

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA



AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



“Determinación del uso consuntivo del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.), variedad ICA QUI MBAYA; utilizando el lisímetro de pesaje en la granja experimental La Argelia, Loja”

Tesis previa a la obtención del
Grado de Ingeniero Agrícola

AUTOR: José Luís Rodríguez Soto
DIRECTOR: Ing. Agrícola Temístocles Maldonado

LOJA - ECUADOR

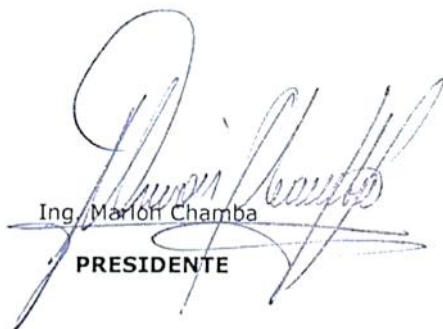
2014

Loja 16 de Julio de 2014

CERTIFICACION

El Tribunal de Grado, mediante la presente manifiesta: una vez revisadas todas las correcciones necesarias en el proyecto de tesis "**Determinación del uso consuntivo del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.), variedad ICA Quimbaya; utilizando el lisímetro de pesaje en la granja experimental La Argelia, Loja**" consideradas en el momento de la calificación e incorporadas por el postulante, a quien mediante este certificado autorizamos por lo tanto la impresión del trabajo y damos paso a la continuidad con los trámites de graduación.

Para constancia de lo expuesto anteriormente el Tribunal de Grado lo firmamos.



Ing. Marlón Chamba
PRESIDENTE



Ing. Aníbal González
PRIMER VOCAL



Ing. Walter Tene
SEGUNDO VOCAL

Ing Temístocles Maldonado Rojas, Mg Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

De haber recibido y revisado el Proyecto de investigación "Determinación del uso consuntivo del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.), variedad ICA QUIMBAYA; utilizando el lisímetro de pesaje en la granja Experimental La Argelia", de auditoria del Sr. José Luis Rodríguez Soto, egresado de la Carrera de Ingeniería Agrícola, mismo que se encuentra estructurado de acuerdo Reglamento de Régimen Académico y de acuerdo a la lógica del método científico, reúne los requisitos de forma y fondo exigidos por la Universidad Nacional de Loja.

Loja, 18 de Junio de 2014



Ing Temístocles Maldonado Rojas, Mg Sc.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORIA

Yo, Ego. José Luis Rodríguez Soto, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido expresado en la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de la tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autor: Ego. José Luis Rodríguez Soto

Firma:



Cédula: 1103928923

Fecha: 22/07/2014

CARTA DE AUTORIZACION

CARTA DE AUTORIZACION DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACION ELECTRONICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, Egdo. José Luis Rodríguez Soto, declaro ser autor de la tesis titulada: "Determinación del uso consuntivo del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.), variedad ICA QUIMBAYA; utilizando el lisímetro de pesaje en la granja Experimental La Argelia", como requisito para optar al grado de Ingeniero Agrícola, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con los cuales tenga convenio la Universidad.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 22 días del mes de julio del dos mil catorce, firma el autor.



Firma:
Autor: Egdo. José Luis Rodríguez Soto
Número de cédula: 1103928923
Dirección: Nicaragua 15-13 y Uruguay
Correo electrónico: jolurosozapotillo1981@hotmail.com
Teléfono: (07)2-575567
Celular: 0994904046

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Temístocles Maldonado Rojas, Mg Sc.
Tribunal de Grado: Ing. Marlon Chamba PRESIDENTE
Ing. Aníbal González PRIMER VOCAL
Ing. Walter Tene SEGUNDO VOCAL

AGRADECIMIENTO

El autor deja constancia de gratitud a todos los profesores de la Carrera de Ingeniería Agrícola, de manera especial al Ing. Temístocles Maldonado Mg Sc. Profesor y director del trabajo de tesis, por su valiosa asesoría, su comprensión y paciencia, quien demostró preocupación por el desarrollo y culminación de la investigación. Así como también al Área Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables y Universidad Nacional de Loja por haber permitido el inicio y culminación de este proyecto de tesis.

José Luis Rodríguez Soto

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi bella familia,
en especial a mis padres, Amada y José
que siempre estuvieron ahí a pesar
de las adversidades con su ayuda incondicional
me entendieron el esfuerzo y sacrificio de
la superación profesional y académica,
su presencia fue el pilar y motor personal.

A mis hermanos a cada uno de ellos,
Jorge, Jaime, Julio y Juan; una disculpa
porque ustedes saben q no hubiera querido
que las cosas resulten de esta forma tan
tediosa y conflictiva que se presentó, a la
vez su granito de ayuda fue muy valiosa
en su momento, y siempre la tendré
en mi corazón toda la vida.

A mi esposa Johanna y mi dulce hijo
José Gustavo, este proyecto fue
iniciado por y para ustedes, por el
bienestar, estabilidad y felicidad
de nuestra tierna y hermosa familia.

LOS AMO A TODOS, SIMPLEMENTE GRACIAS

INDICE

CONTENIDO	PAGINA
APROBACION TRIBUNAL_____	I
CERTIFICACION DEL DIRECTOR DE TESIS_____	II
AUDITORIA_____	III
CARTA DE AUTORIZACION Y CESION DE DERECHOS_____	IV
AGRADECIMIENTO_____	V
DEDICATORIA_____	VI
RESUMEN_____	VII
SUMMARY_____	VII
I. INTRODUCCION_____	1
II. REVISION LITERARIA_____	3
2.1. AGROTECNIA DEL CULTIVO DE FREJOL_____	3
2.1.1. Características agronómicas del Cultivo_____	3
2.1.2. Preparación del suelo_____	4
2.1.3. Fertilización_____	4
2.1.4. Cultivo y Deshierbas_____	5
2.1.5. Riegos_____	5
2.1.6. Cosecha_____	5
2.1.7. Evaporación_____	6
2.1.8. Transpiración_____	6
2.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN_____	7
2.2.1. La evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo)_____	8
2.2.2. La evapotranspiración real del cultivo (ETr)_____	8
2.2.3. La evapotranspiración del cultivo (ETc)_____	9
2.2.4. Uso consuntivo_____	9
2.3. MÉTODOS PARA DETERMINAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN (ET)_____	10
2.3.1. Métodos directos_____	10
2.3.1.1. Método gravimétrico_____	11
2.3.1.2. Método de tanque evaporímetro_____	11
a. Coeficiente del tanque evaporímetro (Kp)_____	12
2.3.1.3. Método del lisímetro_____	12
a. Los lisímetros_____	13
i. Lisímetro de succión HI 83900_____	15
ii. Lisímetros de tubos de succión de 30, 60 y 90 cm_____	15
iii. El Lisímetro de pesaje_____	16
2.3.2. Métodos indirectos o empíricos_____	18

a.	Método de Penman (FAO)	18
2.4.	FACTORES AMBIENTALES	19
2.5.	FACTORES FISIOLÓGICOS	19
2.6.	RELACIONES AGUA SUELO PLANTA	19
2.7.	EL AGUA EN EL SUELO	20
2.7.1.	Fuerzas de retención de agua en el suelo	20
2.8.	ESTADO DE ENERGÍA DEL AGUA EN EL SUELO	21
2.8.1.	Potencial Gravitacional	21
2.8.2.	Potencial Osmótico	22
2.8.3.	Potencial de Presión	22
2.8.4.	Potencial Hidráulico	23
2.9.	TENSIÓMETRO DE MERCURIO	23
2.9.1.	Interpretación de las lecturas del manómetro	23
2.9.2.	Duración máxima y mínima del riego	24
2.10.	FACTORES QUE DETERMINAN EL COEFICIENTE DEL CULTIVO	25
2.10.1.	Tipo de Cultivo	25
2.10.2.	Clima	25
2.10.3.	Evaporación del suelo	26
2.10.4.	Etapas del crecimiento del cultivo	26
a.	Etapa inicial	27
b.	Etapa de desarrollo del cultivo	27
c.	Etapa de mediados de temporada	28
d.	Etapa de finales de temporada	28
2.11.	ESTUDIOS DE CONSUMO DE AGUA DEL CULTIVO DE FREJOL	28
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1	UBICACIÓN	31
3.2.	IMPLEMENTACION DEL SITIO PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACION	31
3.2.1.	El sistema de riego	32
3.2.2.	Esquema del sitio de investigación	32
3.2.3.	Agrotecnia del cultivo	34
3.2.3.1.	Preparación de Suelo	34
3.2.3.2.	Datos agronómicos a registrarse	36
3.3.	METODOLOGÍA PARA EL PRIMER OBJETIVO	36
3.3.1.	Calibración del tensiómetro	36
3.3.2.	Programación del riego	37
3.3.3.	Calibración del lisímetro	37
3.3.4.	Cálculo del uso consuntivo (Uc) del frejol por medio del lisímetro	37
3.3.5.	Cálculo del uso consuntivo (Uc) a través del B.H.S.	40

3.3.6.	Cálculo del uso consuntivo del cultivo de frejol (Uc) a través del tanque evaporímetro clase "A"	41
3.3.7.	Cálculo del uso consuntivo del frejol (Uc) utilizando el método de Penman-Monteith	43
3.4.	METODOLOGÍA PARA EL SEGUNDO OBJETIVO	44
IV.	RESULTADOS y DISCUSION	46
4.1.	ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL SUELO	46
4.2.	DETERMINACION DEL USO CONSUNTIVO DEL CULTIVO DE FREJOL	48
4.2.1.	Determinación del Uso consuntivo del fréjol mediante el uso del Lisímetro de Pesaje	48
4.2.2.	Determinación del Uso consuntivo del fréjol Uc, por el Balance de Humedad del Suelo	50
4.2.3.	Uso consuntivo mediante el tanque evaporímetro clase "A"	51
4.2.4.	Uso consuntivo obtenido mediante el método de Penman-Monteith	52
4.3.	DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc) DEL CULTIVO DE FREJOL	54
4.3.1.	Evapotranspiración de referencia ETo con el tanque clase "A"	54
4.3.2.	Evapotranspiración de referencia ETo con Penman-Monteith	55
4.3.3.	Determinación del coeficiente Kc del cultivo	56
a.	Kc producto de la relación entre el uso consuntivo del frejol por el balance de humedad del suelo, y el tanque evaporímetro clase "A" o el método de Penman-Monteith	56
b.	Kc producto de la relación entre el uso consuntivo entre el uso consuntivo del frejol por el lisímetro de pesaje, y el tanque evaporímetro clase "A" o el método de Penman-Monteith	58
4.4.	CARACTERISTICAS AGRONOMICAS DEL CULTIVO	60
V.	CONCLUSIONES	62
VI.	RECOMENDACIONES	63
VII.	BIBLIOGRAFÍA	64
VIII.	ANEXOS	68

CONTENIDO DE FIGURAS

PAGINA

Figura 1.	Dos casos de localización del tanque de evaporación y sus alrededores_____	12
Figura 2.	Descripción de los componentes del lisímetro de pesaje_____	17
Figura 3.	Tanque de abastecimiento de riego para el ensayo_____	32
Figura 4.	Esquema del ensayo experimental en el cultivo de fréjol_____	33
Figura 5.	Emparejamiento del suelo luego del desbroce de malezas_____	34
Figura 6.	Preparación del sustrato tierra-humus-arena_____	35
Figura 7.	Adecuación de recipientes, plataforma y sistema de riego_____	35
Figura 8.	Demostración del registro de lecturas en el lisímetro_____	39
Figura 9.	Visualización del programa CROPWAT 8.0_____	44
Figura 10.	Calendario de fertilización para las fases vegetativas del fréjol_____	47
Figura 11.	Curva de retención de humedad del suelo_____	48
Figura 12.	Calibración del lisímetro de pesaje_____	49
Figura 13.	Relación entre el Uso consuntivo obtenido con el lisímetro y el Uso consuntivo obtenido por el Balance de Humedad del Suelo (Tensiómetro)_____	51
Figura 14.	Curva del coeficiente del cultivo de fréjol (Kc), según FAO, 56_____	52
Figura 15.	Uso consuntivo del fréjol a través del tanque evaporímetro y de Penman Monteith_____	53
Figura 16.	Relación entre la ETo obtenida a través del tanque evaporímetro clase "A" y calculada con Penman-Monteith_____	55
Figura 17.	Curva del coeficiente del cultivo Kc, presentadas en el desarrollo del cultivo_____	59
Figura 18.	Curva de coeficiente de cultivo Kc, para el fréjol_____	60

CONTENIDO DE CUADROS

PAGINA

Cuadro 1. Combinación de fertilizantes para lograr una formula 60-60-30	04
Cuadro 2. Coeficientes del tanque evaporímetro (Kp) para el tanque Clase A para diversas localizaciones y ambientes de los tanques y varios valores de velocidad del viento y de humedad relativa	42
Cuadro 3. Constantes hidrofísicas del suelo	46
Cuadro 4. Análisis químico del suelo	46
Cuadro 5. Valores para la calibración del tensiómetro	48
Cuadro 6. Uc del ciclo vegetativo del fréjol, mm/día, a través del lisímetro	49
Cuadro 7. Uso consuntivo del cultivo de fréjol, mediante el balance de humedad, mm/día	50
Cuadro 8. Uso consuntivo del cultivo de fréjol mediante el tanque evaporímetro clase "A" mm/día	52
Cuadro 9. Uso consuntivo del cultivo de fréjol (Uc), mediante Penman-Monteith mm/día	53
Cuadro 10. Obtención de la ETo del ciclo vegetativo del fréjol, mm/día, mediante el tanque evaporímetro clase "A"	54
Cuadro 11. Obtención de la ETo del ciclo vegetativo del fréjol, mm/día, a través de Penman Monteith	55
Cuadro 12. Días correspondientes a cada fase fenológica del cultivo de fréjol	56
Cuadro 13. Coeficiente Kc del cultivo de fréjol, entre el uso consuntivo con el lisímetro de pesaje y ETo a través del tanque evaporímetro clase "A"	57
Cuadro 14. Coeficiente Kc del cultivo de fréjol, entre el uso consuntivo con el lisímetro de pesaje y ETo a través de Penman Monteith	57
Cuadro 15. Coeficiente Kc del cultivo de fréjol, entre el uso consuntivo con el balance de humedad del suelo y ETo a través del tanque evaporímetro clase "A"	58
Cuadro 16. Coeficiente Kc del cultivo de fréjol, entre el uso consuntivo con el balance de humedad de suelo y ETo a través de Penman Monteith	58
Cuadro 17. Obtención del Coeficiente Kc del cultivo de fréjol a través de las etapas fenológicas	59

“Determinación del uso consuntivo del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.), variedad ICA QUI MBAYA; utilizando el lisímetro de pesaje en la granja Experimental La Argelia”

RESUMEN

Un lisímetro de pesaje (FELT 6), relativamente económico fue adquirido por el departamento de Riegos del Área Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables e instalado con el objeto de comprobar su funcionalidad para medir la evapotranspiración potencial (ETp). Un total de 24 recipientes se utilizaron como envases receptores de suelo; en ellos se sembró el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) y debajo se colocaron tarrinas plásticas para recolectar el drenaje. El lisímetro de pesaje a la experiencia demostró la sencillez y fácil manejo, pero no así la estabilidad. Los resultados obtenidos demostraron poca confiabilidad en las mediciones del aparato. Se encontró un valor promedio de ETc de 3,59 mm/día durante el ciclo vegetativo del cultivo.

SUMMARY

A relatively inexpensive weighing lysimeter (FELT 6), was acquired by the Department of Agricultural Irrigation of the Area of Renewable Natural Resources. It was installed in order to verify its functionality and to measure the potential evapotranspiration (pET). A total of 24 packaging containers were used as ground receivers; culturing them with beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under these receivers, plastic pots were placed to collect drainage. As a result of the experiment, the weighing lysimeter depicted simple and easy usage but unreliability in the measurements. An average ETC value of 3,59 mm/day was found during the vegetative cycle of the culture.

I. INTRODUCCION

“El fréjol es un cultivo típico entre los pequeños productores de América Central y del Sur, y principal fuente proteica para una parte significativa de la población en gran número de zonas en las que la agricultura de subsistencia es la principal actividad productiva. En Ecuador, las leguminosas son componentes de los sistemas de producción, principalmente en la región Sierra, ya que son cultivadas en asociación, intercaladas, en monocultivos o en rotación con otros cultivos del sistema. Del total del área de cultivos transitorios sembrada en Ecuador (1 302 398 ha/año), que incluye más de 30 especies, el 14.8% de la superficie corresponde a este grupo de leguminosas de grano comestible. Según el Sistema de la Integración Centro Americana en el 2002, en el país se siembran cinco especies de leguminosas de importancia económica con un promedio de 193 195 ha por año, en monocultivo o asociado y se cosechan 161 455 ha en grano seco o tierno, es decir se pierden 31 740 ha por año”. (Murillo y Mazón, 2010).

“La superficie cultivada en la sierra ecuatoriana hasta 2012 fue de 115.849 has; de monocultivo 93.409 has y de cultivo asociado 22.440 has. Debido a la falta de alternativas tecnológicas apropiadas para el cultivo de fréjol arbustivo, el rendimiento promedio a nivel nacional está en 18 quintales/has de fréjol seco y en fréjol en vaina de 38 quintales/has”. (INEC, 2012)

En la Provincia de Loja los sistemas de riego han sido diseñados utilizando datos de requerimientos hídricos sobre la base de la experiencia del diseñador o utilizando datos empíricos, resultando obras de riego sobre y subdimensionadas. A pesar de los avances tecnológicos en riego, no ha sido posible alcanzar un nivel de tecnificación aceptable en el manejo de la agricultura bajo riego, principalmente porque no existe conocimiento sobre el consumo real de agua de los cultivos que permita una optimización del agua de riego puesto que no se conoce las determinaciones de campo sobre el coeficiente “Kc” del cultivo de fréjol que permita calcular los requerimientos hídricos del cultivo.

Por lo tanto, es importante determinar la cantidad óptima de riego de los cultivos; en este caso de fréjol, para de esta manera evitar problemas que se presenten por el exceso o déficit de humedad en el suelo. Lo que se pretende evitar es pérdidas de nutrientes por percolación, optimizar gastos de producción en el cuidado del cultivo, obtener un cultivo sano de calidad a bajo costo; y, presentar una alternativa de alta rentabilidad en el sector agrícola.

Es por ello que para garantizar una alta producción de fréjol, es importante determinar la dosis de agua real que necesita el cultivo. El presente estudio tiene como objetivo cumplir con la generación de conocimiento sobre el requerimiento de agua del cultivo de fréjol en la hoya de Loja a través de la presente investigación "Determinación del uso consuntivo del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.), variedad ICA QUIMBAYA; utilizando el lisímetro de pesaje en la granja experimental La Argelia"

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Generar conocimientos que permitan determinar el requerimiento de agua del cultivo de fréjol a través del lisímetro de pesaje.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Determinar el uso consuntivo real del cultivo de fréjol.
- Determinar el coeficiente (K_c) del cultivo de fréjol.

II. REVISION LITERARIA

2.1. AGROTECNIA DEL CULTIVO DE FREJOL

“Es una planta, originaria de América Central y sur de México. Cultivada desde la antigüedad, aún es posible encontrar en Sudamérica formas espontáneas. A Europa fue llevada poco después del descubrimiento de América y desde entonces su cultivo ha ido adquiriendo importancia creciente de acuerdo a la capacidad de adaptación, se ha extendido por los hemisferios en la zona tropical, subtropical y templada”. (Amoros, 1992). Las características taxonómicas del fréjol son:

<u>Reino</u>	Plantae
<u>Subreino</u>	Embryobronta
<u>División</u>	Magnoliophyta
<u>Clase</u>	Magnoliopsida
<u>Subclase</u>	Asteridae
<u>Orden</u>	Fabales
<u>Familia</u>	Fabaceae
<u>Genero</u>	Phaseolus
<u>Especie</u>	vulgarisL.”

2.1.1. Características agronómicas del Cultivo

Presenta tallo erecto, de follaje verde intenso y flores blancas, de buen rendimiento; grano alargado, ligeramente cilíndrico, de color rojo oscuro. Las características agronómicas del fréjol, variedad Quimbaya son:

Habito de crecimiento:	Arbustivo, Tipo I
Período vegetativo:	80 – 90 días
Días a la floración:	30-40 días después de la siembra
Madurez fisiológica:	75 días aproximadamente
Altura de la planta:	49-57 cm
Longitud de la vaina:	12.8 cm en promedio
Peso de granos en vaina:	84 g
Número de granos por vaina:	5
Zona de adaptación:	Clima medio
Rango altitudinal:	1200-1800 msnm (BIBLIOTECA AGRÍCOLA, 1987)

2.1.2. Preparación del suelo

“El exceso de humedad en el suelo es uno de los principales problemas en la producción de fréjol, por lo tanto se recomienda que se utilicen de preferencia para su cultivo, suelos ligeros y con buen drenaje. En temporal, cuando los suelos sean pesados se recomienda realizar un barbecho profundo, inmediatamente después de levantar la cosecha anterior con la finalidad de eliminar las malezas y controlar las plagas del suelo eliminándolas al exponerlas al sol. En suelos ligeros se sugiere un barbecho antes de la siembra y uno o dos pasos de rastra cruzados para desmenuzar completamente el suelo y facilitar la germinación de la semilla”. (INEFAP, 2002)

2.1.3. Fertilización

“La fertilización de las leguminosas con relación a fósforo y potasa alcanzan cantidades bastante altas que en el caso de los cereales. El abonado suele aportar de 80 Kg/ha, de fósforo y 120 Kg/ha, de potasa, acompañado de un abono a base de nitrógeno de arranque de unos 15 a 20 Kg/ha, según el terreno, también se aplica una enmienda de cal. No conviene los abonos orgánicos frescos”. (BIBLIOTECA PRÁCTICA AGRÍCOLA Y GANADERA, 1987).

En trabajos de investigación, realizados por el INIAP - BOLIVAR, se recomienda la aplicación de 40-60 Kg/ha de N- P, previo a un análisis de suelo. (MONAR, C. 1996). En el cuadro 1 se muestran dos combinaciones de fertilizantes para lograr una fórmula aproximadamente de 60-60-30 kg de N - P - K por ha”. (Cuadro 1)

Cuadro 1. Combinación de fertilizantes para lograr una formula 60-60-30

Fertilizantes	Combinación	
Urea	3	2
Superfosfato triple	3	-
Fosfato di amónico	-	3
Sulfato de potasio	1	1

(<http://www.monografias.com/trabajos4/elfrijol/elfrijol.shtml>)

2.1.4. Cultivo y Deshierbas

“El cultivo y deshierbas tienen por finalidad:

- Eliminación de las malezas
- Favorecer el crecimiento de la raíz.
- Favorecer la fijación del nitrógeno atmosférico.
- Oxigenación de la raíz.

Es importante mantener el campo libre de malezas al menos hasta la floración”.
(Castañeda, 2000)

2.1.5. Riegos

“El número y frecuencia de riegos varía con el tipo de suelo, la variedad y las condiciones climáticas; en ausencia de lluvia puede ser necesario de 10 a 13 riegos por ciclo, es decir un riego cada ocho días aproximadamente, con énfasis en la floración y llenado de vainas” (Peralta, 1998).

“En zonas con disponibilidad de agua, es necesario realizar el número de riegos adecuados para tener un buen cultivo. Se deben considerar los siguientes factores: textura del suelo, velocidad de infiltración, pendiente del terreno y profundidad del riego”. (Díaz, 2008)

2.1.6. Cosecha

“La cosecha del frijol se debe realizar cuando las hojas de las plantas del tercio inferior se empiecen a caer y la mayoría de las vainas, presenten un color amarillo paja, procurando que no estén totalmente secas para evitar pérdidas ocasionadas por el desgrane. En condiciones de temporal, si la cosecha coincide con alguna lluvia, es necesario trasladar las plantas a un lugar seco y ventilado para evitar problemas de manchado de grano. En riego, las plantas se arrancan y se amontonan en el campo, para que pierdan humedad y faciliten la separación de las semillas después de trillarlas. Esta labor se puede realizar en forma manual o con maquina trilladora estacionaria la se deberá estar alimentando con las plantas”. (INEFAP, 2002)

2.1.7. Evaporación

“La evaporación es un proceso mucho muy importante en bases continentales, ya que aproximadamente $\frac{3}{4}$ partes del agua que se precipita, regresa a la atmósfera, ya sea por evaporación o evapotranspiración. Si se considera una superficie plana de agua con una entrada neta de energía calorífica, el cuerpo de agua incrementará la energía liberada de las moléculas de agua hasta el punto en que puedan escapar a través de la interfase líquida-vapor. Esto a su vez, produce un decremento en energía cinética del resto de las moléculas, lo cual explica por qué el agua remanente se enfría” (De la Peña, 1987).

