo, participa en el metabolismo y en todos los procesos bioquímicos.

Una disminución del contenido hídrico va acompañada por una pérdida de turgencia, marchitamiento y una disminución del alargamiento celular. La deshidratación continua ocasiona una desorganización del protoplasma. El mayor peso seco de las hojas y los tallos se obtuvo con la lámina 2 (80% de la capacidad de campo), el mayor de las vainas con la lámina 3 (60% de la capacidad de campo) (Cuadro 22).

Cuadro 22. Efecto de las láminas de riego sobre el peso seco g/planta de fréjol de hojas, vainas y tallos evaluado a los 80 días.

TRATAMIENTOS	PESO SECO (g/pl)		
	HOJAS	VAINAS	TALLOS
T1 Lámina 100% capacidad de campo	14.50 a	20.25 c	5.75 a
T2 Lámina 80% capacidad de campo	17.00 a	23.25 bc	7.00 a
T3 Lámina 60% capacidad de campo	13.75 ab	31.00 a	6.25 a
T4 Lámina 40% capacidad de campo	13.00 ab	28.50 ab	6.00 a
T5 Testigo	9.25 b	10.50 d	2.75 b

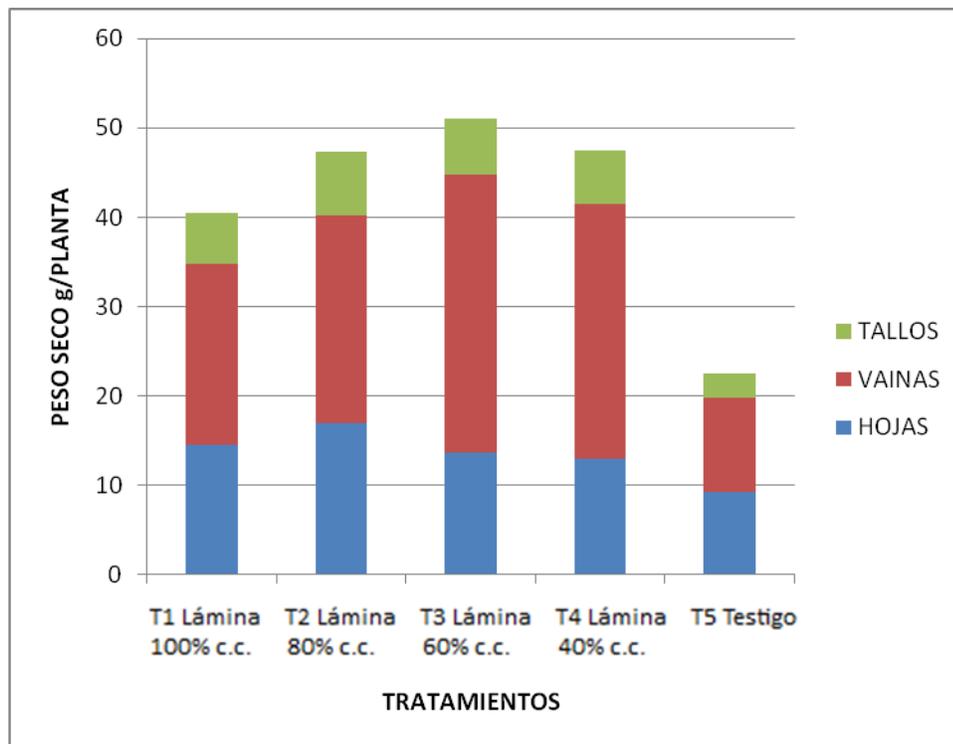


Gráfico 14. Peso seco de las hojas, vainas y tallo en g/planta de fréjol a los 80 días, para cada uno de los tratamientos.

4.6 PESO VERDE DE HOJAS, VAINAS Y TALLOS 100 DÍAS

Al realizar los análisis de variancia para el peso verde de hojas, vainas y tallo expresado en g/planta de fréjol, se encontró diferencias estadísticas a nivel del 1% para repeticiones en el peso del tallo, mientras que los tratamientos se diferenciaron a nivel del 1% en el peso de las hojas, vainas y tallo, además se detectó diferencias estadísticas al comparar los tratamientos de láminas de riego con el testigo al 5% en el peso verde de las hojas y al nivel del 1% en las vainas, y tallo. Por otro lado se manifestó un efecto lineal significativo al 1% de las láminas sobre el peso verde de hojas, vainas y tallos; y cuadrático al nivel del 5% en hojas y tallo (Cuadro 23).

Los promedios generales del peso verde de hojas, vainas y tallos a los 100 días fueron de 12.85, 71.05 y 20.40 g/planta, respectivamente, con coeficientes de variación de 58.37, 21.07 y 13.60 %.

