



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONOMÍA

“DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HIDRICOS PARA EL CULTIVO DE FRÈJOL (*Phaseolusvulgaris*) Var. Calima EN BASE AL TANQUE DE EVAPORACION TIPO A, Y FÒRMULAS EMPIRICAS(FAO), EN MACAJI, CANTON RIOBAMBA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.”.

TRABAJO DE TITULACIÓN

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA TITULACIÓN DE GRADO

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO

JUAN DIEGO GAIBOR ROJAS

Riobamba – Ecuador

2019

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES****ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA****CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: **“DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HIDRICOS PARA EL CULTIVO DE FRÈJOL (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima EN BASE AL TANQUE DE EVAPORACION TIPO A, Y FÒRMULAS EMPIRICAS (FAO), EN MACAJI, CANTON RIOBAMBA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.”** .De responsabilidad del autor **Juan Diego Galbar Rojas** ha sido **profesionalmente revisada quedando autorizada su presentación.**

TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Juan Eduardo Leon Ruiz Ph.D

DIRECTOR



Ing. Victor Lindao Ph.D

ASESOR

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Yo, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados de los mismos son auténticos y originales. Los textos constantes y el documento que provienen de otro fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación

Riobamba, 15 de Enero del 2019


Juan Diego Gaibor Rojas

060423912-9

DEDICATORIA

El deseo del alma le cumpliste.

Salmos 20,3

AGRADECIMIENTO

A Dios motor de mi vida, y familia.

También a un gran amigo que siempre ha estado apoyándome y aconsejando el Ing. Juan León Ruiz. Ph.D.

TABLA DE CONTENIDOS

LISTA DE TABLAS	xii
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE ANEXOS	xv

CONTENIDOS

I. “DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HIDRICOS PARA EL CULTIVO DE FRÈJOL (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima EN BASE AL TANQUE DE EVAPORACION TIPO A, Y FÒRMULAS EMPIRICAS (FAO), EN MACAJI, CANTON RIOBAMBA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.”	1
II. INTRODUCCIÓN	1
A. JUSTIFICACIÓN	2
B. OBJETIVOS	5
1. Objetivo general	5
2. Objetivos específicos	5
C. HIPÓTESIS	5
1. Nula	5
2. Alternante	5
III. REVISION BIBLIOGRÁFICA	6
A. MARCO CONCEPTUAL	6
1. Riego	6
2. Precipitación	6
3. Velocidad del viento	6
4. Humedad Relativa	7
5. Evaporación	7
6. Transpiración	7
7. Evapotranspiración	7
B. MARCO TEÓRICO	8

1.	Importancia Del Agua.....	8
2.	Agua en el Suelo	9
3.	Evapotranspiración.....	14
4.	Requerimiento Hídrico.....	21
5.	Metodologías para determinar los requerimientos hídricos en los cultivos.....	22
6.	Cultivo De Frejol.....	25
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	32
A.	MATERIALES.....	32
3.	Material biológico	32
4.	Materiales de campo	32
5.	Material de oficina	32
B.	ESPECIFICACIONES DEL CAMPO EXPERIMENTAL.....	33
1.	Ubicación	33
2.	Clasificación Ecológica.....	34
C.	MÉTODOS	34
1.	Determinación de los parámetros hídricos en el suelo.....	34
2.	Riego inicial para llegar a Capacidad de Campo (Método gravimétrico).....	35
3.	Método de tensiómetros	36
4.	Evapotranspiración de referencia (Eto).....	37
5.	Evapotranspiración del cultivo (Etc).....	38
6.	Coeficiente del cultivo (Kc).....	38
7.	Coeficiente del cultivo (Kc) ajustado para lisímetría.....	38
D.	ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO	39
1.	Instalación y operación del Lisímetro	39
2.	Operación del Tanque Evaporímetro Tipo A.....	41
3.	Operación de la Estación Meteorológica Portátil.....	41
4.	Especificaciones de la parcela experimental	41
5.	Ensayo	42
6.	Diseño Experimental.....	43
E.	VARIABLES Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN	44

1.	Días a la emergencia.....	44
2.	Días a la floración.....	44
3.	Días al envainado.....	44
4.	Días a la cosecha en verde.....	44
5.	Altura de la planta.....	44
6.	Contenido relativo de agua.....	45
7.	Número de vainas por planta.....	45
8.	Peso total de las vainas.....	46
9.	Rendimiento parcela neta.....	46
10.	Materia seca.....	46
11.	Huella Hídrica.....	46
12.	Análisis económico.....	47
F.	MANEJO AGRONÓMICO DEL ENSAYO.....	47
1.	Preparación del suelo.....	47
2.	Trazado de la parcela.....	47
3.	Labores culturales.....	47
V.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	49
A.	CONDICIONES CLIMÁTICAS.....	49
1.	Precipitación efectiva.....	49
2.	Humedad relativa y velocidad del viento.....	50
B.	IDENTIFICACIÓN Y DURACIÓN DE LAS ETAPAS FENOLÓGICAS DEL CICLO DEL CULTIVO DE FREJOL (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima.....	51
1.	Etapa inicial.....	51
2.	Etapa De Desarrollo.....	52
3.	Etapa Intermedia.....	54
4.	Etapa Final.....	56
5.	Duración total del ciclo hasta la cosecha en verde.....	58
C.	COEFICIENTE DE CULTIVO (KC) Y KC AJUSTADO DEL CULTIVO DE FREJOL (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima.....	60

1.	Coefficiente de cultivo (kc) del cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima según las fórmulas empíricas de la FAO bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2017	60
2.	Ajuste del coeficiente de cultivo (kc) del cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima en base a la lisimetria bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2017	62
3.	Ajuste del coeficiente de cultivo (kc) del cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima en base al Tanque De Evaporación Tipo A bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2017	65
D.	REQUERIMIENTOS HÍDRICOS Y LÁMINAS DE RIEGO DEL CULTIVO DE FREJOL (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima	68
1.	Etapa inicial.....	68
2.	Etapa De Desarrollo	69
3.	Etapa Intermedia	71
4.	Etapa Final	73
5.	Requerimientos hídricos y láminas de riego totales.....	75
E.	ALTURA DE LA PLANTA (cm.)	77
1.	Altura de la planta a los 30 DDS.....	77
2.	Altura de la planta a los 45 DDS.....	78
3.	Altura de la planta a los 60 DDS.....	80
4.	Altura de la planta a los 70 DDS.....	82
F.	CONTENIDO RELATIVO DE AGUA (WRC)	84
1.	Contenido Relativo De Agua (WRC) en vainas	84
2.	Contenido Relativo De Agua WRC en hojas	86
G.	NÚMERO DE PLANTAS EN LA PARCELA NETA	86
H.	NÚMERO DE VAINAS POR PLANTA	87
I.	RENDIMIENTO (Kg)	89
1.	Rendimiento por parcela neta.....	89
2.	Rendimiento total en kilogramos por hectárea (Kg/ha)	91
J.	MATERIA SECA (%)	93
1.	Materia seca en hojas (%)	93

2.	Materia seca en vainas (%)	94
K.	HUELLA HÍDRICA.....	96
L.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	97
VI.	CONCLUSIONES.	98
VII.	RECOMENDACIONES.	99
VIII.	RESUMEN	100
IX.	ABSTRACT	101
X.	BIBLIOGRAFÍA.	102
XI.	ANEXOS	109

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Porcentajes de humedad para los diferentes tipos de suelos.....	12
Tabla 2. Interpretación de las lecturas de los tensiómetros	13
Tabla 3. Referencia de tensión de la humedad en el suelo marcada en tensiómetros.	14
Tabla 4. Coeficientes del tanque evaporímetro (Kp) para el tanque Clase A para diversas localidades y ambientes de los tanques y varios valores de velocidad media de viento y de humedad relativa.....	24
Tabla 5. Absorción de nutrimentos kg/ha del cultivo de fréjol.	31
Tabla 6. Datos de ubicación.....	33
Tabla 7. Características Del Campo Experimental	42
Tabla 8. Esquema de análisis de varianza (ADEVA).....	43
Tabla 9. Duración de la etapa inicial en el ciclo de cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima para cada tratamiento	51
Tabla 10. Duración de la etapa de desarrollo en el ciclo de cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima para cada tratamiento	53
Tabla 11. Duración de la etapa intermedia en el ciclo de cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima para cada tratamiento	54
Tabla 12. Duración de la etapa final en el ciclo de cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima para cada tratamiento	56
Tabla 13. Duración total del ciclo de cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima para cada tratamiento.....	58
Tabla 14. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa inicial	68
Tabla 15. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa de desarrollo	70
Tabla 16. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa intermedia.....	71
Tabla 17. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa final.....	73
Tabla 18. Requerimiento hídrico y lámina de riego total aplicada en el ciclo de cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima hasta la cosecha en verde	75
Tabla 19. El análisis de varianza para la altura de la planta a los 30 DDS.....	77
Tabla 20. Análisis de varianza para la altura de la planta a los 45 DDS	78
Tabla 21. Prueba de Tukey al 5% para la altura de la planta a los 45 DDS.	78
Tabla 22. Análisis de varianza para la altura de la planta a los 60 DDS	80
Tabla 23. Prueba de Tukey al 5% para la altura de la planta a los 60 DDS	80
Tabla 24. Análisis de varianza para la altura de la planta a los 70 DDS	82

Tabla 25. Prueba de Tukey al 5% para la altura de la planta a los 70 DDS	82
Tabla 26. Análisis de varianza para Contenido Relativo De Agua (WRC) en vainas.....	84
Tabla 27. Prueba de Tukey al 5% para Contenido Relativo De Agua (WRC) en vainas.....	84
Tabla 28. Análisis de varianza para Contenido Relativo De Agua (WRC) en hojas	86
Tabla 29. Análisis de varianza para el número de plantas en la parcela.....	86
Tabla 30. Análisis de varianza para el número de plantas en la parcela.....	87
Tabla 31. Prueba de Tukey al 5% para el número de vainas por planta.....	87
Tabla 32. Análisis de varianza para rendimiento por parcela neta	89
Tabla 33. Prueba de Tukey al 5% para rendimiento por parcela neta	89
Tabla 34. Análisis de varianza para rendimiento por hectárea	91
Tabla 35. Prueba de Tukey al 5% para rendimiento por hectárea	91
Tabla 36. Análisis de varianza para % de Materia seca en hojas	93
Tabla 37. Análisis de varianza para % de Materia seca en vainas.....	94
Tabla 38. Prueba de Tukey al 5% para % de Materia seca en vainas.....	94
Tabla 39. Análisis de varianza para Huella Hídrica	96
Tabla 40. Prueba de Tukey al 5% para Huella Hídrica	96
Tabla 41. Relación beneficio costo.....	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitación durante el ciclo de en el cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima.....	49
Figura 2. Humedad relativa y velocidad del viento.....	50
Figura 3. Duración de la etapa inicial en el ciclo de cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima para cada tratamiento.....	52
Figura 4. Duración de la etapa de desarrollo en el ciclo de cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima para cada tratamiento.....	53
Figura 5. Duración de la etapa intermedia en el ciclo de cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima para cada tratamiento.....	55
Figura 6. Duración de la etapa final en el ciclo de cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima para cada tratamiento.....	57
Figura 7. Duración total del ciclo de cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima para cada tratamiento.....	59
Figura 8. Desarrollo cultivo.....	60
Figura 9. Coeficiente de cultivo (Kc) ajustado por etapa fenológica del cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima determinado por Hargraves.....	61
Figura 10. Desarrollo cultivo según lisímetro.....	62
Figura 11. Coeficiente de cultivo (Kc) ajustado por etapa fenológica del cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima determinado por Lisímetria.....	63
Figura 12. Coeficiente de cultivo (kc) ajustado del cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima determinado por el método del Tanque De Evaporación Tipo A.....	65
Figura 13. Coeficiente de cultivo (kc) ajustado del cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima determinado por el Tratamiento 2 (Tanque Evaporación Tipo A) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2017.....	66
Figura 14. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa inicial.....	69
Figura 15. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa de desarrollo.....	70
Figura 16. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa intermedia.....	72
Figura 17. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa final.....	74
Figura 18. Requerimiento hídrico y lámina de riego total aplicada en el ciclo de cultivo de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Var. Calima hasta la cosecha en verde.....	76
Figura 19. Altura de la planta a los 45 DDS.....	79

Figura 20. Altura de la planta a los 60 DDS.....	81
Figura 21. Altura de la planta a los 70 DDS.....	83
Figura 22. Contenido Relativo De Agua (WRC) en vainas.....	85
Figura 23. Número de vainas por planta.....	88
Figura 24. Rendimiento por parcela neta.....	90
Figura 25. Rendimiento por hectárea.....	92
Figura 26. % de Materia seca en vainas.....	95

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Esquema de la distribución del ensayo ESPOCH – CAMPUS MACAJÍ.....	109
Anexo 2. Altura de la planta a los 30 DDS.....	110
Anexo 3. Altura de la planta a los 45 DDS.....	110
Anexo 4. Altura de la planta a los 60 DDS.....	111
Anexo 5. Altura de la planta a los 70 DDS.....	111
Anexo 6. Contenido Relativo De Agua (WRC) en vainas	112
Anexo 7. Contenido Relativo De Agua (WRC) en hojas	112
Anexo 8. Número de plantas por planta	113
Anexo 9. Rendimiento por parcela neta.....	113
Anexo 10. Rendimiento por hectaria.	114
Anexo 11. % de Materia seca en hojas	114
Anexo 12. % de Materia seca en vainas	115
Anexo 13. Huella Hídrica	115

I. **“DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HIDRICOS PARA EL CULTIVO DE FRÉJOL (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima EN BASE AL TANQUE DE EVAPORACION TIPO A, Y FÒRMULAS EMPIRICAS (FAO), EN MACAJI, CANTON RIOBAMBA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.”**

II. **INTRODUCCIÓN**

FAO (2002), menciona que el agua es un recurso escaso y de gran valor que está estrechamente relacionado con la seguridad alimentaria, y en la actualidad es malgastada sin control en regadíos ineficaces por lo que se deberá aplicar medidas y/o tecnologías para su conservación, uso eficiente y racional, de forma planificada, para evitar pérdidas de este recurso.

La escases del recurso hídrico y un creciente cambio climático afecta la productividad agrícola, por tal razón uno de los retos de la humanidad es como utilizar eficientemente el agua para el abastecimiento principalmente de la agricultura. (AGRO-BIO, 2009).

Para evaluar la eficiencia en el uso del agua para riego, es necesario conocer el volumen de agua que consumen las plantas en el proceso evapotranspiración y la cantidad de precipitación o de agua proveniente de un riego que puede ser aprovechada en dicho proceso. Estimar estos componentes es muy difícil, debido a la cantidad de factores del clima, del suelo y de las plantas que influyen (Palacios, 2014).

Según Doorembos y Pruit, los Coeficientes de cultivo (K_c) es el que relaciona la evapotranspiración del cultivo (E_{Tc}), con la evapotranspiración de referencia (E_{To}), y representa la evapotranspiración del cultivo en condiciones óptimas de crecimiento vegetativo y los coeficientes de cultivo (K_c), varían con el desarrollo vegetativo de la planta, clima y sistema de riego; dichos valores se deben obtener para cada región y para cada sistema de riego.

A. JUSTIFICACIÓN

El riego constituye una de las actividades más importantes dentro del sector agrícola donde las lluvias no pueden suplir las demandas de agua de los cultivos, principalmente en lo que se refiere a la producción fundamental, a la dinámica del sector relacionado con ella y al empleo generado. (Roque, 2015)

Según el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP) de las Naciones Unidas (2006) las extracciones de agua para riego han aumentado en más del 60% desde 1960 y el 70% aproximadamente de toda el agua dulce disponible se utiliza para riego en la agricultura. Sin embargo, debido a los ineficaces sistemas de riego, particularmente en los países en desarrollo, el 60% de esa agua se pierde al evaporarse o vuelve a los ríos o los acuíferos subterráneos.

Se ha estimado a nivel mundial que la demanda por agua para uso agrícola se verá incrementada entre un 15% y un 20%, en los próximos 25 años, para mantener la seguridad alimentaria y reducir el hambre y la pobreza de una población mundial creciente. Por otra parte, los estudios ambientales señalan que el uso de agua deberá ser reducido por lo menos en un 10% durante el mismo período para proteger ríos, lagos y humedales de los cuales dependen millones de personas para su subsistencia y para satisfacer las crecientes demandas de la ciudad y la industria. De este modo, las sociedades de todo el mundo se enfrentan al conflicto emergente derivado de la gestión de los recursos hídricos. (Olmo, 2003)

La escasez de agua producida por el cambio climático, sumado a una creciente demanda de agua para riego, para la industria, para la producción de energía hidroeléctrica y para otros usos por parte del hombre, exacerbará la competencia por este recurso entre los diversos sectores de la región. La disminución de los niveles de aguas subterráneas y los costos crecientes de energía que demanda su extracción producirán un aumento en los costos de la actividad agropecuaria. Los Glaciares de la zona andina de Argentina, Bolivia, Chile,

Colombia, Ecuador y Perú han perdido el 20 por ciento de su volumen, lo que afectará el suministro de agua y energía en América del Sur. (Ortiz, 2012.)

En cuanto al riego, es el uso que más agua demanda a nivel mundial, bordeando el 80% del agua destinada a todos los usos; el 25% de los recursos que son factibles de utilizar y el 9% del total de recursos hídricos. El riego contribuye con casi el 40% de la producción total de alimentos, aun cuando solamente el 17% de la tierra cultivada tiene acceso al riego, a nivel mundial. (MAGAP, 2011.)

Bustamante (2012), señala que bajo condiciones más secas y calientes proyectadas por efecto del cambio climático, la agricultura tendrá el reto de incrementar o mantener la producción actual con menos agua a través de acciones de adaptación, aplicando técnicas y sistemas que permitan mayor eficiencia en el uso del agua; para ahorrar agua se requiere conocer primero el uso que se le dará en una zona de riego con la finalidad de: satisfacer las necesidades variables de transpiración de la planta en su ciclo; suministrar la evaporación del agua del suelo; compensar las pérdidas de agua desde la fuente hasta la zona radicular y compensar la variabilidad en la aplicación del riego, las propiedades del suelo, cultivo y ambiente.

El Ministerio del Ambiente (MAE), señala que los estudios preliminares de carácter nacional realizados sobre la temática (Primera Comunicación Nacional del Ecuador en 2001), muestran que entre los riesgos asociados al cambio del clima, que podrían incrementarse de manera crítica con el transcurso del tiempo, está la afectación a la disponibilidad de agua, especialmente en la serranía ecuatoriana.

La gestión eficiente depende de la movilización de recursos, ajustado a las necesidades y disponibilidades y por la aplicación del agua al cultivo con los medios técnicos que proporcionen el máximo ahorro; por lo que, se debe conocer las necesidades ajustadas de agua de los cultivos a lo largo de su ciclo productivo.

Por lo mencionado anteriormente se considera necesario el desarrollo de nuevas tecnologías que permita enfrentar los problemas relacionados a la eficiencia en el uso del agua de riego.

Es por esto que uno de los objetivos del Centro Experimental del Riego implementado en la Facultad de Recursos Naturales-ESPOCH es determinar los requerimientos hídricos de los cultivos para lo cual se desarrollará esta investigación.

B. OBJETIVOS

1. Objetivo general

Determinar los requerimientos hídricos en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima. en base a lisimetria, tanque de evaporación tipo A, fórmulas empíricas.

2. Objetivos específicos

- a. Definir las etapas del desarrollo de cultivo.
- b. Ajustar el kc para el cultivo de fréjol.
- c. Determinar la huella hídrica para el cultivo de fréjol.
- d. Realizar análisis económico de los tratamientos

C. HIPÓTESIS

1. Nula

Las diferentes láminas y frecuencias de riego aplicadas no influyen en el rendimiento en el cultivo de Fréjol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima

2. Alternante

Al menos una de las láminas y frecuencia de riego aplicadas permite obtener un mejor rendimiento en el cultivo de Fréjol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima

III. REVISION BIBLIOGRÁFICA

A. MARCO CONCEPTUAL

Riego

Aplicación eficiente y oportuna de láminas de agua requeridas para el normal desarrollo de los cultivos, con diferentes emisores o elementos que ayudan a entregar el agua, de acuerdo a determinadas condiciones de operación. (Cruz. 2015)

Precipitación

La precipitación es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra. Ocurre cuando la atmósfera (que es una gran solución gaseosa) se satura con el vapor de agua, y el agua se condensa y cae de la solución (es decir, precipita). (Pérez. 2015)

Velocidad del viento

La velocidad del viento mide la componente horizontal del desplazamiento del aire en un punto y en un instante determinados. Se mide mediante un anemómetro, y la unidad de medida es habitualmente metros por segundo (m/s). (Pérez, 2015)

Humedad Relativa

La humedad relativa es la cantidad de humedad en el aire, comparado con la que el aire puede mantener a esa temperatura. (Olmo, 2015)

Evaporación

Es la acción y efecto de evaporar o evaporarse, que consiste en el proceso físico mediante el cual una sustancia líquida pasa lenta y gradualmente al estado de vapor (Cruz. 2015)

Transpiración

Es la pérdida de agua desde los órganos aéreos en forma de vapor, es una consecuencia natural de las características anatómicas fundamentales de las plantas. (Cruz. 2015)

Evapotranspiración

Según Cruz (2015), manifiesta que la evapotranspiración es el conjunto de las pérdidas de agua en forma de vapor que pasan a la atmósfera y que son la suma de la transpiración de las plantas y de la evaporación del agua de la superficie del suelo.

B. MARCO TEÓRICO

1. Importancia Del Agua

O'meara (2012), realiza la importancia del agua siendo este uno de los recursos naturales fundamentales para la vida vegetal y uno de los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo, junto con el aire, la tierra y la energía.