“Para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere energía. La radiación solar y, en menor grado, la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía. La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la diferencia entre la presión del vapor de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante. Cuando la superficie evaporante es la superficie del suelo, el grado de cobertura del suelo y la cantidad de agua disponibles en la superficie evaporante son factores que afectan el proceso de la evaporación” (Cruz, 1990).

“La evapotranspiración es esencialmente igual a la evaporación, excepto que la superficie de la cual se escapan las moléculas de agua no es una superficie de agua, sino hojas de plantas. La cantidad de vapor de agua que transpira una planta, varía día a día con los factores ambientales que actúan sobre las condiciones fisiológicas del vegetal y determinan la rapidez con que el vapor del agua se desprende de la planta.” (De la Peña, 1987)

2.1.8. Transpiración

“La diferencia en concentraciones entre la savia de las células de las raíces de una planta y el agua del suelo, causan una presión que se denomina “osmótica”. Esta presión hace que el agua del suelo se mueva a través de las membranas semipermeables de las raíces, hasta llegar a las células (nutrientes). Una salinidad alta en el disolvente del agua del suelo y/o una alta tensión debido a la humedad del suelo puede reducir o prevenir la transferencia osmótica. Al paso recíproco de líquidos de distinta densidad, a través de una membrana semipermeable que los separa se denomina “ ósmosis” . (De la Peña, 1987)

“Una vez dentro de las raíces, el agua es transferida por toda la planta. En las hojas, el aire entra a su epidermis a través de ciertas aberturas llamadas estomas, los cloroplastos dentro de la hoja usan el bióxido de carbono del aire y una parte del agua disponible para generar los carbohidratos necesarios para el crecimiento de la planta (fotosíntesis). Conforme el aire entra a la hoja, escapa agua a través de las estomas abiertas y a este proceso se le denomina “transpiración”. El volumen de agua transpirado es del orden de 800 veces mayor o igual que el necesario para formar materia vegetal” (De la Peña, 1987).

“La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas. Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera. Al igual que la evaporación directa, depende del aporte de energía, del gradiente de presión del vapor y de la rapidez del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento también deben ser considerados en su determinación. El contenido de agua del suelo y la capacidad del suelo de permitir el flujo de agua hacia las raíces también determinan la tasa de transpiración, así como la salinidad del suelo y del agua de riego” (Cruz, 1990).

2.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN

“La evapotranspiración es la combinación de la evaporación desde la superficie de suelo y la transpiración de la vegetación. Los mismos factores que dominan la evaporación desde una superficie de agua abierta también dominan la evapotranspiración, los cuales son: el suministro de energía y el transporte de vapor. Además, el suministro de humedad a la superficie de evaporación es un tercer factor que se debe tener en cuenta. A medida que el suelo se seca, la tasa de evapotranspiración cae por debajo del nivel que generalmente mantiene en un suelo bien humedecido. Los cálculos de las tasas de evapotranspiración se efectúan utilizando los mismos métodos descritos para la evaporación en superficies de agua abierta, con ajustes que tienen en cuenta las condiciones de vegetación y de suelo.” (Chávarri, 2004)

“La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la cantidad de agua perdida de una superficie cultivada en unidades de altura de agua. La unidad de tiempo puede ser una hora, día, 10 días, mes o incluso un completo período de cultivo o un año. Como una hectárea tiene una superficie de 10 000 m² de agua por hectárea y 1 milímetro es igual a 0,001 m, una pérdida de 1 mm de agua corresponde a una pérdida de 10 m³ de agua por hectárea. Es decir 1 mm/día es equivalente 10 m³/ha/día” (FAO, 1990).

2.2.1. La evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o).

FAO, (1990) Anota “La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ET_o (mm/día). La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. No se recomienda el uso de otras denominaciones como ET potencial, debido a las ambigüedades que se encuentran en su definición. El concepto de evapotranspiración de referencia se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo. 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. El relacionar la ET a una superficie específica permite contar con una referencia a la cual se puede relacionar la ET de otras superficies. Además, se elimina la necesidad de definir un nivel de ET para cada cultivo y periodo de crecimiento. Se pueden comparar valores medidos o estimados de ET en diferentes localidades o en diferentes épocas del año, debido a que se hace referencia a ET bajo la misma superficie de referencia”.

2.2.2. La evapotranspiración real del cultivo (ET_r)

Chávarri, (2004) Señala “En la práctica, los cultivos se desarrollan en condiciones de humedad muy lejanas de las óptimas. Por este motivo para calcular por ejemplo la demanda de riego se ha de basar en la evapotranspiración real (ET_r, mm/día), la cual toma en consideración al agua disponible en el suelo y las condiciones ambientales en las cuales se desarrolla un cultivo determinado. Siempre y cuando el cultivo en consideración disponga de agua en abundancia (después de un riego o de una lluvia intensa) y en condiciones de buena aireación del suelo, ET_r equivale a ET_c.”

La E_{Tr} nunca será mayor que E_{Tc} . Al aumentar la tensión del agua en el suelo, disminuye la capacidad de las plantas para obtener el volumen de agua requerido al ritmo impuesto por las condiciones del ambiente. Bajo estas condiciones disminuye la transpiración del cultivo por lo tanto E_{Tr} es inferior a E_{Tc} y también inferior a E_{To} ”.

2.2.3. La evapotranspiración del cultivo (E_{Tc})

“La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se denomina E_{Tc} (mm/día), y 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 E_{Tc} se refiere a la evapotranspiración en condiciones óptimas presentes en parcelas con un excelente manejo y adecuado aporte de agua y que logra la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas. E_{Tc} requiere generalmente una corrección, cuando no existe un manejo óptimo y se presentan limitantes ambientales que afectan el crecimiento del cultivo y que restringen la evapotranspiración, es decir, bajo condiciones no estándar de cultivo” (FAO, 1990).

2.2.4. Uso consuntivo

“La cantidad de agua requerida para compensar la pérdida por evapotranspiración del cultivo se define como necesidades de agua del cultivo. A pesar de que los valores de la evapotranspiración del cultivo y de las necesidades de agua del cultivo son idénticos, sus definiciones conceptuales son diferentes. Las necesidades de agua del cultivo se refieren a la cantidad de agua que necesita ser proporcionada al cultivo como riego o precipitación, mientras que la evapotranspiración del cultivo se refiere a la cantidad de agua perdida a través de la evapotranspiración. La necesidad de riego básicamente representa la diferencia entre la necesidad de agua del cultivo y la precipitación efectiva. El requerimiento de agua de riego también incluye agua adicional para el lavado de sales, y para compensar la falta de uniformidad en la aplicación de agua” (FAO, 1990).

Maldonado, (1981) Expresa "El consumo de agua de los cultivos o uso consuntivo, es uno de los elementos principales para estimar la necesidad de riego y establecer el régimen de irrigación. El consumo de agua varía según el tipo de planta, la estación en que se cultiva y las condiciones climáticas existentes en las diversas etapas del desarrollo vegetal. El índice más alto de consumo puede variar desde 2,5 – 6 mm/día en zona húmeda, hasta 6 – 9 mm/días en zonas áridas. El uso consuntivo es la suma del consumo productivo por transpiración y las pérdidas improductivas por evapotranspiración del agua del suelo, más el agua utilizada directamente para constituir los tejidos de las plantas. Sin embargo, como esta última cantidad de agua denominada también "agua de constitución" representa un porcentaje muy reducido (0,5 - 1,5%), frente al total consumido durante toda la vida de la planta, se desperdician las pérdidas de agua ocasionadas por infiltración profunda y aquellas consumidas por las malas hiervas. cuando se utilizan una agrotécnia correcta, estas últimas pérdidas son mínimas"

2.3. MÉTODOS PARA DETERMINAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN (ET)

"Los métodos pueden clasificarse en métodos directos e indirectos. Los primeros proporcionan directamente el consumo total del agua requerida, utilizando para ello aparatos e instrumentos para su determinación. Los segundos en forma directa y bajo la utilización de fórmulas empíricas, obtienen los consumos de agua a través de todo el ciclo vegetativo de la planta". (De la Peña, 1987)

2.3.1. Métodos directos

De la Peña, (1987) señala "Miden directamente los consumos por evaporación y requieren para su determinación la instalación de aparatos, el cuidado de ellos y seguir la metodología específica en cada paso. Son aplicables para zonas donde se tiene una agricultura establecida, ya que proporcionan valores mucho más apegados a la realidad y sirven a la vez para ajustar los parámetros de los métodos empíricos. Los métodos más utilizados son:

2.3.1.1. Método gravimétrico

Narváez, (2011) Expresa "El análisis gravimétrico o gravimetría consiste en determinar la cantidad proporcionada de un elemento, radical o compuesto presente en una muestra, eliminando todas las sustancias que interfieren y convirtiendo el constituyente o componente deseado en un compuesto de composición definida, que sea susceptible de pesarse. La gravimetría es un método analítico cuantitativo, es decir, que determina la cantidad de sustancia, midiendo el peso de la misma (por acción de la gravedad)".

2.3.1.2. Método de tanque evaporímetro

FAO, (1990) "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.

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 ET 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". La ecuación que permite calcular la ETo es la siguiente:

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

Donde:

E_{To}= Evapotranspiración de referencia, mm/día

K_p= Coeficiente del tanque

E_v= Evaporación del tanque evaporímetro, mm/día"

a. Coeficiente del tanque evaporímetro (K_p)

FAO, (1990) "Para seleccionar el coeficiente apropiado para un tanque evaporímetro, se debe considerar no solamente el tipo del tanque, sino también la cobertura del suelo donde se ubica el tanque, sus alrededores así como el viento y las condiciones generales de humedad bajas provocan K_p menores. La localización y el ambiente del tanque evaporímetro también tienen influencia en los resultados." (Fig. 1)

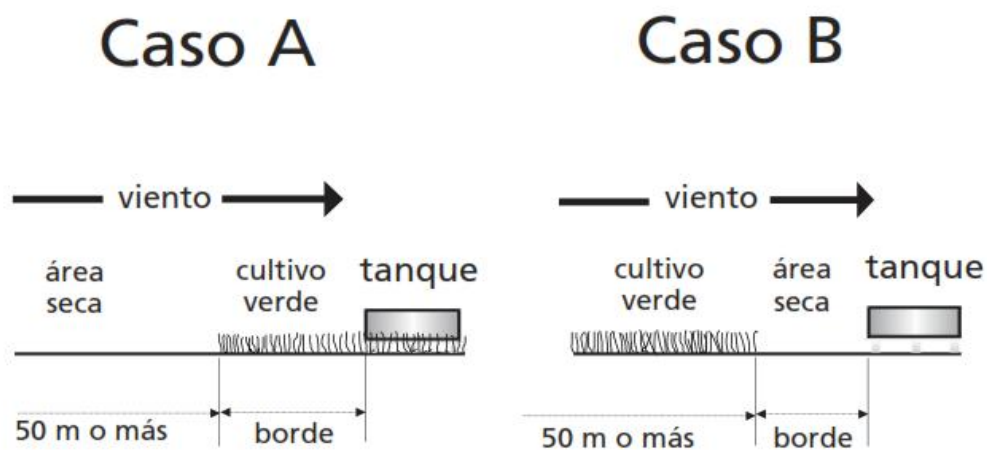


Figura 1. Dos casos de localización del tanque de evaporación y sus alrededores

2.3.1.3. Método del lisímetro

De la Peña, (1987) "Determina la evapotranspiración potencial y consiste en un recipiente de lámina galvanizada formado por un tanque cilíndrico de más o menos 6 m de diámetro por 95 cm de alto, en el que se coloca el suelo y el cultivo en estudio. El consumo de agua por evapotranspiración se determina pesando diariamente el conjunto del suelo, plantas, agua y aparato, y por diferencia de pesadas se obtiene la humedad consumida. Puede mencionarse como ventaja la facilidad de las mediciones y de la aplicación del agua; pero a su vez estos aparatos aunque fáciles de manejar, son más caros. Entre las desventajas se encuentran sus altos costos, que pueden alterar las condiciones normales del suelo afectando la medición, provocan un desarrollo anormal de las raíces que se concentran hacia el tubo de aplicación del agua, por haber más humedad en el fondo o base del recipiente y no se pueden aplicar a plantas que tengan un sistema radicular mayor que las dimensiones del tanque que contiene el suelo".

a. Los lisímetros

“El término “lisímetro” es un derivado de las palabras griegas “lysis” y “metron” que significan, respectivamente, disolver y medir. El término es por lo tanto aplicable a cualquier dispositivo utilizado en el estudio de velocidad, cantidad y composición del agua que percola en un medio poroso. Así, muchas definiciones de lisímetro se refieren a “instrumentos o dispositivos que contienen suelo y reciben lluvia natural o riego y se encuentran provistos de un sistema para recibir y medir la solución de percolación”. (ARMPFIELD, 2011)

FAO, (1990) Expresa “Si se aísla la zona radicular del cultivo y se controlan los procesos que son difíciles de medir, los diversos términos en la ecuación del balance de agua en el suelo se pueden determinar con apreciable exactitud. Esto se hace en lisímetros que son tanques aislados llenados con suelo disturbado o no disturbado en los que el cultivo crece y se desarrolla. En lisímetros de pesaje de precisión, la evapotranspiración se puede obtener con una exactitud de centésimos de milímetro, donde la pérdida de agua es medida directamente por el cambio de masa y períodos pequeños tales como una hora pueden ser considerados. 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). Este requisito no se ha respetado normalmente en muchos estudios de lisimetría y ha dado lugar a datos seriamente desviados y poco representativos de ET_c y K . Como los lisímetros son difíciles de manejar y caros de construir y además su operación y mantenimiento requieren de especial cuidado, su uso se restringe normalmente a trabajos investigativos”.

“La percolación es considerada una fase importante del ciclo hidrológico que ocurre en la recarga del agua subterránea y en la descarga de agua hacia los cauces naturales. La lisimetría en su forma más simple, incluye la medida volumétrica de todas las aguas que entran de un recipiente conteniendo una masa aislada de suelo con una superficie desnuda o cubierta vegetal. Los flujos de entrada y salida de agua en un lisímetro, pueden ser representados mediante la siguiente ecuación del balance hídrico:

$$ET = P + I - D \pm W$$

Donde:

El flujo de agua de entrada en un determinado tiempo es representado por:

$P =$ precipitación, mm

$I =$ irrigación, mm

El flujo de salida incluye:

$ET =$ evapotranspiración, mm

$D =$ percolación profunda, mm

$W =$ cambios en el contenido de agua (W) de la masa aislada de suelo en un determinado periodo, mm

$R_o =$ escorrentía hacia dentro o hacia afuera del lisímetro, la cual puede ser evitada por el borde de las paredes". (ARMFIELD, 2011)

"La precipitación (P) y la irrigación (I) pueden ser medidas mediante pluviómetros y métodos volumétricos convencionales. Para drenar y medir el agua que percola a través de la masa de suelo (D), son utilizados una cámara de drenaje y un recipiente de volumen conocido. Los cambios en el contenido de agua en la masa de suelo (W), representan la cantidad de agua almacenada en el suelo después de una lluvia o irrigación, o la cantidad de agua extraída del suelo por la evapotranspiración de las plantas en el lisímetro. La medida de este parámetro (W) ofrece mayores complicaciones". (ARMFIELD, 2011)

"Los lisímetros continúan teniendo una gran utilidad en los estudios de evapotranspiración y consumo de agua por los cultivos. Así, las determinaciones de los lisímetros sirven de referencia para comprobar los métodos empíricos y semiempíricos para calcular la evapotranspiración. Desde que los lisímetros son frecuentemente empleados con uno o más métodos de campo, para determinar el consumo de agua, la evaluación de esos métodos es también incluida. Además de lo anterior, se evalúa la aplicación de los lisímetros en los estudios de la relación agua-suelo-planta y particularmente, su uso en la comprobación de modelos de simulación". (ARMFIELD, 2011)

i. Lisímetro de succión HI 83900

HANNA, (1998) "El lisímetro de succión HI 83900 está construido con una tapa cerámica porosa conectada a un tubo transparente para la extracción de solución de suelo. Lleva insertado un capilar de goma que pasa a través de una tapa de goma y llega a la punta cerámica. El lisímetro es una herramienta ideal para recoger muestras de solución de suelo y realizar a continuación análisis químicos cuantitativos. De este modo el operario puede controlar fácilmente el nivel de nutrientes, tales como amoníaco, nitrato, fósforo y potasio, sulfato, calcio, magnesio. La punta cerámica del lisímetro puede ser utilizado en todos los tipos de suelo, y está fabricada de material sinterizado que no reacciona con los elementos nutrientes. La solución de suelo, por consiguiente, no se ve afectada por la composición química de la tapa cerámica, y los resultados de los tests son siempre precisos y fiables.

Normalmente, se debería aplicar un vacío de aproximadamente -60 cb. Para una mejor monitorización de la composición de la solución de suelo a través de todo el período decrecimiento de las cosechas, se deberían instalar por lo menos 2 lisímetros en la zona radicular de una planta representativa, uno en la parte superior y otro en la parte inferior de la zona radicular. Para una mayor precisión y receptibilidad de resultados, se recomienda replicar la instalación arriba descrita en dos emplazamientos más por lo menos. HI 83900 puede ser utilizado con el fotómetro de sobremesa HI 83215".

ii. Lisímetros de tubos de succión de 30, 60 y 90 cm

INFOAGRO, (2012) Detalla "La sonda de extracción de agua, también conocido como lisímetro de succión es una sonda para la extracción de muestras de la solución del suelo para su posterior análisis comparativo. Le ayudan a determinar cuándo y cuánto fertilizante aplicar al suelo. El lisímetro está construido con un extremo de cerámica porosa y tubo transparente para la extracción de solución de suelo". El lisímetro es una herramienta necesaria para recoger muestras de solución de suelo y realizar a continuación análisis químicos de NKP y otros nutrientes. De este modo el técnico agrícola puede controlar fácilmente el nivel de nutrientes, tales como amoníaco, nitrato, fósforo y potasio, sulfato, calcio, magnesio, etc. La punta cerámica del lisímetro permite que pueda ser en todos los tipos de suelo.

Para que este proceso se lleve a cabo, debe de hacerse el vacío al lisímetro previamente. Para poder alcanzar -80 cb de presión, se requiere la utilización de un EQUIPO DE VACÍO. Basta con una unidad para preparar todos los lisímetros. Nota: (En lisímetros de 30 cm es posible evitar el uso de equipo de vacío, ya que el vacío se puede hacer con la misma jeringa del equipo extractor del lisímetro)

Se recomienda instalar por lo menos 2 lisímetros en la zona radicular de una planta representativa, uno en la parte superior y otro en la parte inferior de la zona radicular para que la muestra sea lo más significativa. Se recomienda, de igual modo, repetir la instalación en dos emplazamientos más por lo menos. Los tubos de extracción de soluciones o lisímetros de succión son utilizados habitualmente para extraer muestras de agua del suelo a varias profundidades en la zona de la raíz de los cultivos. Cuando se utiliza JUNTO con un equipo de análisis de nutrientes permite a los agricultores ajustar la cantidad y frecuencia de las aplicaciones de fertilizantes. Los beneficios para el usuario van desde el incremento de la producción hasta una mayor calidad de los frutos, cuando se reducen las pérdidas de fertilizantes. Las muestras de agua del suelo que se extraen, se utilizan en los medidores electrónicos o test kits y estos aparatos ofrecen la medida de nutrientes”.

iii. El Lisímetro de pesaje

“El equipo consta de un equilibrio de pesaje hidráulico sobre el que se pueden colocar recipientes STANDARS (1) para la supervisión periódica o continua. El bastidor de base (2) está montado sobre tres pies ajustables (3) y se puede nivelar mediante un bulbo de centro (4) fijado a la placa de pesaje flotante (13). Un poste vertical (5) está montado en el bastidor de base y lleva un manómetro de extremo abierto (6) junto a una escala graduada. El tubo del manómetro y la escala (el ángulo puede ser alterado para aumentar la sensibilidad al cambio de peso) se fija contra un tablero trasero (7), la totalidad de los cuales se puede mover verticalmente en el poste de montaje para dar una escala ajustable para acomodar una gama de macetas”. (ARMFIELD, 2011)

“Un cilindro de pared baja (8) está montado a la base rectangular que tiene el centro cortado. Se adjunta a la pared del cilindro externo es el punto de conexión (9) y el punto (10) para purgar el tubo dentro del sistema. En el interior del cilindro de un tubo de goma (11) se encuentra fijado horizontalmente con discos anulares en sus superficies superior e inferior”. (ARMFIELD, 2011)

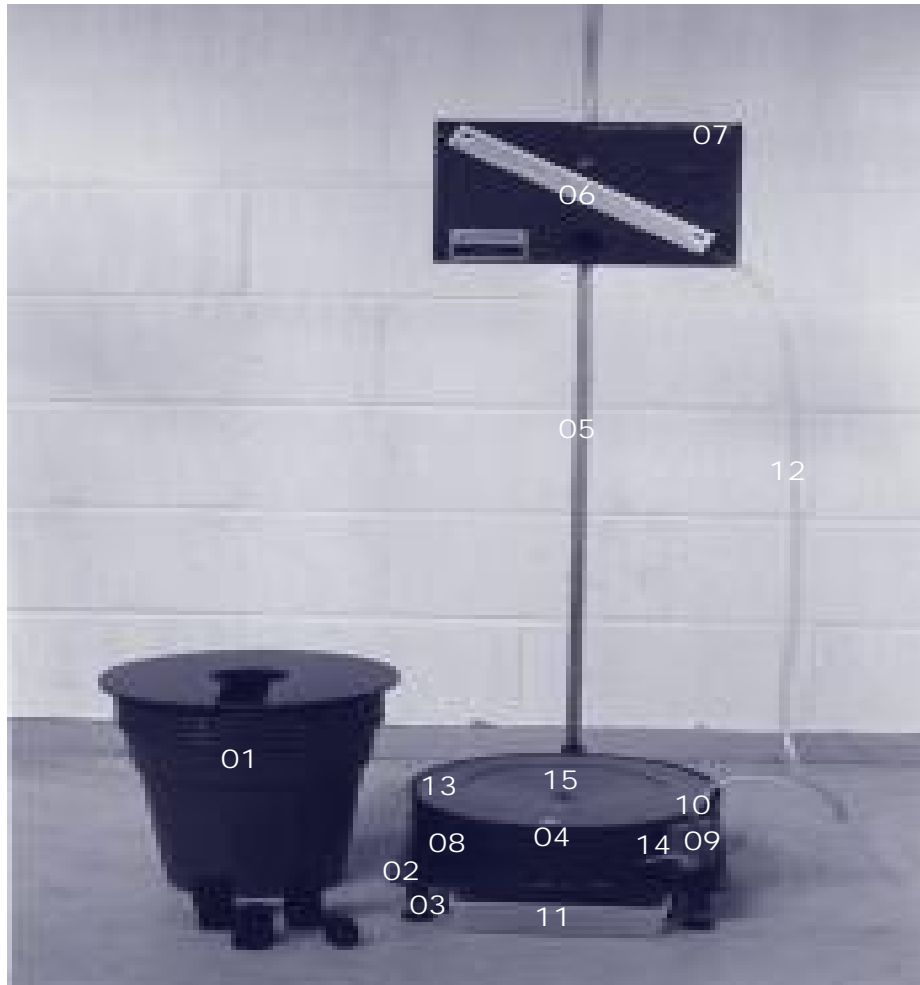


Figura 2. Descripción de los componentes del lisímetro de pesaje.

“Este tubo se llena de agua y está conectado por medio de un tubo flexible (12) al tubo del manómetro descrito. Una placa flotante circular (13) con una burbuja de centro para nivelar descansa en la parte superior del tubo de goma. Esta placa circular es compatible con una planta de maceta. (Un tubo de drenaje (14) unido a la parte superior del recipiente se ejecuta a través de un centro de tubo de PVC central que permite el drenaje del agua que se recoge en un frasco graduado (15) situado debajo del bastidor). Se suministran una serie de macetas de plástico. Las macetas llenas de tierra, con un peso de 15-20 kg se colocan en la placa flotante. El cambio de contenido de agua da como resultado cambios en la presión en el tubo de goma lleno de agua y se refleja en un cambio en la lectura del manómetro. (Fig. 2)” (ARMPFIELD, 2011)

2.3.2. Métodos indirectos o empíricos

De la Peña, (1987) "Los métodos más comunes para estimar la evapotranspiración son:

1. Thornthwaite
2. Turc
3. Blaney y Criddle
4. Racional utilizando la curva de Hansen
5. Grassi y Christensen
6. Tanque evaporímetro tipo A
7. Penman simplificado

La mayor parte de ellos son demasiado teóricos ya que han sido deducidos bajo condiciones definidas entre regiones y su aplicación precisa de una serie de datos que generalmente no se tienen a la disposición. El método de Thornthwaite calcula la evapotranspiración potencial mediante los datos existentes de las temperaturas medias mensuales, el de Turc utiliza la precipitación y temperatura medias de una cuenca, y los de Blaney y Criddle y Grassi y Christensen hacen uso de la radiación solar".

a. Método de Penman (FAO)

Chávarri, (2004) Manifiesta "La ecuación de Penman, modificada por la FAO, estima el uso consuntivo del cultivo de referencia (pasto o grama) y predice la ETo, no solamente en las regiones frías y humedad, sino también, en las zonas calientes y áridas. En dichas zonas áridas, los factores aerodinámicos (la humedad y el viento) predominan sobre el término energético (la radiación).