Cuadro 23. Análisis de variancia para el peso verde de hojas, vainas y tallo/planta a los 100 días bajo el efecto de cuatro láminas de riego comparado con un testigo.

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	PESO EN VERDE (g/pl)		
		HOJAS	VAINAS	TALLO
TOTAL	19			
REPETICIONES	3	3.32 ns	138.45 ns	57.20 **
TRATAMIENTOS	(4)	540.70 **	2209.93 **	185.20 **
Test. Vs resto	1	328.05 *	5379.20 **	465.61 **
Lámina lineal	1	1328.45 **	2486.45 **	214.51 **
Lámina cuadrática	1	506.25 *	484.00 ns	60.06 *
Lámina cúbica	1	0.05	490.05 ns	0.61 ns
ERROR	12	56.27	224.16	7.70
\bar{X} (g/pl)		12.85	71.05	20.40
CV (%)		58.37	21.07	13.60

Todos los tratamientos correspondientes al suministro de láminas de agua superaron en el peso verde de hojas, vainas y tallo de g/planta en relación al testigo a los 100 días y es así que la prueba de Duncan al 5% le coloca a este tratamiento sin riego en el último lugar del último rango, esto como consecuencia directa de la deshidratación

de los tejidos de la planta por la falta de disponibilidad de agua de riego y por la acelerada lignificación de la planta.

Los mayores pesos en verde de hojas, vainas y tallos se presento con la lámina 1 que corresponde al 100% de la capacidad de campo y de manera inmediata a la lámina 2 que corresponde al 80% de la capacidad de campo, probando así que los tratamientos con mayor irrigación tienden a producir mayor materia verde afirmando lo expuesto por Cevallos (1975), quien manifestó que las plantas para formar materia verde ponen en circulación grandes cantidades de agua; de ahí que es de suma importancia proporcionar a las plantas de la cantidad de agua requerida por su crecimiento, desarrollo y producción (Cuadro 24).

Cuadro 24. Efecto de las láminas de riego sobre el peso verde de hojas, vainas y tallo/planta de fréjol evaluado a los 100 días.

TRATAMIENTOS	PESO EN VERDE (g/pl)		
	HOJAS	VAINAS	TALLO
T1 Lámina 100% capacidad de campo	32.75 a	99.00 a	29.75 a
T2 Lámina 80% capacidad de campo	13.25 b	86.75 ab	22.25 b
T3 Lámina 60% capacidad de campo	5.25 b	60.75 cd	19.50 b
T4 Lámina 40% capacidad de campo	8.25 b	70.50 bc	19.75 b
T5 Testigo	4.75 b	38.25 d	10.75 c

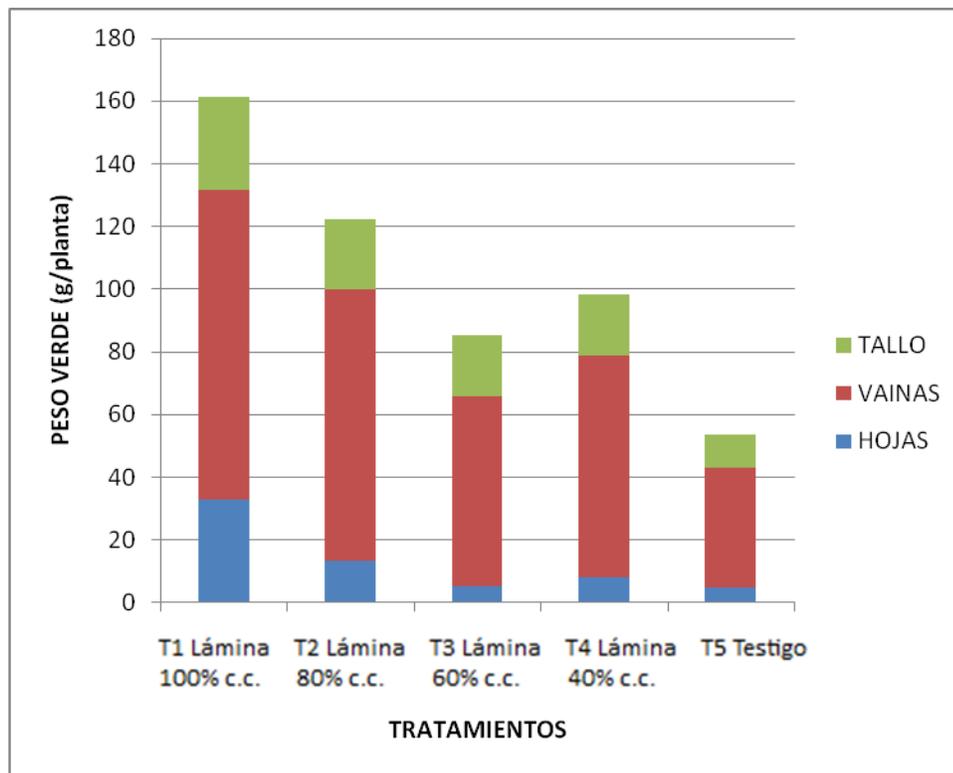


Gráfico 15. Peso verde de las hojas, vainas y tallo en g/planta a los 100 días, para cada uno de los tratamientos.