INIA (2013), es fundamental la eficiente aplicación del agua debido a que es un recurso escaso que generalmente no alcanza para regar toda la superficie que desea el agricultor o para no generar problemas en los sectores o predios que se encuentran en posiciones más bajas

INIA, (2013) señala que la cantidad aprovechable de este elemento por el cultivo será variable y dependerá de los factores meteorológicos y del suelo.

A todo esto Fernandez, (2010), añaden que el agua es el recurso más importante; ya que todo ser vivo dependen de ella; pero las aguas dulces existentes, que pueden usarse de forma económicamente viable y sin generar grandes impactos negativos en el ambiente, son menores al 1% del agua total del planeta. Por otro lado, el crecimiento demográfico, el aumento de los regímenes de demanda y la contaminación del líquido han mermado el volumen per cápita disponible. Esta disminución de consumo de agua obliga a la sociedad, para la protección de los patrones de vida, aplicar criterios de conservación y de uso sustentable del agua.

2. Agua en el Suelo

Hurtado (2002), afirma que las plantas requieren un suministro constante de agua a través del suelo.

Rodolfo & Almazan, (2003) El contenido de agua en el suelo tiene un efecto principal sobre la disponibilidad de agua para el crecimiento vegetal. El agua tiene cuatro funciones fundamentales en las plantas: es el mayor constituyente del protoplasma (85 a 95%), es esencial para la fotosíntesis y la conversión de almidones en azúcar, es el solvente en el cual los nutrientes se mueven en y a través de las partes de la planta y provee de turgidez a la planta para mantenerla en la forma y posición apropiada.

a. Clasificación del agua en el suelo

El suelo es un "reservorio" que contiene cierta cantidad de agua, de la cual sólo una parte está disponible para las plantas. Esta capacidad se encuentra limitada por el agua retenida entre los niveles de humedad denominados capacidad de campo (CC) y punto de marchites permanente (PMP) (Hurtado, 2002).

1) Saturación (S)

Fuente (2006), define el termino Saturación como el grado en el cual todos sus poros están llenos de agua, si se permite que un suelo saturado drene libremente, el contenido de agua comienza a descender vaciándose primero los poros más grandes, que son ocupados por aire. El agua así eliminada se denomina agua libre o gravitacional; no es retenida por el suelo.

2) Capacidad de campo (CC)

Jara, J. Valenzuela, A. (1998), señalan como capacidad de campo el límite superior o máximo de agua útil para la planta que queda retenida en el suelo contra la fuerza de gravedad.

Hurtado. (2002), manifiesta que CC es la máxima cantidad de agua retenida por un suelo con buen drenaje, los poros pequeños (micro poros) retienen el agua contra la fuerza de gravedad, pero con una energía que es fácilmente superada por la fuerza de succión de las raíces.

La capacidad de campo se alcanza cuando la tensión del agua en el suelo es de aproximadamente 0.3 bars (30 centibars ó 3 m de columna de agua) en suelos arcillosos o de 0.1 bars en suelos de textura media (Hidalgo, 2008).

3) Punto de marchites permanente (PMP)

Hidalgo (2008), explican que el PMP es el contenido de humedad del suelo al cual las plantas no logran extraer agua para compensar sus necesidades de transpiración, manifestándose síntomas de marchitamiento, caída de hojas, escaso desarrollo.

Este punto se logra cuando la tensión del agua en el suelo alcanza entre 10 y 20 bars (Enciso, 2005).

Hurtado (2002), manifiesta que la CC y PMP permiten establecerla cantidad de agua del suelo aprovechable para las plantas, la cual depende básicamente de dos factores:

- La capacidad de retención del agua por unidad de volumen del suelo.
- La profundidad de suelo que alcancen las raíces de las plantas.

4) Agua útil

Fuente (2006), comenta que agua útil es la cantidad de agua comprendida entre los valores de capacidad de campo (0.33 bares) y punto de marchitez permanente (15 bares) y comprende la humedad del suelo que puede ser utilizada por los cultivos.

a. Medición de agua en el suelo

Según Ekanayake (1994), la medición de agua en el suelo es importante dentro de un sistema suelo-planta – atmósfera, destacando varios métodos que son:

- Contenido gravimétrico de agua en el suelo.
- Potencial mátrico del suelo.

1) Contenido gravimétrico de agua en el suelo.

Leòn. (2012), afirma que para determinar el contenido gravimétrico de agua en el suelo se debe tomar muestras de suelo a diferentes profundidades empleando un tubo de extracción de muestras de suelo. Por lo general se toman muestras de los siguientes perfiles: 0-15 cm, 15-30 cm, 30-45cm y 45-60cm. En algunos suelos puede ser deseable tomar muestras a profundidades de 90 cm, en función del grado de pérdidas por percolación profunda y escorrentía, y de las características del perfil del suelo.

El contenido de agua del suelo (por peso) se calcula de la siguiente manera (Ekanayake, 1994):

$$\text{Contenido de agua del suelo}(\%) = \left[\frac{(PF - PS)}{PS} \right] \times 100$$

Tabla 1. Porcentajes de humedad para los diferentes tipos de suelos

TEXTURA	CC	PMP	HD
Arenoso	9%	2%	7%
Franco arenoso	14%	4%	10%
Franco	34%	12%	22%
Arcilloso	38%	34%	14%

Fuente: León 2012

2) **Potencial mátrico del suelo (PMS)**

Puede medirse empleando varios instrumentos, destacando:

a) **Tensiómetros:**

Fuente (2006), indica que los tensiómetros son recipientes porosos llenos de agua acoplados a un manómetro de válvula al vacío.

Ekanayake (1994), dice que el suelo ejerce una fuerza de succión contra el agua contenida en el recipiente. Mientras más seco esté el suelo, mayor será la fuerza. La fuerza de succión o potencial mátrico del suelo puede leerse directamente en el tensiómetro en unidades de presión (bares o pascales).

Ekanayake (1994), los tensiómetros se colocan a diferentes profundidades en el perfil de suelo, preferible adyacentes unos con otros, en el caso del cultivo de papas se ha colocado a

profundidades de 15, 30 y 45 cm, las lecturas de PMS pueden realizarse de manera continua a lo largo de toda la temporada

Tabla 2. Interpretación de las lecturas de los tensiómetros

Lectura centibares	Estado	Explicación / Acción
0	Saturado	Estado de saturación para cualquier tipo de suelo, si la lectura persiste indica problemas de drenaje fuerte y aireación pobre.
5-10	Exceso	Exceso de humedad para el desarrollo de la planta, es indicador de que el drenaje continúa.
10-20	Capacidad de Campo	Lecturas en este rango indican que existe suficiente humedad y aire en el suelo para un crecimiento saludable de las plantas en cualquier tipo de suelo.
20-30	Rango de inicio del riego	Buena humedad y aireación en general; necesidad de riego en suelos de textura arenosa. El riego debe iniciarse en suelos de arena gruesa.
30-40	Rango de inicio del riego	Buena humedad y aireación en general; necesidad de riego en suelos de textura arenosa. El riego debe iniciarse para suelos arenosos más finos.
40-60	Rango de inicio del riego	Indica el inicio del riego para la mayoría de los suelos. Suelos francos inician entre 40-50 cbars.
70	Humedad disponible escasa	En suelos arcillosos pesados se recomienda iniciar el riego en valores de aproximadamente 70-80 Cb.
80	Humedad disponible escasa	Lecturas mayores son posibles pero la columna de agua del aparato puede romper entre los 80-85 cbars, dependiendo de la altura del instrumento con respecto al nivel del mar.

Fuente: SOILMOISTURE (2017).

Tabla 3. Referencia de tensión de la humedad en el suelo marcada en tensiómetros.

Tipo de suelo	Consumo %	Lectura tensiometro (centibares)
Franco	20	40
	25	50
	35	60
	50	90 – 100
Franco Arenoso	20	30 – 35
	35	40 – 45
	40	50
	50	70 – 80
Arena Franca	25	20 – 25
	35	30 – 35
	50	50

Fuente: León (2012).

3. Evapotranspiración

La FAO. (2006), manifiesta que se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo estos son evaporación y transpiración del cultivo.

a. Evaporación

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). (Ekanayake, 1994)

El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada. Para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere energía. La radiación solar directa y, en menor grado, la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía. Factores como la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento son parámetros climatológicos a considerar al evaluar el proceso de la evaporación. (FAO, 2006)

b. Transpiración

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Este proceso ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales. La transpiración, igual que la evaporación directa, depende del aporte de energía, del gradiente de presión del vapor y de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento también deben ser considerados en su determinación. (FAO, 2006)

c. Factores que afectan la evapotranspiración

La atmósfera constituye el último eslabón del sistema suelo – planta – atmósfera. En el caso de la determinación de las necesidades de evapotranspiración, se miden los siguientes parámetros climáticos: temperatura máxima y mínima, humedad relativa del aire, precipitación, velocidad y dirección del viento, radiación y evaporación. (Ekanayake, 1994)

1) Temperatura

Las temperaturas del aire y suelo se miden con varios tipos de termómetros como termógrafos, termómetros de líquido en vidrio, y termistores. (Ekanayake, 1994)

El calor sensible del aire circundante transfiere energía al cultivo y entonces ejerce un cierto control en la tasa de evapotranspiración. (FAO, 2006)

2) Radiación

La radiación fotosintética activa (banda de 400 a 700 nm) se mide empleando un detector de radiación y se representa como un flujo radiante que incide sobre una unidad de área (W/m^2), (Ekanayake, 1994)

Según la FAO (2006) la radiación solar real que alcanza la superficie evaporante depende de la turbidez de la atmósfera y de la presencia de nubes que reflejan y absorben cantidades importantes de radiación. Cuando se determina el efecto de la radiación solar en la evapotranspiración, se debe también considerar que no toda la energía disponible se utiliza para evaporar el agua. Parte de la energía solar se utiliza también para calentar la atmósfera y el suelo.

3) Vapor de Agua .

Se mide como humedad relativa (proporción expresada en porcentaje entre la presión de vapor efectiva y la presión de saturación de vapor a la temperatura del aire). Para la medición se emplean equipos como: sicrómetros de bulbo seco y húmedo; higrómetros gravimétricos; termohidrógrafos; hidrómetros de aire y otros. (Ekanayake, 1994)

La humedad relativa es el cociente entre la cantidad de agua que el aire realmente contiene a una determinada temperatura y la cantidad que podría contener si estuviera saturado a la misma temperatura. Es adimensional y se expresa comúnmente como porcentaje. Aunque la presión real de vapor puede ser relativamente constante a lo largo del día, la humedad relativa fluctúa entre un máximo al amanecer y un mínimo a primeras horas de la tarde. (FAO, 2006)

4) Velocidad del viento

La velocidad del viento (m/seg) se mide con varios tipos de anemómetros (de taza, de tubo Pitot, anemómetros de presión de tubo y de esfera). (Ekanayake, 1994).

La FAO (2006) señala que la demanda evapotranspiratoria es alta bajo condiciones de tiempo caliente y seco debido a la sequedad del aire y de la cantidad de energía disponible como radiación solar directa y calor latente. Bajo estas circunstancias, mucho vapor de agua puede ser almacenado en el aire mientras que el viento puede promover el transporte del agua permitiendo que se retire mayor cantidad de vapor de agua. Por otra parte, bajo condiciones atmosféricas húmedas, la alta humedad del aire y la presencia de nubes hacen que la tasa de evapotranspiración sea más baja. El aumento de la velocidad del viento para las dos condiciones climáticas presentadas, afecta la evapotranspiración.

5) Precipitación

Se mide diariamente con válvulas de lluvia (por ejemplo, de tipo balde oscilante) y la cantidad se registra en mm por unidad de tiempo (mm/d). (Ekanayake, 1994)

a. Evapotranspiración de referencia (Eto)

Ekanayake (1994), define la evapotranspiración potencial (E_p) como la tasa máxima a la cual se eliminará el agua de las superficies del suelo y de las plantas, es decir la ET a la que la presión del vapor en las superficies evaporantes se encuentra en el punto de saturación.

Hidalgo (2008), señala que E_{to} es un concepto establecido para indicar la cantidad de agua que se transfiere a la atmósfera de un suelo permanentemente húmedo, cubierto por un cultivo de referencia.

No se recomienda el uso de otras denominaciones como ET potencial, debido a las ambigüedades que se encuentran en su definición. El concepto de evapotranspiración de referencia se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo. Debido a que hay una abundante disponibilidad de agua en la superficie de evapotranspiración de referencia, los factores del suelo no tienen ningún efecto sobre ET. Los únicos factores que afectan E_{To} son los parámetros climáticos. Por lo tanto, E_{To} es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. (FAO, 2006)

b. Evapotranspiración del Cultivo bajo condiciones estándar (Etc)

Hurtado (2002), indica que la evapotranspiración o necesidad (consumo) de agua por los cultivos se refiere al agua usada por las plantas en la transpiración más la evaporada directamente desde la superficie del suelo.

Normalmente se mide en mm/día o mm/mes, y depende de la interacción entre factores climáticos, botánicos, edáficos y de manejo del cultivo.

Según la FAO (2006) se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes. La cantidad de agua requerida para compensar la pérdida por evapotranspiración del cultivo se define como necesidades de agua del cultivo

La evapotranspiración es baja en los primeros estadios de la etapa de crecimiento de la planta; se incrementa a medida que la planta crece en altura y en área foliar, hasta alcanzar un máximo en la etapa de fructificación y luego disminuye progresivamente hasta la etapa de cosecha.

Por lo tanto, la evapotranspiración del cultivo (ETc) varía fundamentalmente según el estado fenológico del cultivo y el clima (FAO, 2006).

La evapotranspiración del cultivo se calcula como:

$$Etc = Eto * Kc$$

Donde:

Etc: corresponde a la evapotranspiración del cultivo, o requerimientos netos de agua, expresado en mm/día.

Eto: corresponde a la evapotranspiración de referencia o demanda climática por agua, también expresada en mm/día.

Kc : corresponde a un factor de corrección, que permite transformar la ETo en consumo de agua por el cultivo. (FAO, 2006).

c. Coeficiente de cultivo (Kc)

El efecto de la transpiración de las plantas y la evaporación del suelo está integrado en un sólo coeficiente denominado coeficiente de cultivo Kc. El coeficiente de cultivo promedio es más conveniente por que maneja simultáneamente el efecto de cultivo y de suelo. Los coeficientes de desarrollo de los cultivos dependen fundamentalmente de las características propias de cada cultivo, por lo tanto son específicos para cada uno de ellos y dependen de su estado de desarrollo y de sus etapas fenológicas; por ello, son variables a lo largo del tiempo. También dependen de las características del suelo y de su humedad, así como de las prácticas agrícolas y del riego. Los valores de Kc comienzan siendo pequeños y aumentan a medida que la planta cubre más el suelo. (Fernandez, D. 2010)

Garay, O (2009), manifiesta que al igual que la evapotranspiración, el coeficiente del uso consuntivo (Kc) puede ser estimado o determinado por diferentes métodos, tanto indirectos o teóricos, así como por directos o de campo. Existen métodos indirectos, y métodos directos, éstos últimos son los que miden directamente la evapotranspiración. Las transferencias de metodologías de una zona u otra muy distinta de aquella en la que ha sido concebida sigue siendo problemática; a menudo se necesitarán experimentos in situ.

La FAO (2006), añade que el valor de Kc varía principalmente en función de las características particulares del cultivo, variando solo en una pequeña proporción en función del clima. Esto permite la transferencia de valores estándar del coeficiente del cultivo entre distintas áreas geográficas y climas.

Garay, O (2009) indica que la determinación del Kc tiene muchas aplicaciones mencionando las siguientes:

- Permite elaborar calendarios de riego para los cultivos, fijar láminas e intervalos de riego en función de la eficiencia de riego. Esto permite apoyar la planificación de cultivos y riegos por cultivos.
- En el caso de agua de riego con alto contenido de sales en solución, el uso consuntivo permite determinar las láminas de sobre riego, necesarias para prevenir problemas de salinización de los suelos.
- Estimar los volúmenes adicionales de agua que serán necesarios aplicar a los cultivos en el caso que la lluvia no aporte la cantidad suficiente de agua.
- Determinar en grandes áreas (cuencas) los posibles volúmenes de agua en exceso a drenar.
- Determinar en forma general la eficiencia con la que se está aprovechando el agua y por lo mismo, planificar debidamente el mejoramiento y superación de todo el conjunto de elementos que intervienen en el desarrollo de un distrito de riego. Garay, O (2009)

4. **Requerimiento Hídrico**

La estimación de la demanda de agua, a través de cualquier sistema de riego dependerán de conocer la cantidad de agua que consumen los cultivos y del momento oportuno para aplicarla, con el fin de no perjudicar su rendimiento. La cantidad de agua que las plantas transpiran es mucho mayor que la retienen. En una parcela, es difícil separar la evaporación y la transpiración, cuando se habla de las necesidades de agua en los cultivos, por lo que la suma de ambos procesos se le ha denominado como evapotranspiración; la misma que debe reponerse de forma periódica para no dañar el potencial productivo de la planta por estrés hídrico. (Fernandez, D. 2010)

Hargreaves & Merkle (2000), precisan que el requerimiento hídrico de un cultivo está determinado por el potencial de evaporación climático, de las características de las plantas y de los factores que influyen en el crecimiento de la planta.

5. Metodologías para determinar los requerimientos hídricos en los cultivos

López et al. (1991), señalan que existen una gran cantidad de métodos para estimar la evapotranspiración en los cultivos, clasificándolos en métodos directos e indirectos. Los directos proporcionan información directa del total de agua requerida por los cultivos mediante la utilización de instrumentos que proporcionan valores muy cercanos a la realidad y que a la vez sirven para ajustar métodos empíricos; entre ellos se encuentran el método gravimétrico y lisimétrico. Los métodos indirectos proporcionan una estimación del requerimiento de agua mediante el uso de fórmulas empíricas clasificándolos como climatológicos y micrometeorológicos.

a. Lisimetría

Aboukhaled (citado por García, 2002), señala que los lisímetros se definen como recipientes que aíslan parte del suelo cultivado para estudios de evapotranspiración. El suelo contenido en ellos puede ser suelo no alterado (monolito) o suelo alterado. La evapotranspiración ocurrida en un tiempo determinado puede darse por pesada del recipiente con el suelo y el cultivo o por un balance de entradas y salidas de agua; en el primer caso se trata de lisímetros de pesada y en el segundo de lisímetros de volumen o drenaje.

Según la FAO (2006), en lisímetros de drenaje, la evapotranspiración es medida por un período dado, restando la cantidad de agua de drenaje, recogida en el fondo de los lisímetros, de la cantidad total de agua ingresada. Un requerimiento de los lisímetros es

que la vegetación dentro e inmediatamente fuera del lisímetro sea idéntica (la misma altura e índice de área foliar).

El lisímetro aplica el concepto del balance hídrico del suelo a la programación de riego; es el único método disponible para medir directa y continuamente el contenido de humedad de un suelo. Los lisímetros proporcionan el método de campo más fiable para estudiar la evapotranspiración. Aunque no se dispone de ellos en todas partes, los lisímetros se utilizan muy habitualmente. (Salisbury, 2000)

b. Método del Tanque evaporímetro tipo A

La evapotranspiración potencial del cultivo (E_p) se puede medir empleando el tanque de evapotranspiración clase “A” en el que se anotan periódicamente las diferencias de nivel de agua. En la práctica, la E_p también puede medirse usando un recipiente con agua, abierto y plano, con paredes de cualquier altura y forma, al que se acopla una escala milimétrica vertical. (Ekanayake, 1994)

La tasa evaporativa de los tanques de evaporación llenos de agua puede ser fácilmente obtenida. En ausencia de lluvia, la cantidad de agua evaporada durante un período (mm/día) corresponde a la disminución de la altura de agua en el tanque en ese período. (FAO, 2008)

Según la FAO. 2006 los tanques proporcionan una medida del efecto integrado de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso evaporativo de una superficie abierta de agua. Aunque el tanque evaporímetro responde de una manera similar a los mismos factores climáticos que afectan la transpiración del cultivo, varios factores producen diferencias significativas en la pérdida de agua de una superficie libre evaporante y de una superficie cultivada. La reflexión de la radiación solar del agua en el tanque puede ser diferente del 23% asumido para el cultivo de referencia. El almacenaje de calor dentro del tanque puede ser apreciable y puede causar una significativa evaporación durante la noche mientras que la mayoría de los cultivos transpiran solamente durante el día. También se distinguen diferencias en la turbulencia, temperatura y humedad del aire que se

encuentran inmediatamente sobre estas dos superficies. La transferencia de calor a través de las paredes del tanque también afecta el balance energético.

A pesar de la diferencia en los procesos ligados a la evaporación del tanque y la evapotranspiración de superficies cultivadas, el uso de la evaporación del tanque para predecir la ETo para períodos de 10 días puede ser considerado confiable si se usa correctamente. La evaporación del tanque está relacionada con la evapotranspiración de referencia por un coeficiente empírico derivado del mismo tanque:

$$E_{To} = K_p * E_{vap}$$

Donde:

ETo: evapotranspiración de referencia (mm/día)

Kp: coeficiente del tanque evaporímetro.