El método de Penman distingue entre la influencia del viento durante las horas del día y la del viento durante las horas de la noche, toma en consideración a la humedad relativa y a la radiación solar. Por lo tanto el método de Penman (modificado por la FAO) incluye un factor de ajuste 'c', basado en la humedad relativa máxima, la radiación solar y la relación entre la velocidad del viento durante las horas del día y de la noche".

2.4. FACTORES AMBIENTALES

Chávarri, (2004) "El aspecto físico del proceso de transpiración, está influenciado por los mismos factores ambientales que rigen a la evaporación, sin embargo algunos factores meteorológicos como la iluminación, la temperatura y la humedad de la atmósfera, tienen un doble efecto en la transpiración debido a su influencia en la abertura de las estomas. En relación al contenido de humedad del suelo, existen opiniones contrapuestas respecto a su influencia en la intensidad de la transpiración, de manera que algunos autores indican que ésta es independiente del contenido de humedad hasta que se alcanza el punto de marchitez permanente, mientras que otros suponen que es proporcional a la humedad disponible para las plantas".

2.5. FACTORES FISIOLÓGICOS

Chávarri, (2004) "En su aspecto biológico, la transpiración es afectada por las características de la especie vegetal, edad, desarrollo, tipo de follaje y profundidad radicular. Otra particularidad de la especie vegetal, está estrechamente relacionada con el tipo y desarrollo del sistema radicular. De manera práctica, la evaporación y la transpiración son procesos que se realizan en la naturaleza de forma simultánea, son interdependientes y es muy difícil su medición por separado. El cálculo de la evapotranspiración es fundamental para la estimación de la demanda de riego de un cultivo y la estimación del escurrimiento medio anual de una cuenca".

2.6. RELACIONES AGUA SUELO PLANTA

Rojas, 1999 Señala "La importancia del tema puede enfocarse desde varios puntos de vista dependiendo de un interés particular y de la finalidad que se persigue. Por ejemplo para un estudio de abastecimiento de agua, las plantas pueden considerarse sólo como consumidoras de agua y protectoras contra la erosión y los suelos como un sistema de almacenamiento. Por otro lado, para la producción vegetal es necesario conocer todas las relaciones. Para el ambientalista este conocimiento debe ser mayor puesto que es necesario considerar la conservación del ambiente en general y en ese sentido se debe incluir los aspectos de fauna y calidad de vida para los seres humanos".

2.7. EL AGUA EN EL SUELO

González, (2010) Manifiesta "Ya sea por precipitaciones, por riego, o por ascenso capilar el agua que entra al suelo, desplaza al aire presente en los macro y microporos del suelo, para ir llenándose con agua. También puede ocurrir el efecto contrario, es decir, los poros del suelo llenos con agua van desocupándose y siendo desplazados por el aire de la atmósfera del suelo. Si se aplica agua en una gran cantidad, estos poros se pueden saturar y se llega a establecer su máxima capacidad de almacenamiento, expresado en términos del contenido de humedad en saturación

S. Parte del agua es drenada por la acción de la gravedad. Ya cuando es finalizado el proceso de drenaje, se dice entonces que el suelo está en el contenido de humedad de Capacidad de Campo, concepto que indica la cantidad de agua que el suelo es capaz de retener contra la fuerza de gravedad.

Cuando el suelo se va secando debido a la absorción del agua por la planta o por evaporación, el contenido de humedad disminuye. Si la planta llega a una situación de marchitez, se establece en el suelo el contenido de humedad en Punto de Marchitez Permanente. (pmp). Si persiste un decremento continuo en el contenido de humedad del suelo, puede alcanzarse el Coeficiente Higroscópico, es la cantidad de agua que permanece en un suelo secado al aire".

2.7.1. Fuerzas de retención de agua en el suelo

González, (2010) Expresa "Cuando el suelo tiene un contenido de humedad determinado, el agua se encuentre llenando los poros más pequeños, por cuanto los grandes son los primeros que se vacían debido a que estos poros retienen el agua a menor presión. Hay presencia de dos tipos de fuerzas que ayudan al suelo a retener el agua. Una de estas lo constituye la atracción que se ejerce desde las superficies de las partículas del suelo para con las moléculas de agua, conocida como fuerza de Adhesión, y la otra, es la atracción que existe entre las moléculas de agua, denominada fuerza de Cohesión. Estas fuerzas actúan conjuntamente y hacen posible que las partículas del suelo retengan el agua y a su vez controlen su movimiento y utilización. Usualmente para medir la fuerza con la que el agua es retenida en el suelo, se utilizan las unidades de presión, expresadas en pascales (Pa) o múltiplos del mismo. También se expresa en cm o mm de columna de agua".

2.8. ESTADO DE ENERGÍA DEL AGUA EN EL SUELO

González, (2010) Señala "El agua se mueve de las zonas de mayor a las de menor energía potencial, en un intento de lograr equilibrio. Para moverse el agua de un estado de energía potencial a otro, una cierta cantidad de trabajo debe ser realizado; por lo tanto se requiere vencer las diferentes fuerzas que actúan sobre la misma. Estas fuerzas se desprenden de la interacción con la matriz del suelo, la presencia de solutos en el agua y la elevación sobre un nivel de referencia. La suma de estos aspectos da origen al potencial total del agua en el suelo. El potencial hídrico puede expresarse en unidades de energía por unidades de masa o volumen, la unidad de uso más corriente el megapascal (MPa = 10 bares) aunque en el pasado reciente también se han utilizado la atmósfera y el bar (1 bar= 0.987 atm). Los componentes individuales del potencial total son el potencial gravitacional, el potencial de presión y el osmótico en suelos saturados y no saturados respectivamente son:

$$\Psi_T = \Psi_p + \Psi_g + \Psi_o$$

$$\Psi_T = \Psi_m + \Psi_g + \Psi_o$$

Dónde:

- τ = Potencial total (bar)
- p = Potencial de presión (bar)
- m = Potencial mátrico (bar)
- g = Potencial gravitacional (bar)
- o = Potencial osmótico (bar)"

2.8.1. Potencial Gravitacional

Graff, (2004) Destaca "La presión hidrostática puede asumir valores positivos o negativos según el agua sometida a presión o tensión. Así por ejemplo, el potencial de presión en las células es positivo y representa la presión ejercida por el protoplasto contra la pared celular, mientras que en el xilema es negativo debido a la tensión desarrollada por diferencias en el potencial hídrico originadas en la transpiración".

Cartagena, (2000) "Cuando el agua entra en la célula, aumenta el volumen vacuolar y ejerce una presión sobre las paredes celulares, llamada presión de turgencia. Al mismo tiempo se desarrolla en dirección opuesta una presión igual a la presión de turgencia, es decir desde las paredes hacia el interior celular. Esta última presión, llamada presión de pared, actúa como presión hidrostática, aumenta el estado energético del agua en la célula y representa el potencial de presión celular. En forma natural Y adquiere valores positivos siempre que la vacuola ejerza una presión sobre las paredes circundantes. A medida que se pierde el agua de la célula, la vacuola se contrae progresivamente, con una caída al mismo tiempo en la turgencia celular y ψ_p se hace cero en una etapa denominada plasmólisis incipiente, en la cual la vacuola deja de presionar sobre las paredes".

2.8.2. Potencial Osmótico

Graff, (2004) Señala "Representa la disminución de la capacidad de desplazamiento del agua debido a la presencia de solutos. A medida que la concentración de soluto (es decir, el número de partículas de soluto por unidad de volumen de la disolución) aumenta, ψ_s se hace más negativo. Sin la presencia de otros factores que alteren el potencial hídrico, las moléculas de agua de las disoluciones se moverán desde lugares con poca concentración de solutos a lugares con mayor concentración de soluto. El ψ_s se considera 0 para el agua pura.

2.8.3. Potencial de Presión

González, (2010) "Por debajo de una superficie de agua libre la presión del agua es mayor que la presión atmosférica. Este tipo de potencial se observa cuando el suelo está saturado. Cuando no está saturado el agua se encuentra a una presión menor que la atmosférica y el potencial es normalmente llamado mátrico o capilar. Los suelos agrícolas requieren de aireación para las plantas; por ende para lograr un normal desarrollo de los cultivos se necesita que el suelo no esté saturado. Como en este caso la presión es negativa llamada también succión o tensión de humedad del suelo, el potencial mátrico juega un papel importante en el desarrollo de las plantas. Este potencial mátrico es el resultado de las fuerzas de adsorción y capilares debidas a la matriz del suelo. Lo anterior denota que el potencial de presión y el mátrico son mutuamente excluyentes, es decir, cuando el suelo está saturado se habla de potencial de presión y cuando no lo está de mátrico. En la medida en que el contenido de humedad del suelo disminuya el potencial mátrico se hace más negativo (aumenta)".

2.8.4. Potencial Hidráulico

“El potencial hidráulico es el potencial que se utiliza para determinar el movimiento del agua en el suelo y básicamente lo que se presenta es la suma de dos potenciales el de presiones (bien sea positivas o negativas) y el gravitacional. La razón es que se asume que a lo largo del suelo que se está describiendo no existen gradientes de salinidad que hagan muy diferentes los potenciales osmóticos entre estos dos puntos. Por lo tanto, el potencial hidráulico (H), corresponde al potencial de presión denominado h más el potencial gravitacional (z). $H = h + z$. La nomenclatura que se traía corresponde a $H = p$ (Potencial de presión) o m (Potencial mátrico) + g (Potencial gravitacional)” (González, 2010).

2.9. TENSÍOMETRO DE MERCURIO

Fueyo, (1998) Expresa “El tensiómetro se compone de un tubo depósito impermeable, en cuya base porta una cápsula de cerámica porosa en su extremo inferior, un manómetro de depresión graduado en centibares en la parte superior (vacuómetro), una cámara de reserva, y una tapa con rosca en la parte superior provista en el interior de un tapón de neopreno.

La punta cerámica porosa deja circular el agua desde el suelo al tensiómetro o viceversa, permitiendo evaluar la disponibilidad de agua del suelo según la lectura de la tensión transmitida al vacuómetro. Para ello, la punta cerámica del tensiómetro debe colocarse a la profundidad donde se produce el máximo desarrollo radicular del cultivo. En general, los tensiómetros utilizados en horticultura son de 12, 24 y 36 pulgadas, que se corresponden con 15, 30 y 45 cm de longitud, respectivamente. Para cultivos arbóreos existen tensiómetros más largos, hasta de 150 cm. Para determinar el momento óptimo del riego, conviene utilizar algún método que apoye la decisión de regar. El tensiómetro, aunque no alcanza un grado de eficiencia pleno y tiene limitaciones de uso para algunos suelos, se muestra como un instrumento idóneo para orientar al horticultor”.

2.9.1. Interpretación de las lecturas del manómetro

Fueyo, (1998) “Situado el tensiómetro a la profundidad deseada, cuando el suelo no está saturado, la punta cerámica cede el agua que contiene el tubo del tensiómetro, creando una depresión que es medida por el vacuómetro en forma de centibares (cb). La interpretación de las tensiones es la siguiente:

a. Tensión O: El suelo está saturado, es decir, todos sus poros están ocupados por agua. La permanencia prolongada de este estado de humedad representa un riesgo de asfixia radicular.

b. Tensiones de 7 a 10 cb: La disponibilidad de agua corresponde a la capacidad de campo o de retención y constituye la reserva fácilmente utilizable.

c. Tensiones de 10 a 80 cb: Para una lectura determinada, la disponibilidad de agua es variable según el tipo de suelo.

Para concluir, la relación tensión humedad, a partir de 10 cb, no se puede interpretar de forma lineal y directa según la lectura del vacuómetro. Esta lectura, según la textura del suelo (arcillosa, arenosa, etc.) permite relacionar la tensión con la disponibilidad de agua en el suelo, o dicho de otra manera, evaluar el agotamiento de la Reserva Útil de agua, apoyando la decisión de regar en el momento oportuno.

d. Tensiones superiores a 80 centibares: A partir de tensiones de 80 cb, el aire del suelo entra en la cápsula de cerámica y el tensiómetro se desactiva. Por tanto, esta lectura de 80 centibares, entre 70-80 cb según el tipo de tensiómetros, se puede considerar como el límite de validez de este método práctico de manejo del riego".

2.9.2. Duración máxima y mínima del riego

Fueyo, (1998) Expresa "En el riego por goteo la duración máxima del riego es un aspecto fundamental, pues quedar-se cortos representaría infrautilizar la capacidad del sistema radicular, limitando su expansión al situar la humedad más superficialmente. Por otro lado, alargar excesivamente la duración del riego arrastraría los elementos nutritivos a capas del suelo no exploradas por las raíces. La duración del riego dependerá del tiempo que tarde el agua en alcanzar la profundidad que se considere más útil para el cultivo. El tensiómetro puede ayudar a determinar estos límites, actuando en un suelo cerca no a su Capacidad de Campo (cercano a la máxima humedad que puede retener sin estar encharcado)

2.10. FACTORES QUE DETERMINAN EL COEFICIENTE DEL CULTIVO

FAO, (1990) Manifiesta "El coeficiente del cultivo integra los efectos de las características que distinguen a un cultivo típico de campo del pasto de referencia, el cual posee una apariencia uniforme y cubre completamente la superficie del suelo. En consecuencia, distintos cultivos poseerán distintos valores de coeficiente del cultivo. Por otra parte, las características del cultivo que varían durante el crecimiento del mismo también afectarán al valor del coeficiente K_c . Por último, debido a que la evaporación es un componente de la evapotranspiración del cultivo, los factores que afectan la evaporación en el suelo también afectarán al valor de K_c .

4.5.1. Tipo de Cultivo

Debido a las diferencias en albedo, altura del cultivo, propiedades aerodinámicas, así como características de los estomas y hojas de las plantas, se presentarán diferencias entre la evapotranspiración de un cultivo bien desarrollado y regado y la de referencia E_{To} . Los espaciamientos estrechos entre plantas, así como la mayor altura y rugosidad de la superficie de una gran cantidad de cultivos agrícolas, producen como consecuencia que esos cultivos presenten coeficientes K_c mayores a 1,0.

4.5.2. Clima

Los valores de K_c son valores medios típicos de K_c que se pueden esperar bajo condiciones climáticas estándar, las cuales son definidas como aquellas correspondientes a climas sub-húmedos, con una humedad relativa mínima (HR_{min}) 45% y con velocidades del viento bajas a moderadas, con un promedio de 2 m/s diaria.

Las variaciones en la velocidad del viento afectan el valor de la resistencia aerodinámica de los cultivos y por lo tanto los valores del coeficiente del cultivo, especialmente en aquellos cultivos que posean una altura significativamente mayor a la del cultivo hipotético del pasto. La diferencia entre la resistencia aerodinámica del pasto de referencia y la de otros cultivos agrícolas es no sólo específica del tipo de cultivo, sino que depende además de las condiciones climáticas y la altura del cultivo.

Debido a que las propiedades aerodinámicas son más pronunciadas en la mayoría de los cultivos agrícolas, al compararse con el pasto de referencia, el cociente entre E_{Tc} y E_{To} (ósea K_c), aumenta en la mayoría de los cultivos cuando la velocidad del viento aumenta y cuando la humedad relativa disminuye. En condiciones de una mayor aridez climática y de una mayor velocidad del viento, los valores de K_c aumentan. Por otro lado, en climas húmedos y en condiciones de velocidades del viento bajas, los valores de K_c disminuyen.

4.5.3. Evaporación del suelo

Las diferencias en la evaporación del suelo y la transpiración del cultivo, que existen entre los cultivos de campo y el cultivo de referencia, están incorporados en el coeficiente del cultivo. El valor del coeficiente K_c para cultivos que cubren completamente el suelo refleja principalmente las diferencias en transpiración, debido a que la evaporación que ocurre en el suelo es relativamente pequeña. Después de un evento de lluvia o riego, el efecto de evaporación es predominante cuando el cultivo es pequeño y sombrea escasamente el suelo.

En esas condiciones de poca cobertura, el coeficiente K_c está determinado principalmente por la frecuencia con la cual se humedece la superficie del suelo. Cuando el suelo se encuentra humedecido la mayoría del tiempo debido al riego o la lluvia, la evaporación en el suelo será significativa y el valor de K_c puede exceder a la unidad. Por otro lado si la superficie del suelo está seca, la evaporación será restringida, traduciéndose en un valor de K_c pequeño, pudiendo incluso alcanzar valores tan bajos como 0,1

4.5.4. Etapas del crecimiento del cultivo

A medida que el cultivo se desarrolla, tanto el área del suelo cubierta por la vegetación como la altura del cultivo y el área foliar variarán progresivamente. Debido a las diferencias en evapotranspiración que se presentan durante las distintas etapas de desarrollo del cultivo, el valor de K_c correspondiente a un cultivo determinado, también variará a lo largo del período de crecimiento del mismo. Este período de crecimiento puede ser dividido en cuatro etapas: inicial, de desarrollo del cultivo, de mediados de temporada y de final de temporada.

a. Etapa inicial

La etapa inicial está comprendida entre la fecha de siembra y el momento que el cultivo alcanza aproximadamente el 10% de cobertura del suelo. La longitud de la etapa inicial depende en gran medida del tipo de cultivo, la variedad del mismo, la fecha de siembra y del clima. El final de la etapa inicial ocurre cuando la vegetación verde cubre aproximadamente un 10% de la superficie del suelo. Para cultivos permanentes, la fecha de siembra es reemplazada por el momento en que aparecen las primeras hojas. Durante el período inicial el área foliar es pequeña y la evapotranspiración ocurre principalmente como evaporación en el suelo. Por lo tanto, el valor de K_c durante el período inicial (K_c inicial) es alto cuando el suelo se encuentra húmedo debido al riego o lluvia, y es bajo cuando la superficie del suelo se encuentra seca. El tiempo que tardará el suelo en secarse dependerá del intervalo de tiempo entre eventos que humedezcan al suelo, del poder evaporante de la atmósfera (ET_c) y de la magnitud del evento de humedecimiento.

b. Etapa de desarrollo del cultivo

La etapa de desarrollo del cultivo está comprendida desde el momento en que la cobertura del suelo es de un 10% hasta el momento de alcanzar la cobertura efectiva completa. Otra manera de definir la ocurrencia de la cobertura completa es cuando el índice del área foliar (IAF) alcanza un valor de tres. Se define como IAF al promedio de la suma del área total de las hojas (un solo lado), por unidad de área de la superficie del suelo. A medida que el cultivo se desarrolla y sombrea cada vez más el suelo, la evaporación se verá cada vez más restringida y la transpiración gradualmente se convertirá en el proceso más importante. Durante la etapa de desarrollo del cultivo, el valor de K_c se corresponderá con la cantidad de la cobertura del suelo y el desarrollo de la planta.

En general, si la superficie del suelo se encuentra seca, un valor de $K_c = 0,5$ se corresponderá con un valor de 25-40% de cobertura del suelo debido a los efectos del sombreado y debido al transporte en escala microscópica del calor sensible desde el suelo hacia la vegetación. Un valor de $K_c = 0,7$ generalmente se corresponderá con una cobertura del suelo de alrededor de 40-60%. Estos valores variarán dependiendo del cultivo, la frecuencia del humedecimiento y de si el cultivo utiliza más agua que el cultivo de referencia del pasto, cuando se encuentra en condiciones de cobertura completa (ósea, dependiendo de la arquitectura de la vegetación y la altura del cultivo en relación con el pasto de referencia).

c. Etapa de mediados de temporada

La etapa de mediados de temporada comprende el período de tiempo entre la cobertura completa hasta el comienzo de la madurez. El comienzo de la madurez está indicado generalmente por el comienzo de la vejez, amarillamiento o senescencia de las hojas, caída de las hojas, o la aparición del color marrón en el fruto, hasta el grado de reducir la evapotranspiración del cultivo en relación con la ETo de referencia. La etapa de mediados de temporada representa la etapa más larga para los cultivos permanentes y para una gran variedad de cultivos anuales, siendo relativamente corta para los cultivos hortícolas que son cosechados frescos para aprovechar su vegetación verde.

d. Etapa de finales de temporada

La etapa final o tardía de crecimiento comprende el período entre el comienzo de la madurez hasta el momento de la cosecha o la completa senescencia. Se asume que el cálculo de los valores de K_c y ET_c finaliza cuando el cultivo es cosechado, secado al natural, alcanza la completa senescencia o experimenta la caída de las hojas. Para algunos tipos de vegetación perenne en climas libres de heladas, los cultivos pueden desarrollarse durante todo el año, por lo que podría tomarse la fecha de término de la etapa final como la misma fecha de 'siembra'. El valor de K_c al finalizar la etapa final (K_c final) refleja el efecto de las prácticas de cultivo y el manejo del agua. Si el cultivo es regado frecuentemente hasta el momento de su cosecha en fresco, el valor de K_c fin será alto. Si se permite la senescencia y secado del cultivo en el campo antes de la cosecha, el valor de K_c fin será bajo. El estado de senescencia es generalmente asociado a una conductancia menos eficiente de los estomas debido a los efectos del envejecimiento, lo que causa una reducción en el valor de K_c ".

2.11. ESTUDIOS DE CONSUMO DE AGUA DEL CULTIVO DE FREJOL

Pasaca, (1985) realizó estudios de láminas de agua en cuatro variedades de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo riego por aspersión en línea donde la determinación del contenido de humedad del suelo resultó ser un indicador exacto, para proceder y aplicar el riego. Mediante el control de humedad y el buen manejo del agua se obtiene mejores producciones, con cultivos que son practicados en condiciones de temporal.

El porcentaje de humedad solamente en dos ocasiones fue menor a 22,4 %, lo que determinó igual número de riegos. Si el nivel de humedad hubiese sido superior al 50 %, se hubiese administrado un mayor número de riegos y por ende observar el efecto de las diferentes láminas de agua aplicadas, y consecuentemente evaluar.

Paute y Guaya, (1996) realizaron un estudio del consumo de agua en los cultivos de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.) y sandía (*Citrollus vulgaris*), bajo riego por surcos, con varios niveles de fertilización, en Zapotepamba; donde el consumo de agua (ETR) para el cultivo de frejol en los meses de Junio-Agosto, determinado por el método de la parcela experimental, registro el mayor valor (3127,3 m³/ha), con una tensión de 20 cb en Zapotepamba. La evapotranspiración potencial máxima (ETPM) determinada por el método del lisímetro, registro un promedio de 3.77 mm/día para el cultivo de fréjol".

Maldonado, (1994) Estudio del consumo de agua del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en verde, con niveles de fertilización, en El Tablón-Oña variedad TIB 30-42, en verde, fue: 7622,98 m³/ha (4,79 mm/día) a la tensión de humedad de 30cb; y, 6459,80 m³/ha (4,01 mm/día) a la tensión de humedad de 40cb. La evapotranspiración máxima del cultivo obtenida por el método del lisímetro fue de 6842,40 m³/ha con promedio de 4,21 mm/día".

Fernández y Burneo, (1993) realizaron el diseño, instalación y evaluación preliminar de un sistema de riego por surcos en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Quinara donde determinaron la capacidad de almacenaje de agua del suelo de 8.7% correspondiendo a una lámina de agua aprovechable de 38,9 mm para una profundidad efectiva de 40 cm.

Armijos y Ordoñez, (2011) estudiaron la determinación de parámetros hidráulicos del sistema de riego por pulsos en surcos y su incidencia en la producción del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la quinta experimental "La Argelia" de la Universidad Nacional de Loja quienes obtuvieron una evapotranspiración promedio del cultivo de fréjol para el sector correspondiente a 3.5 mm/día. Además obtuvieron el Kc del cultivo con valores en las 4 fases fenológicas: 0,51: 0,78: 0.98: y 0,63.

Sánchez y Reyes (2012) estudiaron Automatización de un lisímetro de pesada "El desconocimiento de las necesidades de agua de los cultivos no tradicionales, es una de las principales preocupaciones de los productores de estos cultivos.