4.7 PESO SECO HOJAS VAINAS Y TALLO 100 DÍAS

En los análisis de variancia del peso seco de hojas, vainas y tallos, no se detectó diferencias estadísticas para repeticiones, mientras que los tratamientos se diferenciaron a nivel del 1% en el peso seco de hojas y tallos y al 5% en el de vainas. Al comparar el testigo vs los tratamientos de láminas de riego se encontró diferencias estadísticas a nivel del 5% en el peso seco de las hojas y al 1% en el peso seco de vainas y tallo, además, se detectó un efecto, lineal significativo al 1% en hojas y tallo y un efecto cuadrático al mismo nivel únicamente en hojas (Cuadro 25).

Los promedios generales del peso seco de hojas, vainas y tallo fueron de 4.40, 36.60 y 5.50 g, respectivamente, con coeficientes de variación de 44.11, 27.53 y 25.28%.

Cuadro 25. Análisis de variancia para el peso seco de hojas, vainas y tallos g/planta de fréjol evaluado a los 100 días bajo cuatro láminas de riego comparado con un testigo.

FUENTES DE VARIACION	GL	PESO SECO (g/pl)		
		HOJAS	VAINAS	TALLOS
TOTAL	19			
REPETICIONES	3	2.93 ns	81.87 ns	0.60 ns
TRATAMIENTOS	(4)	56.20 **	473.83 *	12.50 **
Test. Vs resto	1	23.11 *	1336.61 **	25.31 **
Lámina lineal	1	148.51 **	221.11 ns	19.01 **
Lámina cuadrática	1	52.56 **	189.06 ns	5.06 ns
Lámina cúbica	1	0.61 ns	144.51 ns	0.61 ns
ERROR	12	3.77	101.49	1.93
\bar{X} (g/pl)		4.40	36.60	5.50
CV (%)		44.11	27.53	25.28

Todos los tratamientos de láminas de riego superaron al testigo en el peso seco de hojas, vainas y tallos a excepción de la lámina 3 (60% de la capacidad de campo) que fue superada en el peso seco de las hojas. Los mayores pesos secos de hojas, vainas y tallo se obtuvieron con la lámina 1 (100% de la capacidad de campo) y es así que la prueba de Duncan al 5% le coloca en el primer lugar del primer rango, para dejar en segundo lugar a la lámina 2 (80% de la capacidad de campo).

Cabe resaltar que todas estas diferencias se deben principalmente al peso de las vainas que repercutieron posteriormente en una mayor producción en comparación con el testigo y las dos láminas restantes (Cuadro 26).

Cuadro 26. Efecto de las láminas de riego sobre el peso seco g/planta de fréjol de hojas, vainas y tallos evaluado a los 100 días.

TRATAMIENTOS	PESO SECO (g/pl)		
	HOJAS	VAINAS	TALLOS
T1 Lámina 100% capacidad de campo	10.75 a	47.75 a	8.00 a
T2 Lámina 80% capacidad de campo	4.75 b	43.00 a	6.25 ab
T3 Lámina 60% capacidad de campo	1.50 c	31.50 ab	4.75 bc
T4 Lámina 40% capacidad de campo	2.75 bc	40.50 b	5.25 bc
T5 Testigo	2.25 bc	20.25 a	3.25 c