Evap: evaporación del tanque evaporímetro (mm/día). FAO (Citado por León 2012)

Tabla 4. Coeficientes del tanque evaporímetro (Kp) para el tanque Clase A para diversas localidades y ambientes de los tanques y varios valores de velocidad media de viento y de humedad relativa

Tanque Clase A	Tanque situado en suelo desnudo			
	Distancia del cultivo a barlovento (m)	Baja < 40	Media 40 – 70	Alta > 70
HR media	Velocidad viento (m/s)			
		1	0,7	0,8
	Baja <2	10	0,6	0,7
		100	0,55	0,65
Moderada 2 – 5	1000	0,5	0,6	
	1	0,65	0,75	
	10	0,55	0,65	

	100	0,5	0,6	0,65
	1000	0,45	0,55	0,6
	1	0,6	0,65	0,7
	10	0,5	0,55	0,65
Alta 5 – 8	100	0,45	0,5	0,6
	1000	0,4	0,45	0,55
	1	0,5	0,6	0,65
	10	0,45	0,5	0,55
Muy alta >8	100	0,4	0,45	0,5
	1000	0,35	0,4	0,45

Fuente: FAO, (2006).

d. Métodos Empíricos:

Durante los últimos 50 años se han desarrollado una gran cantidad de métodos más o menos empíricos por numerosos científicos y especialistas en todo el mundo, con el fin de estimar la evapotranspiración a partir de diferentes variables climáticas. A menudo las ecuaciones estaban sujetas a rigurosas calibraciones locales pero demostraron tener limitada validez Global. Por otra parte, probar la exactitud de los métodos bajo nuevas condiciones es laborioso y necesita mucho tiempo y dinero. A pesar de ello, los datos de evapotranspiración son necesarios con antelación al planeamiento de proyectos o para programar calendarios de riego. (FAO, 2006)

Cultivo De Frejol

a. Origen

Entre las leguminosas destacadas por su importancia en la dieta alimenticia de Centro y Suramérica está el frijol; su origen aunque no se ha establecido con certeza, algunos como

Debouck e Hidalgo (1985), afirman ser originario de la parte tropical del suroeste de México, Guatemala, Honduras y una parte de Costa Rica.

Dentro del grupo de las especies leguminosas, el fréjol común es una de las más importantes. Es una planta anual, herbácea intensamente cultivada desde la zona tropical hasta las templadas. Es originario de América y se le conoce con diferentes nombres: poroto, haricot, caraota, judía, aluvia, habichuela y otros. Debouck e Hidalgo, (1985).

Dentro del grupo de las especies leguminosas, el fréjol común es una de las más importantes. Es una planta anual, herbácea intensamente cultivada desde la zona tropical hasta las templadas. Es originario de América y se le conoce con diferentes nombres: poroto, haricot, caraota, judía, aluvia, habichuela y otros. Debouck e Hidalgo, (1985).

Fréjol, nombre común aplicado a cada una de las especies de un género de plantas leguminosas pertenecientes a la familia de las Fabáceas. Las semillas y vainas de estas plantas herbáceas se usan como alimento y en la producción de forraje. Originarias del continente americano se cultivan en la actualidad en todo el mundo. (Soriano, E. 2 006)

No cabe duda que las plantas que producen las semillas de fréjol común, tuvieron su origen en el Continente Americano. Ya sea que se trate de fréjoles bayos, pintos, café cacahuate, amarillo canario, rosado, flor de mayo, flor de junio, etc., todos tienen una madre en común en su pasado. Estas plantas leguminosas que se caracterizan por tener las semillas dentro de vainas, aparecieron en tierras americanas hace miles de años. Los restos más antiguos (9000 años) se encontraron en un lugar llamado Huachichocana en el norte de Argentina; asimismo, en Perú hay rastros arqueológicos de los fréjoles, de hace 8,000 años. (Soriano, E. 2 006)

b. Clasificación botánica

Reino: Plantae

Subreino: Antophyta

División: Angiospermae

Clase: Dicotyledoneae

Orden: Rodeales

Familia: Leguminoceae.

Género: Phaseolus

Especie: Vulgaris

Nombre científico: *Phaseolus vulgaris* L.

Variedad: Calima.

Nombre vulgar: Fréjol

c. Zonificación

El fréjol se adapta bien desde 200 hasta 2.500 msnm. (Anderson, A. 1978)

“El fréjol común no resiste el frío y para germinar requiere de 2°C como mínima y para florecer y madurar 18°C, si la temperatura desciende a menos de 2°C la planta puede perecer pero tolera el calor siempre y cuando tenga suficiente humedad, siendo su exceso perjudicial; los fuertes vientos también dañan a la planta”. (Montalvo, E. 1 985)

El cultivo necesita entre 500 a 600 mm de lluvia. La falta de agua durante las etapas de floración, formación y llenado de vainas afecta seriamente el rendimiento. El exceso de humedad afecta el desarrollo de la planta y favorece el ataque de gran número de enfermedades; se recomienda que los suelos para el cultivo de frijol sean profundos, fértiles, preferiblemente de origen volcánico con no menos de 1,5% de materia orgánica en

la capa arable y de textura liviana con no más de 40% de arcilla como los de textura franco, franco arenoso, franco limosos y franco arcilloso ya que el buen drenaje y la aireación son fundamentales para un buen rendimiento de este cultivo. (Litzenberguer, S,1979)

Se debe evitar sembrar en suelos ácidos, con contenidos altos en manganeso y aluminio y bajos en elementos menores. El pH óptimo para frijol está comprendido entre 6,5 y 7,5 aunque es tolerante a pH entre 4,5 y 8,2. (Oliver, L. 1985)

d. Cultivares

El fréjol es una especie que presenta una enorme variabilidad genética, existiendo miles de cultivares que producen semillas de los más diversos colores, formas y tamaños. Si bien el cultivo se destina mayoritariamente a la obtención de grano seco, tiene una importante utilización hortícola, ya sea como poroto verde o como poroto granado. Estos últimos productos se destinan fundamentalmente al mercado fresco y a la industria de alimentos congelados. En el caso del poroto verde, también es de relativa importancia el consumo en forma enlatada. (CIAT, 1981)

e. Labores de preparación del suelo

Una preparación adecuada del terreno permite una buena cama de siembra, que facilita la nacencia, favorece el desarrollo vigoroso de las plantas y un mejor aprovechamiento del agua; es conveniente realizar las siguientes labores:

Hacer una labor de arado profundo entre 30 y 40 centímetros inmediatamente después de la cosecha del cultivo anterior, esto trae los siguientes beneficios:

- Permite incorporar los residuos para su rápida descomposición; reducir la población de malas hierbas; destruir las larvas de insectos que invernan; aflojar el suelo, lo cual mejora su estructura.

- Es conveniente dar uno o dos pasos de rastra para eliminar los terrones grandes, y dejar una buena cama de siembra, que permita el paso del aire y una buena absorción del agua.
- Una labor de nivelación es muy importante para lograr una buena distribución del agua, evitando encharcamientos y partes altas donde no llegue la humedad suficiente para la planta.

La dirección de los surcos se debe hacer en el sentido del trazo de riego, con esto se logra una mayor eficiencia en la aplicación del agua. La separación de los surcos debe ser de 60 centímetros. (CIAT, 1981)

f. Labores de manejo

1) Siembra

El fréjol arbustivo en monocultivo, se siembra en la región andina. El cultivo lo establecen en surcos sencillos distanciados a 50 ó 60 cm. y a 10 cm. de espacio entre plantas ó sitios; se coloca una semilla por sitio, ó en distancias de 20 a 30 cm. entre plantas, depositando dos ó tres semillas por golpe ó sitio, para obtener una población entre 170 a 250 mil plantas por hectárea. (Anderson, A. 1978)

Existen dos modalidades en la siembra de fríjol arbustivo en monocultivo, la siembra en caballón y en terreno plano, se ha encontrado que hay diferencias entre las variedades estudiadas, sin presentarse diferencias entre las dos modalidades de siembra. No obstante, en la siembra en caballón hay facilidad de riego por gravedad y hay menor riesgo por posibles inundaciones. (Litzenberguer, S. 1979)

2) Riego

Para zonas con riego, se sugiere realizar tres riegos incluyendo el de presembrado. La lámina de cada riego debe ser de 6,5mm. El primer riego de auxilio se sugiere efectuarlo al inicio de la floración y el segundo durante la formación de ejote. (Anderson, A. 1978)

El fréjol es muy exigente en riegos en lo que se refiere a la frecuencia, volumen y momento oportuno del riego que van a depender del estado fonológico de la planta así como del ambiente en que ésta se desarrolla (tipo de suelo, condiciones climáticas, calidad del agua de riego, etc. (Litzenberguer, S. 1979).

En los primeros estados de desarrollo conviene mantener el suelo con poca humedad, sin embargo las necesidades de agua son muy elevadas poco antes de la floración y después de esta, un exceso de humedad puede provocar clorosis y pérdida de cosecha, especialmente en suelos pesados. Un aporte hídrico desequilibrado disminuye la calidad de los frutos. (Infoagro, 2 006)

3) Control de malezas

El control de las malezas se hace en forma manual con pala ó azadón y el número de controles depende de las condiciones ambientales, cuando hay fuerte invierno se incrementa la frecuencia de los controles. En fréjol arbustivo se realizan dos desyerbas, mientras que en fréjol voluble se hacen hasta cuatro ó cinco controles por su período vegetativo más largo. (Fuentes, J. 1989)

4) Plagas y enfermedades

Las enfermedades y plagas del cultivo varían por zonas, de acuerdo a las condiciones ambientales, variedades usadas y a la calidad de la semilla; las enfermedades más limitantes son: la antracnosis que se puede transmitir por la semilla, la mancha gris, *mildiu polvoso*, *ascochyta* y la roya, *Empoasca sp.* es la plaga que más limita al

cultivo por el daño mecánico producido y por la transmisión de enfermedades virales. (Shuwarts, H y Galvez, G. 1980)

5) Cosecha y rendimiento

La cosecha depende del mercado; para consumo como vaina verde ó legumbre, se realiza cuando la vaina se ha llenado totalmente, esto es a los 100 - 120 días después de la siembra, alcanzando un rendimiento de 12.000 a 14.000 kg/ha. (INIAP, 2 007)

6) Requerimiento nutricional el cultivo de frejol.

Tabla 5. Absorción de nutrimentos kg/ha del cultivo de fréjol.

Cultivo	Rendimiento		Absorción de nutrimentos Kg/ha				
	Tn/Ha		NH	P2O5	K2	Mg	S
Fréjol	2,5		105	10	120	10	0

Fuente: Guerrero, A. 1 993.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A. MATERIALES

1. Material biológico

Se trabajó con semilla de fréjol variedad calima.

2. Materiales de campo

Lisímetro (tanque cilíndrico, diámetro = 0,58 m, largo = 0,8 m, volumen = 0,21m³), sistema de drenaje para lisímetros (ripio, codos, válvula, tubería de desagüe), recipiente plástico de 20 lt utilizado para sobre regar y garantizar el drenaje en el lisímetro, nivel de piola, sistema de riego a goteo (manguera de goteo no autocompensada Q = 1.6 l/h distancia entre goteros = 0,15 m), palas, azadones, presiónómetro, gravilla, fertilizantes, fungicidas, insecticidas, herramientas de labranza, bomba de mochila, balanza, flexómetro, cámara fotográfica, estacas, piola, letreros, etiquetas, fundas, estación meteorológica automatizada, barreno, cajas metálicas, tanque evaporímetro tipo A, pluviómetro.

3. Material de oficina

Cuaderno de campo, computador y calculadora, software para registro de la estación meteorológica portátil.

B. ESPECIFICACIONES DEL CAMPO EXPERIMENTAL.

1. Ubicación

El presente estudio de investigación se efectuó en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Campus Macají de la Provincia de Chimborazo, Facultad Recursos Naturales en el centro experimental del Riego (CER).

Tabla 6.Datos de ubicación

Ubicación geográfica	
Altitud	2.821 m.s.n.m.
Latitud	1°39'18,82'' S
Longitud	78°40'39.99''
Condiciones climáticas	
Temperatura	13,5 °C
Precipitación	350 mm/año
Humedad relativa	66,4 %

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH, (2017)

2. Clasificación Ecológica

Según Holdrige (1982) la localidad de la ESPOCH se encuentra en el rango de estepa espinosa montano bajo (eeMB).

C. MÉTODOS

Las láminas de riego que se determinó para cada tratamiento fueron dadas a partir de la puesta a capacidad de campo del suelo en todo el ensayo; en el Tratamiento T1 que corresponde a los lisímetros el riego se efectuó una vez que el drenaje haya cesado, en los tratamiento T2 que corresponde a la lámina de riego aplicada en función al tanque de evaporación tipo A y tratamiento T3 corresponde a la lámina aplicada en función al formulas empíricas de la FAO, el riego se efectuó cuando la humedad en el suelo registro el 10.5 % de humedad es decir cuando se haya abatido el 25 % de capacidad de campo es decir que esta fue determinada por las condiciones climáticas, la disponibilidad de agua en el suelo; que fue determinada mediante los siguientes métodos:

1. Determinación de los parámetros hídricos en el suelo.

a. Capacidad de campo

Se eligió una zona del terreno representativa, la cual se marcó una superficie de 1m x 1m eliminando toda la vegetación y los primeros cm del suelo construyendo un bordo de tierra apisonada de unos 10 cm de altura, rodeando dicho cuadrado.

Se añadió agua hasta asegurar la saturación del perfil esta se lo hará con 450 litros de agua; luego de 48 horas se realizó el muestreo para determinar su porcentaje de humedad mediante el método gravimétrico, dicho valor es equivalente al valor de Capacidad de Campo. (García, Puppo, Hayashi y Morales, 2015)

b. Punto de marchitez permanente

Se determinó con la ecuación dada por Silva citada por García et al., 2015

$$H\%PMP = H\%CC * 0,74 - 5$$

Dónde:

H%PMP = Porcentaje de Humedad en punto de marchitez permanente.

H%CC = Porcentaje de Humedad en Capacidad de Campo.

0,74 y 5 = Constantes establecidas por el modelo matemático dado por Silva. FAO (Citado por León 2012)

c. Humedad disponible o aprovechable

Se determinó mediante la diferencia entre el valor obtenido de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente (García et al., 2015). Reposición de agua con el 25% Laminas aplicadas.

2. Riego inicial para llegar a Capacidad de Campo (Método gravimétrico)

Se determinó el porcentaje de humedad inicial que contiene el suelo, tomando una muestra representativa de cada uno de los tratamientos, a una profundidad de 15, 30 cm aplicando la fórmula citada por (León, 2012):

$$\%H = \frac{PSH - PSS}{PSS} * 100$$

Donde:

%H = Porcentaje de humedad por peso

PSH = Peso de la muestra húmeda

PSS = Peso de la muestra seca

El peso seco será obtenido luego de haber colocado la muestra a la estufa a una temperatura constante de 105⁰ C por 24 horas. FAO (Citado por León 2012)

García, M. et al (2015), señala que el porcentaje de humedad del suelo multiplicada por la densidad aparente, nos da la humedad en volumen.

La humedad en volumen es equivalente a mm de agua cada 10 cm de profundidad del suelo.

$$HV\% = \%H * DAp = \text{mm} / 10 \text{ cm}$$

Donde:

%H = Porcentaje de humedad por peso

DAp = Densidad aparente del suelo

PSS = Peso de la muestra seca. (García, M. et al, (2015)

3. Método de tensiómetros

a. Tensiómetros

Los tensiómetros fueron colocados en cada tratamiento, a profundidades de 15, 30 cm, las lecturas se registraron en las mañanas debido a que el movimiento del agua entre el suelo y

la planta es insignificante, existiendo por lo tanto un estado de equilibrio. Estas lecturas nos indicaran cuando regar. (León, 2012)

Después de la calibración de los tensiómetros con el método gravimétrico; se comienza a regar en el tratamientos T2 y tratamiento T3 cuando el tensiómetro marca 10 centibares ya que equivale al 10.5% de humedad en el suelo.

4. Evapotranspiración de referencia (Eto)

La evapotranspiración de referencia se determinó con la siguiente fórmula:

$$Eto = Ev * Kp$$

Donde:

Eto = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

Ev = Evaporación (mm)

Kp = Datos climáticos: humedad relativa (HR %), velocidad del viento $\left(\frac{m}{s}\right)$,

barlovento. FAO (Citado por León 2012)

Los datos de evaporación se registraron diariamente mediante la utilización del tanque de evaporación clase A y el dato promedio del pluviógrafo y pluviómetro.

El Kp se determinó empleando los datos de Humedad Relativa (HR), velocidad del viento proporcionados por la estación meteorológica, interpolamos estos tres datos y obtendremos el valor de Kp. León, (2012).

5. Evapotranspiración del cultivo (Etc)

La evapotranspiración del cultivo (Etc) fue determinada de forma lisimétrica mediante la siguiente ecuación dada por Garay (2009):

$$Etc = R - D$$

Donde:

Etc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

R = Agua agregada por riegos o precipitaciones (mm)

D = Agua drenada durante el periodo de analisis. (León, 2012)

6. Coeficiente del cultivo (Kc)

El Kc fue determinado mediante la fórmula de Hargraves que es $0,01335 + 0,04099 \times (Etapa\ del\ cultivo) - 0,0004 \times (Etapa\ del\ cultivo)^2$ para lo cual se necesita conocer la duración del ciclo de cultivo desde la siembra hasta la cosecha, cuyo valor será tomando como referencia utilizando los datos de Arteaga M, (2011).

7. Coeficiente del cultivo (Kc) ajustado para lisímetria

Para el ajuste del Kc utilizaremos la siguiente ecuación:

$$Kc = Etc/Eto$$

Dónde:

K_c = Coeficiente del cultivo (adimensional)

E_{tc} = Evapotranspiración del cultivo (mm/día) de lisímetro

E_{to} = Evapotranspiración de referencia (mm/día) de lisímetro. (León, 2012)

D. ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

Instalación y operación del Lisímetro

La instalación y operación del lisímetro de drenaje se efectuaron con las siguientes consideraciones:

El recipiente del lisímetro es un tanque de 210 litros cortado en la parte superior, en la parte inferior del tanque se instala un sistema de tuberías de drenaje las cuales nos sirven para que el exceso de agua pueda drenar y posteriormente estos datos nos servirán para realizar los cálculos para el riego, después de instalado el sistema de drenaje se coloca una mezcla de brea con parafina para que el exceso de agua no quede retenido y no afecte el registro de datos, después se coloca una capa de 20cm de piedra fina y malla metálica después de esto se colocan las capas de suelo teniendo cuidado que la resistencia al corte del suelo sea lo más parecido al terreno donde se realiza el trabajo de investigación.

El borde del lisímetro debe sobresalir 5 cm del nivel del suelo para evitar el ingreso de agua superficial. Las capas de suelo dentro del lisímetro tienen la misma secuencia y resistencia a la rotura que el suelo del exterior del lisímetro, esta resistencia fue determinada mediante un presionómetro; simulando así las mismas condiciones de compactación de sustratos. (León, 2015)

Una vez que se instaló el lisímetro, se empleó la siguiente relación matemática dada por Garay (2009), para determinar el volumen de agua a aplicar dentro del lisímetro.

$$V_a = (E_{to} \times ND \times A_l) \times c$$

Dónde:

V_a = Volumen a aplicar

E_{to} = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

ND = Número de días de un riego a otro

A_l = Área del lisímetro (m^2)

c = Coeficiente de seguridad para efectuar drenaje

Inicialmente para determinar el volumen de agua a aplicar en el lisímetro se utiliza ecuación en donde se consideró la E_{to} la cual se obtiene del lisímetro de referencia posteriormente fue reemplazada por el valor de la Evapotranspiración del cultivo (E_{tc}) determinada por el lisímetro del cultivo.

El valor de E_{tc} correspondió al Tratamiento 1 (T1) es decir las láminas de riego para T1 serán dadas en función del lisímetro (E_{tcL}); la lectura y registro del drenaje se realiza en periodos de 24 horas. La frecuencia de riego para T1 fue dada por el periodo en el que el drenaje del lisímetro fue nulo.

Operación del Tanque Evaporímetro Tipo A

Los datos de evaporación se registraron diariamente mediante la utilización del tanque evaporímetro tipo A y el dato promedio del pluviógrafo y pluviómetro.

El Tratamiento 2 (T2) corresponde a las laminas determinadas mediante el cálculo de forma empírica de la Etc (EtcT) haciendo uso de la siguiente ecuación:

La reposición hídrica se lo realizo cuando se consumo el 25% de la humedad aprovechable

Operación de la Estación Meteorológica Portátil

Los datos de Humedad Relativa (HR), velocidad del viento y barlovento, interpolados permitieron la obtención del Kp y posteriormente el cálculo de la Eto.

Estos datos al igual que los anteriores fueron registrados diariamente.

La reposición hídrica se lo realizo cuando se consumió el 25% de la humedad aprovechable. (Gonzalez J, 2010)

Especificaciones de la parcela experimental

- | | | |
|----|------------------------------------|---|
| a. | Número de tratamientos: | 3 |
| b. | Número de repeticiones: | 3 |
| c. | Número de unidades experimentales: | 9 |

Ensayo

Las características del ensayo se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 7.Características Del Campo Experimental

CARACTERISTICAS	
Unidades experimentales	9
Forma del ensayo	Cuadrangular
Ancho del ensayo	34 m
Largo del ensayo	34 m
Distancia de siembra	0.3 m
Entre plantas 0,3 m	0.3 m
Entre hileras	0.6 m
Número de plantas por hilera	33
Numero de hileras por parcela	19
Número de plantas por parcela	528
Área total del ensayo	1156 m ²
Área neta del ensayo	900 m ²
CARACTERISTICAS DE LA PARCELA EXPERIMENTAL	
Ancho de cada parcela	10 m
Largo de cada parcela	10 m
Área de cada parcela	100 m ²
Número de hileras	16
Número de plantas por hilera	33
Número de plantas/parcela	528
Número de hileras/parcela neta	6
Número de plantas/hilera/parcela neta	21
Número de plantas/parcela neta	126
Número de plantas a evaluar	10
Distancia entre parcelas	2 m
Efecto borde	1.75 m

Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

Diseño Experimental

a. Tipo de diseño

Se utilizó el Diseño de bloques completos al azar (BCA), con tres tratamientos y tres repeticiones.

b. Análisis funcional

Se determinó el coeficiente de variación, expresado en porcentaje.

Cuando las diferencias sean significativas se utilizó la prueba de Tukey al 5% para separar medias.

Se realizó el análisis económico con el método relación beneficio costo.

c. Esquema del análisis de varianza

El esquema del análisis de varianza es el siguiente:

Tabla 8.Esquema de análisis de varianza (ADEVA)

F. de V	Formula	GL
Repeticiones	$r-1$	2
Tratamientos	$a-1$	2
Error	$(a-1)(r-1)$	4
Total	$(a(r))-1$	8

Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

E. VARIABLES Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN

1. Días a la emergencia.

Se registraron cuando el 30% del total de las semillas emergieron.