Sin embargo; una alternativa es el uso del lisímetro, el cual es utilizado para determinar la lámina de agua requerida por el cultivo. El objetivo de este estudio fue automatizar el registro de las variables de peso y potencial mátrico, y la operación del sistema de riego en un lisímetro de pesada, a partir de una báscula. En este estudio se utilizó el cultivo de vainilla por un periodo de 4 meses, un electrotensiómetro para mantener el potencial mátrico en el rango establecido de -10 a -15 kPa, controlar el sistema de riego y aplicar oportunamente el requerimiento hídrico en el lisímetro. De esta forma, se desarrolló un control sensible del aporte del requerimiento hídrico en función a la exigencia de la planta y se desplazó el uso de temporizadores que comúnmente son utilizados en los sistemas automáticos de riego. La integración de los componentes físicos y lógicos desarrollados para la automatización del lisímetro de pesada, permitió el monitoreo en tiempo real del potencial mátrico, control del sistema de riego y almacenamiento de las variables a intervalos de una hora durante cuatro meses satisfactoriamente, por lo que constituye una herramienta que puede ser usada para el manejo y control de un lisímetro”.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación se detalla los materiales empleados en la implementación del presente ensayo y la metodología utilizada en las diferentes etapas para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

3.1 UBICACIÓN

Este trabajo se lo realizó en la Estación Experimental La Argelia, del Área Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables, de la Universidad Nacional de Loja, perteneciente a la parroquia San Sebastián, cantón y provincia de Loja, al Sur de la ciudad. Se ubica entre las siguientes coordenadas geográficas:

Longitud:	79° 02' 12" W
Latitud:	04° 01' 01" S
Altitud:	2135 msnm

Los datos del clima que se presentan a continuación corresponden a la Estación Meteorológica La Argelia, (1971-2011), cercana al sitio de estudio.

Temperatura media anual:	15,8 °C
Precipitación media anual:	918,3 mm
Humedad Relativa:	74,0 %
Velocidad del viento media anual:	2,4 m/s
Heliofanía mensual:	132.73 horas
Nubosidad media:	6 octavos

Según los criterios de clasificación del clima de Köppen, el lugar de estudio corresponde a un clima subtropical húmedo (Cfb). Según Holdridge L. R., la zona de vida a la cual corresponde, considerando temperatura (15.8 °C) y precipitación (918,3 mm) es de formación Bosque Seco Montano Bajo (hs-Mb)

3.2. IMPLEMENTACION DEL SITIO PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

A continuación se detalla las actividades realizadas para la implementación del ensayo donde se realizó la presente investigación:

3.2.1. El sistema de riego

Para la instalación del sistema de riego primeramente se utilizó un tanque de eternit cónico, para el almacenamiento de agua, con una capacidad de 1000 litros; este se ubicó en una de las parte más altas, con la finalidad que genere una presión aproximada de 0,3 atm de presión (Fig. 3). Luego colocó un manómetro de presión al inicio de la tubería principal para conocer la presión de trabajo del sistema de riego implementado para el ensayo, la cual dio como resultado 0,35 atm



Figura 3. Tanque de abastecimiento de riego para el ensayo.

El riego se aplicó utilizando una manguera de goteo (Hydrodrip Super) de 16 mm de diámetro, con un caudal del gotero de 2.1 l/h, una presión de trabajo de 0,2-0,3 atm; insertados cada 30 cm en la manguera de conducción del sistema. La tubería principal se derivó de una tubería de PVC de 25.4 mm (1/2 pulgada), controlada por una cortadora de agua de 25,4 mm, colocada antes de la distribución de los laterales de riego. (Fig. 4)

3.2.2. Esquema del sitio de investigación

La investigación se realizó a campo abierto. El área de ensayo fue de 18m² (3m*6m) (Fig. 4).

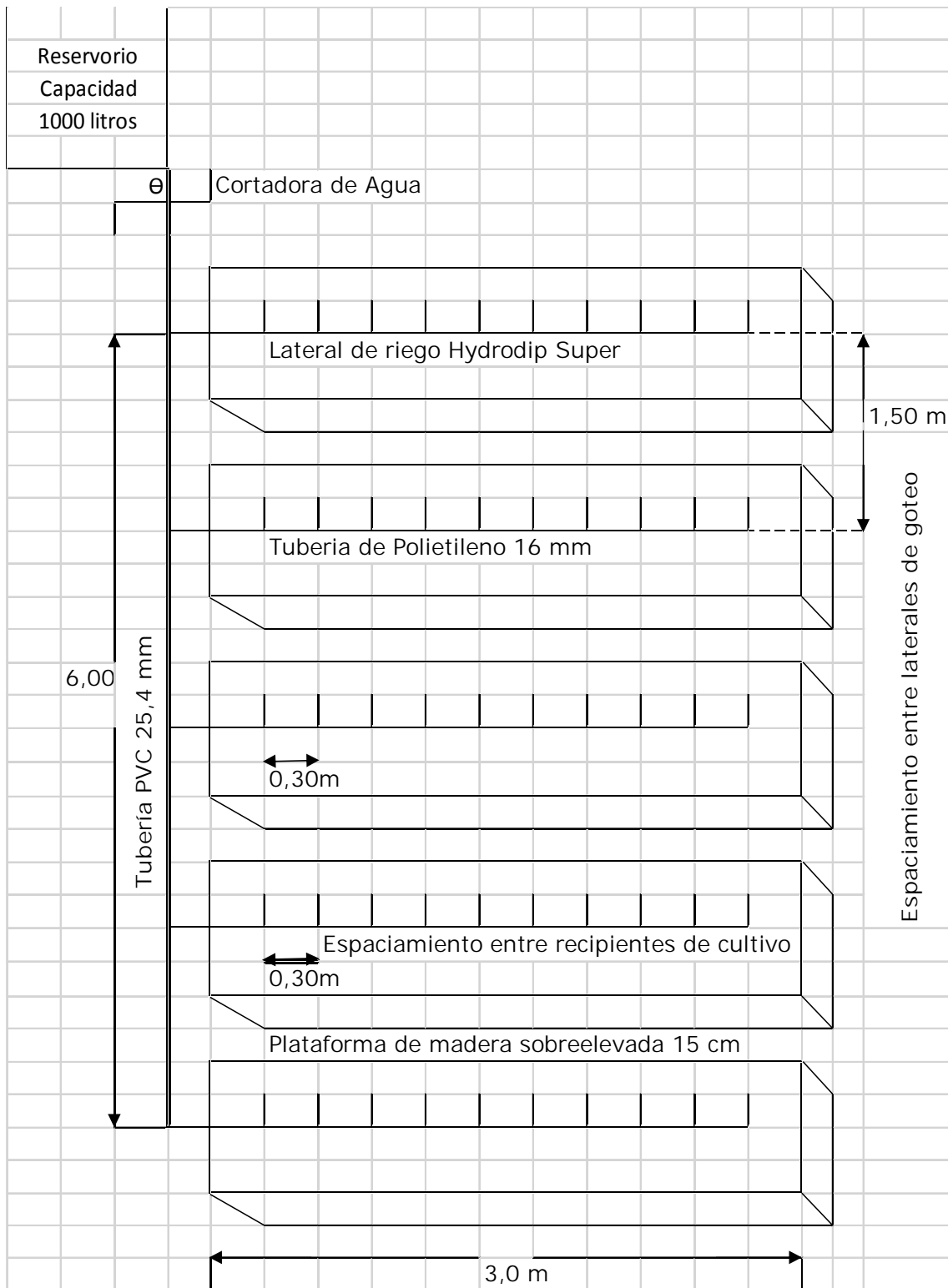


Figura 4. Esquema del ensayo experimental en el cultivo de fréjol

3.2.3. Agrotecnia del cultivo

3.2.3.1. Preparación de Suelo

El sitio en su inicio se encontró cubierto por malezas del lugar como lengua de vaca, taguachi, pedorrera, ojo de poeta, gula, challote; algunos frutales como limón agrio, tomate de árbol, higo, toronche. Se adecuó el área del ensayo para que permita trabajar de manera eficiente. Se hizo el desbroce de las malezas como también la nivelación del terreno. (Fig. 5)



Figura 5. Emparejamiento del suelo luego del desbroce de malezas.

Una vez realizada la limpieza, se preparó el terreno que consistió en realizar una mezcla de tierra con diferentes componentes. Se dosificó tierra cultivable (40%) más humus (40%) y arena (20%) (Fig. 6). Esta preparación se colocó en baldes plásticos de forma cilíndrica de 24 cm de diámetro y 27,5 cm de altura ($V = 0,01243 \text{ m}^3$).

Para determinar la cantidad de tierra utilizada para cada dosificación, se consideró un coeficiente generado para la densidad real del suelo de textura FoAo de 1831 Kg/m^3 , arrojando un peso de 22,76 Kg y un peso total de tierra preparada de 2 505 lb (50,1 lb * 50 recipientes)

2 505 lb	x	40% tierra	=	1 002 lb
2 505 lb	x	40% humus	=	1 002 lb
2 505 lb	x	20% arena	=	501 lb
TOTAL				2 505 lb

Para la adecuación de los recipientes se realizó una limpieza con detergente para eliminar los residuos presentes y su desinfección. En la base de cada uno de ellos se hicieron varias perforaciones para que permita el drenaje del agua; siendo éste controlado con un recipiente en su base. Una vez efectuada esta labor se llenó con la tierra preparada, cada uno de ellos (Fig. 6).



Figura 6. Preparación del sustrato tierra-humus-arena.

Para poder recolectar el agua de drenaje fue necesario sobre elevar los recipientes y colocar un recolector en su base, para lo cual se colocó viguetas ubicadas a 15 cm sobre el nivel del terreno que permitan esta labor (Fig. 7).



Figura 7. Adecuación de recipientes, plataforma y sistema de riego.

3.2.3.2. Datos agronómicos

Los datos del cultivo que se registraron durante el ciclo vegetativo entre los más importantes fueron:

- Días a la aparición de la plántula, floración, vaina
- Altura de la planta cada semana
- Número de hojas por planta cada semana
- Numero de flores por planta
- Peso de granos por planta, con vaina, sin vaina

Las deshierbas se realizaron en forma manual en el transcurso del ciclo del cultivo. La cosecha se hizo en verde alrededor de los 90 días después de la siembra.

3.3. METODOLOGÍA PARA EL PRIMER OBJETIVO

“Determinar el uso consuntivo real del cultivo de fréjol”

Para determinar el uso consuntivo del fréjol se realizó un balance diario de los parámetros de salida y entrada del agua. Se utilizó la siguiente metodología:

3.3.1. Calibración del tensiómetro

Para la calibración del tensiómetro se utilizó primeramente la estufa, que sirvió para determinar el contenido de humedad a diferentes niveles de tensión y que sirvieron para contrastar con las lecturas del tensiómetro, para lo cual se utilizaron dos recipientes con tierra cultivable, saturados de agua. En uno de ellos se colocó un tensiómetro a 20 cm de profundidad; y, en el otro recipiente se tomaron muestras de tierra húmeda para someterlas a la estufa.

Para la calibración del tensiómetro se lo lleno con agua desgasificada, luego se introdujo a 20 cm de profundidad hasta que la lámina de agua cubra la cerámica. Se tuvo precaución que el tensiómetro este completamente vertical; y, se esperó que la columna de mercurio se estabilice en los 3 cb

3.3.2. Programación del riego

La programación de riego se la realizó en función de las lecturas del tensiómetro ubicado en el interior del ensayo. Luego de la calibración se determinó que el máximo valor de tensión de humedad que debía llegar el suelo era de 22 cb; valor que indicaba una nueva aplicación de la lámina óptima de riego hasta dejarlo aproximadamente en 19 cb. Este fue el rango de tensión de humedad que se manejó durante el periodo vegetativo del cultivo. Únicamente al inicio del proyecto de tesis, se realizó una saturación de todo el ensayo capaz de permitir el drenaje durante las primeras 48 horas, concluido este lapso se procedió a generar la información de los diferentes parámetros.

3.3.3. Calibración del lisímetro de pesaje

Primeramente se realizó la calibración del lisímetro de pesaje con el fin de garantizar los resultados, en el Laboratorio de Riegos del Área Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables. Para lo cual se llenó un recipiente con tierra seca para colocarlo en el lisímetro y ajustar el manómetro hasta que el nivel de agua en la columna se equilibre (o la liberación de agua se detenga) aproximadamente a los 20 mm en la escala. Con el recipiente lleno de tierra se llevó el pesaje en incrementos iguales hasta que la variación disponible de peso y agua se estabilizó. Se registró la lectura del manómetro en cada incremento de peso.

3.3.4. Cálculo del uso consuntivo (Uc) del frejol por medio del lisímetro

Para calcular el uso consuntivo (Uc) del cultivo de frejol, se aplicó la ecuación del balance hídrico del lisímetro, que tiene la siguiente fórmula:

$$Uc = P + I - D \pm \Delta W \quad (1)$$

Donde:

Uc= uso consuntivo del cultivo, mm/día

P= precipitación, mm/día

I= riego, mm/día

D= drenaje, mm/día

W= cambios en el contenido de agua (W), mm/día

El parámetro de precipitación P en mm/día, fue proporcionado de los registros diarios de la Estación Meteorológica La Argelia, durante el ciclo vegetativo del cultivo.

Para el cálculo de riego a aplicarse, al inicio de determino a través de la lámina neta, cuya fórmula fue la siguiente:

$$Ln = (\emptyset Cagua - \emptyset riego) * Da * P$$

Donde:

Ln= Lámina neta, mm

$\emptyset CC$ = Capacidad de retener agua en el campo, %

$\emptyset riego$ = Contenido de humedad antes de aplicar riego, %

Da= Densidad aparente determina en el laboratorio, g/cm³

P= Profundidad a la se realizó la lectura del tensiómetro, mm

Posteriormente el riego se aplicó a través de las lecturas del tensiómetro, es decir que cuando la lectura del tensiómetro marcaba 22 cb hasta que las lecturas de humedad marquen 19 cb; rango que se manejó durante el ciclo vegetativo del frejol. Paralelamente se compararon las lecturas tensiometricas con los contenidos de humedad del suelo, utilizando la siguiente ecuación de calibración del tensiómetro:

$$x = \frac{y - 28,54}{0,3425}$$

Donde:

y = Lecturas tensiométricas, cb

x = Contenidos de humedad, %

Los resultados obtenidos se dividieron para la eficiencia de riego (Eriego) del sistema empleado, para obtener las necesidades brutas (Lb) de riego. Se consideró una eficiencia de riego por goteo del 90%.

$$Lb = \frac{Ln}{0,90}$$

Donde:

Lb = Lámina bruta

Los registros de drenaje D, se obtuvieron de la recolección del agua que escurre en la parte inferior de los recipientes, a través de vasos de precipitación; cuyo volumen (cm³) dividido para el área del recipiente, generó la lámina drenada (mm/día).

Luego se utilizó el lisímetro de pesaje calibrado para conocer los cambios en el contenido de agua en la masa de suelo, que representan la cantidad de agua extraída del suelo por la evapotranspiración del cultivo de frejol. Los recipientes tuvieron un volumen de 12 440.7 cm³ cada uno y se ubicaron sobre una plataforma sobre elevada de 15 cm para permitir un adecuado ciclo hidrológico.

Para la estimación del consumo de agua del cultivo de frejol, se dividió el peso de cada recipiente dividido para la densidad del agua (1 g/cm³) con la finalidad de obtener el volumen de agua evapotranspirada (cm³). Este volumen dividido para el área del recipiente generó la variación de consumo de agua ($\pm W$) por el lisímetro en mm/día. Los datos de los baldes pesados, seleccionados de la parte interna del ensayo comprende 24 recipientes; el área de 15 m² contiene 50 recipientes.

Para obtener las lecturas del lisímetro (mm) en base a peso (g) se aplicó la ecuación de calibración siguiente:

$$x = \frac{y - 69,15}{0,0999}$$

Donde:

y = Lectura del manómetro, mm

x = Peso, g



Figura 8. Demostración del registro de lecturas en el lisímetro.

3.3.5. Cálculo del uso consuntivo (Uc) a través del Balance de Humedad del Suelo

Para el cálculo del uso consuntivo del cultivo frejol (Uc), a través del balance de humedad del suelo, se utilizó la siguiente ecuación que relaciona las entradas y salidas de agua medidas en cada uno de los recipientes utilizados en la investigación:

$$Uc = ET - ST \quad (2)$$

Donde:

Uc= Uso consuntivo del cultivo de fréjol, en mm/día

ET= Entradas totales, en mm/día

ST= Salidas totales, en mm/día

Las entradas totales de agua (ET), consideraron las entradas por precipitación (P) y a través del riego (I); y, las salidas de agua (ST) consideraron los registros de drenaje (D) y la variación de contenido de humedad ($\Delta\theta$), obtenido a través de las lecturas del tensiómetro previamente transformadas a contenidos de humedad en porcentaje (%), con el siguiente procedimiento:

$$Lám actual = \theta CC * Da * P$$

$$Lám riego = \theta_{riego} * Da * P$$

$$\Delta\theta = Lám actual - Lám riego$$

Dónde:

$\Delta\theta$ = Variación del contenido de agua a través del tensiómetro, mm/d
CC= Porcentaje de humedad a capacidad de campo
riego= Porcentaje de humedad para riego
Da= Densidad aparente, en g/cm³
P= Profundidad, en mm

Los registros de precipitación, riego y drenaje fueron los mismos empleados para el cálculo de la ETc con el lisímetro, puesto que son valores fijos. El único valor que se modificó fue el contenido de humedad (θ) obtenido con el lisímetro y el obtenido contenido de humedad (θ) por las lecturas tensiométricas.

3.3.6. Cálculo del uso consuntivo del cultivo de frejol (Uc) a través del tanque evaporímetro clase "A"

Con la finalidad de contar con valores de referencia relacionados al Uc del frejol, que permitan contrastar con los datos obtenidos en la investigación, se procedió a estimar el Uc del frejol, considerando datos de evaporación diarios generados en la estación climática de la Argelia a través del tanque evaporímetro clase "A", para lo cual se utilizó el siguiente procedimiento:

$$Uc = ETc - Pe \quad (3)$$

Donde:

Uc= Uso consuntivo del tanque evaporímetro clase "A", mm/día

ETc= Evapotranspiración del cultivo del tanque evaporímetro clase "A", mm/día

Pe= Precipitación efectiva, mm/día

Primeramente se determinó la ETo del cultivo de referencia a través de los datos diaria obtenidos de la estación climática de la Argelia y los datos del coeficiente del tanque (Kp) extraídos del documento 56 de la FAO 56, con la siguiente ecuación:

$$ETo = E_v * Kp \quad (4)$$

Donde:

ETo= Evapotranspiración de referencia, mm/día

E_v= Evaporación, mm/d

Kp: Coeficiente de tanque

Seguidamente se estimó la ETc de frejol multiplicando la ETo de referencia por el coeficiente de cultivo (Kc). Este coeficiente se lo obtuvo de tablas que han sido elaboradas en otras latitudes y que se encuentran en el documento 56 de la FAO.

$$ETc = ETo * Kc \quad (5)$$

Dónde:

ETc: Evapotranspiración del cultivo, mm/día

ETo: Evapotranspiración de referencia, mm/día

Kc: Coeficiente de cultivo

Cuadro 2. Coeficientes del tanque evaporímetro (Kp) para el tanque Clase A para diversas localizaciones y ambientes de los tanques y varios valores de velocidad del viento y de humedad relativa

Tanque Clase A	Caso A: Tanque situado en una superficie cultivada				Caso B: Tanque situado en un suelo desnudo			
		baja	media	alta		baja	media	alta
HR media		< 40	40-70	> 70		< 40	40-70	> 70
V. viento (m s-1)	Distancia del cultivo a barlovento (m)				Distancia del barbecho a barlovento (m)			
Baja	1	0,55	0,65	0,75	1	0,7	0,8	0,85
< 2	10	0,65	0,75	0,85	10	0,6	0,7	0,8
	100	0,7	0,8	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1 000	0,75	0,85	0,85	1 000	0,5	0,6	0,7
Moderada	1	0,5	0,6	0,65	1	0,65	0,75	0,8
02-may	10	0,6	0,7	0,75	10	0,55	0,65	0,7
	100	0,65	0,75	0,8	100	0,5	0,6	0,65
	1 000	0,7	0,8	0,8	1 000	0,45	0,55	0,6
Alta	1	0,45	0,5	0,6	1	0,6	0,65	0,7
05-ago	10	0,55	0,6	0,65	10	0,5	0,55	0,65
	100	0,6	0,65	0,7	100	0,45	0,5	0,6
	1 000	0,65	0,7	0,75	1 000	0,4	0,45	0,55
Muy alta	1	0,4	0,45	0,5	1	0,5	0,6	0,65
> 8	10	0,45	0,55	0,6	10	0,45	0,5	0,55
	100	0,5	0,6	0,65	100	0,4	0,45	0,5
	1 000	0,55	0,6	0,65	1 000	0,35	0,4	0,45

A continuación se estimó la precipitación efectiva a través del porcentaje fijo, metodología utilizada en los estudios de la FAO publicación 56 para la estimación de la precipitación efectiva en diferentes regiones. La expresión es la siguiente:

$$Pe = a * Pd$$

Donde:

Pe= Precipitación efectiva

Pd= Precipitación diaria

a= 0,7 - 0,9

Con todos estos datos obtenidos se procedió al cálculo del Uc del frejol a considerando los datos del tanque evaporímetro.

3.3.6. Cálculo del uso consuntivo del frejol (Uc) utilizando el método de Penman-Monteith

Con la misma finalidad de obtener valores de referencia que nos permita tener una mejor aproximación se estimó el Uc del fréjol utilizando el método de Penman-Monteith.

En la determinación de la ETo a través de Penman-Monteith se utilizó el programa CROPWAT 8.0 FOR WINDOWS, que se introdujo parámetros climáticos recopilados en la Estación Meteorológica La Argelia como Temperatura mínima y máxima en °C, la humedad relativa en %; la velocidad del viento en km/día; la insolación en horas de sol, para lo cual se empleó la siguiente expresión:

$$ETo = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{\Delta(Rn - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\gamma \left(1 + \frac{r_g}{r_a}\right)} \right)$$

Dónde:

ET _o =	Evapotranspiración de referencia, mm/día
Rn=	Radiación neta
G=	Flujo del calor en el suelo
(e _s -e _a)=	Déficit de presión de vapor del aire
a =	Densidad media del aire a presión constante
cp =	Calor específico del aire
=	Representa la pendiente de la curva de presión de vapor de saturación
=	Constante psicrométrica
r _s =	Resistencia superficial
r _a =	Resistencia aerodinámica

Luego se calculó la ETc de frejol utilizando la fórmula (5); y finalmente se estimó el Uc considerando la precipitación efectiva como en el caso anterior del tanque evaporímetro. Cabe mencionar que los coeficientes de cultivo fueron los mismos utilizados para el procedimiento anterior.