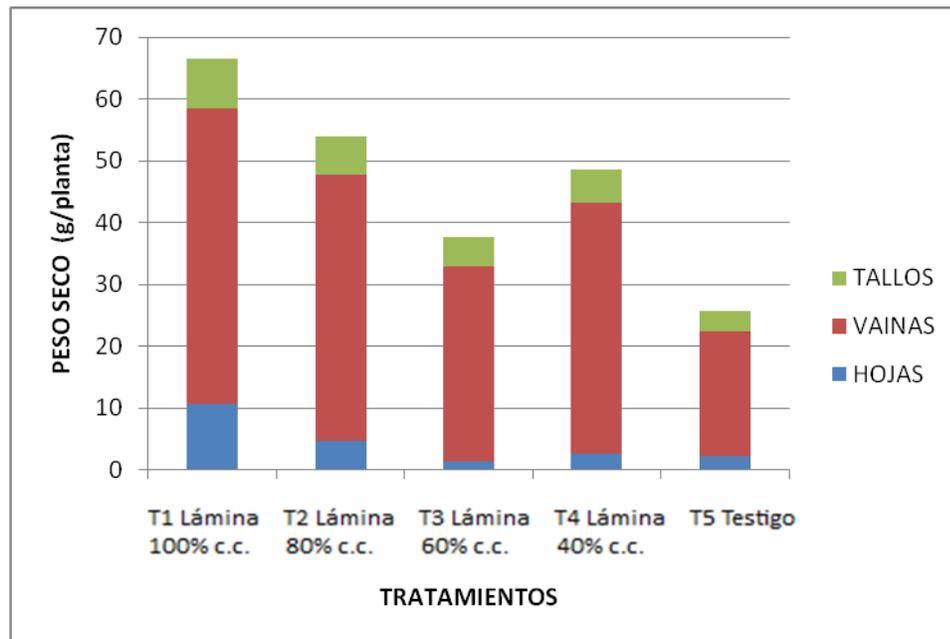


Gráfico 16. Peso seco de las hojas, vainas y tallo en g/planta a los 100 días, para cada uno de los tratamientos.

4.8 RENDIMIENTO

En el análisis de variancia del rendimiento de fréjol, no presentó diferencias estadísticas para repeticiones y tratamientos, sin embargo se detectó diferencias estadísticas al nivel del 5% al compara el testigo vs los tratamientos en que se aplicó determinadas láminas de riego, no se determinó una tendencia significativa de las láminas de agua sobre el rendimiento de fréjol en g/trat. (Cuadro 27).

El promedio general del rendimiento fue de 2650,30 g/trat., con un coeficiente de variación de 25.72%.

Cuadro 27. Análisis de variancia para el rendimiento del grano de fréjol en g/trat., de fréjol bajo cuatro láminas de riego comparado con un testigo.

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F
TOTAL	19	10098520.20		
REPETICIONES	3	326123.80	108707.93	0.23 ns
TRATAMIENTOS	(4)	4194741.70	1048685.43	2.26 ns
Test. Vs resto	1	2361906.45	2361906.45	5.08 *
Lámina lineal	1	1560728.45	1560728.45	3.36 ns
Lámina cuadrática	1	194481.00	194481.00	0.42 ns
Lámina cúbica	1	77625.80	77625.80	0.17 ns
ERROR	12	5577654.70	464804.56	
\bar{X} (g/pl)			2650.30	
CV (%)			25.72	

Todos los tratamientos con láminas de riego superaron al testigo, el cual apenas alcanzó un promedio de 1963,00 g/trat., mientras que el mayor rendimiento, se obtuvo con la lámina 2 (80% de la capacidad de campo), tendiendo a manifestar un efecto cuadrático que no fue significativo en comparación con el T1 que alcanzó un rendimiento máximo de 3099,75 g, pero a su vez tuvieron una diferencia significativa de estos dos tratamientos frente a un segundo grupo constituido por los tratamientos T3 y T4 (cuadro 28).

Cuadro 28. Efecto de las láminas de riego sobre el rendimiento de fréjol g/trat.

TRATAMIENTOS	RENDIMIENTO (g/trat)	
T1 Lámina 100% capacidad de campo	3099.75	a
T2 Lámina 80% capacidad de campo	3165.50	a
T3 Lámina 60% capacidad de campo	2699.25	ab
T4 Lámina 40% capacidad de campo	2324.00	ab
T5 Testigo	1963.00	b