2. Días a la floración.

Se registraron cuando el 30% del total de las plantas tuvieron flores.

3. Días al envainado.

Se registraron cuando el 30% del total de las plantas tuvieron vainas.

4. Días a la cosecha en verde.

Se registraron cuando el 30% del total de las plantas tuvieron vainas listas para la cosecha en verde.

5. Altura de la planta

La medición se realizó en cm desde la base del tallo hasta el ápice de la planta cada 15 días de 10 plantas muestras tomadas al azar, este registro se realizó desde el día 30 DDS. (Estas plantas serán identificadas al inicio de la emergencia para realizar el registro de datos hasta el final)

6. Contenido relativo de agua

Se determinó el contenido relativo de agua.(WRC)

En la cosecha se determino el WRC en hojas y vainas. En las hojas se determinara el WRC en la parte media de la planta.

Para la determinación del WRC se tomó un foliolo de la parte media de la planta en la que se pesa la muestra en fresca, después se hidrata el foliolo en una bandeja con agua destilada durante 12 horas en la obscuridad y posteriormente se pesa (peso turgente), luego la muestra se coloca en la estufa pro 48 horas hasta que llegue a un peso constante y se obtendrá el peso seco según. (Ekanayake, 1993)

$$\text{WRC \%} = \frac{(\text{PF} - \text{PS})}{(\text{PT} - \text{PS})} (* 100)$$

Donde:

PF: Peso fresco de la muestra

PT: Peso turgente de la muestra

PS: Peso seco de la muestra

7. Número de vainas por planta

El número de vainas por planta se lo realizo de las 10 planta en estudio en donde se realizó el conteo.

8. Peso total de las vainas

El peso de vainas por planta se lo realizo de las 10 planta en estudio en donde se realizara el registro de los pesos de las vainas de cada una de las plantas.

9. Rendimiento parcela neta.

Se realizó la cosecha de cada uno de los tratamientos y repeticiones de manera individual se registrando cada uno de los pesos y este resultado se expresara en t/ha.

10. Materia seca.

Se seleccionó 5 plantas de cada uno de los tratamientos para determinar la materia seca, dicho parámetro será valorado en hojas y vainas que conforma la planta.

Para la valoración de la materia seca en hojas y vainas se aplicó la ecuación citada por (Bonierbale et al., 2010)

$$\%Materia\ Seca = \frac{Peso\ materia\ seca}{Peso\ materia\ húmeda} \times 100$$

11. Huella Hídrica

Se sumó los aportes de volúmenes de riego aplicado a los tratamientos y precipitación y se correlacionaran con parámetros de rendimiento, expresado en litros por cada kg de producción.

12. Análisis económico

Se realizó el análisis económico utilizando la metodología de relación beneficio costo

F. MANEJO AGRONÓMICO DEL ENSAYO

1. Preparación del suelo

Se realizó el pase de arado, dos pases de rastra, a una profundidad de 30 cm.

2. Trazado de la parcela

Se realizó con la ayuda de estacas y piolas, siguiendo las especificaciones del campo experimental.

3. Labores culturales

a. Siembra

La siembra se realizó a una distancia de 0,30 m entre plantas y 0,60 m entre hileras. Con dos semillas por golpe.

b. Fertilización

1) Fertilización edáfica

Se realizó la fertilización base, realizando una raya en la cual se colocó el fertilizante y después fue tapado.

2) Riego

Se realizó a través del sistema de riego a goteo, esto de acuerdo a los tratamientos establecidos y comportamiento climático, para tal efecto se determinó las ofertas y demandas del cultivo en tiempo real valiéndonos de la información de la estación meteorológica, lisimetria y desarrollo del cultivo.

Cuando se produjeron precipitaciones se realizó una resta a la lámina a aplicar en cada tratamiento.

3) Control de malezas

Se realizó de forma manual evitando siempre la competencia con el cultivo

4) Controles fitosanitarios

Se realizó aplicaciones fitosanitarias utilizando productos preventivos (de contacto) o curativas (sistémicos), con la aparición de los primeros síntomas de plagas y enfermedades.

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. CONDICIONES CLIMÁTICAS

1. Precipitación efectiva

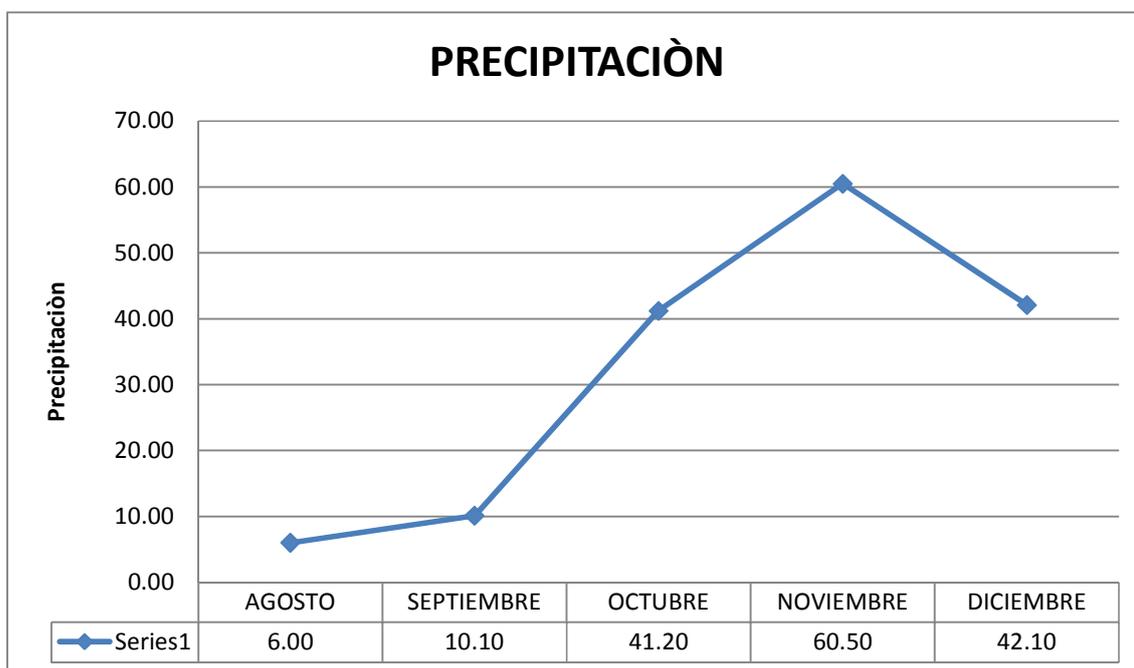


Figura 1. Precipitación durante el ciclo de en el cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH, (2017); **Elaboración:** Gaibor, JD.(2017)

La (FAO, 2016), manifiesta que el requerimiento hídrico en el cultivo de frejol varía de 300 y 362,9 mm para el total del periodo vegetativo. Además de esto para determinar la frecuencia de riego se recomienda instalar tensiómetros a la máxima profundidad radicular es decir 30 cm. A pesar que el mes de Agosto se produce una precipitación de 6mm el incremento en las precipitaciones no es suficiente para cubrir los requerimientos hídricos en el cultivo por lo que se debe recurrir al riego.

2. Humedad relativa y velocidad del viento

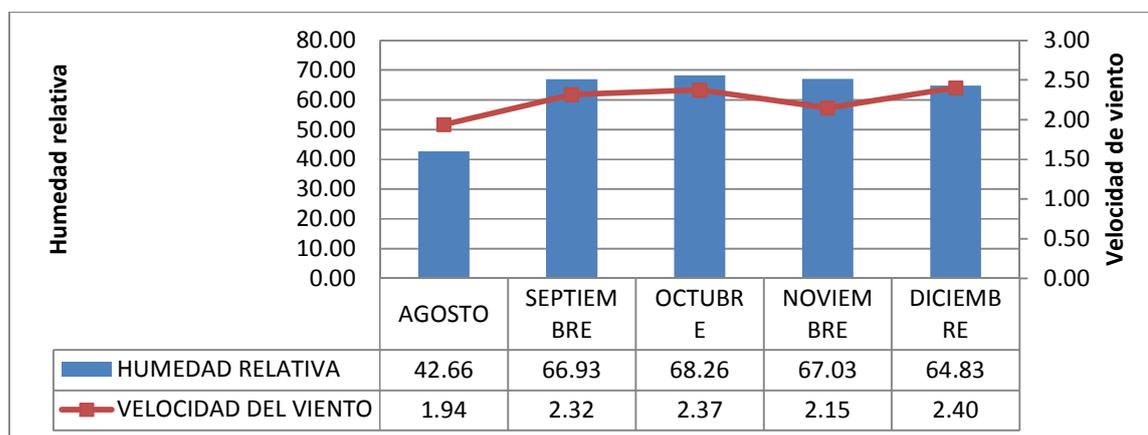


Figura 2. Humedad relativa y velocidad del viento

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH, (2017); Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

En la **Figura 2** se observa que la humedad relativa en el mes de Agosto es de 42.66 % y en los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre varía desde 64.83% hasta 68.26%, según la ((FAO), 2008), que el óptimo desarrollo en el cultivo de frejol se da en temperaturas que van desde 10 a 27 °C y una humedad relativa entre 70 y 80%, con humedades relativas sobre este valor son favorables desarrollo de roya.

El caso de la velocidad del viento se encuentra entre 1.94 y 2.4 m/s, según (García, 2009), los vientos de alta velocidad y duración causan daños al cultivo al provocar deshidratación de las partes áreas de las plantas.

B. IDENTIFICACIÓN Y DURACIÓN DE LAS ETAPAS FENOLÓGICAS DEL CICLO DEL CULTIVO DE FREJOL (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima

1. Etapa inicial

Esta etapa está comprendida desde la siembra hasta cuando están desplegadas las hojas primarias del 30% del cultivo. Los resultados de la duración de la etapa inicial en el ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima para cada tratamiento se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 9. Duración de la etapa inicial en el ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima para cada tratamiento

TRATAMIENTO	DURACION DE LA ETAPA (DÍAS)
T1	15
T2	15
T3	15

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

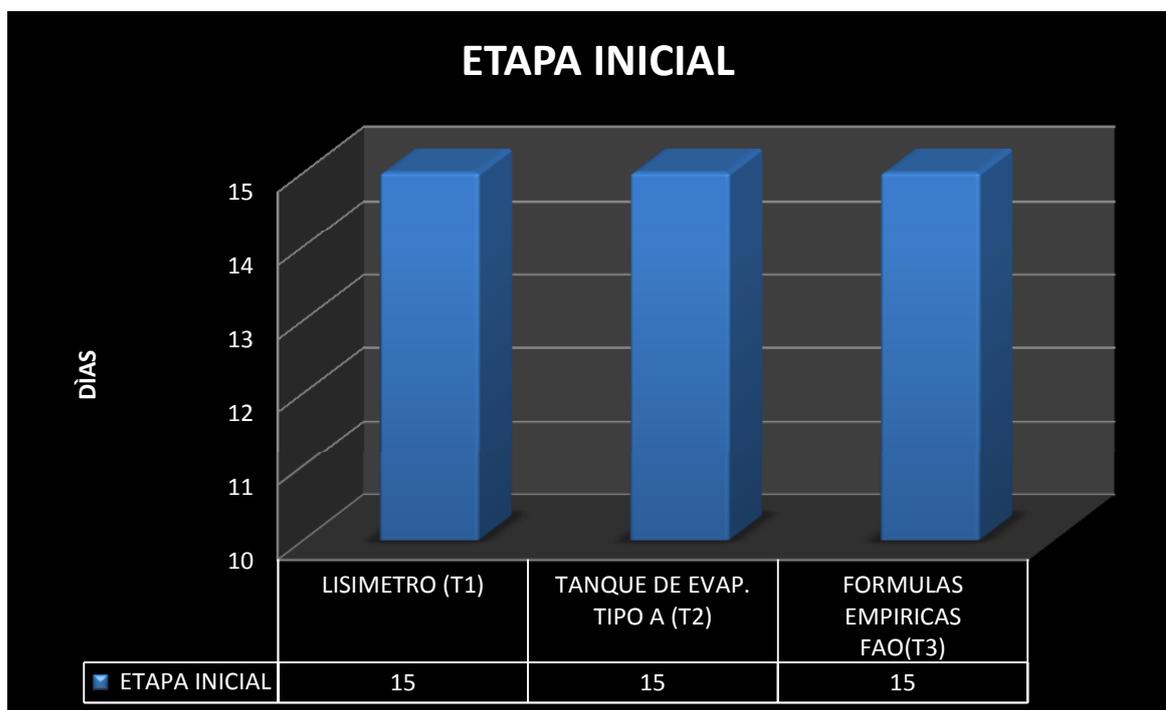


Figura 3. Duración de la etapa inicial en el ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima para cada tratamiento

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

La etapa inicial tuvo una duración de 15 días para los tres tratamientos en estudio como se observa en la **Figura 3**. (FAO, 2016), manifiesta que la etapa inicial tiene una duración de 20 días aproximadamente dependiendo de las características edafoclimáticas. En los tratamientos en estudio esta diferencia puede deberse a la variedad utilizada, condiciones edafoclimáticas e hídricas del ensayo.

2. Etapa De Desarrollo

Esta etapa de desarrollo inicia al desplegarse la primera hoja trifoliada hasta cuando el 30% de las plantas del cultivo han desplegado su tercera hoja trifoliada. Los resultados de la

duración de la etapa de desarrollo en el ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima para cada tratamiento se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 10. Duración de la etapa de desarrollo en el ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima para cada tratamiento

TRATAMIENTO	DURACION DE LA ETAPA (DÍAS)
T1	32
T2	35
T3	33

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

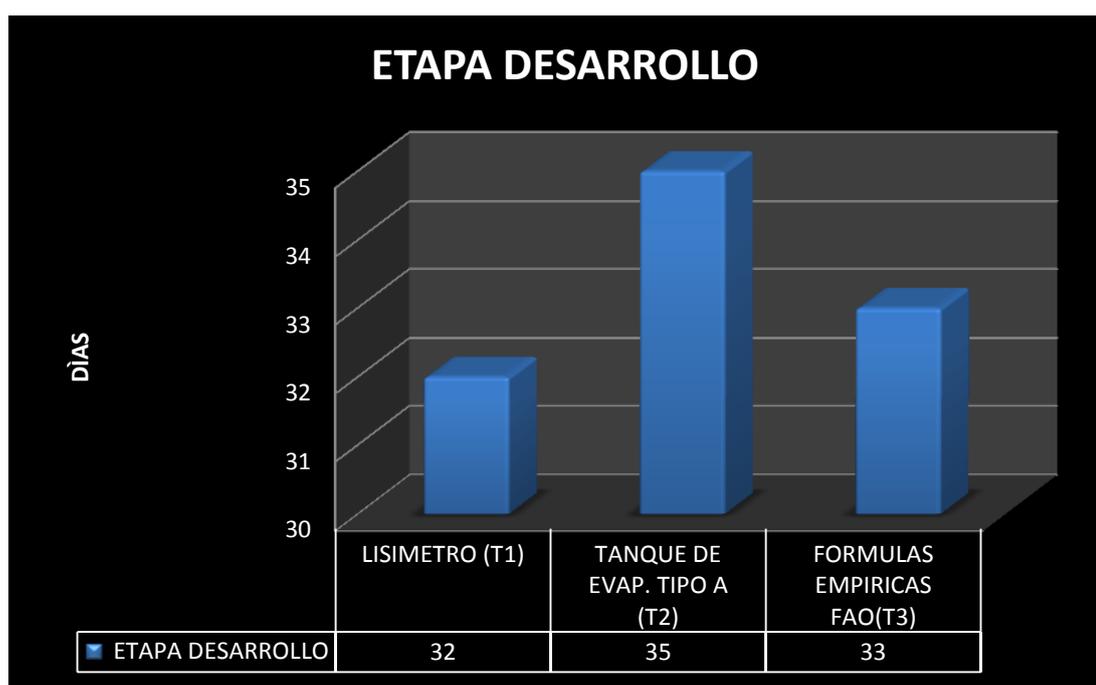


Figura 4. Duración de la etapa de desarrollo en el ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima para cada tratamiento

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

La etapa de desarrollo tuvo una duración de 32, 35 y 33 días para el Tratamiento 1, Tratamiento 2, y Tratamiento 3 respectivamente. (FAO, 2016), manifiesta que la etapa de desarrollo tiene una duración de 40 días aproximadamente dependiendo de las características edafoclimáticas. Como se observa en la **Figura 4** en la etapa de desarrollo existe diferencia lo que indica que posiblemente se debe a la aplicación de la lámina de riego en cada uno de los tratamientos. (Fernández, Gepts, & Marcelino, 2010), indican que los factores que afectan la duración de las etapas fenológicas son: fertilidad, las características físicas del suelo, la sequía y la luminosidad, entre otros, que causan variación en la duración de las etapas.

3. Etapa Intermedia

La Etapa Intermedia inicia cuando en el 30% de las plantas aparecen los primeros botones florales hasta cuando en el 30% de las plantas del cultivo se ha marchitado la corola y la vaina empieza a crecer. Los resultados de la duración de la etapa intermedia en el ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima para cada tratamiento se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 11. Duración de la etapa intermedia en el ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima para cada tratamiento

TRATAMIENTO	DURACION DE LA ETAPA (DÍAS)
T1	21
T2	20
T3	21

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

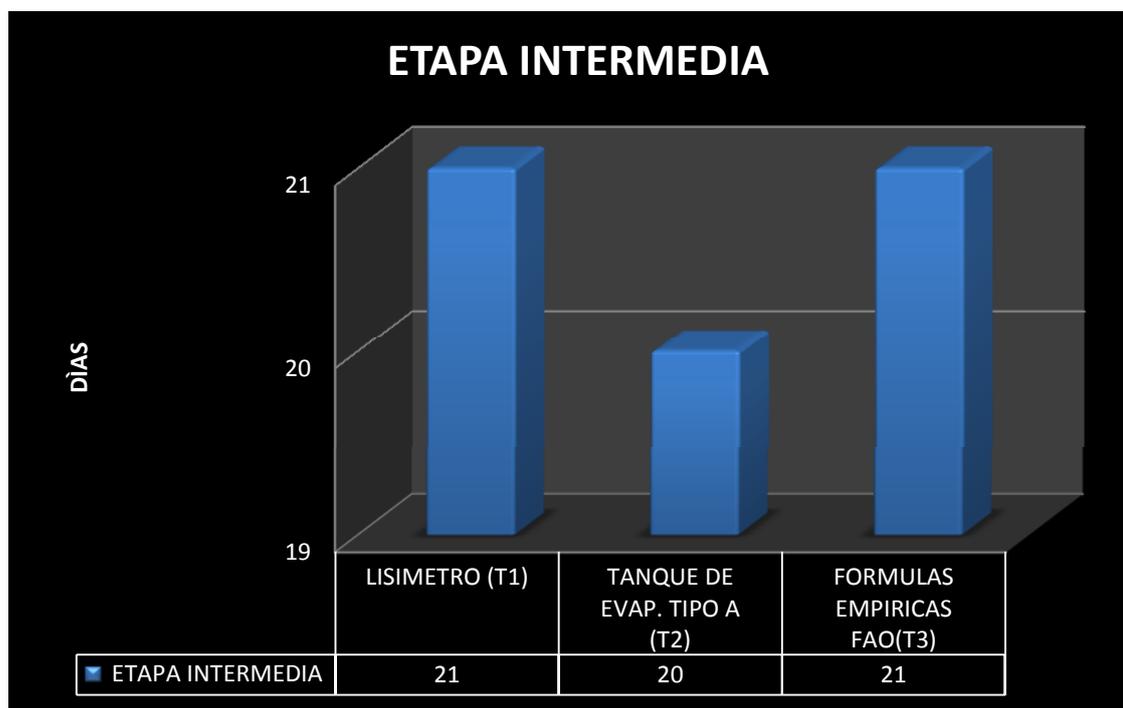


Figura 5. Duración de la etapa intermedia en el ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima para cada tratamiento

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

La etapa intermedia tuvo una duración de 21, 20 y 21 días para el Tratamiento 1, Tratamiento 2, y Tratamiento 3 respectivamente. Como se observa en la **Figura 5** en la etapa intermedia no existe gran diferencia entre tratamientos lo que indica que posiblemente se debe a la aplicación de la lámina de riego en cada uno de los tratamientos.