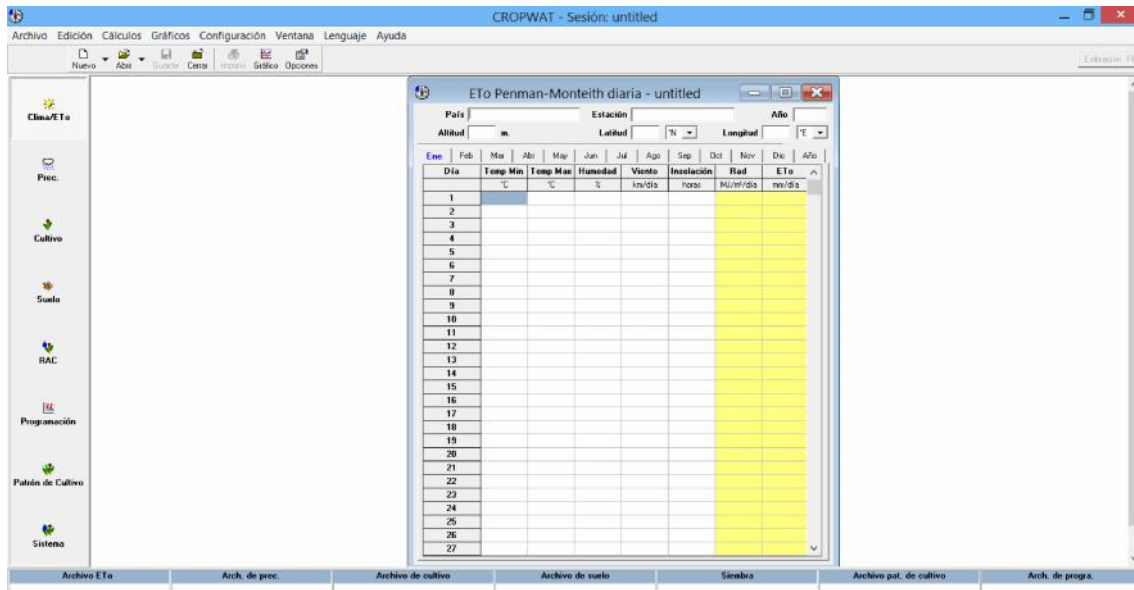


Figura 9. Visualización del programa CROPWAT 8.0

3.4. METODOLOGÍA PARA EL SEGUNDO OBJETIVO

“Determinar el coeficiente (Kc) del cultivo de fréjol”

La determinación del Kc de fréjol se la realizó utilizando los datos obtenidos a través del lisímetro y los obtenidos con el análisis del Balance de Humedad. Para ello se utilizó la expresión que relaciona la evapotranspiración del cultivo (ETc) con la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo):

$$Kc = \frac{ETc}{ETo}$$

Dónde:

ETc= Evapotranspiración del cultivo, mm/día

ETo= Evapotranspiración de referencia, mm/día

Kc= Coeficiente del cultivo

Es importante tener claro las etapas de crecimiento de los cultivos. Según las directrices estipuladas por una serie de investigadores y que ha difundido la FAO a nivel mundial (manual Nro. 24 de la serie de Riegos y Drenaje, 1984); estas son: inicial, desarrollo, mediados y finales de temporada. La descripción de cada una de estas etapas, y que se han adoptado para el cultivo del fréjol en este trabajo es el siguiente:

- a. Etapa inicial: Esta comprendida entre la fecha de siembra y en el momento que el cultivo alcanza aproximadamente el 10% de cobertura del suelo, para el caso del fréjol fue a los 20 días después de la aparición del tercer trifolio de hojas.
- b. Etapa de desarrollo del cultivo: Se considera desde el momento en que la cobertura del suelo es del 10% hasta el momento de alcanzar la cobertura efectiva completa; para el caso del fréjol se consideró el inicio de la floración del cultivo.
- c. Etapa de mediados del cultivo: Comprende el periodo de tiempo entre la cobertura completa hasta el comienzo de la madurez, considerando par el caso del fréjol la aparición del color amarillo en las hojas del cultivo.

IV. RESULTADOS y DISCUSION

A continuación se presenta los resultados obtenidos, para cada objetivo, durante las fases vegetativas del fréjol.

4.1. ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL SUELO

Las características físico-químicas del suelo, luego de ser analizadas las muestras tomadas, en el Laboratorio de Suelos del Área Agropecuaria, dieron los siguientes resultados:

Cuadro 3. Constantes hidrofísicas del suelo

Análisis Mecánico % TFSA			Textura	pH	Da	CC 1/10	CC 1/3	MP	M.O.
Ao	Lo	Ac			g/cm ³	%	%	%	%
68,4	24,8	6,8	FoAo	6,5	0,77	58,59	48,07	12,76	8,7

De acuerdo a los porcentajes de arena (Ao), limo (Lo) y arcilla (Ac), el suelo del ensayo se clasificó como un suelo de textura Franco Arenosa (FoAo), con pocas posibilidades de retención de agua; una densidad aparente de 0,77 g/cm³ debido a las características de la tierra cultivable, mejorada en su inicio por la mezcla de tierra fértil, arena y humus; el pH fue de 6,5 considerado neutro, lo que significa que es adecuado para la siembra, a lo que se suma el valor de la materia orgánica que alcanzó un valor de 8,7 % que indica que se trata de un suelo fértil. La Capacidad de Campo a una tensión de un 1/10 de atmósfera dio como resultado un 58,6% de contenido de humedad; y, a una tensión de 1/3 de atmósfera de 48,1% de humedad; y la tensión al Punto de Marchitez Permanente dio como resultado un 12,8% de contenido de humedad. Del análisis químico de las muestras de suelo se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 4. Análisis químico del suelo

Cód. Lab.	Cód. Campo	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu
981	M1	ppm	ppm	ppm	meq/100 ml	meq/100 ml	ppm	ppm	ppm
		111,3	38,3	227,7	6,1	1,58	30,8	4,9	2,5

Estos resultados demuestran que es un suelo con contenido medio de Nitrógeno; situación que ocurre también con el P₂O₅; a diferencia del K₂O que presenta un valor alto, importante para la nutrición de la planta. Los micro elementos como el Ca, Mg, Fe, Cu, tienen tendencias medias; y, el único elemento que presenta valores bajos es el Mn.

Con estos resultados se generó el calendario de fertilización para las fases del cultivo, basados en el modelo aplicado en Costa Rica.

		Requerimientos del Cultivo tomados del Libro "Absorción de Nutrientes por los Cultivos" de la Sociedad Costarricense de la Ciencia Suelo de la autoría de FLORIA BERTSCH															
N° de Camas =	5																
Área Cama =	1 m ²																
Análisis de Suelo																	
pH	CE (mmhos/cm)	MO (%)															
6,5	1	8,7															
		ppm						meq/100ml						ppm		meq/100ml	
	NH4	NO3	P	K	Ca	Mg	Na	Al + H	Cu	Fe	Mn	Zn	B	SO4	CIC		
Unid. Lab.	111,25	38,3	227,70	6,1	1,58	0	0	2,5	30,8	4,9	0	0	0	0	235,38		
Kg/ha	222,5	76,6	355212,0	2440	379,2	0	0	5	61,6	9,8	0	0	0	0			
Saturación de Bases																	
				Óptimo	Ajustar												
Saturación del Calcio				3%	60-70%	Ajustar											
Saturación del Magnesio				1%	15-25%	Ajustar											
Saturación del Potasio				97%	10-15%												
Ajuste del Magnesio						Ajuste del Potasio											
1 meq/100 ml				240,0 Kg/ha		1 meq/100 ml		780 Kg/ha									
0 meq/100 ml				0,0 Kg/ha		227,70 meq/100 ml		177606 Kg/ha									
0 Kg de Mg				10000,0 m ²		17806,00 Kg de K		10000 m ²									
0,00 Kg de Mg				1,0 m ²		266,41 Kg de K		15 m ²									
0,00 Kg de MgO/Cama						322,35 Kg de K2O											
100 Kg de SO4N				19,0 Kg MgO		100 Kg de NO3		44 Kg K2O									
0,00 Kg de SO4				0,0 Kg MgO		732,62 Kg de NO		322,35 Kg K2O									
0 Kg de SO4				0,0 Sacos de SO4Mg													
Requerimientos del Cultivo																	
0-15 días Siembra 02/08/2013 - Brote 09/08/2013																	
Kg/ha																	
	NH4	NO3	P	K	Ca	Mg	Na	Al + H	Cu	Fe	Mn	Zn	B	SO4			
Análisis Suel	222,5	76,6	355212,0	2440	379,2	0	0	5	61,6	9,8	0	0	0	0			
Reque. Cul	3	0,3	2,0	1	0,5	0	0	0,002	1,264	0,007	0,003	0	0	0			
Balance	296,16	76,3	355210,0	2439	378,7	0	0	5,0	60,3	9,8	0,0	0,0	0,0	0,0			
15-30 días Crecimiento y desarrollo del cultivo																	
Kg/ha																	
	NH4	NO3	P	K	Ca	Mg	Na	Al + H	Cu	Fe	Mn	Zn	B	SO4			
Análisis Suel	296,16	76,3	355210,0	2439	378,7	0	0	4,998	60,336	9,793	-0,003	0	0	0			
Reque. Cul	12	1	12,0	6	1	0	0	0,004	0,833	0,202	0,126	0	0	0			
Balance	284,16	75,3	355198,0	2433	377,7	0	0	5,0	59,5	9,6	-0,1	0,0	0,0	0,0			
30-45 días Crecimiento y desarrollo del cultivo																	
Kg/ha																	
	NH4	NO3	P	K	Ca	Mg	Na	Al + H	Cu	Fe	Mn	Zn	B	SO4			
Análisis Suel	284,16	75,3	355198,0	2433	377,7	0	0	5,0	59,5	9,6	-0,1	0,0	0,0	0,0			
Reque. Cul	121	19	163,0	94	24	0	0	0,058	2,055	0,811	0,438	0	0	0			
Balance	163,16	56,3	355035,0	2339	353,7	0	0	4,9	57,4	8,8	-0,6	0,0	0,0	0,0			
45-60 días Floración y Envañamiento																	
Floración 30/09/2013																	
Kg/ha																	
	NH4	NO3	P	K	Ca	Mg	Na	Al + H	Cu	Fe	Mn	Zn	B	SO4			
Análisis Suel	163,16	56,3	355035,0	2339	353,7	0	0	4,936	57,448	8,78	-0,567	0	0	0			
Reque. Cul	156	22	222,0	117	26	0	0	0,317	8,404	0,813	0,484	0	0	0			
Balance	7,16	34,3	354813,0	2222	327,7	0	0	4,6	49,0	8,0	-1,1	0,0	0,0	0,0			
60-75 días Floración y Envañamiento																	
Aparición de la vaina 11/10/2013																	
Kg/ha																	
	NH4	NO3	P	K	Ca	Mg	Na	Al + H	Cu	Fe	Mn	Zn	B	SO4			
Análisis Suel	7,16	34,30	354813,00	2222	327,70	0,00	0,00	4,62	49,04	7,97	-1,05	0,00	0,00	0,00			
Reque. Cul	108	23	221,0	108	25	0	0	0,131	10,415	0,813	0,484	0	0	0			
Balance	-100,84	11,3	354592,0	2114	302,7	0	0	4,5	38,6	7,2	-1,5	0,0	0,0	0,0			

Figura 10. Calendario de fertilización para las fases vegetativas del frejol.

4.2. DETERMINACION DEL USO CONSUNTIVO DEL CULTIVO DE FREJOL

A continuación se presentan los resultados del uso consuntivo del fréjol, para las fases fenológicas del cultivo, obtenidos con el lisímetro y el balance de humedad.

4.2.1. Determinación del Uso consuntivo del fréjol mediante el uso del Lisímetro de Pesaje

Para determinar el uso consuntivo del fréjol primeramente se calibro el tensiómetro que sirvió para el monitoreo del riego. Los resultados fueron los siguientes:

Cuadro 5. Valores para la calibración del tensiómetro

Contenido de Humedad del suelo, base peso %	Lectura del tensiómetro, cb
72	3
48	14
24	18
22	22
20	22

Luego se determinó la curva de retención de humedad del suelo, que sirvió para relacionar las lecturas del tensiómetro con los contenidos de humedad del suelo.

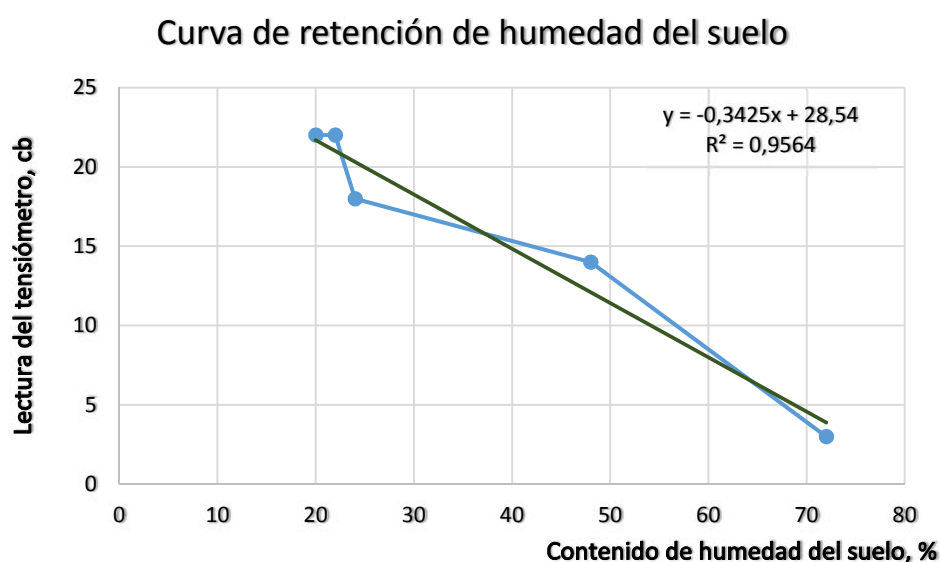


Figura 11. Curva de retención de humedad del suelo.

La correlación entre los datos de tensión de humedad en centibares medidas en el tensiómetro y el contenido de humedad determinado en el laboratorio, arrojaron la siguiente ecuación: $y = 0,3425x + 28,54$ y un coeficiente de determinación de 0,95 muy significativo. A continuación se elaboró la curva de calibración del lisímetro con las lecturas del manómetro (mm) versus el peso (g) aplicado.

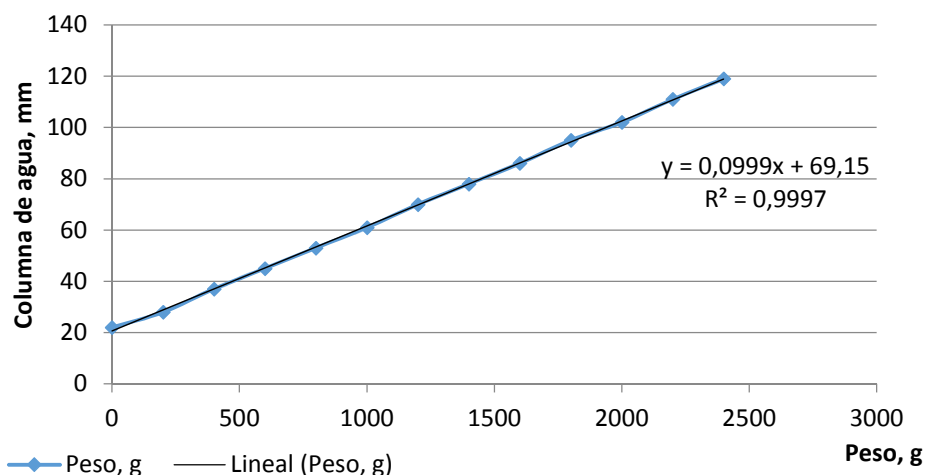


Figura 12. Calibración del lisímetro de pesaje.

Luego de numerosas pruebas, se obtuvo la siguiente ecuación de calibración del lisímetro: $y = 69,15 + 0,099x$: con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0,9997$ que resulto ser significativo.

Una vez realizada estas calibraciones se obtuvieron los datos de uso consuntivo, para el ciclo vegetativo del frejol, registrando diariamente por las mañanas los datos producidos por el lisímetro de pesaje. Estos datos fueron introducidos en la ecuación (1) de balance de humedad para finalmente obtener los datos de uso consuntivo del frejol.

Cuadro 6. Uc del ciclo vegetativo del fréjol, mm/día, a través del lisímetro

Ciclo del cultivo	Días Fase Fenológica	Días Acumulados	Precipitación mm/día	Riego mm/día	Drenaje mm/día	± mm/día	Uc mm/día
Agosto	31	31	2,20	6,95	0,78	-3,98	4,39
Septiembre	30	61	1,40	6,50	0,45	-4,03	3,41
Octubre	31	92	4,77	3,56	2,10	-3,23	3,01
Noviembre	13	105	3,61	6,37	4,40	-2,02	3,55
TOTAL			11,98	23,39	7,73	-13,27	14,37
PROMEDIO			2,99	5,85	1,93	-3,32	3,59

A través de la ecuación de balance de humedad y con las lecturas obtenidas en el lisímetro, se obtuvo los valores de uso consuntivo de agua del fréjol, para su ciclo vegetativo (105 días); y se pudo observar que el mayor valor se produjo en el mes de Agosto con 4,39 mm/d. El menor valor registrado se obtuvo en el mes de Octubre con 3,01 mm/día (Cuadro 6). De acuerdo a este método y para todo el período vegetativo del fréjol se necesitaron 1508 mm de agua. Esta información contrasta con valores obtenidos por Paute y Guaya, (1996) manifiestan que: “La evapotranspiración potencial máxima (ETPM) determinada por el método del lisímetro, registro un promedio de 3,77 mm/día para el cultivo de fréjol”.

Es necesario aclarar que el lisímetro de pesaje utilizado en la investigación, generó muchos problemas a la hora de su operación, resultado del cambio de ambiente desde el laboratorio hasta el sitio de ensayo en el campo. Según el conocimiento adquirido del equipo se puede deducir que se trata de un aparato que sirve solamente para fines académicos y que a nivel de campo presenta muchas alteraciones e incongruencias que dificultaron el normal desarrollo de la tesis.

4.2.2. Determinación del Uso consuntivo del fréjol Uc, por el Balance de Humedad del Suelo

Utilizando la fórmula 2, se realizó el balance de entradas y salidas totales de agua, con la finalidad de obtener el uso consuntivo diario monitoreado a través del uso de un tensiómetro ubicado en el sitio de investigación. Los resultados de este análisis se presentan a continuación:

Cuadro 7. Uso consuntivo del cultivo de fréjol, mediante el balance de humedad, mm/día

Ciclo	Número	Días	Entradas					Salidas					Uso consuntivo	
			Precipitación		Riego		TOTAL	Drenaje		± θ		TOTAL		
del cultivo	días	Acumulados	mm	m3/ha	mm	m3/ha	m3/ha	mm	m3/ha	mm	m3/ha	m3/ha	m3/ha	mm
Agosto	31	31	2,20	21,97	6,95	71,20	93,17	0,75	7,45	6,08	60,79	68,25	24,92	2,49
Septiembre	30	61	1,40	13,97	6,50	75,29	89,26	0,45	4,51	5,68	56,84	61,35	27,90	2,79
Octubre	31	92	4,77	51,16	3,56	41,99	93,15	2,10	20,95	2,89	28,95	49,90	43,24	4,32
Noviembre	13	105	3,61	63,54	6,37	93,18	156,72	4,40	43,96	6,56	65,58	109,54	47,17	4,72
TOTAL			11,98	150,63	23,39	281,66	432,29	7,69	76,88	21,22	212,16	289,05	143,24	14,32
PROMEDIO			2,99	37,66	5,85	70,41	108,07	1,92	19,22	5,30	53,04	72,26	35,81	3,58

Como se puede observar en el cuadro anterior, el mayor valor de uso consuntivo de agua para el cultivo en estudio se presentó en el mes de noviembre con un valor de 4,72 mm/d. De igual forma el menor valor se presentó para el mes de Agosto con 2,49 mm/d. Según este método, para todo el periodo vegetativo del fréjol se requirieron 1503 mm de agua.

Los valores de uso consuntivo obtenidos en la investigación se contrastan con los valores obtenidos por Maldonado, (1994) que manifiesta que “la evapotranspiración máxima del cultivo obtenida por el método del lisímetro fue de 4,21 mm/día”.

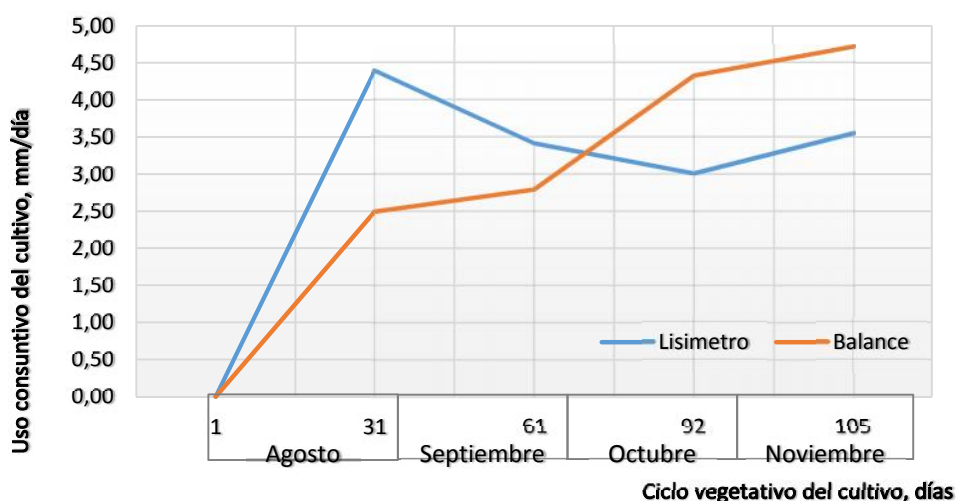


Figura 13. Relación entre el Uso consuntivo obtenido con el lisímetro y el Uso consuntivo obtenido por el Balance de Humedad del Suelo (Tensiómetro)

Como se puede observar en la figura, en los meses de Agosto y Septiembre se presenta un mayor consumo de agua través del método del lisímetro, a diferencia de los meses de Octubre y Noviembre donde el método de balance de humedad del suelo alcanza los mayores valores. En general se puede deducir que el consumo de agua para todo el ciclo vegetativo es el mismo para ambos métodos.

4.2.3. Uso consuntivo mediante el tanque evaporímetro clase "A"

Con la finalidad de contrastar la información obtenida por el método del lisímetro de pesaje se estimó el uso consuntivo del cultivo de fréjol a través de los datos de evaporación obtenidos en la estación climatológica de La Argelia. Los resultados se presentan a continuación:

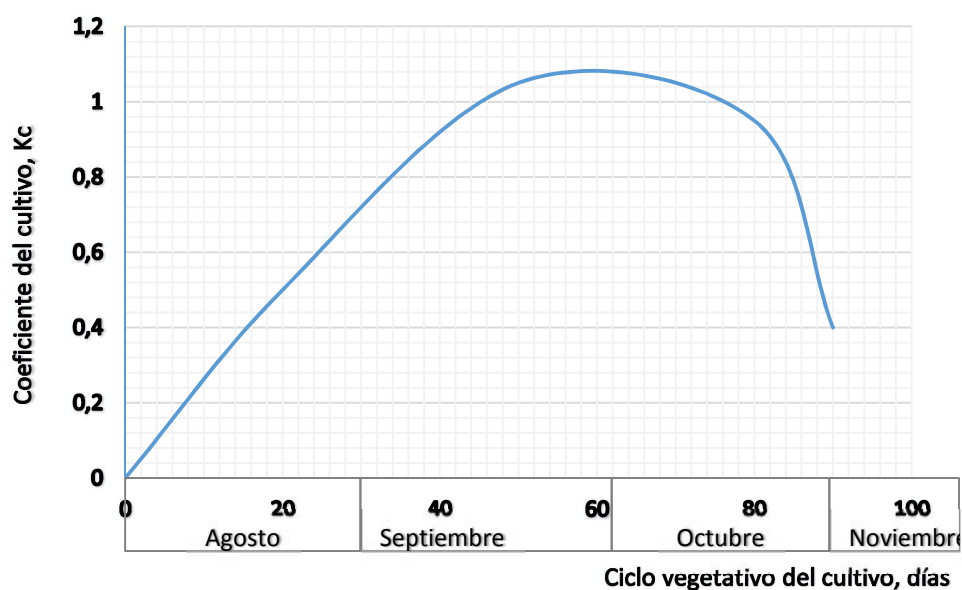


Figura 14. Curva del coeficiente del cultivo de frejol (K_c), según FAO, 56

Cuadro 8. Uso consuntivo del cultivo de fréjol mediante el tanque evaporímetro clase "A" mm/día

Ciclo del cultivo	Número días	Días Acumulados	E_{To} mm/día	K_c FAO Nro 56	E_{Tc} mm/día	P_e mm/día	U_c mm/día
Agosto	31	31	1,87	0,72	1,35	1,54	0,00
Septiembre	30	61	2,47	1,01	2,50	0,98	1,52
Octubre	31	92	4,04	0,86	3,47	3,34	0,13
Noviembre	13	105	3,29	0,80	2,63	2,53	0,11
TOTAL	X	X	11,67	3,39	9,95	8,38	1,76
PROMEDIO	X	X	2,92	0,85	2,47	2,10	0,38

Según se puede apreciar en el cuadro anterior, el mayor valor de requerimiento hídrico se generó para el mes de Septiembre con 1,52 mm/d y el menor valor se presenta en el mes de Agosto en el cual prácticamente no se requiere de agua. La lámina de agua requerida para el ciclo vegetativo del cultivo fue según este método fue de 184,8 mm. Es necesario resaltar los valores sumamente bajos en comparación con los métodos anteriores por cuanto los datos de evaporación fueron obtenidos de una estación que se encuentra distante al ensayo; y de igual forma los coeficientes de cultivo fueron obtenidos de experiencias realizadas en otras latitudes.

4.2.4. Uso consuntivo obtenido mediante el método de Penman-Monteith

Con la misma finalidad anterior se determinó el uso consuntivo del fréjol calculando la E_{To} a través del método de Penman Monteith y los coeficientes de cultivo (K_c) del libro de la FAO 56.