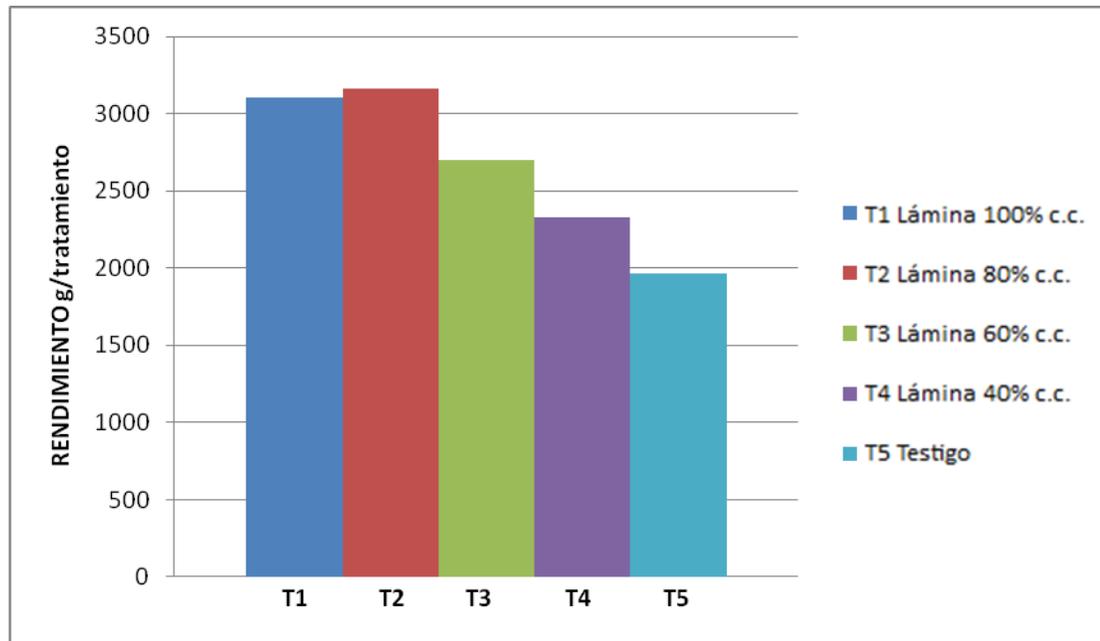


Gráfico 17. Rendimiento de fréjol en g/trat., para cada uno de los tratamientos en estudio.

Como lo menciona Jara y Valenzuela (1998), es un aspecto conocido que, todo déficit de agua, producirá una disminución en los rendimientos. Sin embargo, hay etapas o estados fenológicos en el desarrollo de un cultivo, en donde el efecto de detrimento de un estrés hídrico es mayor. Dichos estados corresponden a una fase de activo crecimiento o división celular donde, en un breve período de tiempo, ocurren grandes cambios de tamaño en algún componente de producción de la planta. Así, déficit hídricos suaves que hubiesen producido una disminución leve en el rendimiento final en otros estados fenológicos del cultivo, causan grandes detrimentos en la producción si ocurren en algún período crítico al déficit hídrico. De este modo, el resultado de numerosas investigaciones confirma que el efecto de la falta de humedad en el suelo sobre el rendimiento final de los cultivos, depende del estado fonológico de la planta al momento del déficit hídrico.

De igual manera Ontaneda (1986), manifestó que el rendimiento logrado en diferentes parcelas, con distintas láminas de riego desde las primeras fases de germinación una excelente formación de la planta como también un aumento bastante intensivo de follaje. La influencia del agua de riego que mantuvo el suelo siempre con $0,3 \text{ cm}^3$, se obtienen altos rendimientos, mientras que a un nivel de humedad alrededor de $0,15 \text{ cm}^3$ se obtienen la mitad de los rendimientos que con la humedad anterior.

4.8.1 Lámina óptima de agua de riego para el cultivo de fréjol

Para la determinación de la lámina óptima de agua de riego para el cultivo de fréjol se tomó los resultados del Cuadro 26; donde los mejores tratamientos correspondientes a los mayores valores estadísticos, tomando en cuenta su efecto en el mayor número de los resultados son los provenientes de los tratamientos T2 y T1 en ese orden (Cuadro 26), los cuales tuvieron una aplicación menor del 20% de la capacidad de campo, es decir, 80% de humedad y al 100% de la capacidad de campo respectivamente. El T2 fue el de mayor rendimiento que tuvo en la cosecha y cuya lámina sería la recomendable para el manejo del cultivo durante todo su ciclo, esto es toda la fase de desarrollo y de producción.

Estos tratamientos además de diferenciarse estadística y significativamente con los otros dos tratamientos (T3 y T4) y más notoriamente con el testigo, que correspondió

solo a darle agua cuando se observó que las plantas presentaron síntomas de marchitamiento.

De los resultados considerados para la lámina óptima, se desprende que para obtener los mayores rendimientos, es necesario que en el suelo exista una variación de almacenamiento de agua, con presencia de períodos mínimos de humedad que son necesarios para la aireación del suelo y períodos de humedad adecuada, cercano a la capacidad de campo. Esta variación en el perfil de humedad del suelo provoca mayor aprovechamiento de los nutrientes por la planta y hace que la producción se incremente, ya que facilita la disponibilidad de los nutrimentos en la solución del suelo (Basantes., 2010). Tomando en cuenta lo expuesto por Tangerino (2011) que manifestó que tanto el exceso de agua como la falta de agua, puede tener reflejos expresivos en la productividad de una cultura. Y también lo que Peralta *et al* (2007) manifiesta que el fréjol arbustivo es un cultivo preferentemente de secano, y sus principales áreas de producción son valles de la sierra.