4. Etapa Final

La Etapa final inicia cuando en el 30% de las plantas de cultivo la primera vaina cesa de alargarse y empieza el llenado hasta la primera Vaina del 30% de las plantas del cultivo cambian su color de verde a amarillo. Los resultados de la duración de la etapa final en el ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima para cada tratamiento se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 12. Duración de la etapa final en el ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima para cada tratamiento

TRATAMIENTO	DURACION DE LA ETAPA (DÍAS)
T1	51
T2	56
T3	55

Fuente y Elaboración: Gaïbor, JD.(2017)

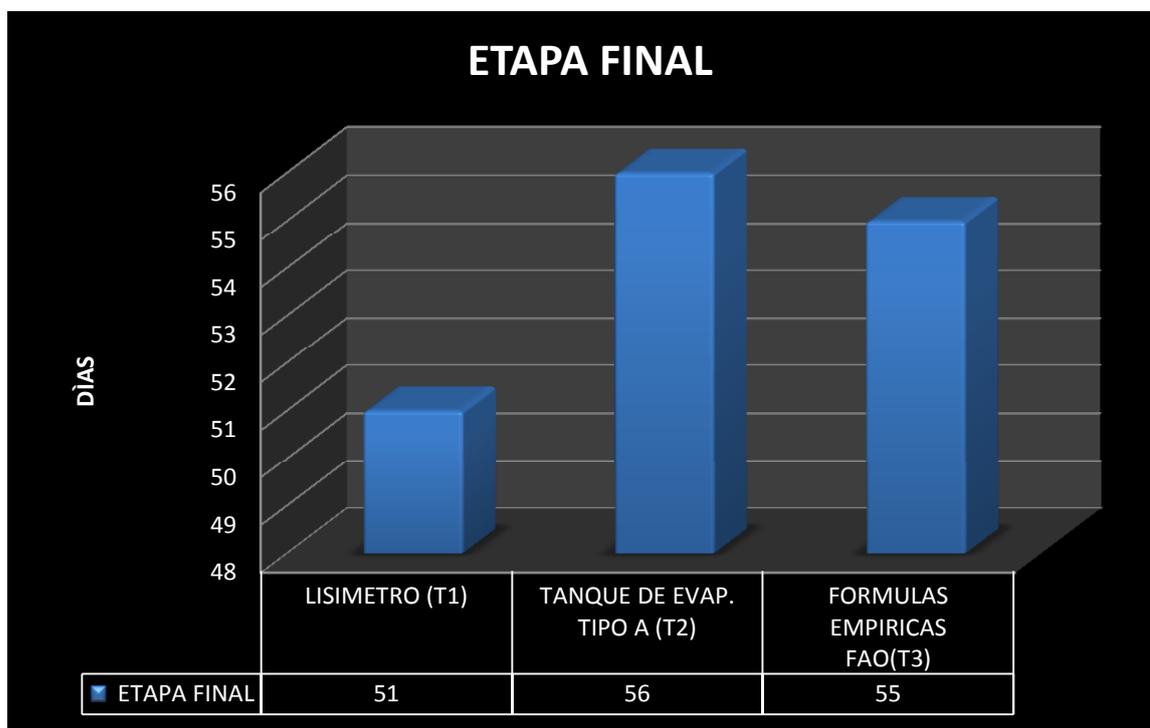


Figura 6. Duración de la etapa final en el ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima para cada tratamiento

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

La etapa final tuvo una duración de 51, 56 y 55 días para el Tratamiento 1, Tratamiento 2, y Tratamiento 3 respectivamente. Como se observa en la **Figura 6** en la etapa final existe diferencia entre tratamientos lo que indica que posiblemente se debe a la aplicación de la lámina de riego en cada uno de los tratamientos.(Andino, 2011) manifiesta que la etapa final tiene una duración de 52 días lo que concuerda con los resultados obtenidos, pero el letargo en los Tratamiento 2 y Tratamiento 3 se debe a que según (Fernández et al., 2010) los factores que afectan la duración de las etapas fenológicas son: fertilidad, las características físicas del suelo, la sequía y la luminosidad, entre otros, que causan variación en la duración de las etapas.

5. Duración total del ciclo hasta la cosecha en verde

Los resultados de la duración total del ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima para cada tratamiento se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 13. Duración total del ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima para cada tratamiento

TRATAMIENTO	DURACION DEL CICLO COMERCIAL (DÍAS)
T1	119
T2	126
T3	124

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

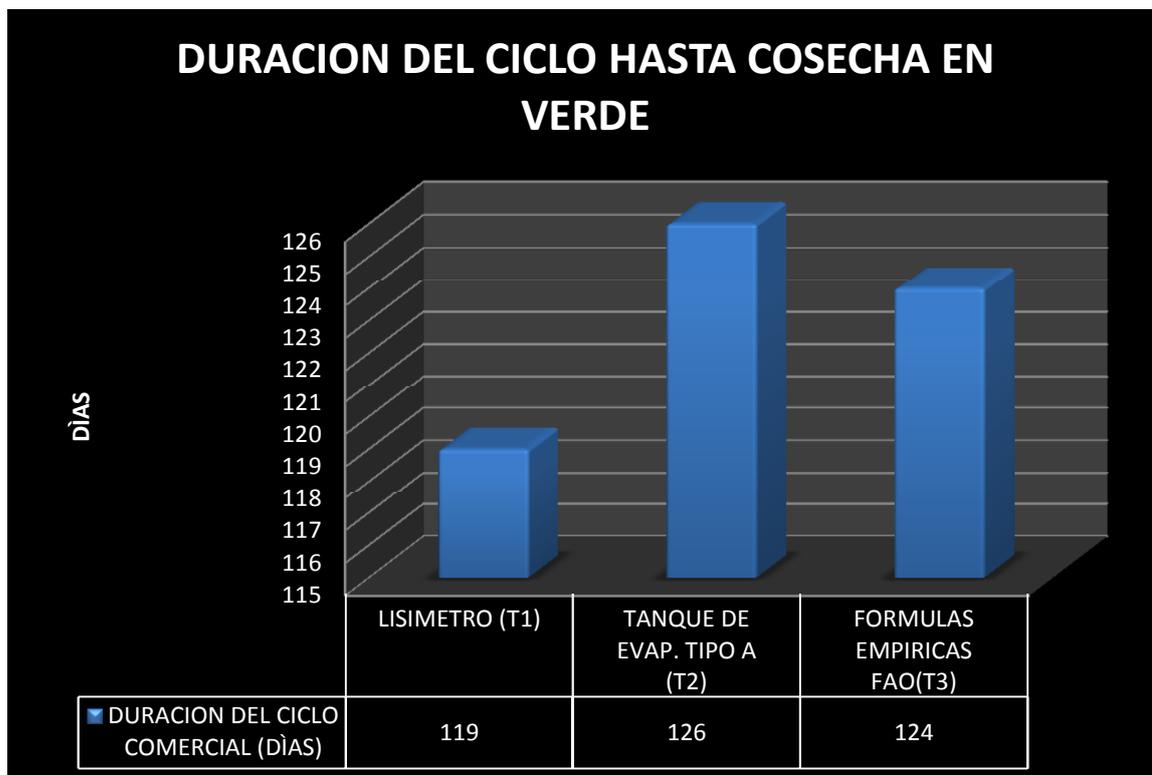


Figura 7. Duración total del ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima para cada tratamiento

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

El ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima tuvo una duración total para el Tratamiento 1 de 119 días, Tratamiento 2 de 126 días y Tratamiento 3 de 124 días. Como se observa en la **Figura 7** en el ciclo total existe diferencia entre tratamientos lo que indica que posiblemente se debe a la aplicación de la lámina de riego en cada uno de los tratamientos.(Murillo, Peralta, Mazón, Rodríguez, & Pinzón, 2012)indican que el ciclo total de desarrollo es de 110 días; el letargo del ciclo de cultivo se debe a que según (Fernández et al., 2010) los factores que afectan la duración de las etapas fenológicas son: fertilidad, las características físicas del suelo, la sequía y la luminosidad, entre otros, que causan variación en la duración de las etapas; posiblemente estas sea la razón para que el ciclo de cultivo se haya alargado en cada uno de los tratamientos.

C. COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc) Y Kc AJUSTADO DEL CULTIVO DE FREJOL (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima

1. Coeficiente de cultivo (kc) del cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima según las fórmulas empíricas de la FAO bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2017

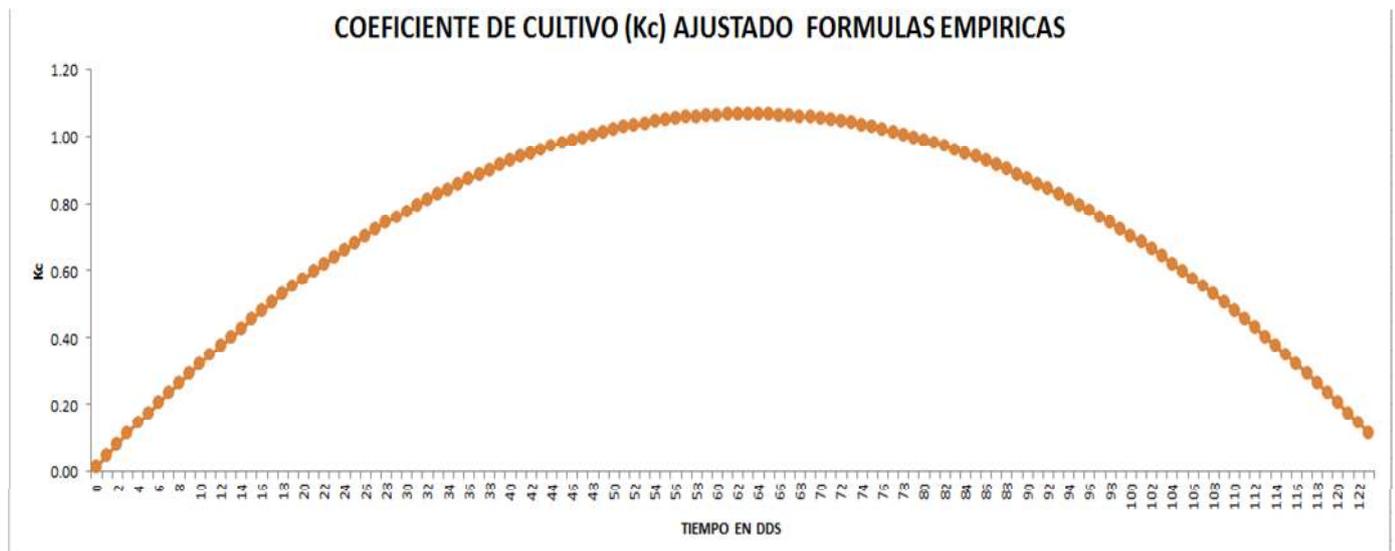


Figura 8. Desarrollo cultivo

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

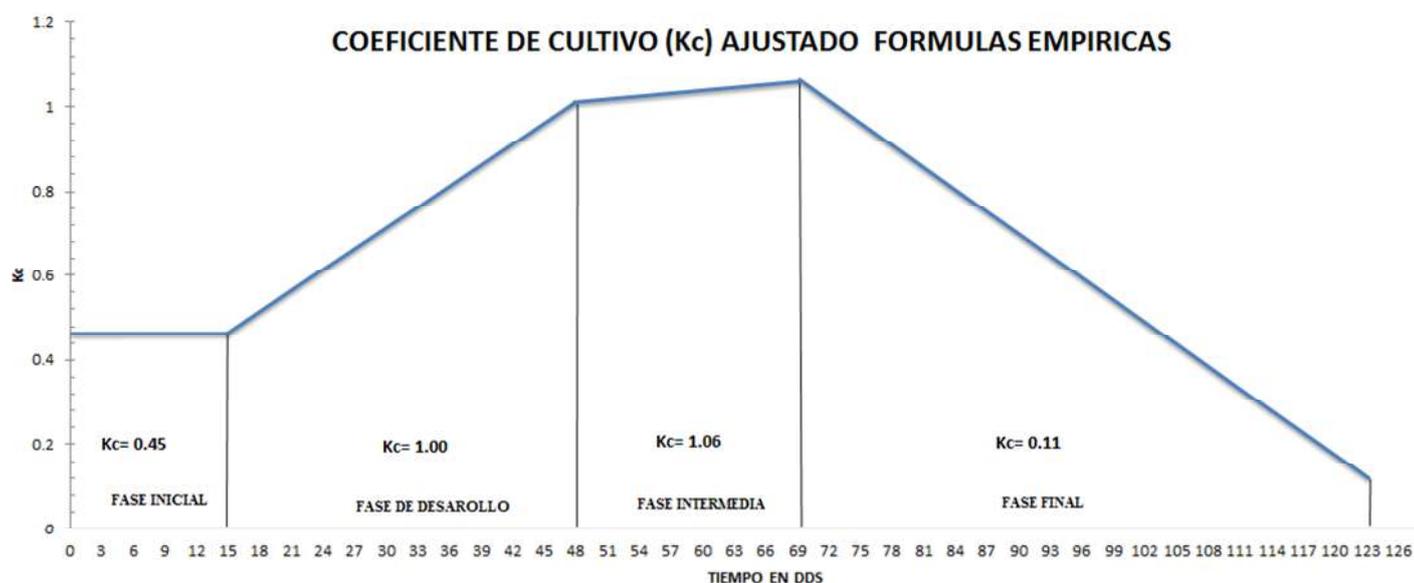


Figura 9. Coeficiente de cultivo (Kc) ajustado por etapa fenológica del cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima determinado por Hargraves

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

En la **Figura 9** mediante la fórmula de Hargreaves se termina el coeficiente de cultivo (Kc) por etapa fenológica del ciclo comercial del cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima; el coeficiente de cultivo para la etapa inicial es de 0.45, posteriormente el cultivo requiere de mayor consumo de agua alcanzando un valor de 1.00; seguido de un aumento máximo en el coeficiente de cultivo de 1.06; y para la etapa final el valor de Kc es de 0.11. (Catañeda, García, Díaz, Gallegos, & Ramírez, 2005) indica que la falta de agua durante las etapas críticas como la floración, formación de vainas y el llenado del grano afectan seriamente el rendimiento.

2. Ajuste del coeficiente de cultivo (kc) del cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima en base a la lisimetria bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2017

Los datos de Kc, fueron graficados para una mejor interpretación mediante un modelo polinómico.

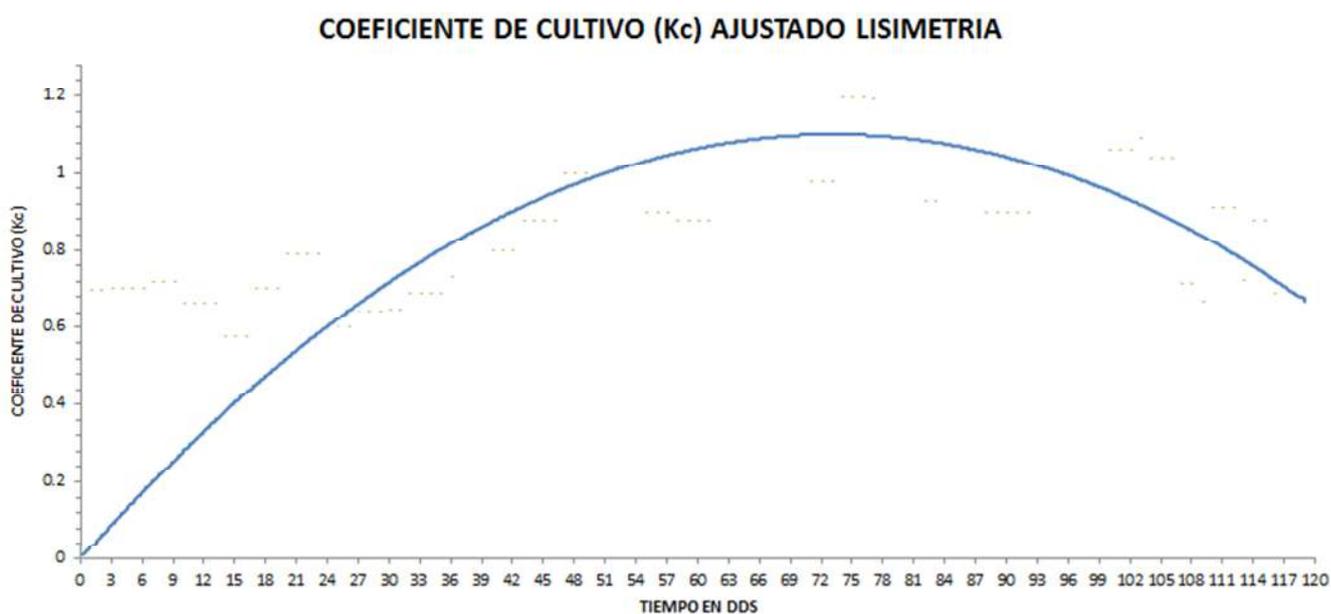


Figura 10. Desarrollo cultivo según lisímetro

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

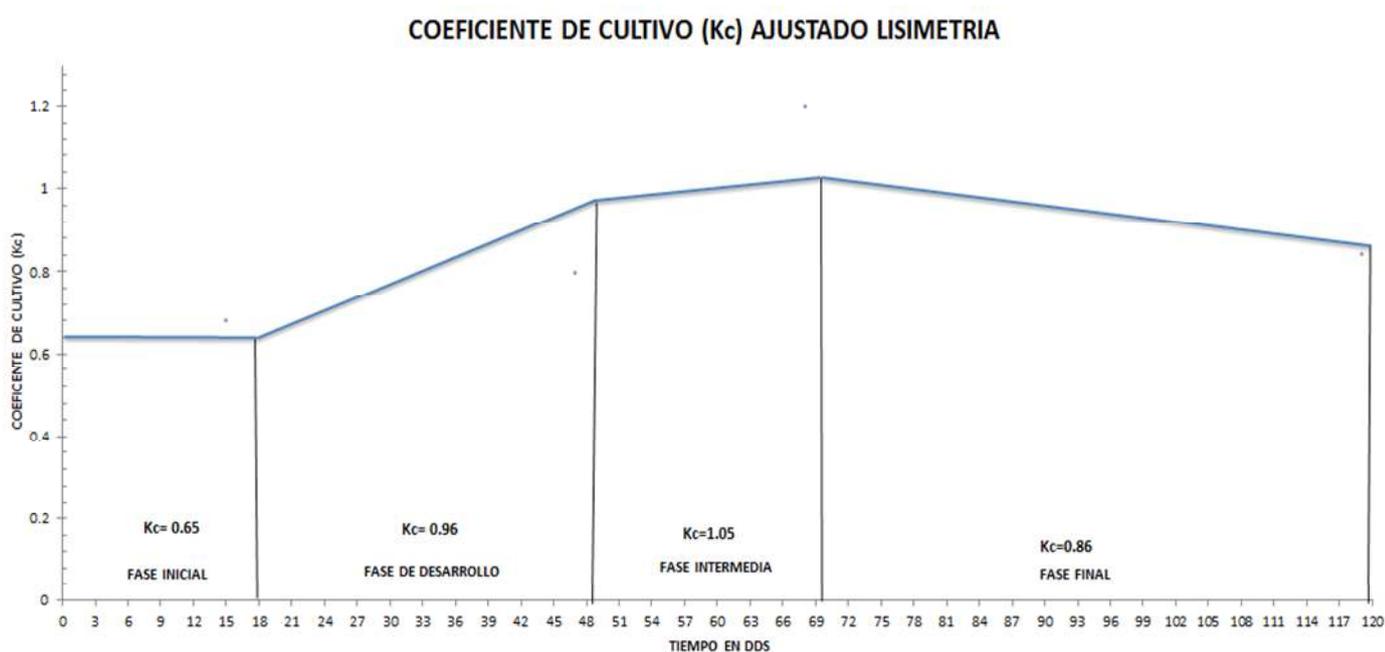


Figura 11. Coeficiente de cultivo (Kc) ajustado por etapa fenológica del cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima determinado por Lisimetría.

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

En función de la **Figura 11** se analiza los siguiente valores del coeficiente de cultivo (Kc) ajustado por cada una de las etapas fenológicas del ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2017.

a. Etapa inicial

Considerando la etapa inicial los primero 15 DDS, el Kc ajustado es de 0.65 el cual se determina en función de la gráfica con el modelo polinómico.

b. Etapa Desarrollo

En esta etapa el consumo de agua se incrementa, en función de la gráfica con el modelo polinómico el Kc ajustado es de 0.96.

c. Etapa Intermedia

En esta etapa existe un mayor consumo de agua se incrementa, en función de la gráfica con el modelo polinómico el Kc ajustado es de 1.05.

d. Etapa Final

En esta etapa se denota una disminución en los valores de Kc y como se puede observar en la **Figura 11**, de acuerdo a la gráfica con el modelo polinómico para esta etapa se determina el Kc ajustado de 0,86.

3. Ajuste del coeficiente de cultivo (kc) del cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima en base al Tanque De Evaporación Tipo A bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2017.

Los datos de Kc, fueron graficados para una mejor interpretación mediante un modelo polinómico.



Figura 12. Coeficiente de cultivo (kc) ajustado del cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima determinado por el método del Tanque De Evaporación Tipo A

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

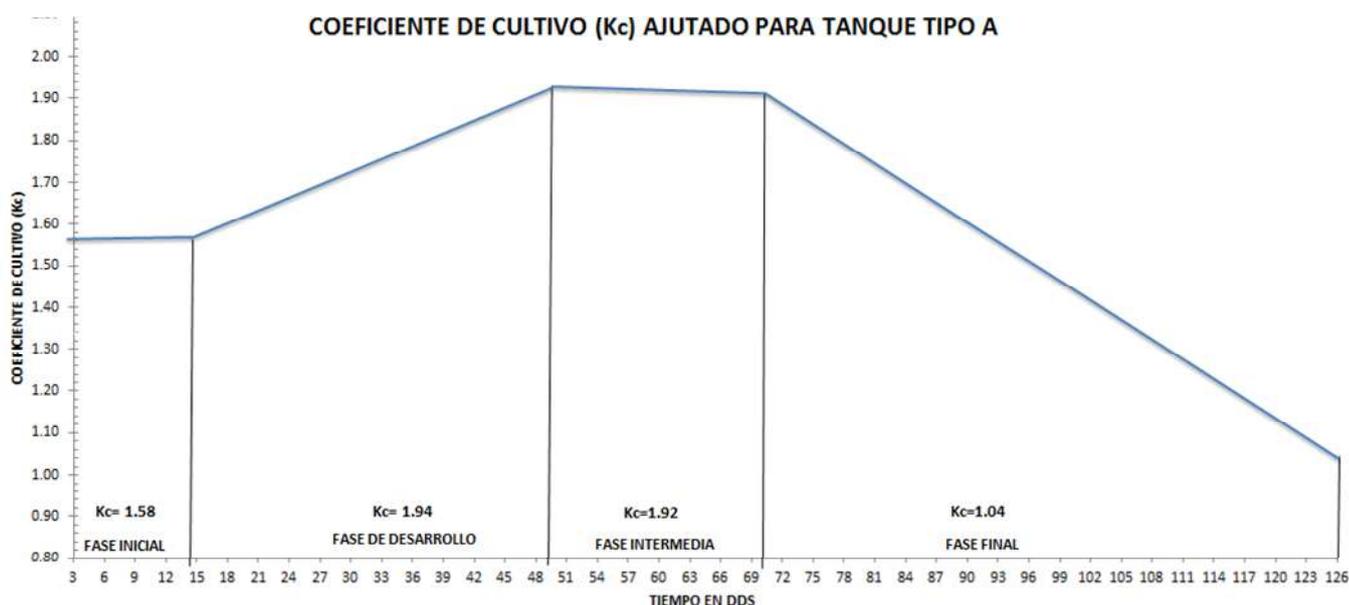


Figura 13. Coeficiente de cultivo (k_c) ajustado del cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima determinado por el Tratamiento 2 (Tanque Evaporación Tipo A) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2017

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

En función de la **Figura 13** se analiza los siguiente valores del coeficiente de cultivo (K_c) ajustado por cada una de las etapas fenológicas del ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2017.

a. Etapa inicial

Considerando la etapa inicial los primero 15 DDS, el K_c ajustado es de 1,58 el cual se determina en función de la gráfica con el modelo polinómico.

b. Etapa Desarrollo

En esta etapa el consumo de agua se incrementa, en función de la gráfica con el modelo polinómico el Kc ajustado es de 1,94.

c. Etapa Intermedia

En esta etapa existe un mayor consumo de agua se incrementa, en función de la gráfica con el modelo polinómico el Kc ajustado es de 1,92.

d. Etapa Final

En esta etapa se denota una disminución en los valores de Kc y como se puede observar en la **Figura 13**, de acuerdo a la gráfica con el modelo polinómico para esta etapa se determina el Kc ajustado de 1,04.