Es necesario anotar que para la aplicación del método de Penman Monteith, se utilizó con el programa CROPWAT 8.0; producido por la FAO, con datos de velocidad del viento, insolación, temperatura y humedad relativa obtenidos de igual forma de la estación meteorológica La Argelia.

Cuadro 9. Uso consuntivo del cultivo de fréjol (Uc), mediante Penman-Monteith mm/día

Ciclo del cultivo	Número días	Días Acumulados	ETo mm/día	Kc FAO Nro 56	ETc mm/día	Pe mm/día	Uc mm/día
Agosto	31	31	3,06	0,72	2,21	1,54	0,67
Septiembre	30	61	3,61	1,01	3,65	0,98	2,67
Octubre	31	92	3,39	0,86	2,91	3,34	0,00
Noviembre	13	105	4,14	0,80	3,31	2,53	0,79
TOTAL	X	X	14,20	3,39	12,08	8,38	4,12
PROMEDIO	X	X	3,55	0,85	3,01	2,10	0,91

Como se puede observar en el cuadro anterior el mayor valor se presenta para el mes de septiembre con 2,67 mm/d, mientras que el menor valor se presenta para el mes de octubre donde no se necesitó riego. La lámina de agua requerida para el ciclo vegetativo del cultivo fue según este método de 432,6 mm. Así mismo se puede deducir de este cuadro que los valores son sumamente bajos correlacionándose con el método del tanque evaporímetro.

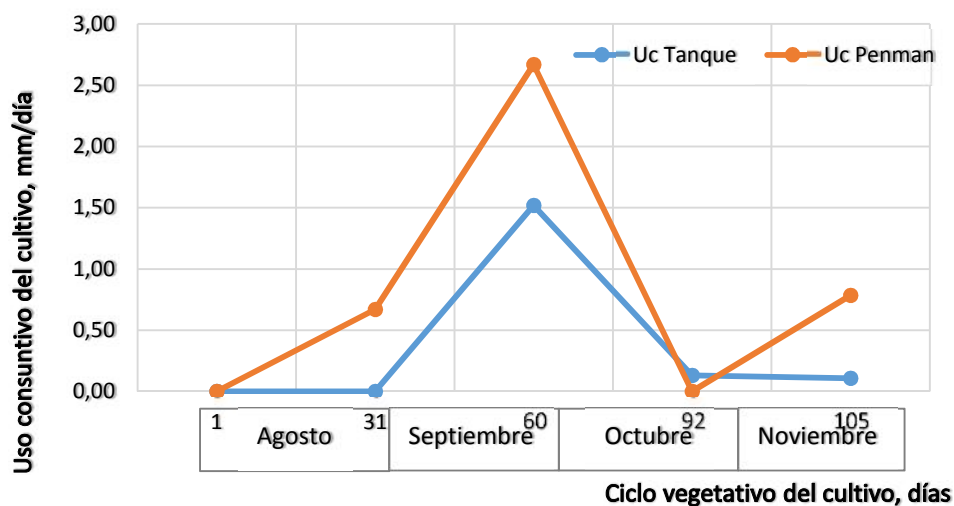


Figura 15. Uso consuntivo del fréjol a través del tanque evaporímetro y de Penman Monteith.

Como se puede observar en la figura existe un comportamiento similar de las curvas que representan los valores de uso consuntivo del frejol a través de Penman-Monteith y el tanque clase "A", recalcando que siempre el uso consuntivo obtenido a través del tanque evaporímetro presenta valores menores por los obtenidos con el método de Penman Monteith.

4.3. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc) DEL CULTIVO DE FREJOL

Para estimar el coeficiente del cultivo (Kc) se utilizaron los datos de uso consuntivo que se obtuvieron con el lisímetro y el balance de humedad; y, la ETo que se calculó a través del tanque evaporímetro y del método de Penman Monteith, los mismos que generaron los siguientes resultados:

4.3.1. Evapotranspiración de referencia ETo con el tanque clase "A"

Para generar los datos de ETo se utilizó la información de la estación climática de la Argelia en lo que se refiere a humedad relativa, velocidad del viento y la evaporación del tanque clase "A". Los datos del coeficiente del tanque (Kp) se los obtuvo del libro de la FAO 56. Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Cuadro 10. ETo del ciclo vegetativo del frejol, mm/día, mediante el tanque evaporímetro clase "A"

Etapas Fenológicas	Periodo		Días Fase	Días	HR	VV	Kp	E	ETo
	Desde	Hasta	Fenológica	Ciclo Cultivo	%	m/s		mm/día	mm/día
Inicial	01/08/2013	20/08/2013	20	20	77,23	2,43	0,67	2,64	1,78
Desarrollo	21/08/2013	29/09/2013	40	60	69,79	3,24	0,63	3,46	2,19
Mediados	30/09/2013	31/10/2013	32	92	74,21	1,96	0,69	3,92	2,71
Final	01/11/2013	13/11/2013	13	105	67,71	2,26	0,63	5,18	3,29
TOTAL			X	X	288,94	9,89	2,63	15,20	9,97
PROMEDIO			X	X	72,23	2,47	0,66	3,80	2,49

De este cuadro se desprende que la fase final del cultivo es la que tiene una mayor evapotranspiración del cultivo de referencia (3,29 mm/d) debido a las características de evaporación presentadas y a los datos de humedad relativa y viento que se presentaron en este periodo. Mientras que el menor valor de evapotranspiración del cultivo de referencia se presenta en la etapa de inicio del cultivo con un valor de 1,78 mm/d de igual forma debido a las condiciones de humedad relativa y velocidad del viento presentes en el periodo.

4.3.2. Evapotranspiración de referencia ETo con Penman-Monteith

Para la estimación de la ETo a través del método de Penman-Monteith, de igual forma se utilizaron los datos de la estación climática la Argelia, referentes a temperatura, velocidad del viento, humedad relativa e insolación, que fueron analizados utilizando el programa CROPWAT 8.0 propuesto por la FAO. A continuación se presentan los resultados obtenidos con la aplicación de este método.

Cuadro 11. Obtención de la ETo del ciclo vegetativo del frejol, mm/día, a través de Penman Monteith

Etapas Fenológicas	Periodo		Dias Fase Fenologica	Dias Ciclo Cultivo	Tmin °C	Tmax °C	HR %	Vv km/día	Rad MJ/m2/día	Insolación horas	ETo mm/día
	Desde	Hasta									
Inicial	01/08/2013	20/08/2013	20	20	12,63	17,96	76,80	209,95	3,78	14,03	2,75
Desarrollo	21/08/2013	29/09/2013	40	60	13,39	18,88	69,45	279,98	5,48	17,50	3,60
Mediados	30/09/2013	31/10/2013	32	92	13,73	20,58	73,81	169,00	4,85	17,07	3,42
Final	01/11/2013	13/11/2013	13	105	11,91	22,57	67,23	195,38	7,12	20,50	4,14
TOTAL			X	X	51,65	79,98	287,29	854,31	21,21	69,09	13,90
PROMEDIO			X	X	12,91	19,99	71,82	213,58	5,30	17,27	3,48

Como se puede apreciar en el cuadro anterior el mayor valor de ETo se presenta para la fase de finales del periodo fenológico del cultivo de frejol (4,14 mm/d), esto debido a la baja humedad relativa existente y a la radiación incidente ocurridos en este periodo vegetativo. El menor valor se presente en la fase de inicio del ciclo fenológico (2,75 mm/d), debido a la elevada humedad relativa y los bajos valores de radiación incidente.

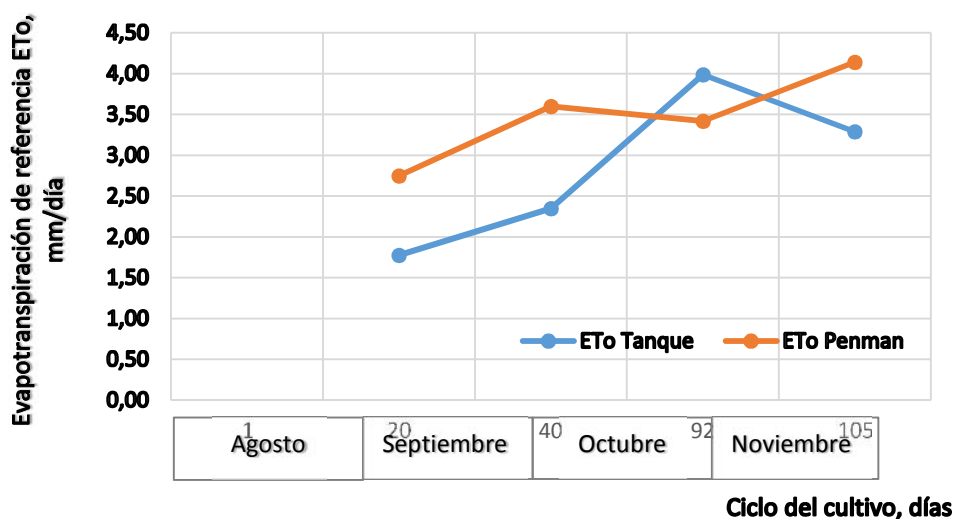


Figura 16. Relación entre la ETo obtenida a través del tanque evaporímetro clase "A" y calculada con Penman-Monteith

Como se puede apreciar en la curva existe un comportamiento similar entre la ETc obtenida a través del tanque evaporímetro y la obtenida por el método de Penman Monteith, siendo siempre mayor los valores correspondientes a la ETc según Penman. Solamente en el periodo de mediados del cultivo, la ETo del tanque evaporímetro supera en su valor a la obtenida a través de Penman.

El menor valor de ETo se genera a través del tanque evaporímetro en el periodo inicial con un valor de 1,87 mm/d; mientras que el valor más alto ocurre para el período final del cultivo con un valor de 4,14 mm/d.

4.3.3. Determinación del coeficiente Kc del cultivo

Se obtuvo el Kc realizando algunas combinaciones posibles, con la finalidad de determinar los valores más aceptables. Se utilizó el uso consuntivo obtenido con el lisímetro y el uso consuntivo con el balance de humedad; además la ETo calculada con el tanque evaporímetro clase "A" y la ETo mediante Penman-Monteith.

Cuadro 12. Días correspondientes a cada fase fenológica del cultivo de fréjol.

Etapas Fenológicas	Periodo		Días Fase Fenológica	Días Ciclo Cultivo
	Desde	Hasta		
Inicial	01/08/2013	20/08/2013	20	20
Desarrollo	21/08/2013	29/09/2013	40	60
Mediados	30/09/2013	31/10/2013	32	92
Final	01/11/2013	13/11/2013	13	105

4.3.3.1. Obtención del coeficiente del cultivo (Kc)

Una vez obtenido los valores de evapotranspiración del cultivo de fréjol (ETc) y la evapotranspiración del cultivo de referencia, a través de los diferentes métodos explicados anteriormente, se procedió a la obtención del coeficiente del cultivo Kc, relacionando la ETc obtenida a través del lisímetro de pesaje y del balance de humedad con la ETo obtenida a través de los métodos de Penman-Monteith y el tanque evaporímetro

- a. Kc producto de la relación entre el uso consuntivo del fréjol por el balance de humedad del suelo, y el tanque evaporímetro clase "A" o el método de Penman-Monteith

Luego de relacionar los datos del lisímetro de pesaje y el ETo del tanque evaporímetro se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 13. Kc del fréjol, producto de la relación entre el ETc con el lisímetro de pesaje y ETo del tanque evaporímetro

Etapas Fenológicas	Periodo		Días Fase Fenológica	Días Ciclo Cultivo	ETc mm/día	ETo mm/día	Kc
	Desde	Hasta					
Inicial	01/08/2013	20/08/2013	20	20	1,35	1,78	0,76
Desarrollo	21/08/2013	29/09/2013	40	60	2,17	2,19	0,99
Mediados	30/09/2013	31/10/2013	32	92	2,88	2,71	1,06
Final	01/11/2013	13/11/2013	13	105	2,27	3,29	0,69
TOTAL			X	X	8,67	9,97	3,50
PROMEDIO			X	X	2,17	2,49	0,88

En este cuadro se presentan los valores obtenidos de la relación entre la ETc del lisímetro de pesaje versus la ETo del tanque evaporímetro y se puede observar que existe un comportamiento normal, es decir en la etapa inicial se tiene un coeficiente de 0,76 mientras que en el periodo de mediados y desarrollo del cultivo se obtiene los valores más altos Kc del cultivo (0,99 y 1,06); decayendo en el periodo de maduración a un valor de 0,69.

Cuadro 14. Kc del fréjol, producto de la relación entre el ETc con el lisímetro de pesaje y ETc de Penman Monteith

Etapas Fenológicas	Periodo		Días Fase Fenológica	Días Ciclo Cultivo	Uc mm/día	ETo mm/día	Kc
	Desde	Hasta					
Inicial	01/08/2013	20/08/2013	20	20	1,35	2,75	0,49
Desarrollo	21/08/2013	29/09/2013	40	60	2,17	3,60	0,60
Mediados	30/09/2013	31/10/2013	32	92	2,88	3,42	0,84
Final	01/11/2013	13/11/2013	13	105	2,27	4,14	0,55
TOTAL			X	X	8,67	13,90	2,48
PROMEDIO			X	X	2,17	3,48	0,62

En este cuadro se presentan los valores obtenidos de la relación entre la ETc del lisímetro de pesaje versus la ETo de Penman-Monteith y se puede observar que existe un comportamiento normal, es decir en la etapa inicial se tiene un coeficiente de 0,49 mientras que en el periodo de mediados y desarrollo del cultivo se obtiene los valores más altos Kc del cultivo (0,60 y 0,84); decayendo en el periodo de maduración a un valor de 0,55. Es importante recalcar que estos valores son mucho menores que los obtenidos de la anterior relación.

- b. Kc producto de la relación entre el uso consuntivo del frejol por el balance de humedad del suelo, y el tanque evaporímetro clase "A" o el método de Penman-Monteith

A continuación se presentan los valores de coeficiente del cultivo (Kc), obtenidos a través de la relación entre la ETc obtenida a través del balance de humedad.

Cuadro 15. Kc del fréjol, producto de la relación entre la ETc a raves del balance de humedad y ETc del tanque evaporímetro

Etapas Fenológicas	Periodo		Días Fase Fenológica	Días Ciclo Cultivo	Uc mm/día	ETo mm/día	Kc
	Desde	Hasta					
Inicial	01/08/2013	20/08/2013	20	20	1,68	1,78	0,94
Desarrollo	21/08/2013	29/09/2013	40	60	2,48	2,19	1,13
Mediados	30/09/2013	31/10/2013	32	92	4,21	2,71	1,55
Final	01/11/2013	13/11/2013	13	105	2,03	3,29	0,62
TOTAL			X	X	10,40	9,97	4,25
PROMEDIO			X	X	2,60	2,49	1,06

En este cuadro se presentan los valores obtenidos de la relación entre la ETc del balance de humedad del suelo versus la ETo del tanque evaporímetro y se puede observar que existe un comportamiento normal, es decir en la etapa inicial se tiene un coeficiente de 0,94 mientras que en el periodo de mediados y desarrollo del cultivo se obtiene los valores más altos Kc del cultivo (1,13 y 1,55); decayendo en el periodo de maduración a un valor de 0,62.

Cuadro 16. Coeficiente Kc del cultivo de frejol, entre el uso consuntivo con el balance de humedad de suelo y ETo a través de Penman Monteith

Etapas Fenológicas	Periodo		Días Fase Fenológica	Días Ciclo Cultivo	Uc mm/día	ETo mm/día	Kc
	Desde	Hasta					
Inicial	01/08/2013	20/08/2013	20	20	1,68	2,75	0,61
Desarrollo	21/08/2013	29/09/2013	40	60	2,48	3,60	0,69
Mediados	30/09/2013	31/10/2013	32	92	4,21	3,42	1,23
Final	01/11/2013	13/11/2013	13	105	2,03	4,14	0,49
TOTAL			X	X	10,40	13,90	3,02
PROMEDIO			X	X	2,60	3,48	0,76

En este cuadro se presentan los valores obtenidos de la relación entre la ETc del balance de humedad del suelo versus la ETo de Penman-Monteith y se puede observar que existe un comportamiento normal, es decir en la etapa inicial se tiene un coeficiente de 0,61 mientras que en el periodo de mediados y desarrollo del cultivo se obtiene los valores más altos Kc del cultivo (0,69 y 1,23); decayendo en el periodo de maduración a un valor de 0,49.

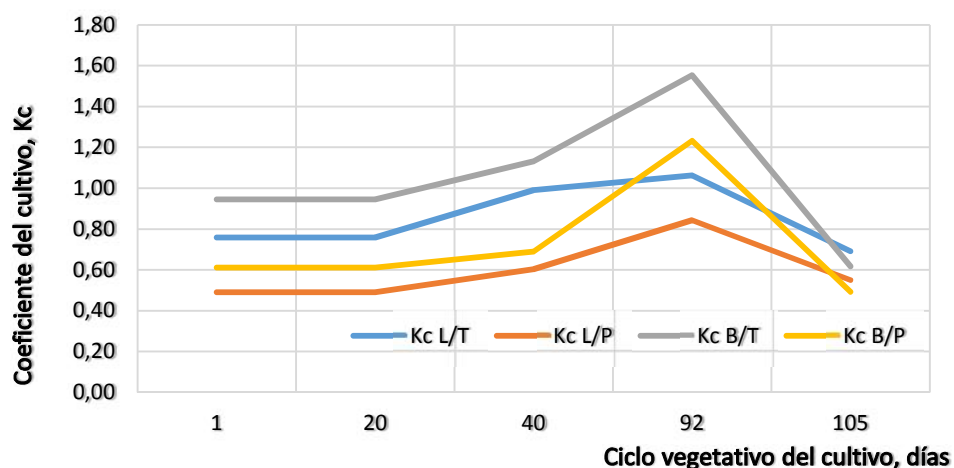


Figura 17. Curva del coeficiente del cultivo Kc, presentadas en el desarrollo del cultivo.

De la curva anterior se puede identificar que los mayores valores del coeficiente del cultivo se presentan de la relación ETc del balance de humedad versus ETo del tanque evaporímetro; mientras que los valores más bajos se generan de la relación entre la ETc del lisímetro de pesaje y la ETo de Penman–Monteith.

Luego de obtenidos los Kc del cultivo a través de las diferentes relaciones anteriormente presentadas se hizo un promedio simple y se obtuvo el Kc del fréjol para sus diferentes fases fenológicas. Los resultados se presentan a continuación.

Cuadro 17. Kc del fréjol para sus diferentes fases fenológicas

Etapas Fenológicas	Periodo		Días Fase Fenológica	Días Ciclo Cultivo	Kc L/T	Kc L/P	Kc B/T	Kc B/P	PROMEDIO
	Desde	Hasta							
Inicial	01/08/2013	20/08/2013	20	20	0,76	0,49	0,94	0,61	0,70
Desarrollo	21/08/2013	29/09/2013	40	60	0,99	0,60	1,13	0,69	0,85
Mediados	30/09/2013	31/10/2013	32	92	1,06	0,84	1,55	1,23	1,17
Final	01/11/2013	13/11/2013	13	105	0,69	0,55	0,62	0,49	0,59

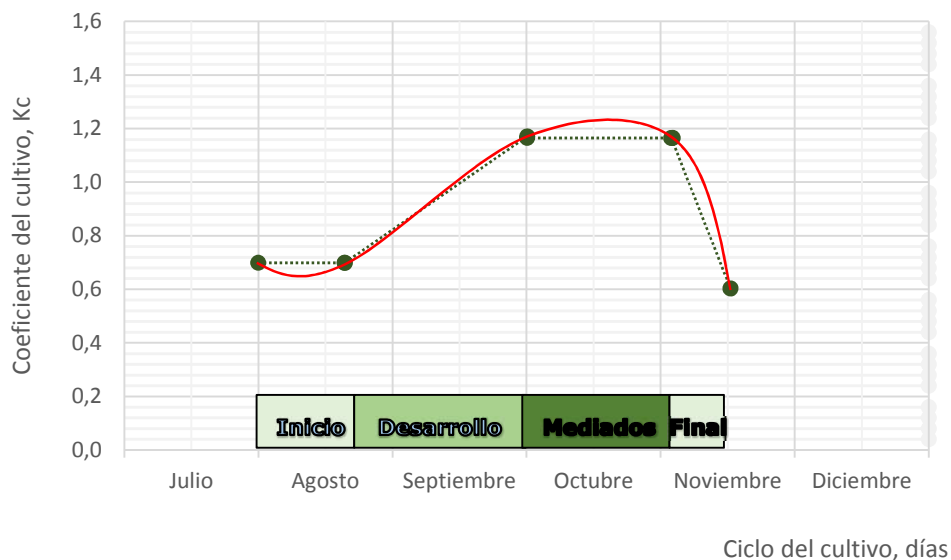


Figura 18. Curva de coeficiente de cultivo Kc, para el fréjol.

Como se puede observar tanto en el cuadro como en la figura el Kc para la fase inicial del cultivo de fréjol fue de $Kc=0,70$, luego para la fase del desarrollo del cultivo ascendió a $Kc=0,85$; en la fase de mediados del cultivo se mantuvo en un nivel máximo de $Kc=1,17$; para decrecer en la fase de maduración y cosecha a un $Kc=0,59$. Esto indica que según aumenta el área foliar del cultivo, el Kc se va incrementando por cuanto existe una mayor área foliar expuesta a la radiación solar por o tanto el cultivo va requiriendo de mayor cantidad de recurso hídrico para cumplir con sus funciones fisiológicas y equilibrar el balance hídrico.

Estos valores concuerdan con los valores encontrados por Armijos y Ordoñez, 2011, que manifiestan que el Kc del fréjol fue de: "0,84: 0,85: 1,50 y 1,10" para las diferentes etapas fenológicas. De igual forma los valores encontrados tienen mucha similitud con los valores encontrados en la FAO 56 0,72 1,01 0,86 0,80

4.4. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DEL CULTIVO

El cultivo presentó un tallo erecto, de follaje verde intenso y flores blancas; grano alargado, ligeramente cilíndrico, de color rojo oscuro. Las características agronómicas del fréjol, variedad Quimbaya fueron:

Habito de crecimiento:	Arbustivo, Tipo I
Período vegetativo:	105 días
Días a la aparición de la plántula	9 días (12/08/2013)
Días a la aparición de la floración	61 días (01/10/2013)

Días a la aparición de la vaina	75 días (16/10/2013)
Altura de la planta:	0 - 91 cm
Longitud de la vaina:	13,67cm en promedio
Peso de vaina con grano/planta:	74,12 g
Número de granos por vaina:	5
Peso de granos sin vaina por planta	36,42 g
Peso de vaina sin granos por planta	36,84 g
Altura de la planta cada semana	Anexo 21
Número de hojas por planta cada semana	Anexo 21
Numero de flores por planta	Anexo 21

El rendimiento del cultivo de frejol de 24 recipientes fue de 1,778 Kg de peso de la vaina con grano en un área de 15 m²

Se obtuvo un rendimiento de 23,71 quintales/ha cerca del 13% más en seco y menos el 33% en vaina si comparamos: "El rendimiento promedio a nivel nacional está en 18 quintales/has de fréjol seco y en fréjol en vaina de 38 quintales/has". (INEC, 2012)

V. CONCLUSIONES

- El promedio obtenido de la ETc del cultivo de fréjol por meses, con el método del lisímetro de pesaje es de 3,59 mm/día
- El promedio de uso consuntivo del cultivo de frejol obtenido por cada mes, con el método del balance de humedad del suelo fue de 3,58 mm/día
- Las fases fenológicas del cultivo de acuerdo a la observación directa se distribuyeron de la siguiente manera: fase inicial 20 días, fase de desarrollo 40 días, fase de mediados 32 días y la fase final 13 días.
- Los valores obtenidos de Kc en el cultivo por la fase de inicio 0,70: fase de desarrollo 0,85: fase de mediados 1,17: y fase final de 0,59.
- El rendimiento obtenido del cultivo de frejol irrigado por riego por goteo en el ensayo experimental de 24 recipientes fue de 1,778 Kg de peso de la vaina con grano en un área de 15 m² durante el ciclo vegetativo lo que significa 23,71 quintales/ha.
- La utilización del lisímetro de pesaje existente en el laboratorio de hidráulica de la UNL, generó muchos problemas a la hora de trasladarlo al campo, obteniéndose muchos datos dudosos que tuvieron que ser eliminados.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el empleo del lisímetro de pesaje para obtener el uso consuntivo de los cultivos empleado en esta investigación para otras temáticas de campo. Cabe recalcar que el lisímetro es un instrumento sensible en su operatividad; razón por la cual los datos generados por el mismo pueden resultar inestables, es necesario en el inicio de su uso calibrarlo adecuadamente.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. AMOROS, M. 1984. Horticultura, Guía Práctica. Primera Edición. Alsina L. Editorial Milagro S.A. Pág. 189 - 298.
2. ARMFIELD AN ISO 9001COMPANY. DISCOVER WITH ARMFIELD. 2011. Lysimeter FEL6 ISSUE 4. Instruction Manual. Engineering Teaching & Research Equipment. Pág. 7; 12.
3. ARMIJOS ARMIJOS Diego Salvador; Ordoñez Gordillo Edison Yobany. "DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL SISTEMA DE RIEGO POR PULSOS EN SURCOS Y SU INCIDENCIA EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE FRÉJOL (*Phaseolus vulgaris*) EN LA QUINTA EXPERIMENTAL "LA ARGELIA" DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA. Pag. 9-10. LOJA, ECUADOR. 2011
4. BALCAZA Luís Ing. Agr. Fertilización de Pimiento. INTA Gran Buenos Aires.
5. BIBLIOTECA PRÁCTICA Agrícola Ganadera. 1987. Tomo 2
6. Cartagena V, José Régulo. Profesor Asociado Universidad Nacional Sede Medellín.
http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/relacion_suelo_agua_planta.pdf. 2000
7. CASTAÑEDA VASQUEZ, Walter Carlos de Kristov (Cod. 960371-B) fono: 074 – 638993. Alumno de la Facultad de Agronomía UNPRG – Lambayeque. Abril, 2000.
<http://www.monografias.com/trabajos4/elfrijol/elfrijol.shtml#ixzz2ybPIUOK>
8. CHÁVARRI VELARDE Ing. Eduardo A. Curso: Hidrología Aplicada. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ingeniería Agrícola. Departamento de Recursos de Agua y Tierra.
http://tarwi.lamolina.edu.pe/~echavarri/clase_vii_evapotranspiracion_def.pdf
. Abril de 2004.
9. Cruz Torres, Dulce Guadalupe. Estimación de la evapotranspiración real (ETR) para la cuenca del río la antigua, Veracruz: estado actual y ante escenarios de cambio climático. UNIVERSIDAD VERACRUZANA. Facultad de Instrumentación Electrónica y Ciencias Atmosféricas. Xalapa – Eqz., Veracruz-México. 1990
10. DE LA PEÑA, Ildefonso. 1987. Manual del uso y manejo del agua de riego. Patronato para la producción y extensión agrícola y ganadera. Cd. Obregón, Sonora, México. 186 p.