Se realizó además una regresión cuadrática entre el porcentaje de humedad del suelo al 100% de capacidad de campo, y el agua útil hasta menos el 60% de la CC vs el rendimiento. En el análisis se consideró el déficit máximo de humedad de hasta el 60% de la capacidad de campo y el rendimiento de fréjol expresado en g/trat para las variaciones de humedad comprendidas dentro de este rango, obteniendo así la siguiente ecuación de regresión cuadrática (Grafico 17) :

$$Y = 631.65 + 52.555X - 0.2756X^2$$

En base a la ecuación de regresión cuadrática enunciada anteriormente, se determinó la derivada para luego igualarle a cero, obteniéndose el porcentaje óptimo de humedad a la capacidad de campo cuyo valor es del 95%.

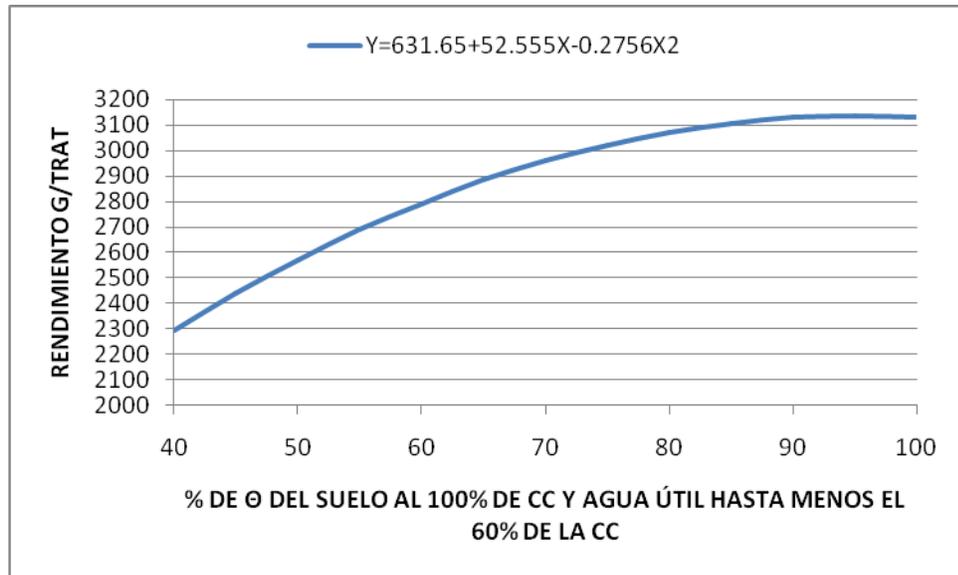


Gráfico 18. Regresión cuadrática entre las láminas de la capacidad de campo expresada en porcentaje y el rendimiento de fréjol en g/trat.

V. CONCLUSIONES

- El porcentaje de emergencia de un cultivo depende principalmente de la cantidad de humedad del suelo al momento de la siembra, además de un conjunto de factores extras como son la calidad de semilla, la experiencia del agricultor, las características agroecológicas de la zona, entre otros, todo esto contribuyó para que el porcentaje de emergencia fuese de 87,5% considerado bajo.
- El riego es fundamental para el desarrollo de la planta de fréjol pues logró un mayor peso verde y seco de las plantas en todas las evaluaciones en 20, 40, 60, 80 y 100 días después de la siembra, llegando a alcanzar un peso máximo de 240g en verde y 68g de peso seco, en comparación del testigo que tuvo un peso máximo de 120g en verde y de 27g en seco, debido a que el testigo recibió riego mínimo para evitar la muerte del cultivo.
- Todos los tratamientos, inclusive el testigo alcanzaron el máximo peso a los 80 días con un peso en verde de 240g en el T2 (80% cc y 20cbar), para luego decrecer a los 100 días donde el cultivo alcanzó un peso máximo de 160g correspondiente al T1 (100% cc y 20cbar), indicando la culminación del ciclo de desarrollo vegetativo e inicio de la etapa de senescencia y lignificación.
- En términos generales la aplicación de la lámina de riego 1 (100% cc y 20cbar) y la lámina de riego 2 (80% cc y 20cbar), fueron las que lograron un mayor

rendimiento en las variables de crecimiento y desarrollo del cultivo, en especial en la producción de materia verde y seca, que se manifestaron siguiendo la misma tendencia. Demostrando así que los tratamientos con mayor humedad en el suelo tuvieron mejor rendimiento en comparación con el testigo, el mismo que recibía riego únicamente para evitar la muerte del cultivo.