En nuestro país no existe reporte alguno de coeficientes de desarrollo del cultivo frejol con riego por goteo, por lo que; es necesario referenciar los resultados con investigaciones externas a nuestro medio.

Según (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006) en el libro 56 e la FAO "Guía para la determinación de los requerimientos de agua para los cultivos" señalan que el Kc para frejol en la etapa inicial es 0.15, de desarrollo es 0.98, intermedia es 1.19 y final 0.35; los coeficientes de desarrollo del cultivo (Kc) definen la influencia del cultivo sobre la evapotranspiración. Los valores de Kc solo se obtienen a través de la experimentación, ya que el crecimiento de la planta está influenciado por las condiciones cambiantes del clima, condiciones físicas y químicas del suelo, manejo agronómico, sistema de riego y la capacidad genética del cultivo; esta misma publicación manifiestan que los únicos factores

que afectan la evapotranspiración de referencia son los parámetros climáticos, por lo tanto; la evapotranspiración de referencia es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos.

D. REQUERIMIENTOS HÍDRICOS Y LÁMINAS DE RIEGO DEL CULTIVO DE FREJOL (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima

1. Etapa inicial

Los requerimientos hídricos y láminas de riego para la etapa inicial según cada uno de los tratamientos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 14. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa inicial

TRATAMIENTO	REQUERIMIENTO HÍDRICO (mm)	LÁMINAS APORTADA POR RIEGO (mm)	LÁMINAS APORTADA POR PRECIPITACION (mm)
T1	33.13	27.13	6.00
T2	53.14	47.14	6.00
T3	10.55	4.55	6.00

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)



Figura 14.Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa inicial

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

Según la **Figura 14** podemos observar que en la etapa inicial el Tratamiento 1 tuvo un requerimiento hídrico de 33.13 mm y una lámina de riego de 27,13 mm; el Tratamiento 2 tiene un requerimiento hídrico de 53.14 mm y una lámina de riego de 47.14 mm y el Tratamiento 3 tiene un requerimiento hídrico de 10.55 mm y una lámina de riego de 4.55 mm; en esta etapa la lámina aportada por precipitación es de 6 mm en los tres tratamientos; según la (FAO, 2016) señala que el requerimiento hídrico en la etapa inicial es de 58.4mm.

2. Etapa De Desarrollo

Los requerimientos hídricos y láminas de riego para la etapa de desarrollo según cada uno de los tratamientos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 15. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa de desarrollo

TRATAMIENTO	REQUERIMIENTO HIDRICO (mm)	LAMINAS APORTADA POR RIEGO (mm)	LAMINAS APORTADA POR PRECIPITACION (mm)
T1	62.51	32.71	29.80
T2	174.28	144.48	29.80
T3	88.05	58.25	29.80

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

**Figura 15.** Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa de desarrollo

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

Según la **Figura 15** podemos observar que en la etapa de desarrollo el Tratamiento 1 tuvo un requerimiento hídrico de 62.51 mm y una lámina de riego de 32.71 mm; el Tratamiento 2 tiene un requerimiento hídrico de 174.28 mm y una lámina de riego de 144.48 mm y el Tratamiento 3 tiene un requerimiento hídrico de 88.05 mm y una lámina de riego de 58.25 mm; en esta etapa la lámina aportada por precipitación es de 29.80 mm en los tres tratamientos; según la (FAO, 2016), señala que el requerimiento hídrico en la etapa de desarrollo es de 178mm

El consumo de agua del cultivo incrementa debido a que el área de cobertura vegetal es mayor, según (Barrios Gómez, López Castañeda, & Kohashi Shibata, 2011), manifiestan que los procesos del crecimientos están más relacionados con el comportamiento de los potenciales osmótico y de turgencia, particularmente cuando las plantas están sujetas a variaciones en el contenido de humedad del suelo.

3. Etapa Intermedia

Los requerimientos hídricos y láminas de riego para la etapa intermedia según cada uno de los tratamientos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 16. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa intermedia

TRATAMIENTO	REQUERIMIENTO HIDRICO (mm)	LAMINAS APORTADA POR RIEGO (mm)	LAMINAS APORTADA POR PRECIPITACION (mm)
T1	43.93	20.43	23.50
T2	97.64	74.14	23.50
T3	69.28	45.78	23.50

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

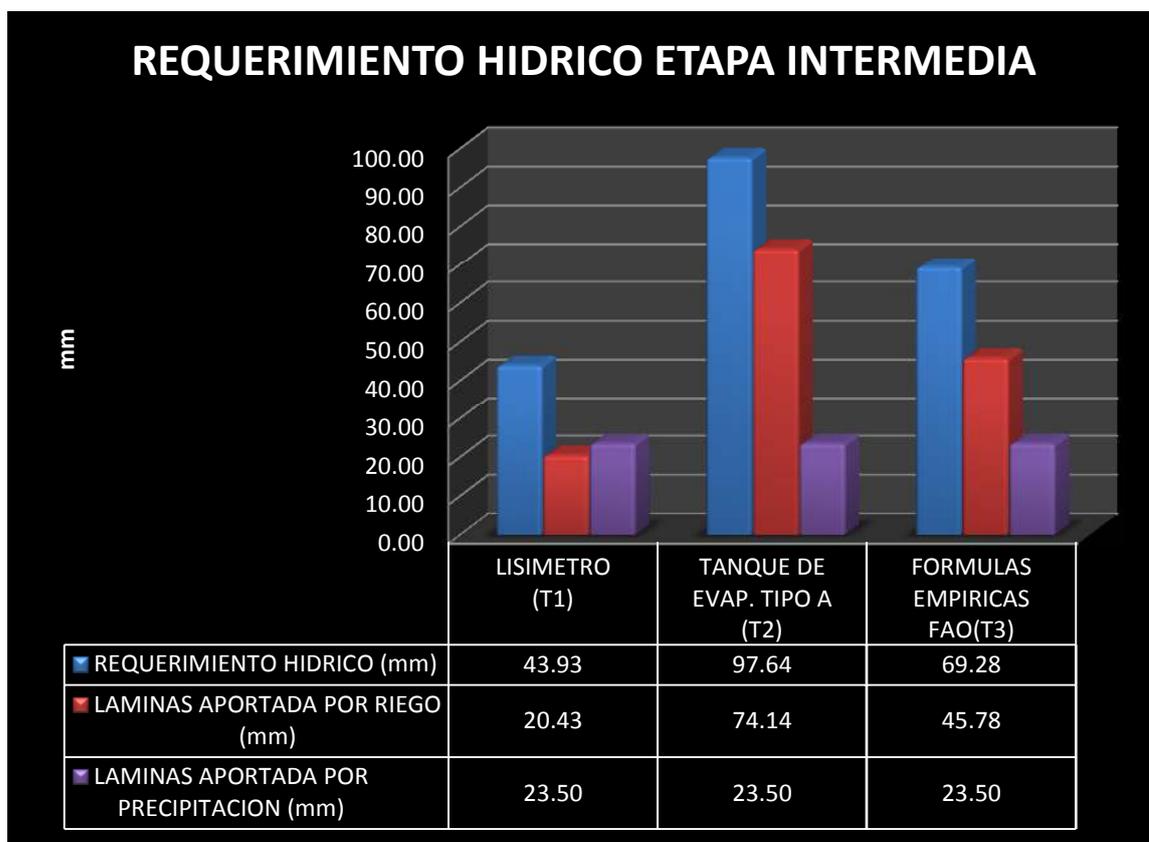


Figura 16.Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa intermedia

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

Según la **Figura 16** podemos observar que en la etapa intermedia el Tratamiento 1 tuvo un requerimiento hídrico de 43.93 mm y una lámina de riego de 20.43 mm; el Tratamiento 2 tiene un requerimiento hídrico de 97.64 mm y una lámina de riego de 74.14 mm y el Tratamiento 3 tiene un requerimiento hídrico de 69.28 mm y una lámina de riego de 45.78 mm; en esta etapa la lámina aportada por precipitación es de 23.50 mm en los tres tratamientos; según la (FAO, 2016), señala que el requerimiento hídrico en la etapa inicial es de 81.5mm

Según (Peralta et al., 2010), señala que posteriormente se aplican dos riegos que no deben faltar : antes de la floración y para el llenado de granos, por ello los riegos en prefloración y formación de vainas son muy importantes para obtener buen rendimiento y calidad de

grano. En este periodo T2 y T3 recibieron mayor cantidad de agua respecto a T1 por lo que presumiblemente su rendimiento se vea afectado.

(Acosta-Gallegos, 2011), en su publicación “Efecto de la sequía en la producción de biomasa y grano de frijol” dice que en el tratamiento de sequía los días a la madurez fisiológica y la etapa de llenado del grano en los dos experimentos, fueron significativamente inferiores en relación al tratamiento de riego, por lo que en esta etapa es fundamental suministrar agua al cultivo para obtener altos rendimientos.

4. Etapa Final

Los requerimientos hídricos y láminas de riego para la etapa final según cada uno de los tratamientos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 17. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa final

TRATAMIENTO	REQUERIMIENTO HIDRICO (mm)	LAMINAS DE RIEGO (mm)	LAMINAS APORTADA POR PRECIPITACION (mm)
T1	152.81	52.21	100.60
T2	289.9	175.40	114.50
T3	135.85	21.95	113.90

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)



Figura 17.Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa final

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

Según la **Figura 17** podemos observar que en la etapa final el Tratamiento 1 tuvo un requerimiento hídrico de 152.81 mm, la lámina de riego es de 52.21 mm, y la lámina aportada por precipitación es de 100.60; en el Tratamiento 2 el requerimiento hídrico es de 289.9 mm y la lámina de riego es de 175.40 mm, y la lámina aportada por precipitación es de 114.50 y el requerimiento hídrico en el Tratamiento 3 es de 135.85 mm, en el cual la lámina de riego es de 21.95 mm; y la lámina aportada por precipitación es de 113.90; según la (FAO, 2016), señala que el requerimiento hídrico en la etapa final es de 45 mm.

5. Requerimientos hídricos y láminas de riego totales.

Los requerimientos hídricos y láminas de riego aplicado en el ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima según cada uno de los tratamientos se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 18. Requerimiento hídrico y lámina de riego total aplicada en el ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima hasta la cosecha en verde

TRATAMIENTO	REQUERIMIENTO HIDRICO (mm)	LAMINAS APORTADA POR RIEGO (mm)	LAMINAS APORTADA POR PRECIPITACION (mm)
T1	292.38	132.48	159.90
T2	614.96	441.16	173.80
T3	421.79	248.59	173.20

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)



Figura 18. Requerimiento hídrico y lámina de riego total aplicada en el ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima hasta la cosecha en verde

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

Los resultados de la **Figura 18** respecto a los requerimientos hídricos y láminas de riego aplicadas en el ciclo de cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima nos dan como resultado que para el Tratamiento 1 el requerimiento hídrico es de 292.38 mm, la lámina aportada por el riego es de 180.45 mm, y el aporte por precipitación es de 159.90; en el Tratamiento 2 el requerimiento hídrico es de 614.96 mm, la lámina aportada por el riego es de 503.03 mm, y el aporte por precipitación es de 173.8mm; y en el Tratamiento 3 el requerimiento hídrico es de 421.79 mm, la lámina aportada por el riego es de 303.74 mm, y el aporte por precipitación es de 173.20 mm.

Al comparar los resultados según obtenidos por (Acosta-Gallegos, 2011), con la presente investigación la reducción en la duración de las fases fenológicas coincide con los

resultados obtenidos en otras investigaciones, realizadas con diferentes genotipos sometidos a estrés hídrico, este aceleramiento de la madurez por lo general se observa cuando el tratamiento de sequía es de duración prolongada, durante la fase reproductiva y no existen condiciones favorables para la recuperación del cultivo; es por esto que la duración del ciclo total del cultivo en el Tratamiento 1 es de 119 DDS, Tratamiento 2 es de 126 DDS y Tratamiento 3 es de 124 DDS esta se debe a que el Tratamiento 1 tuvo menor aporte de agua que el Tratamiento 2 y Tratamiento 3. La respuesta y acoplamiento de la fenología del cultivo a los factores ambientales, precipitación, y el riego ha sido reconocida como un criterio importante para la duración del ciclo del cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima en el cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2017

E. ALTURA DE LA PLANTA (cm.)

1. Altura de la planta a los 30 DDS

El análisis de varianza para la altura de la planta a los 30 DDS (**Tabla 19**), no presentó diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento.

El coeficiente de variación fue 6,74 %.

Tabla 19. El análisis de varianza para la altura de la planta a los 30 DDS

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamiento	0,13	2	0,06	0,33	0,7365	Ns
Repetición	1,39	2	0,69	3,62	0,1268	Ns
Error	0,77	4	0,19			
Total	2,28	8				
CV	6,74					

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

2. Altura de la planta a los 45 DDS

El análisis de varianza para la altura de la planta a los 45 DDS (**Tabla 20**), presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos.

El coeficiente de variación fue 1.81 %.

Tabla 20. Análisis de varianza para la altura de la planta a los 45 DDS

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamiento	21,45	2	10,72	103,77	0,0004	**
Repetición	0,98	2	0,49	4,74	0,0880	Ns
Error	0,41	4	0,10			
Total	22,84	8				
CV	1,81					

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

Tabla 21. Prueba de Tukey al 5% para la altura de la planta a los 45 DDS.

Tratamiento	Medias	Rango
2,00	19,37	A
3,00	18,33	B
1,00	15,70	C

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

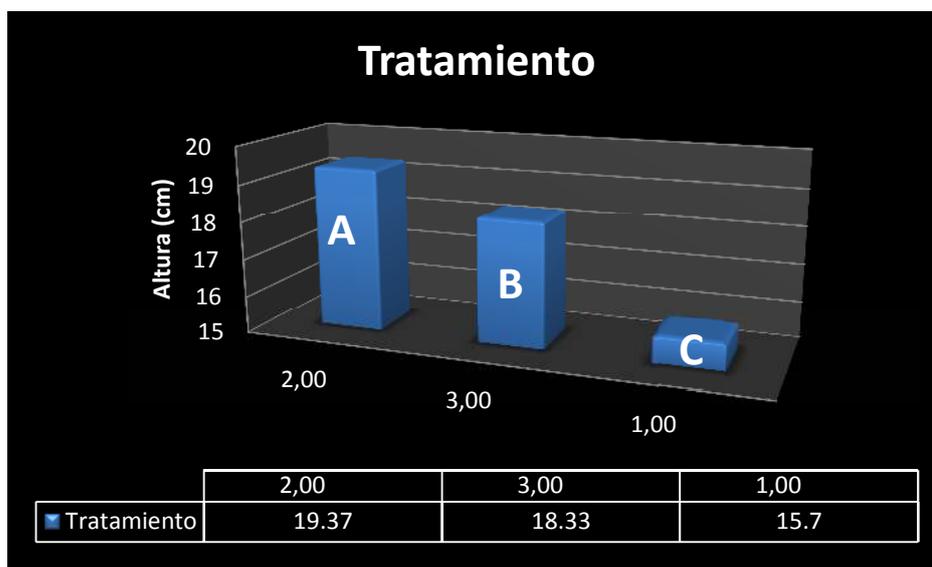


Figura 19. Altura de la planta a los 45 DDS.

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

En la prueba de Tukey al 5% para la altura de planta a los 45 DDT (**Tabla 21; Figura 19**); el Tratamiento 2 se ubicó en el rango “A” con un valor de 19.37 cm., mientras que el Tratamiento 3 se ubicó en el rango “B” c con un valor de 18,33 y el Tratamiento 1 se ubica en el rango “C” con valores de 15,70 cm .

La diferencia de altura observadas en la **Figura 19** se vio influenciada por la aplicación de las láminas de riego en cada uno de los tratamientos debido a lo manifestado por (Barrios Gómez et al., 2011) ya que los procesos de crecimiento están sujetos a las variaciones del contenido de humedad en el suelo.

3. Altura de la planta a los 60 DDS

El análisis de varianza para la altura de la planta a los 60 DDS (**Tabla 22**), presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos.

El coeficiente de variación fue 0,67 %.

Tabla 22. Análisis de varianza para la altura de la planta a los 60 DDS

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamiento	60,87	2	30,43	883,58	<0,0001	**
Repetición	0,39	2	0,19	5,65	0,0684	ns
Error	0,14	4	0,03			
Total	61,40	8				
CV	0,67					

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

Tabla 23. Prueba de Tukey al 5% para la altura de la planta a los 60 DDS

Tratamiento	Medias	Rango
2,00	30,40	A
3,00	28,57	B
1,00	24,20	C

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

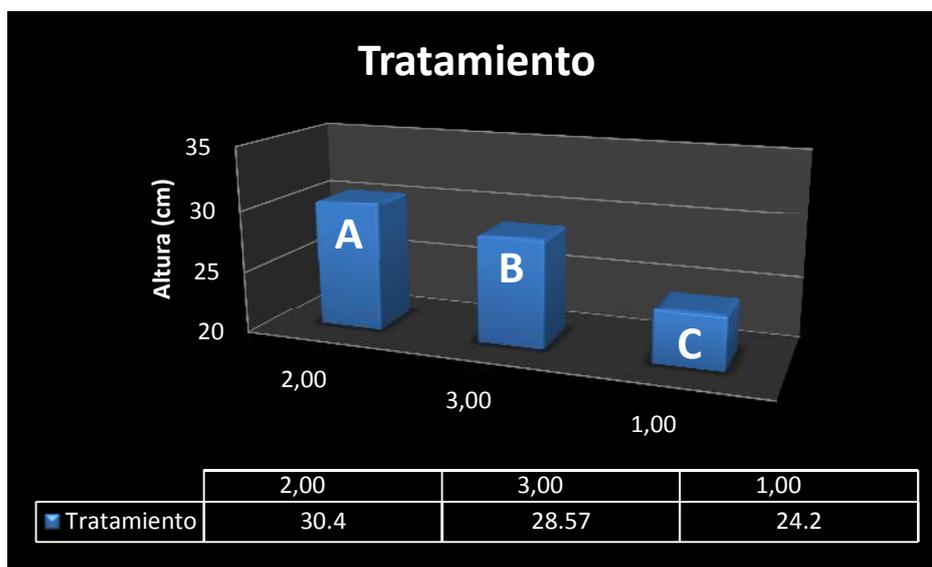


Figura 20. Altura de la planta a los 60 DDS

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

En la prueba de Tukey al 5% para la altura de planta a los 60 DDT (**Tabla 23; Figura 20**); el Tratamiento 2 se ubicó en el rango “A” con un valor de 30,4 cm., mientras que el Tratamiento 3 se ubicó en el rango “B” con un valor de 28.57 y el Tratamiento 1 se ubica en el rango “C” con un valor de 24.20 cm.

La diferencia de altura observadas en la **Figura 20** se vio influenciada por la aplicación de las láminas de riego en cada uno de los tratamientos esta fase fenológica es crítica ya que al ser cuando inicia la floración la planta debe tener el riego adecuado ya que si la planta se somete a estrés el rendimiento se verá afectado(Acosta-gallegos, 2011).

4. Altura de la planta a los 70 DDS

El análisis de varianza para la altura de la planta a los 70 DDS (**Tabla 24**), presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos.

El coeficiente de variación fue 0,26 %.