11. DÍAZ, S. 2008. Los Elicitores, compuestos activos dentro de las plantas. Investigación y Desarrollo. Las Plumas y Asociados, C.A. Disponible en línea en: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/629/62980203.pdf>. ISSN: 0186-3231
12. FAO. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE. Folleto 56. Mayo 1990. Roma
13. FAO, 1996. LA ACUICULTURA: Biología, regulación, fomento, nuevas tendencias y estrategia comercial. TOMO I. ANÁLISIS DEL DESARROLLO DE LOS CULTIVOS: MEDIO, AGUA Y ESPECIES. FUNDACIÓN ALFONSO MARTÍN ESCUDERO. www.fundame.org. 2000
14. Fernández M^a D., Orgaz F., Fereres E., López J. C., A. Céspedes, J. Pérez, S. Bonachela, M. Gallardo. Programación del rey de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español. Edita: CAJA MAR (Caja Rural de Almería y Málaga). Plaza de Barcelona, 504006 ALMERÍA. <http://www.cajamar.es>. I.S.B.N.: 84-95531-02-X. Depósito legal: AL - 22 – 2001. Imprime: Escobar Impresores, S.L. - El Ejido (Almería).
15. FERNANDEZ, Yamil; BURNEO, Luis: 1993. Tesis "Diseño, instalación y evaluación preliminar de un sistema de riego por surcos en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Quinara". Guía de estudio N° 10. EL CICLO DEL AGUA. Descubriendo la Ciencia por medio de la relación. Suelo – Agua – Planta. Instituto de Educación Rural - Liceo Técnico Profesional Paulino y Margarita Callejas. Universidad de Chile - EXPLORA – CONICYT.
16. FLORES, E.Z. 1978. Hidrología Superficial. Ed. Univ. Son. México. 183 p. <http://www.geologia.uson.mx/academicos/lvega/ARCHIVOS/ARCHIVOS/EVA P.htm>
17. Gardner W.H. 1986. Methods of soil analysis. Part 1. Ed. Klute. A.S.A. Inc. SSSA Inc. Madison Wisconsin. González Murillo, Ing. Carlos Alberto. Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. RASPA. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 2010. http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/raspa/und_1/pdf/und1.pdf
18. GRAFF, Pamela. **El Agua en las Plantas. Nutrición y Transporte de Elementos Minerales. Nutrición Mineral.** Cátedra de Fisiología Vegetal, FAUBA. 2004. Las Plantas y el Agua. CEABA
19. HANNA. Bogotá. Carrera 98 No 25G-10 Bodega 9, Bogotá, Colombia. <http://www.hannacolombia.com/productos/lisímetros/lisimetro-de-succion>. Como Llegar
20. Instituto Nacional de Estadística y Censo, 1995. Encuesta Nacional de Superficie y Producción Agropecuaria Pp.11, 187.

21. Infoagro Systems, S.L. 2012. C/ Capitán Haya. © Copyright Infoagro.com, 60, 2, 0, 28020, http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=11002&_lisimetro_de_succion_para_la_extraccion_de_agua_y_nutrientes_del_suelo_tienda_on_line Madrid, España.
22. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRICOLAS Y PECUARIAS (INEFAP). SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION. "GUIA PARA CULTIVAR FRIJOL EN EL ESTADO DE MORELOS". CENTRO DE INVESTIGACION REGIONAL DEL CENTRO CAMPO EXPERIMENTAL ZACATEPEC. MEXICO. Junio 2002. Folleto 36. Pág. 2, 16
23. MALDONADO, Kléver R. 1994. Tesis "Estudio del consumo de agua del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en verde, con niveles de fertilización, en El Tablón-Oña".
24. MALDONADO. N. 1981. El consumo de agua de los cultivos Agrícolas. Loja, Ec., Universidad Nacional de Loja. Ciencias Agrícolas. p 1 – 2. (Materiales de enseñanza
25. MONAR, C. 1998. Informe Anual de Labores (INIAP) Estación Experimental Santa Catalina. Programa de Investigación en Producción - Bolívar (PIB) Guaranda, Ecuador Pp. 32, 33.
26. MURILLO, Ángel Ing. Agr. M.Sc. MAZON Nelson O., Ing. Agr.: Ecuador "Manual Agrícola de Fréjol y otras Leguminosas" Publicación 135. Segunda impresión. Septiembre 2010. Quito
27. Narváez, Ing. Loren. Análisis gravimétrico y volumétrico. Laboratorio de Química Ambiental, Corporación Universitaria de la Costa, Barranquilla. Colombia. 2011. <http://www.monografias.com/trabajos89/analisis-gravimetrico-y-volumetrico/analisis-gravimetrico-y-volumetrico.shtml#ixzz2zWIAC000>
28. Nuñez Contreras, Marco. Presión. 2012. <http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml#3705#ixzz2zXO1NQph>
29. PASACA ROJAS, Billy Ramiro: 1985. Tesis "Estudios de láminas de agua en cuatro variedades de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo riego por aspersión en línea".
30. PAUTE N. José; 1996. Tesis "Estudio del consumo de agua en los cultivos de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) y sandía (*Citrollus vulgaris*), bajo riego por surcos, con varios niveles de fertilización, en Zapotepamba".
31. PERALTA, E; MURILLO, A; CAICEDO, C; PINZON, J; RIVERA, M. 2001. Manual agrícola de leguminosas. Quito – Ecuador. INIAP. 12p.

32. Rojas, Rafael M., Ph.D: Las Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera En Planificación, Diseño y Manejo de Proyectos de Aguas y Tierras. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. ULA, Mérida-Venezuela. 1999
33. Sanz B, Néstor. La radiación solar. 2010.
<http://www.monografias.com/trabajos65/radiacion-solar/radiacion-solar.shtml#ixzz2zX7GDhNm>
34. <http://www.gatfertilizados.com/kc.swf>
35. <http://blog.agrologica.es/diseño-paso-a-paso-de-un-sistema-de-riego-por-goteo-en-una-parcela-real/>
36. <http://es.wikipedia.org/wiki/Densidad>
37. <http://4w.cajaduro.es/agro/public/remolacha/Riego2.htm>
38. <http://www.cidh.org.mx/monografias/frijol.html>
39. <http://www.infoagro.com/hortalizas/frijol.html>
40. <http://www.eumedia.es/articulos/vr/hortofrut/144pimiento.html>
41. <http://www.oocities.org/paris/metro/1005/pasantia/densidadrya.htm>
42. <http://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3nppen>
43. http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_clasificaci%C3%B3n

VIII. ANEXOS

Anexo 1 Resultados de Análisis 1 del Laboratorio de Suelos



LABORATORIO DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGÍA
ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

LASAB


Provincia:	Loja	FECHA DE INGRESO:	18 de junio de 2013
Cantón:	Loja	FECHA DE EGRESO:	24 de julio de 2013
Parroquia:	Sucre	RESPONSABLE:	José Luis Rodríguez
Sector o Proyecto:	La Argelia		

1. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Campo	Análisis Mecánico			pH	MO %	K ₂ O ppm	Ca meq/100ml	Mg meq/100ml	Fe ppm	Mn ppm	Cu ppm
		Ao	Lo	Ac								
981	M1	68.4	24.8	6.8	6.5	8.7	227.7	6.1	1.58	30.8	4.9	2.5

2. INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS


Cód. Lab.	Cód. Campo	Textura	pH	MO	K ₂ O	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu
981	M1	Franco Arenoso	Prácticamente Neutro	Alto	Alto	Medio	Medio	Medio	Bajo	Medio



[Handwritten signature]
Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 2 Resultados de Análisis 2 del Laboratorio de Suelos

Anexo 3. Resultados de Análisis 3 del Laboratorio de Suelos



CENTRO DE INVESTIGACIÓN, ESTUDIOS Y SERVICIOS DE AGUAS Y SUELOS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y SUELOS

1. INFORMACIÓN GENERAL Y TÉRMINOS DESCRIPTIVOS APLICADOS A LOS SUELOS:

# INFORME: CIESA - ONEA Test Lab -13 -139	M a Muy Alto	H.E: Humedad Equivalente	pH Potencial de Hidrogeno
PROYECTO: Uso Consultivo del Fréjol	Mb Muy Bajo	C.C: Capacidad de Campo	Leto: Ligeramente Alcalino
SERIE: -	A: Alto	A.A: Agua Aprovechable	H: Humedad
SOLICITANTE: Ego. José Luis Rodríguez	B: Bajo	M.P: Punto de Marchitez	Ds: Densidad Aparente
DIRECCIÓN: Nicaragua 19-13 y Uruguay	C.T.C: Capacidad g de Intercambio Catiónico		Dr: Densidad Real
TELÉFONO: 072-575 567	Cpc: Características de Plasticidad y Cohesión		EP: % de Espacios Porosos

2. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:

FECHA DE INGRESO: 18 - 07 - 13	REFERENCIA: MS-01	PROVINCIA: Jin
FECHA DE ENTREGA: 19 - 07 - 13	MUESTRA: Suelo Agrícola	SECTOR: Los Molinos

3. ENSAYOS MECÁNICOS Y CATIONES DISPONIBLES:

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1.2.5)	NESSLER/RED CASMIO	ACIDO ASCÓRBICO	TETRAFENIL BORATO
UNIDAD	%	%	%	%	pH	N	pp/ml	K ₂ O
PARAMETRO	Arena	Limo	Arcilla	M.O			P ₂ O ₅	
RESULTADO	-	-	-	-	-	111.25	38.3	-
INTERPRETACION	-	-	-	-	-	M a	M	-

4. CATIONES CAMBIABLES DISPONIBLES:

MÉTODO	VERSENATO	AMARILLO DE TITANIO	CULTIVO IMPLANTARSE	FERTILIZANTES			
UNIDAD	meq/100g		UNIDADES	10-30-10	Urea	Muriato de Potasio	CO ₂ Ca
PARAMETRO	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺					
RESULTADO	-	-	kg/146	-	-	-	-
INTERPRETACION	-	-	g/146	-	-	-	-

5. RECOMENDACIONES DE FERTILIZACIÓN:

6. COEFICIENTES HIDRÍCOS Y PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES:

UNIDAD	%						meq/100
PARAMETRO	H.E	C.C	M.P	A.A	%SB	C.I.C	
RESULTADO	-	-	-	-	-	-	-

7. ENSAYOS MECÁNICOS:

UNIDAD	%			gr/cm ³	Valor Cualitativo		
PARAMETRO	H	EP	D.s	D.r	Color de Subsuelo	renaje y Aireación	Cpc
RESULTADO	-	-	-	-	-	-	-

8. ENSAYOS VARIOS:

UNIDAD	milimhos/cm		mg/kg	
PARAMETRO	Conductividad Eléctrica	Límite Permisible	Aceites y Grasas	Límite Permisible
RESULTADO	-	-	-	-

9. TABLAS MUNSELL:

MÉTODO	TABLAS MUNSELL		TABLAS MUNSELL	
PARAMETRO	COLOR SECO	VALOR CUALITATIVO	COLOR HUMEDO	VALOR CUALITATIVO
EVALUACIÓN	-	-	-	-

10. CIESA - ONEA Test Lab
INGENIERO
Edgar A. Ojeda Noriega
ONEA Test Lab
SUELOS-AGUAS
RUC. 1191731766001

Teléfono Bajo: Manuel Agustín Aguirre # 19-95 entre 4 y 5 de Agosto / Calle 19-13 y 19-14 / Ciudad de Managua / Nicaragua / Teléfono: 502-589 913-577 70-584 594 / Telefax: 072-589 913/577 707 / Celular: 0915499777 / E-mail: ciessa@ciessa.com.ni, ciessa@ciessa.com

TUBERÍAS CON GOTERO AUTOCOMPENSANTE "KATIF"

Una opción sobre-línea de goteros autocompensantes

Usos recomendados:


- Frutales y olivos
- Riego donde se requiera gran longitud de ramal
- Terrenos con declives pronunciados y diferencias de nivel

Especificaciones:

- Caudales: 2.30 l/h - 3.80 l/h - 840 l/h, tanto para 16mm como para 20mm
- Rango de presiones operacionales: 0.8bar - 3.0bar
- Diámetros de los laterales (Diámetro externo): 16mm y 20mm.
- Espesor de pared: 1.0mm para 16mm y 1.5mm para 20mm.

Características:

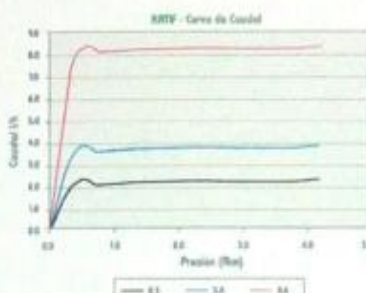
- Dos versiones de salida del agua (En stock salida lateral).
- Insertable a mano si se desea.
- Evita la uniformidad de descarga entre los emisores.
- Membrana de compensación en silicona.
- Resistente a fertilizantes químicos de uso habitual en la agricultura.
- Protegidos contra los rayos ultravioleta del sol.



"KATIF"

Gotero KATIF

Modelo	Caudal	Espesor	Diámetro Est.	Diámetro Int.
KATIF - 16/2.3	2.30 l/h	1.0 mm	16.0 mm	13.6 mm
KATIF - 16/3.8	3.80 l/h			
KATIF - 16/84	840 l/h			
KATIF - 20/2.3	2.30 l/h	1.5 mm	20.0 mm	13.4 mm
KATIF - 20/3.8	3.80 l/h			
KATIF - 20/84	840 l/h			

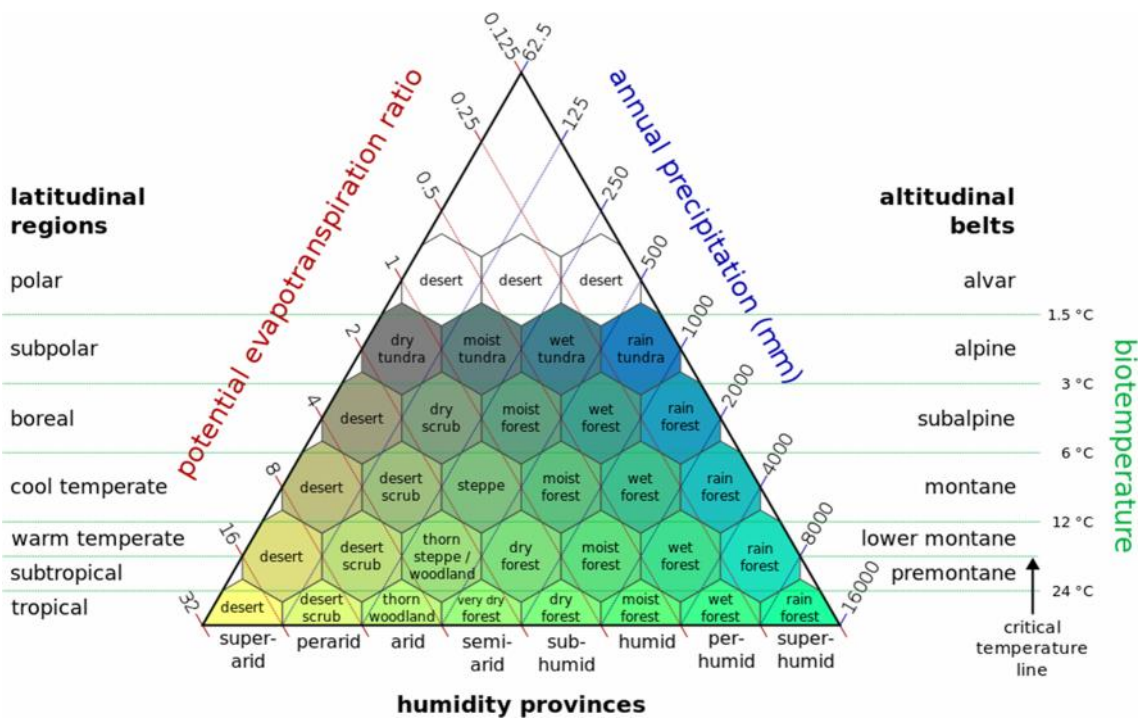
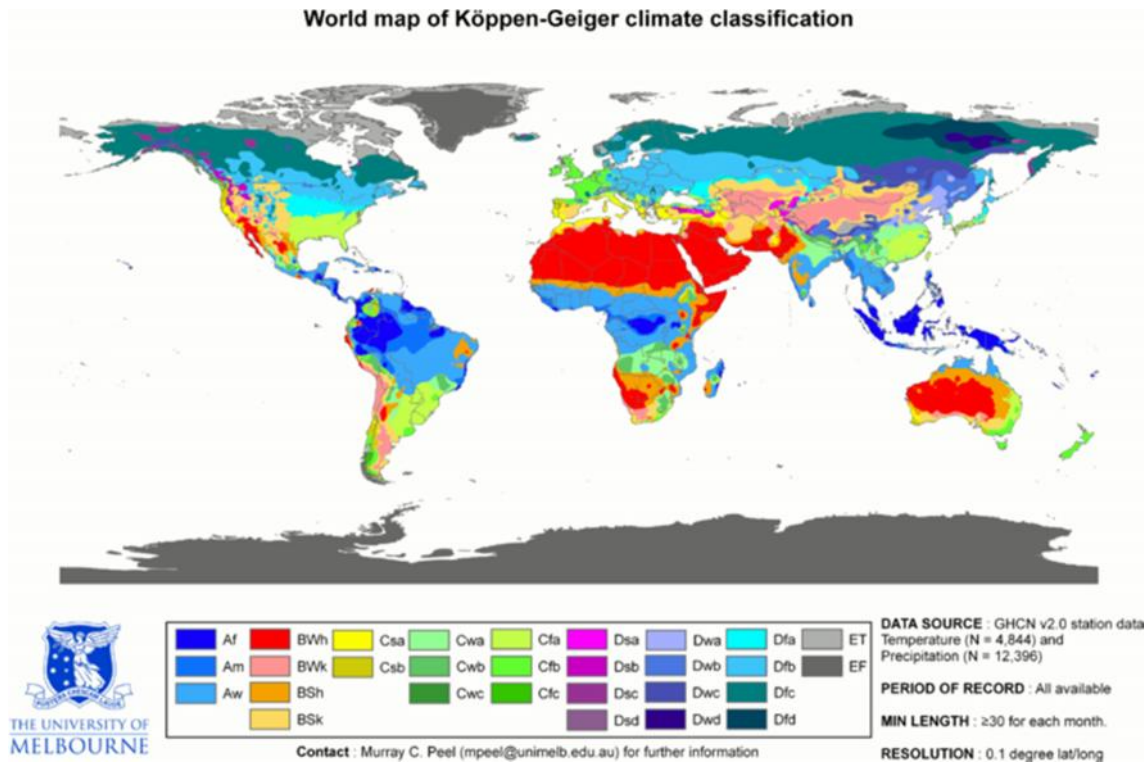


KATIF - Curva de Caudal

Tabla de longitud de lateral (Presión = 3.0 Atm; Desnivel = 0%)

Gotero	Separación (m)							
	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.75	1.00	1.50
16/2.3	95	110	133	156	185	216	270	350
16/3.8	65	75	96	111	133	154	192	240
16/84	49	55	61	70	81	97	120	162
20/2.3	184	197	240	271	310	365	448	550
20/3.8	118	152	175	193	229	280	320	390
20/84	60	75	99	118	135	159	195	260

Anexo 5. Clasificación del clima de Köppen y Clasificación de Holdridge



Anexo 6. Valores para determinar el CUC y área humedecida

Volumen recogido por los colectores, cm³

REPETICIONES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL	PROMEDIO
Lateral 1	50,0	391,0	383,0	373,0	380,0	376,0	370,0	374,0	0,0	0,0	2697,0	269,7
Lateral 2	373,0	363,0	350,0	363,0	366,0	361,0	391,0	364,0	150,0	359,0	3440,0	344,0
Lateral 3	429,0	419,0	420,0	373,0	322,0	371,0	365,0	350,0	333,0	350,0	3732,0	373,2
Lateral 4	422,0	420,0	409,0	382,0	369,0	385,0	382,0	387,0	271,0	337,0	3764,0	376,4
Lateral 5	372,0	0,0	0,0	604,0	324,0	300,0	300,0	306,0	300,0	300,0	2806,0	280,6
TOTAL	1646,0	1593,0	1562,0	2095,0	1761,0	1793,0	1808,0	1781,0	1054,0	1346,0	16439,0	1643,9
PROMEDIO	329,2	318,6	312,4	419,0	352,2	358,6	361,6	356,2	210,8	269,2	3287,8	328,8

Volumen recolectado, cm³/min

REPETICIONES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL	PROMEDIO
Lateral 1	5,0	39,1	38,3	37,3	38,0	37,6	37,0	37,4	0,0	0,0	269,7	27,0
Lateral 2	37,3	36,3	35,0	36,3	36,6	36,1	39,1	36,4	15,0	35,9	344,0	34,4
Lateral 3	42,9	41,9	42,0	37,3	32,2	37,1	36,5	35,0	33,3	35,0	373,2	37,3
Lateral 4	42,2	42,0	40,9	38,2	36,9	38,5	38,2	38,7	27,1	33,7	376,4	37,6
Lateral 5	37,2	0,0	0,0	60,4	32,4	30,0	30,0	30,6	30,0	30,0	280,6	28,1
TOTAL	164,6	159,3	156,2	209,5	176,1	179,3	180,8	178,1	105,4	134,6	1643,9	164,4
PROMEDIO	32,9	31,9	31,2	41,9	35,2	35,9	36,2	35,6	21,1	26,9	328,8	32,9

Valores de descarga de los goteros, l/h

REPETICIONES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL	PROMEDIO
Lateral 1	0,30	2,35	2,30	2,24	2,28	2,26	2,22	2,24	0,00	0,00	16,2	1,6
Lateral 2	2,24	2,18	2,10	2,18	2,20	2,17	2,35	2,18	0,90	2,15	20,6	2,1
Lateral 3	2,57	2,51	2,52	2,24	1,93	2,23	2,19	2,10	2,00	2,10	22,4	2,2
Lateral 4	2,53	2,52	2,45	2,29	2,21	2,31	2,29	2,32	1,63	2,02	22,6	2,3
Lateral 5	2,23	0,00	0,00	3,62	1,94	1,80	1,80	1,84	1,80	1,80	16,8	1,7
TOTAL	9,9	9,6	9,4	12,6	10,6	10,8	10,8	10,7	6,3	8,1	98,6	9,9
PROMEDIO	2,0	1,9	1,9	2,5	2,1	2,2	2,2	2,1	1,3	1,6	19,7	2,0

Diámetro de humedecimiento generado por los goteros, cm

Repeticiones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL	PROMEDIO
Lateral 1	6	7	7	8	7	8	8	8	8	8	75	7,50
Lateral 2	8	8	7	8	8	7	8	7	8	7	76	7,60
Lateral 3	7	8	7	8	8	7	8	8	8	8	77	7,70
Lateral 4	8	8	8	7	8	8	7	8	8	8	78	7,80
Lateral 5	8	7	8	8	8	7	8	8	8	7	77	7,70
TOTAL	37	38	37	39	39	37	39	39	40	38	383	38,30
PROMEDIO	7,40	7,60	7,40	7,80	7,80	7,40	7,80	7,80	8,00	7,60	76,60	7,66

Anexo 7

Valores de calibración del lisímetro de pesaje.