- El riego influyó directamente en el rendimiento de fréjol siendo mayor en los tratamientos con mayor humedad en el suelo especialmente en el tratamiento 2 (80% cc y 20cbar) que fue el de mayor rendimiento con 3165,5 g/trat y el tratamiento 1 (100% cc y 12cbar) cuyo rendimiento fue de 3099,75 g/trat, el cual no se diferenció estadísticamente del primero, disminuyendo paulatinamente pasando por el agua útil suministrada al cultivo de fréjol.
- La lámina óptima de agua de riego para la producción de fréjol correspondió a la Lámina 2, que se refiere al 80% de la capacidad de campo, demostrando de esta manera que el fréjol necesita un porcentaje de aireación en el suelo a fin de evitar la asfixia radicular la cual incide en las pérdidas de rendimiento.
- La correcta dosificación del agua de riego y contar con una fuente constante de agua es la clave para obtener los mayores beneficios de un cultivo, además de realizar las labores culturales correctas y realizar un control fitosanitario efectivo.

- El rendimiento promedio por hectárea fue de 2913 Kg. Correspondiente a una densidad de plantas de 7666/ha, sembrando a una distancia de 40cm entre planta y 60 cm entre surcos y un porcentaje de germinación del 92%.

VI. RECOMENDACIONES

- Es recomendable tener un protocolo de manejo con todos los requerimientos del cultivo, referentes a irrigación, fertilización, deshierba y demás labores culturales, oportunas para obtener los mayores rendimientos, además de esto se debe tomar en cuenta la rotación de los productos fitosanitarios y aplicaciones foliares a utilizar, para lo cual es muy importante llevar registros y cronogramas de todas las actividades.
- Mantener una fuente constante de agua de riego (reservorio), es importante con el fin de proveer del líquido vital al cultivo en épocas de verano, en donde el mismo afecta de manera directa al cultivo y si no se tiene el agua de riego suficiente para los cultivos se pueden ocasionar graves pérdidas económicas.
- Manejar el riego de manera oportuna en épocas de floración y en el llenado de la vaina del cultivo de fréjol, que son las épocas críticas para obtener un buen rendimiento.
- Calibrar, instalar y utilizar los tensiómetros de la mejor manera, verificándolos diariamente de manera adecuada para mantenerlos en perfecta funcionalidad y obtener datos reales y confiables de la humedad presente en el suelo y de esta manera aportar el agua justa y necesaria a los cultivos que se estén produciendo.

VII. RESUMEN

El conocimiento y empleo de técnicas para aprovechar al máximo de recursos hídricos en la actualidad, representan un mayor rendimiento en la producción y productividad de los cultivos como es el caso del fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.), además de la optimización del agua de riego. La necesidad actual de no desperdiciar recursos cada vez más escasos nos lleva a buscar métodos para optimizar los recursos requeridos, para aprovecharlos de manera más efectiva y económica.

Una alternativa que se presenta como viable y necesaria es el establecimiento de láminas de riego óptimas para diferentes cultivos y zonas de nuestro país; para de esta manera no desperdiciar agua y no afectar a los cultivos con riegos excesivos o deficientes, que a la larga puede verse reflejado en la economía del agricultor y en problemas medio ambientales.

Por lo anterior expuesto se realizaron evaluaciones de diferentes láminas de riego en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.), para determinar cuál es la lámina óptima para el cultivo que permite obtener los mayores rendimientos y menor costo. Lo mismo que correspondió a la lámina que tuvo un contenido de humedad de menos el 20% de la capacidad de campo, lo cual puede ser extensivo para suelos similares del sector de Guayllabamba. Con esta lámina establecida se puede obtener mejores rendimientos sin causar irrigaciones excesivas o deficientes.

Finalmente, el presente estudio servirá de base técnico-científica para otorgarles a los productores de fréjol de la zona, una guía para la correcta utilización del agua y la obtención de mejores rendimientos del cultivo mencionado.

VIII. SUMMARY

The knowledge and use of techniques to maximize water resources at present, represent a higher production yield and productivity of crops as is the case of beans (*Phaseolus vulgaris* L.), besides the optimization of irrigation water . The current need not waste increasingly scarce resources leads us to seek ways to optimize the resources required to use them more effectively and economically.

An alternative that is presented as viable and necessary is the establishment of optimum irrigation depths for different crops and areas of our country in this way not to waste water and do not affect crops excessive or deficient irrigation, which can eventually be reflected in the economy of the farmer and environmental problems.