Tabla 24. Análisis de varianza para la altura de la planta a los 70 DDS

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamiento	137,96	2	68,98	7303,88	<0,0001	**
Repetición	0,03	2	0,01	1,53	0,3211	ns
Error	0,04	4	0,01			
Total	138,03	8				
CV	0,26					

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

Tabla 25. Prueba de Tukey al 5% para la altura de la planta a los 70 DDS

Tratamiento	Medias	Rango
2,00	40,63	A
3,00	38,60	B
1,00	31,50	C

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

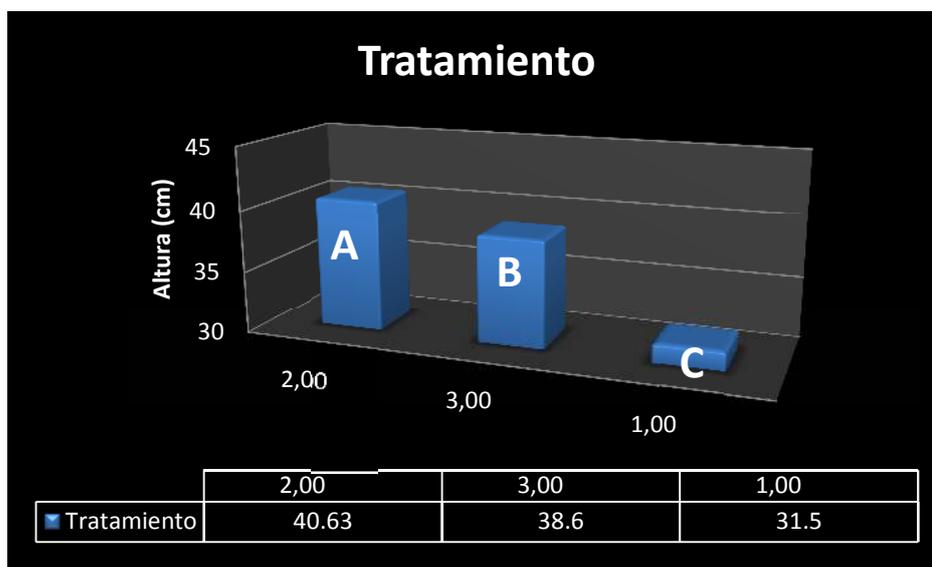


Figura 21. Altura de la planta a los 70 DDS.

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

En la prueba de Tukey al 5% para la altura de planta a los 70 DDT (**Tabla 25; Figura 21**); el Tratamiento 2 se ubicó en el rango “A” con un valor de 40,63 cm., mientras que el Tratamiento 3 se ubicó en el rango “B” con un valor de 38.60 y el Tratamiento 1 se ubica en el rango “C” con un valor de 31,50 cm.

La diferencia de altura observada en la **Figura 21** se vio influida por la aplicación de las láminas de riego en cada uno de los tratamientos. Según (Acosta-Gallegos, 2011), la reducción promedio de la plantas cuando están sometidas a estrés hídrico es mayor para el rendimiento de grano que para la acumulación de biomasa en el vástago.

F. CONTENIDO RELATIVO DE AGUA (WRC)

1. Contenido Relativo De Agua (WRC) en vainas

El análisis de varianza para contenido relativo de agua (WRC) en vainas (**Tabla 26**), presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos.

El coeficiente de variación fue 0,35 %.

Tabla 26. Análisis de varianza para Contenido Relativo De Agua (WRC) en vainas

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamiento	12,92	2	6,46	61,75	0,0010	**
Repetición	0,20	2	0,10	0,94	0,4629	ns
Error	0,42	4	0,10			
Total	13,54	8				
CV	0,35					

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

Tabla 27. Prueba de Tukey al 5% para Contenido Relativo De Agua (WRC) en vainas

Tratamiento	Medias	Rango
3,00	92,89	A
2,00	91,28	B
1,00	89,96	C

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

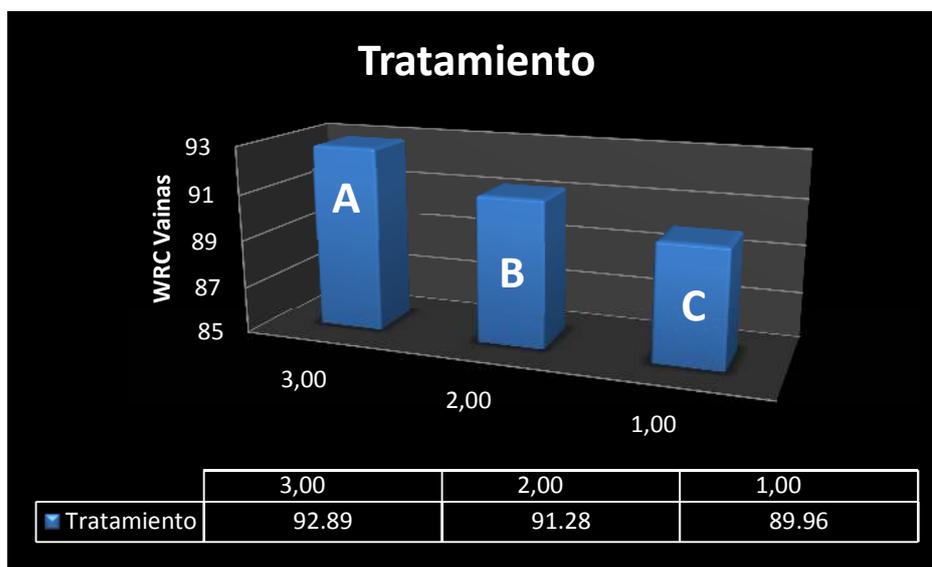


Figura 22.Contenido Relativo De Agua (WRC) en vainas

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

En la prueba de Tukey al 5% para contenido relativo de agua (WRC) en vainas (**Tabla 27;** **Figura 22**); el Tratamiento 3 se ubicó en el rango “A” con un valor de 92,89 %, mientras que el Tratamiento T2 se ubicó en el rango “B” con un valor de 91,28 % y el Tratamiento 1 se ubica en el rango “C” con un valor de 89.96 % .

La diferencia del contenido relativo de agua (WRC) observada en la **Figura 22** es influenciada por la aplicación de las láminas de riego en cada uno de los tratamientos. Según (Millar, 1997), manifiesta que durante los periodos de déficit de agua en el suelo, el aumento de la resistencia estomática debido a la disminución del potencial de agua a las distintas partes de la planta no solo produce una reducción de la tasa de transpiración sino también una reducción en el flujo de CO₂ `por lo tanto afecta el proceso de fotosíntesis y la de producción de materia seca

2. Contenido Relativo De Agua WRC en hojas

El análisis de varianza para contenido relativo de agua (WRC) en vainas (**Tabla 28**), no presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos.

El coeficiente de variación fue 3,72 %.

Tabla 28. Análisis de varianza para Contenido Relativo De Agua (WRC) en hojas

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamiento	0,24	2	0,12	0,01	0,9875	ns
Repetición	20,89	2	10,44	1,08	0,4208	ns
Error	38,58	4	9,64			
Total	59,71	8				
CV	3,72					

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

G. NÚMERO DE PLANTAS EN LA PARCELA NETA

El análisis de varianza para el número de plantas en la parcela neta (**Tabla 29**), no presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos.

El coeficiente de variación fue 4,38 %.

Tabla 29. Análisis de varianza para el número de plantas en la parcela.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamiento	0,74	2	0,37	0,64	0,5746	ns
Repetición	2,80	2	1,40	2,43	0,2040	ns
Error	2,31	4	0,58			
Total	5,85	8				
CV	4,38					

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

H. NÚMERO DE VAINAS POR PLANTA

El análisis de varianza para el número de vainas por planta (**Tabla 30**), presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos.

El coeficiente de variación fue 0,57 %.

Tabla 30. Análisis de varianza para el número de plantas en la parcela

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamiento	34,28	2	17,14	3856,75	<0,0001	**
Repetición	0,03	2	0,01	3,25	0,1451	ns
Error	0,02	4	4,4E-03			
Total	34,33	8				
CV	0,57					

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

Tabla 31. Prueba de Tukey al 5% para el número de vainas por planta

Tratamiento	Medias	Rango
2,00	13,97	A
3,00	11,90	B
1,00	9,20	C

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

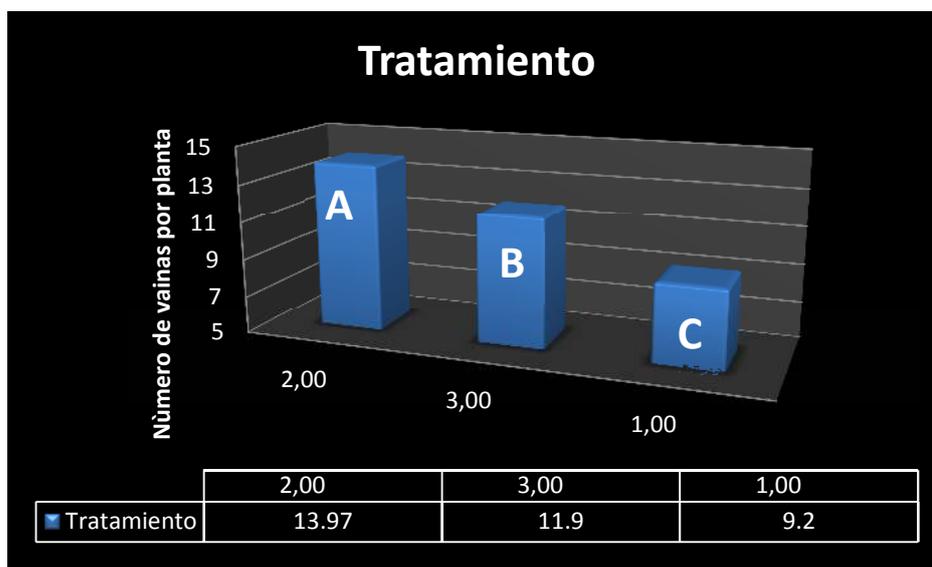


Figura 23. Número de vainas por planta

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

En la prueba de Tukey al 5% para el número de vainas por planta (**Tabla 31; Figura 23**); el Tratamiento 2 se ubicó en el rango “A” con un valor de 13.97 vainas por planta., mientras que el Tratamiento 3 se ubicó en el rango “B” con un valor de 11,90 y el Tratamiento T1 se ubica en el rango “C” con un valor de 9.20 vainas por planta.

En la **Figura 23** podemos observar que el Tratamiento T2 tiene mayor número de vainas por planta esto se debe a que según (Lopez, Fernandez, & van Schoonhoven, 1985), el frejol es susceptible al exceso de agua por lo que el Tratamiento T3 en el que se dio mayor cantidad de agua no es el tratamiento que tiene mayor cantidad de vainas por planta.

I. RENDIMIENTO (Kg)

1. Rendimiento por parcela neta

El análisis de varianza para el rendimiento por parcela neta (**Tabla 32**), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos.

El coeficiente de variación fue 7,84 %.

Tabla 32. Análisis de varianza para rendimiento por parcela neta

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamiento	28,24	2	14,12	26,64	0,0049	**
Repetición	0,94	2	0,47	0,89	0,4805	ns
Error	2,12	4	0,53			
Total	31,30	8				
CV	7,84					

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

Tabla 33. Prueba de Tukey al 5% para rendimiento por parcela neta

Tratamiento	Medias	Rango
3,00	11,07	A
2,00	9,93	A
1,00	6,87	B

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

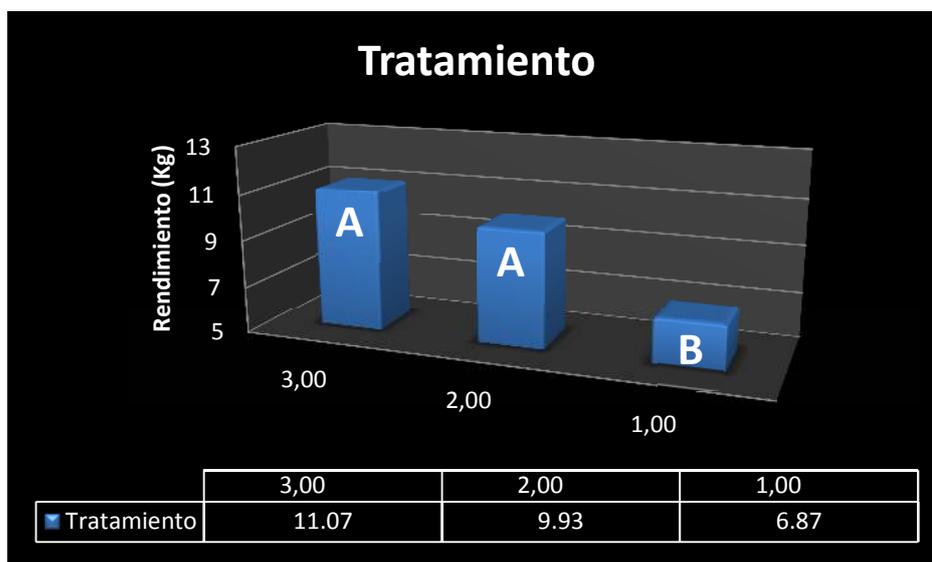


Figura 24. Rendimiento por parcela neta

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

En la prueba de Tukey al 5% para el rendimiento por parcela neta (**Tabla 33; Figura 24**); el Tratamiento 3 y Tratamiento 2 se ubican en el rango “A” con un valor de 11.07 Kg, mientras que el Tratamiento 2 con un valor de 9.93 kg y el Tratamiento 1 se ubica en el rango “B” con un valor de 6.87 Kg.

En la **Figura 24** podemos observar que el Tratamiento 3 tiene mayor rendimiento pese a que el Tratamiento 2 tienen el mayor número de vainas por planta es decir que el peso de las vaina es menor en el tratamiento 2.

Según (Acosta-Díaz, Trejo-López, Del Mar Ruiz-Posadas, Padilla-Ramírez, & Acosta-Gallegos, s. f.), el frijol en la etapa reproductiva, la cual comprende las fases posteriores a la floración, éste es más sensible al estrés hídrico que en las fases vegetativas, debido al incremento en la demanda de asimilados por las estructuras reproductivas.

2. Rendimiento total en kilogramos por hectárea (Kg/ha)

El análisis de varianza para el rendimiento total en kilogramos por hectárea (**Tabla 34**), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos.

El coeficiente de variación fue 7,82 %.

Tabla 34. Análisis de varianza para rendimiento por hectárea

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamiento	6204677,35	2	3102338,67	26,76	0,0048	**
Repetición	207893,15	2	103946,58	0,90	0,4768	ns
Error	463751,20	4	115937,80			
Total	6876321,70	8				
CV	7,82					

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

Tabla 35. Prueba de Tukey al 5% para rendimiento por hectárea

Tratamiento	Medias	Rango
3,00	5186,29	A
2,00	4649,78	A
1,00	3219,08	B

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

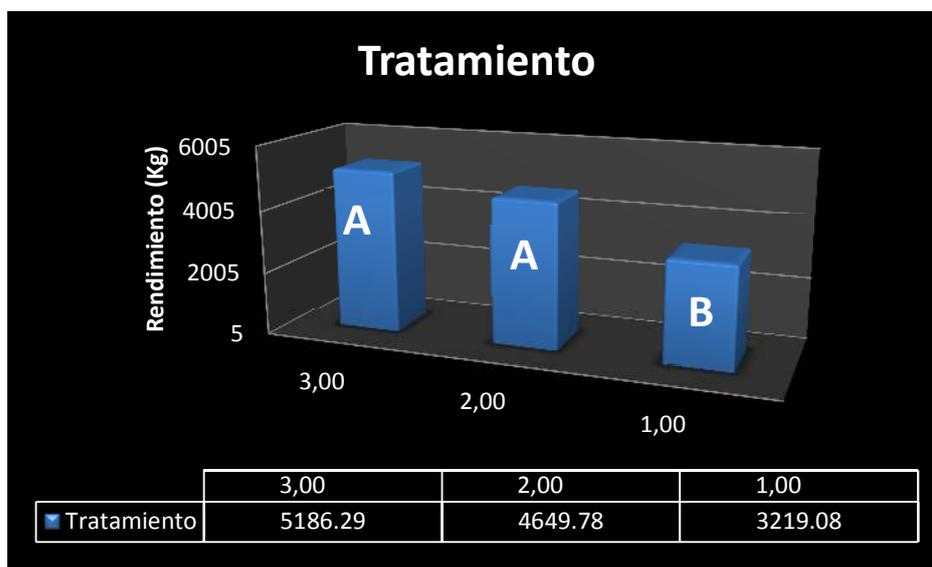


Figura 25. Rendimiento por hectárea

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

En la prueba de Tukey al 5% para el rendimiento total en kilogramos por hectárea (**Tabla 35; Figura 25**); el Tratamiento 3 y el Tratamiento 2 se ubican en el rango “A” con un valor de 5186.29 Kg/ha para el Tratamiento 3, mientras que el Tratamiento 2 con un valor de 4649.78 Kg/ha y el Tratamiento 1 se ubica en el rango “B” con un valor de 3219.08 Kg/ha.

En la **Figura 25** podemos observar que el Tratamiento 3 tiene mayor rendimiento pese a que el Tratamiento 2 tienen el mayor número de vainas por planta es decir que el peso de las vaina es menor en el tratamiento 2.

Según (Acosta-Díaz et al., s. f.), se presume que los mecanismos que confieren adaptación al cultivo y los requerimientos hídricos tienen relación con el rendimiento, pueden ser similares a aquellos relacionados con la tolerancia en condiciones de sequía terminal.

J. MATERIA SECA (%)

1. Materia seca en hojas (%)

El análisis de varianza para materia seca en hojas (%) (**Tabla 36**), no presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos.

El coeficiente de variación fue 3,93 %.

Tabla 36. Análisis de varianza para % de Materia seca en hojas

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamiento	3,32	2	1,66	3,25	0,1453	ns
Repetición	3,57	2	1,79	3,50	0,1324	ns
Error	2,04	4	0,51			
Total	8,93	8				
CV	3,93					

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

2. Materia seca en vainas (%)

El análisis de varianza para materia seca en vainas (%) (**Tabla 37**), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos.

El coeficiente de variación fue 1,47 %.

Tabla 37. Análisis de varianza para % de Materia seca en vainas

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamiento	17,82	2	8,91	103,48	0,0004	**
Repetición	1,3E-03	2	6,3E-04	0,01	0,9927	ns
Error	0,34	4	0,09			
Total	18,17	8				
CV	1,47					

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

Tabla 38. Prueba de Tukey al 5% para % de Materia seca en vainas

Tratamiento	Medias	Rango
2,00	21,67	A
1,00	19,91	B
3,00	18,22	C

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

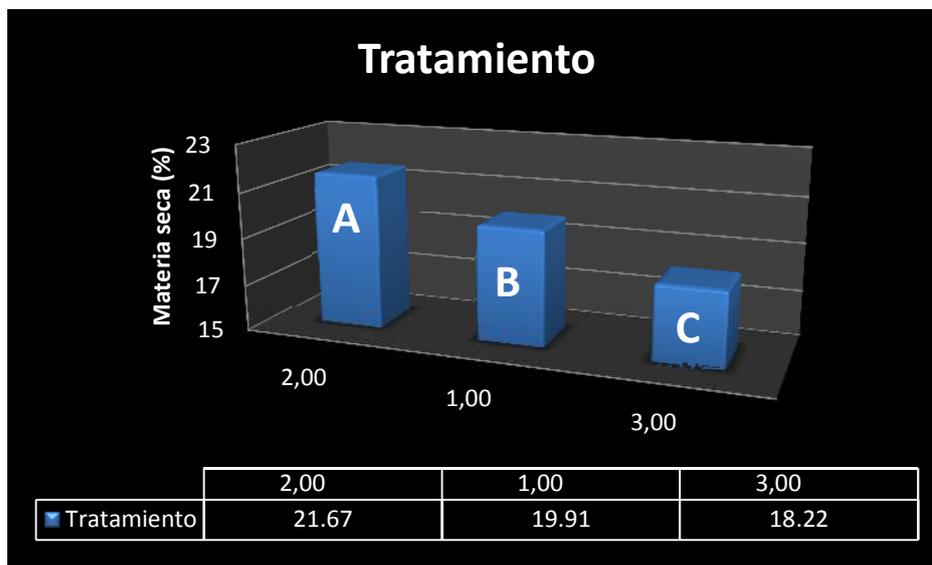


Figura 26. % de Materia seca en vainas

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

En la prueba de Tukey al 5% para el %de materia seca en vainas (**Tabla 38; Figura 26**); el Tratamiento 2 se ubicó en el rango “A” con un valor de 21.67%, mientras que el Tratamiento 1 se ubicó en el rango “B” con un valor de 19.91 % y el Tratamiento 3 se ubica en el rango “C” con valores de 18.22%

En la **Figura 26** según (Rodríguez, Tosquy-Valle, & López, 2014), en el caso del frejol, la movilización de los fotoasimilados hacia el grano es de mayor intensidad durante los últimos días del ciclo del cultivo; en esta parte del cultivo se concentra la mayor parte del peso seco de la planta . Una medida de eficiencia de la distribución de materia seca en el cultivo de frijol es el índice de cosecha, el cual es la relación del rendimiento entre el peso seco total, también afirma que el porcentaje de la biomasa que el cultivo dedica a la producción de grano en relación con las demás estructuras de la planta.

K. HUELLA HÍDRICA.

El análisis de varianza para huella hídrica (**Tabla 39**), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos.

El coeficiente de variación fue 8,59 %.

Tabla 39. Análisis de varianza para Huella Hídrica

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamiento	362325,18	2	181162,59	29,20	0,0041	**
Repetición	9915,21	2	4957,60	0,80	0,5105	ns
Error	24813,26	4	6203,32			
Total	397053,65	8				
CV	8,59					

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

Tabla 40. Prueba de Tukey al 5% para Huella Hídrica

Tratamiento	Medias	Rango
3,00	733,76	A
1,00	821,26	A
2,00	1196,34	B

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

En la prueba de Tukey al 5% para Huella Hídrica (**Tabla 40**); el Tratamiento 3 y el Tratamiento 1 se ubicó en el rango “A”, el Tratamiento 3 con un valor de 733.76 lt/kg, mientras que el Tratamiento 1 con un valor de 821.26 lt/kg y el Tratamiento 2 se ubica en el rango “B” con valores de 1196.34 lt/kg.

L. ANÁLISIS ECONÓMICO.

Tabla 41. Relación beneficio costo

TRATAMIENTO	INGRESO TOTAL	COSTO TOTAL	B/C	RENTABILIDAD
T1	2,414.30	2,101.96	1.15	14.86
T2	3,487.33	2,101.96	1.66	65.91
T3	3,889.71	2,101.96	1.85	85.05

Fuente y Elaboración: Gaibor, JD.(2017)

En la presente investigación el tratamiento que presenta mayor beneficio neto es T3 con un valor de 3889.71 USD y una relación costo beneficio de 1,85 expresado en términos de rentabilidad de 85.05%; seguido de T2 que presenta un beneficio neto con un valor de 3487.33 USD y una relación costo beneficio de 1,66 expresado en términos de rentabilidad de 65.91 %; finalmente T1 presenta el menor beneficio neto con un valor de 2414.30 USD y una relación costo beneficio de 1,15 expresado en términos de rentabilidad de 14.86%

VI. CONCLUSIONES.

- A.** El tratamiento que presenta menor duración en el ciclo de cultivo es el tratamiento T1 (lisímetro de drenaje) en la cual la duración total en el ciclo de cultivo hasta la cosecha en fresco es de 119 días.
- B.** El ciclo del cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima de siembra a cosecha en verde, bajo las condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba; presenta valores de coeficientes de cultivo Kc ajustado con Lisimetria para la etapa inicial de 0,65; etapa de desarrollo 0,96; etapa intermedia 1,05 y etapa final 0,86.
- C.** El ciclo del cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima de siembra a cosecha en verde, bajo las condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba; presenta valores de coeficientes de cultivo Kc ajustado para el Tanque De Evaporación Tipo A, para la etapa inicial es de 1.47; etapa de desarrollo 1,83; etapa intermedia 1,82 y etapa final 1,02.
- D.** El ciclo del cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima de siembra a cosecha en verde, bajo las condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba; presenta valores de coeficientes de cultivo Kc ajustado para Hargraves para la etapa inicial es de 0,45; etapa de desarrollo 1,00; etapa intermedia 1,06 y etapa final 0,11
- E.** El tratamiento que presenta menor Huella Hídrica es el tratamiento T3 (Fórmulas empíricas) con 733.76 lt/kg.
- F.** El tratamiento que presenta mayor beneficio neto es T3 (Fórmulas empíricas) con una relación costo beneficio de 1,85 expresado en términos de rentabilidad de 85.05%.

VII. RECOMENDACIONES.

- A. Utilizar el kc ajustados de las formulas empíricas para obtener menor huella hídrica y costo beneficio.

- B. Validar los resultados del coeficiente de cultivo (kc) ajustado para lisimetria de frejol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Calima bajo las condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba, con la finalidad de optimizar el buen uso y aplicación del agua de riego.

VIII. RESUMEN

La presente investigación propone: determinar los requerimientos hídricos del cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris* Var. Calima) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo; mediante la aplicación de dos métodos indirectos y uno directo. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres tratamientos y tres repeticiones: método 1(T1) láminas de riego determinadas por el lisímetro de drenaje; método 2 (T2) láminas de riego determinadas por Tanque de Evaporación Tipo A; método 3(T3) láminas de riego determinadas por el por el cálculo empírico de la evapotranspiración del cultivo; para realizar la aplicación de las láminas de riego establecidas para cada tratamiento se instaló un sistema de riego a goteo no autocompensado para evaluar la incidencia de la aplicación de los tratamientos, las frecuencia de riego para T1 en el periodos que el drenaje del lisímetro cesó, mientras que T2 y T3 se trabajó con un abatimiento del 25% de la humedad aprovechable. También se determinan y ajustan valores de coeficiente de cultivo (kc) para cada etapa fenológica. Las variables evaluadas fueron días a la emergencia, floración, envainado y cosecha, altura de la planta, WRC, numero de vainas y peso, rendimiento, materia seca y huella hídrica. Los valores de coeficiente de cultivo (kc) ajustado fueron de 0.65, 0.96, 1.05, 0.86 para la etapa inicial de desarrollo intermedia y final respectivamente. Se concluye que con el método de lisímetro de drenaje (Tratamiento 1) obtenemos valores del (Kc) reales para nuestra zona en estudio ya que proporciona información directa del total de agua requerida en el cultivo pues considera la relación agua - suelo - planta - atmosfera presentando un requerimiento hídrico de 292.38mm en su ciclo hasta cosecha en verde.

Palabras clave: REQUERIMIENTOS HÍDRICOS - LÁMINAS DE RIEGO, LISÍMETRO DE DRENAJE.

Por: Juan Diego Gaibor



Revisado
14 Mayo 2013
Gaibor

IX. ABSTRACT

The current research proposes determining the water requirements for (*Phaseolus Vulgaris* Var. Calima) under the weather conditions of Riobamba County, Chimborazo province and through the application of two methods, direct and indirect. For this, it was necessary to use a complete randomized block design with three treatments and three repetitions. Method 1 (T1) irrigation sheets determined by the drain lysimeter; method 2 (T2) irrigation sheets determined by the evaporation tank Type A; method 3 (T3) irrigation sheets determined by the empirical calculation of the evapotranspiration of the crop. To carry out the application of irrigation sheets established for each treatment, it was necessary to set a non-self-compensated drip irrigation system to evaluate the incidence in the application of treatments, drip frequency for T1 when the lysimetric drain was stopped, while T2 and T3 worked with a 25% of usable humidity abatement. In addition, the crop coefficient values were also determined and adjusted for each phenolic stage. The variables evaluated were days to emergency, flowering, sheathed and harvest, plant height, WRC, number of sheath and weight, yield, dry matter and water footprint. The adjusted crop coefficient values (kc) were 0.65, 0.96, 1.05, 0.86 for the first, intermediate, and final development stage respectively. It is concluded that with the drain lysimeter method (Treatment 1), it is possible to obtain real Kc values for the study area, because it provides direct information about the total amount of water required in the crop since it considers the water-soil-plant-atmosphere relation resulting in a water requirement of 292.38mm for its cycle until the early harvest.

Key words: WATER REQUIREMENTS – IRRIGATION SHEETS –DRAINING
LYSIMETER



X. BIBLIOGRAFÍA.

- Aboukhaled. (1986). Determinación del requerimiento hídrico de la Cebolla (*Allium cepa*. L) en condiciones edafoclimaticas del Valle de Quibor, Edo. (Tesis de pregrado. Magister en Ingeniería en Recursos Hídricos).
- Acosta-Díaz, E., Trejo-López, C., Ruiz-Posadas, L., Padilla-Ramírez, J., & Acosta-Gallegos, J. (s.n.). Adaptación del frijol a sequía en la etapa reproductiva adaptation of common bean to drought stress during the reproductive stage. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/573/57311208006.pdf>
- Acosta-Gallegos, J. (2011). Efecto de la sequía en la producción de biomasa y grano de frijol* drought effect in bean biomass and grain production. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 2(2), 249-263. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000200006
- Agro-bio. (2009). Cultivos tolerantes a la sequía, el desarrollo biotecnológico de las próximas décadas. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: www.agrobio.org/bfiles/agro-biofile-7.pdf
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje*. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: <https://doi.org/M-56>
- Andino, W. A. (2011). Evaluación de tres tipos de bioles en la producción de frejol. (Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Riobamba.

- Arteaga, M. (2012). Aclimatación de 12 Híbridos de Brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Itálica) en el cantón Riobamba provincia de Chimborazo .(Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Riobamba.
- Barrios Gómez, E. J., López Castañeda, C., & Kohashi Shibata, J. (2011). Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo «flor de mayo». *agronomía costarricense*, 35(1), 131-145. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: www.mag.go.cr/rev_agr/index.html
- Beltri, E. (2008). Medida del balance hídrico y estimación del coeficiente Kc en fincas de la Vega Baja de Segura para la mejora de la programación de riegos utilizando Italia.
- Bustamante, W. (2012). Efecto del cambio climático en los recursos hídricos. Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático. México DF- México. pp. 77-78.
- Bustos, M. (2006). Tecnología apropiada de producción. Quito-Ecuador: Gráficas Ulloa. pp. 179 –183
- Catañeda, F., Garcia, A., Diaz, N., Gallegos, P., & Ramirez, F. (2005). El cultivo de frijol de riego a doble hilera en el antiplano potosino. La paz - Bolivia
- Cruz, C. (2015). Conceptos básicos de riego. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: www.cadenahortofruticola.org/admin/tecno/23sistemas_de_riego_colpozos.pdf
- Delmhorst. (1999). Manual de funcionamiento de los bloques de modelo KS-D1. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: www.delmhorst.com.
- Enciso. (2005). Sensores de humedad del riego para eficientizar el riego. Cooperativa de Texas. Texas. pp. 2 - 6.
- Ekanayake, I. (1994). CIP Research 30, studying drought stress and irrigation requirements of potatoes. Lima - Perú.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2006). Guía para la determinación de los requerimientos de agua en los cultivos. Utha EUA.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2008). El cambio climático y la producción de alimentos. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0112s/i0112S03.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). Buenas Prácticas agrícolas en la producción de fréjol. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/010/a1359s/a1359s03.pdf>
- Fernández, D. (2010). Estimación de las Demandas de consumo de Agua. México: SAGARPA.
- Fernández, F., Gepts, P., & Marcelino, L. (2010). Etapas de desarrollo en la planta de frijol. Culiacan, México.
- Fuente, A. (2006). Programación de riego con tensiómetros. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: <http://www.tensiometrosuelo/agua.html>. Culiacan México. pp. 22 - 28.
- Garay, O. (2009). Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos. Lima - Perú. pp. 3-19
- García, E. (2009). Fertilización. Guía técnica para el cultivo de frijol. IICA-RED SICTA - COSUDDE -ASOPROL. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- García, M. (2013). Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Metodologia%20para%20determinar%20los%20parametros%20hidricos%20de%20un%20suelo%20a%20campo.pdf>

- Giardini. (2004). Humedad en el suelo. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: <http://www.visionlearning.com>
- Gonzalez, J. (2010). Horticultivos: manejo de agua y nutrición del cultivo de brócoli. México DF-México. p. 10.
- Hargreaves, G., & Merkle, G. (2000). Fundamentos del riego. Water resource publications, llc. Centro internacional de riego. Utha EUA.
- Hidalgo, D. (2008). Diseño, evaluación e instalación de un sistema de riego. Lima - Perú. pp. 15 – 21.
- Hurtado, L. (2002). Fundamentos del riego: documento electrónico. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: http://agricola-unl.com/pdf/Fundamentos_Riego.pdf
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2013). La importancia del agua. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: <http://innovagro.wordpress.com>
- Jara, J., & Valenzuela, A. (1998). Necesidad de agua de los cultivos. Concepción - Chile.
- León, J., & Trezza R. (1998). Determinación de evapotranspiración del cultivo y Kc. Centro Internacional de Riegos. Utah.
- León, J. (2012). Riegos y drenajes. (1ª. ed.). Riobamba Ecuador: E – Copycenter
- López, E. (1991). Calibración de fórmulas de evapotranspiración mediante un cultivo de alfalfa como referencia en el área de Montecillo-Estado de México. Agrocienza 2.
- López, M., Fernandez, F., & Van Schoonhoven, A. (1985). Frijol: investigacion y produccion. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10568/77975>
- Ministerio de Ambiente. (2013). Proyecto de adaptación al cambio climático, a través de una efectiva gobernabilidad del agua en el Ecuador (PACC). Recuperado el 15 de

enero de 2018. Disponible en: <http://www.pacc-ecuador.org/recursos-hidricos/contexto-nacional/>

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2011). Riego en el Ecuador. Plan Nacional de Riego y Drenaje. Breves elementos del contexto mundial del agua, el riego y la agricultura. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: <http://rrnn.tungurahua.gob.ec/documentos/ver/518d6325bd92eabc15000002>

Millar, A. (1997). Manejo de agua y producción agrícola - Google Books. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=5LsqAAAAAYAAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

Murillo, Á., Peralta, E., Mazón, N., Rodríguez, D., & Pinzón, J. (2012). Fertilización. INIAP 484 Centenario. *Boletín Divulgativo No. 421, 2*. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/INIAP_484_CENTENARIO.pdf

Naranjo, A. (2011). Aclimatación de 12 híbridos de Brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. *Italica*) en el cantón Riobamba - Provincia Chimborazo. (Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador.

Olmo, M. (2015). Humedad relativa. Disponible en: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/kinetic/relhum.html>

O'meara, L. (2012). La importancia del agua para las plantas. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: <http://www.ehowenespanol.com>

Ortiz, R. (2012). El cambio climático y la producción agrícola. El cambio climático y la disponibilidad de agua. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36736182>

Peralta, E., Murillo, Á., Mazón, N., Monar, C., Pinzón, J., & Marco, R. (2010). Control de plagas y enfermedades. Manual agrícola del fréjol y otras leguminosas, 135, 70.

Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en:
[http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/MANUAL FREJOL Y LEGUMIN 2010.pdf](http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/MANUAL_FREJOL_Y_LEGUMIN_2010.pdf)

Pérez, G. (2015). Precipitación. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en:
<http://www.ciclohidrologico.com/precipitacin>

Roling, N., Woodhill, J., Bonn, M. (2001). Agua, agricultura de riego y medio ambiente. programa mundial de evaluación de los recursos hídricos (WWAP) de las Naciones Unidas, 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, 2006. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en:
<https://www.iaea.org/technicalcooperation/documents/Factsheets/Water-Spanish.pdf>.

Rodolfo, D., & Almazan, C. (2003). Riego y drenaje. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: [http://www.ingenieria.uaslp.mx/Documents/Apuntes/Riego y Drenaje.pdf](http://www.ingenieria.uaslp.mx/Documents/Apuntes/Riego_y_Drenaje.pdf)

Rodríguez, J., Tosquy-Valle, O., & López, E. (2014). Producción de materia seca de frijol en cinco fechas de siembra durante el ciclo otoño-invierno en el norte de Veracruz. *Biológico Agropecuario*, 6(1), 1-14. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en:
<http://132.248.9.34/hevila/RevistabiologicoagropecuariaTuxpan/2014/no3/40.pdf>

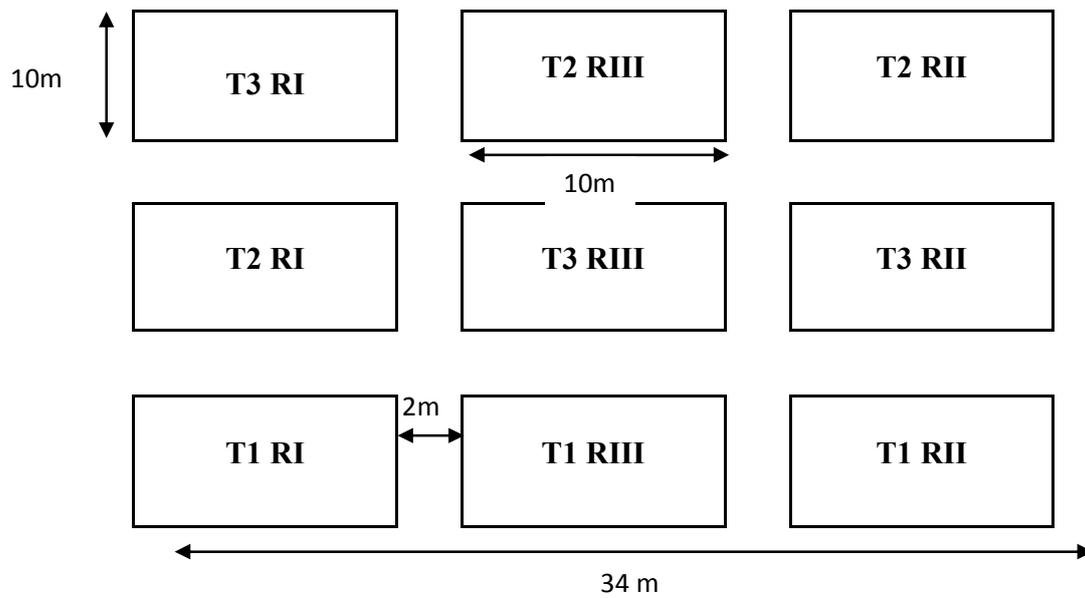
Roque, R. (2015). Efectos del riego y drenaje en el medio ambiente y la sostenibilidad de las tierras agrícolas. Agencia de Medio Ambiente de Cuba. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en: <http://www.ama.cu/index.php/noticias/110-efectos-del-riego-y-drenaje-en-el-medio-ambiente-y-la-sostenibilidad-de-las-tierras-agricolas?limitstart=0>

Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (2000). Fisiología de las plantas. Células: agua, soluciones y superficies. Madrid: Paraninfo.

Sagarpa. (2011). Brócoli. Recuperado el 15 de enero de 2018. Disponible en:
<http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Estudios/Documents/monografias/brocoli.pdf>

XI. ANEXOS.

Anexo 1.Esquema de la distribución del ensayo ESPOCH – CAMPUS MACAJÍ



Fuente: Gaibor. J.D, 2017.

Anexo 2.Altura de la planta a los 30 DDS

Tratamiento	Repetición	Altura planta 30 DDS	Suma	Promedio
T1	I	6.40	19.30	6.43
	II	6.40		
	III	6.50		
T2	I	7.50	20.00	6.67
	II	6.00		
	III	6.50		
T3	I	7.20	19.20	6.40
	II	5.90		
	III	6.10		

Fuente: datos registrados en campo, 2017

Elaboración: Gaibor JD, 2017.

Anexo 3.Altura de la planta a los 45 DDS

Tratamiento	Repetición	Altura planta 45 DDS	Suma	Promedio
T1	I	15.80	47.10	15.70
	II	15.60		
	III	15.70		
T2	I	19.90	58.10	19.37
	II	19.00		
	III	19.20		
T3	I	19.10	55.00	18.33
	II	18.10		
	III	17.80		

Fuente: datos registrados en campo, 2017

Elaboración: Gaibor JD, 2017

Anexo 4.Altura de la planta a los 60 DDS

Tratamiento	Repetición	Altura planta 60 DDS	Suma	Promedio
T1	I	24.30	72.60	24.20
	II	24.10		
	III	24.20		
T2	I	30.90	91.20	30.40
	II	30.00		
	III	30.30		
T3	I	28.80	85.70	28.57
	II	28.40		
	III	28.50		

Fuente: datos registrados en campo, 2017

Elaboración: Gaibor JD, 2017

Anexo 5.Altura de la planta a los 70 DDS

Tratamiento	Repetición	Altura planta 70 DDS	Suma	Promedio
T1	I	31.60	94.50	31.50
	II	31.50		
	III	31.40		
T2	I	40.70	121.90	40.63
	II	40.70		
	III	40.50		
T3	I	38.50	115.80	38.60
	II	38.70		
	III	38.60		

Fuente: datos registrados en campo, 2017

Elaboración: Gaibor JD, 2017

Anexo 6. Contenido Relativo De Agua (WRC) en vainas

Tratamiento	Repetición	WRC vainas	Suma	Promedio
T1	I	89.36	269.89	89.96
	II	90.42		
	III	90.11		
T2	I	91.25	273.83	91.28
	II	91.27		
	III	91.31		
T3	I	92.95	278.69	92.90
	II	92.95		
	III	92.78		

Fuente: datos registrados en campo, 2017

Elaboración: Gaibor JD, 2017

Anexo 7. Contenido Relativo De Agua (WRC) en hojas

Tratamiento	Repetición	WRC hojas	Suma	Promedio
T1	I	83.04	251.00	83.67
	II	81.95		
	III	86.01		
T2	I	82.83	249.99	83.33
	II	82.64		
	III	84.51		
T3	I	78.08	249.93	83.31
	II	87.86		
	III	83.99		

Fuente: datos registrados en campo, 2017

Elaboración: Gaibor JD, 2017

Anexo 8. Número de plantas por planta

Tratamiento	Repetición	Numero de vainas por planta	Suma	Promedio
T1	I	9.30	27.60	9.20
	II	9.10		
	III	9.20		
T2	I	14.00	41.90	13.97
	II	14.00		
	III	13.90		
T3	I	12.00	35.70	11.90
	II	11.80		
	III	11.90		

Fuente: datos registrados en campo, 2017

Elaboración: Gaibor JD, 2017

Anexo 9. Rendimiento por parcela neta

Tratamiento	Repetición	Rendimiento parcela neta (kg)	Suma	Promedio
T1	I	6.87	20.62	6.87
	II	6.30		
	III	7.45		
T2	I	10.88	29.78	9.93
	II	9.74		
	III	9.16		
T3	I	11.45	33.22	11.07
	II	11.45		
	III	10.31		

Fuente: datos registrados en campo, 2017

Elaboración: Gaibor JD, 2017

Anexo 10. Rendimiento por hectaria.

Tratamiento	Repetición	Rendimiento kg/ha	Suma	Promedio
T1	I	3219.08	9657.23	3219.08
	II	2950.82		
	III	3487.33		
T2	I	5096.87	13949.33	4649.78
	II	4560.36		
	III	4292.10		
T3	I	5365.13	15558.87	5186.29
	II	5365.13		
	III	4828.61		

Fuente: datos registrados en campo, 2017

Elaboración: Gaibor JD, 2017

Anexo 11. % de Materia seca en hojas

Tratamiento	Repetición	% Materia seca hojas	Suma	Promedio
T1	I	18.10	52.46	17.49
	II	16.32		
	III	18.04		
T2	I	19.16	54.16	18.05
	II	17.96		
	III	17.03		
T3	I	19.72	56.87	18.96
	II	18.12		
	III	19.04		

Fuente: datos registrados en campo, 2017

Elaboración: Gaibor JD, 2017

Anexo 12. % de Materia seca en vainas

Tratamiento	Repetición	% Materia seca en vainas	Suma	Promedio
T1	I	19.78	59.72	19.91
	II	20.21		
	III	19.73		
T2	I	21.53	65.01	21.67
	II	21.61		
	III	21.87		
T3	I	18.52	54.67	18.22
	II	18.00		
	III	18.15		

Fuente: datos registrados en campo, 2017

Elaboración: Gaibor JD, 2017

Anexo 13. Huella Hídrica

Tratamiento	Repetición	Huella hídrica	Suma	Promedio
T1	I	817.45	2463.78	821.26
	II	891.76		
	III	754.57		
T2	I	1085.89	3589.03	1196.34
	II	1213.64		
	III	1289.49		
T3	I	707.55	2201.28	733.76
	II	707.55		
	III	786.17		

Fuente: datos registrados en campo, 2017

Elaboración: Gaibor JD, 2017