Therefore exposure assessments were conducted in different water depths in the cultivation of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to determine the optimal growth plate for obtaining higher yields and lower cost. The same which corresponded to the sheet which had a moisture content of less than 20% of the field capacity, which can be extended such floor Guayllabamba sector. With this blade set can get better returns without causing excessive or deficient irrigation

Finally, this study will provide technical and scientific basis for granting to producers of beans in the area, a guide for proper use of water and produce better crop yields mentioned.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Basantes E. 2010. Producción y Fisiología de los Cultivos “Con Énfasis en la Fertilidad del Suelo”. Imprenta La Unión. Quito-Ecuador.
- Basantes E. y Ruíz W. 1984. Dinámica del agua por moderación de neutrones en un suelo cultivo con maíz (*Zea maíz*). Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Central del Ecuador.
- Beláustegui, Sebastián. 2010. “Determinación de la lámina a aplicar en el riego discontinuo”. Hoja técnica número 6. San Fernando – Buenos Aires – Argentina. Consultado el 7 de febrero del 2012. Disponible en http://pyrargentina.com.ar/files/hojas_tecnicas/20101001112421_Hoja_Tecnica_N_6_rev.pdf
- Cevallos J. 1975. “El Agua como Mejora Agrícola”. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Central del Ecuador.
- Castañón G. 2000. Ingeniería del Riego “Utilización Racional del Agua”. Thomson Editores Spain. Madrid-España.
- Dorronsoro C. 2010. Introducción a la Edafología. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. España. Consultado el 23 de

Noviembre del 2011. Disponible en:
<http://edafología.ugr.es/introeda/tema04/otraspp.htm>.

- Forsythe W. 1975. Física de Suelos. IICA. LME. No. 25.
- Fueyo M. 1998. Manejo del Riego con Tensiómetros. Tecnología Agroalimentaria. CIATA. Edición especial. Consultado el 27 de Febrero del 2012. Disponible en
<http://ria.asturias.es/RIA/bitstream/123456789/308/1/riego.pdf>
- Fuentes J. 2003. Técnicas de Riego. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-España.
- INTA. EEA. Bordenave. Suelos: Dinámica del agua. Consultado el 23 de noviembre del 2011. Disponible en: www.inta.gov.ar/bordenave/sms/mje3.pdf
- Jara J., Valenzuela A. 1998. Necesidades de Agua de los Cultivos "Desarrollo de Sistemas de Riego en el Secano Interior y Costero. Componente Nacional: Capacitación y Difusión de Tecnologías de Riego". Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería. Departamento de Riegos y Drenaje. Agrícola Consultado el 16 de noviembre del 2011. Disponible en
<http://www.fotosintese.net/esp/manejo.html>
- López M., Fernández F. y Schoonhoven A. 1985. Frijól: Investigación y Producción. PNUD/CIAT.

- Micucci F., Taboada M., Gil R. El agua en la producción de cultivos extensivos. INPOFOS Cono sur, Cátedra de Fertilidad de Suelos, FAUBA, INTA Castelar. Consultado el 23 de noviembre del 2011. Disponible en: [www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/.../\\$FILE/Agua-Fmicucci.doc](http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/.../$FILE/Agua-Fmicucci.doc)
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. 1991. Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. Consultado el 3 de Marzo del 2010. Disponible en: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec_frijol.pdf
- Mora E. 1993. Memorias del Curso sobre Cultivo, Fomento y Cosecha de Fréjol (*PhaseolusvulgarisL.*). Cañar – Ecuador.
- Ontaneda M. 1986. “Cálculo de la Lámina Óptima de Agua de Riego por Surcos en Papa en la Hacienda La Tola – Tumbaco. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Central del Ecuador.
- Peralta E., Murillo A., Mazón N., Falconi E., Monar C., Pinzón J., y Rivera M. 2007. Manual Agrícola de Fréjol y otras leguminosas. Cultivos, variedades y costos de producción. Publicación Miselánea No. 135. Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito, Ecuador.

- Pinto J. 2000. Riego por Gravedad. Consultado el 6 de marzo del 2010. Disponible en: <http://www.scribd.com/doc/22188868/Riego-Por-Gravedad>.
- Quiroga A., Furano D., Ormeño O. Aspectos del manejo del agua del suelo para el cultivo de trigo. Consultado el 23 de noviembre del 2011. Disponible en: www.inta.gov.ar/anguil/info/pdfs/boletines/bol76/cap4.pdf
- Rodríguez F. 1982. Riego por Goteo. AGT Editor. Impreso y hecho en México.
- Tangerino F. 2010. Dinámica de Agua. Manejo de la Irrigación. UNESP-Ilha Solteira. Consultado el 16 de noviembre del 2011. Disponible en http://www.fotossintese.net/esp/manejo_esp.html