Angulo <math>< 30^\circ</math>	
Columna H ₂ O, mm	Peso, g
0	22
200	28
400	37
600	45
800	53
1000	61
1200	70
1400	78
1600	86
1800	95
2000	102
2200	111
2400	119

Densidad aparente y densidad real, para cada tipo de textura y profundidad

Tipo Textura	Profundidad (cm)	Densidad real (g/cm ³)	Densidad aparente (g/cm ³)
Franco	0-20	1,40	2,53
Franco arcilloso	0-20	1,42	2,54
Fr. Arcillo arenoso	0-20	1,54	2,66
Fr. Arcilloso a arcilla	0-20	1,64	2,50
Franco	20-40	1,55	2,54
Franco arcilloso	20-40	1,59	2,53
Arcilla	20-40	1,46	2,49
Franco arcilloso a arcilla	20-40	1,63	2,51
Franco arenoso	20-40	1,83	2,60

<http://www.oocities.org/paris/metro/1005/pasantia/densidadrya.htm>

Anexo 8. Determinación de los parámetros para obtener W con el lisímetro durante las fases fenológicas del cultivo, mm/día

Fases	MES	LECTURA	Peso	$\pm\Delta$		
Fenologicas		mm	g	mm/día		
I N I C I O	A G O S T O	1	198,42	1305,72	13,78	
		2	136,75	682,83	2,00	
		3	127,79	592,34	1,50	
		4	133,83	653,37	-11,35	
		5	139,88	714,39	-11,35	
		6	145,92	775,42	-10,93	
		7	150,08	817,51	-11,79	
		8	158,08	898,32	-11,41	
		9	164,38	961,87	-9,02	
		10	204,75	1369,70	-5,50	
		11	229,38	1618,43	-12,33	
		12	239,79	1723,65	3,67	
		13	223,38	1557,83	-3,97	
		14	241,13	1737,12	6,73	
		15	211,00	1432,83	8,63	
		16	172,38	1042,68	-4,70	
		17	193,42	1255,22	-6,15	
		18	220,96	1533,42	-11,16	
		19	226,17	1586,03	-11,51	
		20	219,42	1517,85	4,12	
TOTAL	X	X	3736,88	23776,52	-80,75	
PROMEDIO	X	X	186,84	1188,83	-4,04	
D E S A R R O L L O	A G O S T O	21	201,00	1331,82	-12,03	
		22	210,08	1423,57	3,04	
		23	196,50	1286,36	-11,28	
		24	202,21	1344,02	-11,74	
		25	210,00	1422,73	0,78	
		26	206,50	1387,37	-11,21	
		27	211,92	1442,09	0,75	
		28	208,54	1408,00	1,16	
		29	203,33	1355,39	1,37	
		30	197,21	1293,52	-4,51	
		31	217,38	1497,22	1,00	
	S E P T I E M B R E	1	195,50	1276,26	-1,35	
		2	201,54	1337,29	-5,26	
		3	225,08	1575,08	3,08	
		4	211,29	1435,77	-4,41	
		5	231,04	1635,27	-7,06	
		6	235,79	1683,25	1,52	
		7	229,00	1614,65	1,15	
		8	223,83	1562,46	0,60	
		9	221,17	1535,52	-4,08	
		10	230,46	1629,38	2,11	
		11	221,00	1533,84	1,82	
		12	212,88	1451,77	1,43	
		13	206,46	1386,95	-10,29	
		14	225,67	1580,98	3,83	
		15	208,54	1408,00	-8,06	
		16	222,25	1546,46	-7,63	
		17	234,00	1665,15	4,95	
		18	211,83	1441,25	-7,52	
		19	218,63	1509,85	7,04	
		20	187,13	1191,67	-9,36	
		21	202,29	1344,87	0,38	
		22	200,58	1327,61	-14,53	
		23	220,83	1532,15	1,53	
		24	214,00	1463,13	2,00	
		25	110,96	422,31	-4,53	
		26	128,54	599,92	-16,42	
		27	202,00	1341,92	3,00	
		28	79,67	106,23	-27,29	
	29	201,79	1339,81	8,17		
	TOTAL	X	X	8178,42	54670,88	-127,85
	PROMEDIO	X	X	204,46	1366,77	-3,20

M E D I A D O S	SEPT	30	165,25	970,71	-35,85
	O C T U B R E	1	218,29	1506,48	0,65
		2	189,08	1211,45	-10,79
		3	224,50	1569,19	-10,19
		4	232,79	1652,95	-10,17
		5	240,33	1729,12	0,59
		6	213,71	1460,19	-10,30
		7	227,17	1596,13	0,44
		8	207,50	1397,47	0,00
		9	207,63	1398,74	-10,30
		10	221,04	1534,26	-10,26
		11	232,71	1652,10	0,56
		12	207,83	1400,84	0,99
		13	163,46	952,61	-10,96
		14	206,38	1386,11	1,33
		15	147,04	786,78	-12,23
		16	238,00	1705,56	0,09
		17	234,00	1665,15	0,65
		18	204,88	1370,96	0,36
		19	188,67	1207,24	-10,49
		20	210,42	1426,94	-0,34
		21	225,42	1578,45	-5,20
		22	234,50	1670,20	1,49
		23	167,71	995,54	-5,05
		24	190,42	1224,92	-0,85
		25	228,63	1610,86	1,28
		26	171,46	1033,42	-0,42
		27	190,13	1221,97	-0,33
		28	204,71	1369,28	-0,49
		29	226,83	1592,76	-0,50
		30	249,17	1818,35	-3,66
31		159,58	3473,58	3,97	
TOTAL	X	X	6629,21	47170,30	-135,97
PROMEDIO	X	X	207,16	1474,07	-4,25
F I N A L	N O V I E M B R E	1	235,17	1676,94	0,82
		2	198,63	1307,83	-11,14
		3	249,42	1820,88	0,05
		4	247,21	1798,57	0,02
		5	246,46	1790,99	1,13
		6	196,04	1281,73	-10,88
		7	235,42	1679,46	0,60
		8	208,67	1409,26	-10,69
		9	239,63	1721,97	-0,29
		10	252,71	1854,12	0,25
		11	241,46	1740,49	0,89
		12	201,42	1336,03	0,05
		13	199,33	1314,98	2,91
TOTAL	X	X	2951,54	20733,25	-26,29
PROMEDIO	X	X	227,04	1594,87	-2,02

Anexo 9. Determinación del drenaje corregido durante las fases fenológicas del cultivo, mm

Fases	MES		Drenaje	Drenaje
Fenologicas			cm3	mm/día
I N I C I O	A G O S T O	1	0,00	0,00
		2	0,00	0,00
		3	444,54	9,83
		4	18,23	2,08
		5	49,79	1,10
		6	0,00	0,00
		7	82,71	1,83
		8	0,00	0,00
		9	0,00	0,00
		10	9,11	1,04
		11	0,00	0,00
		12	5,42	0,62
		13	0,00	0,00
		14	0,00	0,00
		15	0,00	0,00
		16	7,54	0,86
		17	0,00	0,00
		18	0,00	0,00
		19	45,83	1,01
		20	0,00	0,00
TOTAL	X	X	663,17	18,37
PROMEDIO	X	X	33,16	0,92
D E S A R R O L L O	A G O S T O	21	0,00	0,00
		22	12,98	1,48
		23	0,00	0,00
		24	0,00	0,00
		25	46,46	1,03
		26	0,00	0,00
		27	0,00	0,00
		28	19,68	2,25
		29	0,00	0,00
		30	0,00	0,00
		31	44,38	0,98
	S E P T I E M B R E	1	0,00	0,00
		2	51,25	1,13
		3	0,00	0,00
		4	74,58	1,65
		5	0,00	0,00
		6	0,00	0,00
		7	55,83	1,23
		8	0,00	0,00
		9	0,00	0,00
		10	49,58	1,10
		11	0,00	0,00
		12	0,00	0,00
		13	63,13	1,40
		14	0,00	0,00
		15	0,00	0,00
		16	0,00	0,00
		17	50,21	1,11
		18	0,00	0,00
		19	46,25	1,02
		20	0,00	0,00
21	103,33	2,28		
22	0,00	0,00		
23	0,00	0,00		
24	82,71	1,83		
25	0,00	0,00		
26	0,00	0,00		
27	0,00	0,00		
28	35,88	0,79		
29	0,00	0,00		
TOTAL	X	X	736,24	19,28
PROMEDIO	X	X	18,41	0,48

M E D I A D O S	SEPT	30	0,00	0,00
	O C T U B R E	1	0,00	0,00
		2	0,00	0,00
		3	0,00	0,00
		4	0,00	0,00
		5	21,67	0,48
		6	0,00	0,00
		7	0,00	0,00
		8	0,00	0,00
		9	0,00	0,00
		10	0,00	0,00
		11	0,00	0,00
		12	0,00	0,00
		13	278,96	6,17
		14	519,79	11,49
		15	720,83	15,93
		16	32,50	0,72
		17	0,00	0,00
		18	419,38	9,27
		19	6,25	0,14
		20	3,54	0,08
		21	0,00	0,00
		22	0,00	0,00
		23	453,75	10,03
		24	0,00	0,00
		25	0,00	0,00
		26	0,00	0,00
		27	0,00	0,00
		28	0,00	0,00
		29	0,00	0,00
		30	481,88	10,65
31	0,00	0,00		
TOTAL	X	X	2938,54	64,96
PROMEDIO	X	X	91,83	2,03
F I N A L	N O V I E M B R E	1	850,00	18,79
		2	35,42	0,78
		3	0,00	0,00
		4	0,00	0,00
		5	0,00	0,00
		6	850,00	18,79
		7	0,00	0,00
		8	0,00	0,00
		9	0,00	0,00
		10	0,00	0,00
		11	0,00	0,00
		12	850,00	18,79
		13	0,00	0,00
TOTAL	X	X	2585,42	57,15
PROMEDIO	X	X	198,88	4,40

Anexo 10. Determinación de la lámina de riego durante las fases fenológicas del cultivo, mm/día

Fases Fenológicas	MES	Lamina mm/día		
I N I C I O	A G O S T O	1	5,13	
		2	5,13	
		3	5,13	
		4	5,13	
		5	10,27	
		6	5,13	
		7	5,13	
		8	10,27	
		9	10,27	
		10	10,27	
		11	10,27	
		12	10,27	
		13	5,13	
		14	5,13	
		15	5,13	
		16	5,13	
		17	10,27	
		18	10,27	
		19	10,27	
		20	10,27	
TOTAL	X	X	154,00	
PROMEDIO	X	X	7,70	
D E S A R R O L L O	A G O S T O	21	10,27	
		22	5,13	
		23	5,13	
		24	5,13	
		25	5,13	
		26	5,13	
		27	5,13	
		28	5,13	
		29	5,13	
		30	5,13	
		31	5,13	
	S E P T I E M B R E		1	5,13
			2	5,13
			3	5,13
			4	5,13
			5	5,13
			6	5,13
			7	5,13
			8	10,27
			9	10,27
			10	5,13
			11	5,13
			12	10,27
			13	10,27
			14	10,27
			15	10,27
			16	10,27
			17	5,13
			18	5,13
			19	5,13
			20	10,27
21	5,13			
22	5,13			
23	5,13			
24	5,13			
25	5,13			
26	5,13			
27	5,13			
28	5,13			
29	5,13			
TOTAL	X	X	251,53	
PROMEDIO	X	X	6,29	

M E D I A D O S	SEPT	30	5,13
	O C T U B R E	1	0,35
		2	0,35
		3	0,35
		4	5,33
		5	0,35
		6	0,35
		7	0,35
		8	0,35
		9	0,35
		10	0,35
		11	0,35
		12	0,35
		13	0,35
		14	0,35
		15	5,33
		16	5,33
		17	0,35
		18	5,33
		19	5,33
		20	0,35
		21	5,33
		22	5,33
		23	5,33
		24	0,35
		25	5,33
		26	5,33
		27	10,32
		28	15,30
		29	10,32
		30	5,33
31		10,32	
TOTAL	X	X	115,54
PROMEDIO	X	X	3,61
F I N A L	N O V I E M B R E	1	4,79
		2	4,79
		3	4,79
		4	4,79
		5	4,79
		6	4,79
		7	4,79
		8	9,92
		9	9,92
		10	4,79
		11	4,79
		12	9,92
		13	9,92
TOTAL	X	X	82,78
PROMEDIO	X	X	6,37

Anexo 11. Determinación de la ETC durante las fases fenológicas del cultivo método del lisímetro, mm/día

Fases	MES	P	I	D	±	ETc	
Fenologicas		mm/día	mm/día	mm/día	mm/día	mm/día	
I N I C I O	A G O S T O	1	14,50	5,13	0,00	13,78	
		2	10,20	5,13	0,00	2,00	
		3	2,10	5,13	9,83	1,50	-1,10
		4	2,50	5,13	2,08	-11,35	-5,80
		5	0,00	10,27	1,10	-11,35	-2,18
		6	6,30	5,13	0,00	-10,93	0,50
		7	6,00	5,13	1,83	-11,79	-2,49
		8	1,50	10,27	0,00	-11,41	0,36
		9	0,00	10,27	0,00	-9,02	1,24
		10	1,50	10,27	1,04	-5,50	5,22
		11	1,80	10,27	0,00	-12,33	-0,26
		12	1,00	10,27	0,62	3,67	14,32
		13	2,50	5,13	0,00	-3,97	3,67
		14	0,80	5,13	0,00	6,73	12,67
		15	0,90	5,13	0,00	8,63	14,67
		16	5,10	5,13	0,86	-4,70	4,67
		17	0,00	10,27	0,00	-6,15	4,11
		18	1,10	10,27	0,00	-11,16	0,21
		19	2,50	10,27	1,01	-11,51	0,24
		20	0,60	10,27	0,00	4,12	14,98
TOTAL	X	X	60,90	154,00	18,39	-80,75	65,02
PROMEDIO	X	X	3,05	7,70	0,92	-4,04	3,25
D E S A R R O L L O	A G O S T O	21	0,00	10,27	0,00	-12,03	-1,76
		22	0,30	5,13	1,48	3,04	6,98
		23	1,10	5,13	0,00	-11,28	-5,05
		24	0,50	5,13	0,00	-11,74	-6,11
		25	1,20	5,13	1,03	0,78	6,09
		26	0,50	5,13	0,00	-11,21	-5,58
		27	1,50	5,13	0,00	0,75	7,39
		28	2,10	5,13	2,25	1,16	6,15
		29	0,00	5,13	0,00	1,37	6,50
		30	0,00	5,13	0,00	-4,51	0,63
		31	0,00	5,13	0,98	1,00	5,15
	S E P T I E M B R E	1	0,00	5,13	0,00	-1,35	3,78
		2	1,20	5,13	1,13	-5,26	-0,06
		3	1,10	5,13	0,00	3,08	9,32
		4	0,50	5,13	1,65	-4,41	-0,43
		5	0,60	5,13	0,00	-7,06	-1,33
		6	0,50	5,13	0,00	1,52	7,15
		7	0,00	5,13	1,24	1,15	5,05
		8	0,00	10,27	0,00	0,60	10,86
		9	0,00	10,27	0,00	-4,08	6,19
		10	1,80	5,13	1,10	2,11	7,95
		11	2,50	5,13	0,00	1,82	9,45
		12	0,00	10,27	0,00	1,43	11,70
		13	0,00	10,27	1,40	-10,29	-1,42
		14	0,00	10,27	0,00	3,83	14,09
		15	1,00	10,27	0,00	-8,06	3,21
		16	0,80	10,27	0,00	-7,63	3,44
		17	2,50	5,13	1,11	4,95	11,48
		18	6,50	5,13	0,00	-7,52	4,11
		19	2,00	5,13	1,02	7,04	13,15
		20	0,00	10,27	0,00	-9,36	0,91
21	7,00	5,13	2,29	0,38	10,23		
22	1,80	5,13	0,00	-14,53	-7,60		
23	0,00	5,13	0,00	1,53	6,66		
24	0,00	5,13	1,83	2,00	5,30		
25	0,00	5,13	0,00	-4,53	0,60		
26	1,00	5,13	0,00	-16,42	-10,28		
27	0,50	5,13	0,00	3,00	8,63		
28	2,50	5,13	0,79	-27,29	-20,45		
29	3,00	5,13	0,00	8,17	16,30		
TOTAL	X	X	44,00	251,53	19,30	-127,85	148,39
PROMEDIO	X	X	1,10	6,29	0,48	-3,20	3,71

M E D I A D O S	SEPT	30	5,10	5,13	0,00	-35,85	-25,62
	O C T U B R E	1	0,00	0,35	0,00	0,65	1,00
		2	0,00	0,35	0,00	-10,79	0,00
		3	1,80	0,35	0,00	-10,19	-8,04
		4	0,60	5,33	0,00	-10,17	-4,24
		5	7,40	0,35	0,48	0,59	7,86
		6	7,90	0,35	0,00	-10,30	-2,05
		7	4,20	0,35	0,00	0,44	4,98
		8	0,80	0,35	0,00	0,00	1,14
		9	2,20	0,35	0,00	-10,30	-7,75
		10	0,20	0,35	0,00	-10,26	-9,71
		11	0,00	0,35	0,00	0,56	0,90
		12	2,90	0,35	0,00	0,99	4,24
		13	18,90	0,35	6,17	-10,96	2,11
		14	31,30	0,35	11,50	1,33	21,47
		15	3,80	5,33	15,95	-12,23	0,00
		16	22,70	5,33	0,72	0,09	27,40
		17	1,50	0,35	0,00	0,65	2,50
		18	4,70	5,33	9,28	0,36	1,11
		19	1,40	5,33	0,14	-10,49	-3,90
		20	0,00	0,35	0,08	-0,34	0,00
		21	11,70	5,33	0,00	-5,20	11,83
		22	12,00	5,33	0,00	1,49	18,82
		23	0,50	5,33	10,04	-5,05	0,00
		24	0,00	0,35	0,00	-0,85	0,00
		25	0,00	5,33	0,00	1,28	6,61
		26	0,10	5,33	0,00	-0,42	5,01
		27	0,00	10,32	0,00	-0,33	9,99
		28	0,00	15,30	0,00	-0,49	14,81
		29	2,50	10,32	0,00	-0,50	12,32
		30	8,90	5,33	10,66	-3,66	0,00
		31	0,00	10,32	0,00	3,97	14,29
TOTAL	X	X	153,10	115,54	65,01	-135,97	107,08
PROMEDIO	X	X	4,78	3,61	2,03	-4,25	3,35
F I N A L	N O V I E M B R E	1	0,00	4,79	18,81	0,82	-13,20
		2	0,00	4,79	0,78	-11,14	-7,14
		3	1,80	4,79	0,00	0,05	6,64
		4	0,60	4,79	0,00	0,02	5,41
		5	7,40	4,79	0,00	1,13	13,32
		6	7,90	4,79	18,81	-10,88	-17,00
		7	4,20	4,79	0,00	0,60	9,59
		8	0,80	9,92	0,00	-10,69	0,03
		9	2,20	9,92	0,00	-0,29	11,83
		10	0,20	4,79	0,00	0,25	5,24
		11	0,00	4,79	0,00	0,89	5,68
		12	2,90	9,92	18,81	0,05	-5,94
		13	18,90	9,92	0,00	2,91	31,73
TOTAL	X	X	46,90	82,78	57,20	-26,29	46,19
PROMEDIO	X	X	3,61	6,37	4,40	-2,02	3,55

Anexo 12. Datos climáticos de la Estación Meteorológica La Argelia

Fases	MES		P	HR	VV	E		
Fenológicas			mm/día	%	%	mm/día		
I N I C I O	A G O S T O	1	14,50	83,00	2,20	1,80		
		2	10,20	78,00	3,80	0,70		
		3	2,10	85,00	1,60	2,00		
		4	2,50	70,60	2,60	3,80		
		5	0,00	73,60	2,40	4,50		
		6	6,30	80,60	2,00	2,00		
		7	6,00	67,60	2,40	5,50		
		8	1,50	70,80	1,40	4,50		
		9	0,00	74,40	2,20	2,00		
		10	1,50	81,60	1,40	3,10		
		11	1,80	76,60	2,00	4,80		
		12	1,00	77,60	2,20	0,50		
		13	2,50	81,00	1,80	0,00		
		14	0,80	76,60	3,20	3,30		
		15	0,90	76,40	4,80	3,80		
		16	5,10	74,00	2,80	1,00		
		17	0,00	77,80	2,80	3,30		
		18	1,10	80,60	2,00	3,20		
		19	2,50	75,80	2,20	0,50		
		20	0,60	83,00	2,80	2,50		
TOTAL	X	X	60,90	1544,60	48,60	52,80		
PROMEDIO	X	X	3,05	77,23	2,43	2,64		
D E S A R R O L L O	A G O S T O	21	0,00	77,60	4,40	4,80		
		22	0,30	62,60	2,80	3,80		
		23	1,10	72,40	2,20	4,50		
		24	0,50	76,20	1,20	1,50		
		25	1,20	78,20	2,40	3,50		
		26	0,50	72,20	3,40	1,50		
		27	1,50	70,80	5,00	1,50		
		28	2,10	74,60	4,00	3,50		
		29	0,00	64,00	8,20	5,00		
		30	0,00	56,40	5,60	5,00		
		31	0,00	60,60	2,60	1,10		
	S E P T I E M B R E	1	14,50	77,80	1,80	1,50		
		2	10,20	64,40	2,00	4,50		
		3	2,10	62,60	1,60	4,80		
		4	2,50	69,00	2,80	0,00		
		5	0,00	72,20	4,00	2,50		
		6	6,30	67,20	2,80	4,10		
		7	6,00	74,60	2,20	4,10		
		8	1,50	75,40	2,00	1,50		
		9	0,00	72,00	3,20	0,50		
		10	1,50	76,50	1,20	2,90		
		11	1,80	65,60	3,20	4,50		
		12	1,00	64,20	2,80	5,00		
		13	2,50	61,40	1,60	4,50		
		14	0,80	73,00	2,00	1,50		
		15	0,90	83,20	2,20	0,50		
		16	5,10	75,00	3,60	3,00		
		17	0,00	61,00	2,80	4,10		
		18	1,10	65,60	3,20	1,50		
		19	2,50	83,00	3,60	17,00		
		20	0,60	59,20	4,00	4,50		
		21	0,00	57,40	2,40	4,90		
		22	0,30	55,60	3,40	7,00		
		23	1,10	79,60	4,00	6,50		
		24	1,50	66,40	5,20	5,50		
		25	1,20	76,40	3,60	2,50		
		26	0,50	69,20	5,40	1,50		
		27	1,50	62,20	4,00	3,10		
		28	2,10	79,20	3,60	2,30		
		29	0,00	77,20	3,60	7,00		
		TOTAL	X	X	76,30	2791,70	129,60	148,50
		PROMEDIO	X	X	1,91	69,79	3,24	3,71

M E D I A D O S	SEPT	30	0,00	67,00	4,00	4,30
	O C T U B R E	1	0,00	64,20	1,80	5,40
		2	0,00	63,00	2,40	5,30
		3	1,80	71,00	2,60	2,00
		4	0,60	83,80	2,20	0,40
		5	7,40	75,60	2,20	9,00
		6	7,90	82,20	2,00	10,75
		7	4,20	69,20	2,80	3,60
		8	0,80	79,00	2,40	1,80
		9	2,20	73,20	1,80	1,50
		10	0,20	71,20	1,00	3,50
		11	0,00	74,60	2,00	5,50
		12	2,90	86,20	1,20	2,00
		13	18,90	88,60	0,80	27,00
		14	31,30	80,60	1,60	4,50
		15	10,20	83,80	1,60	28,00
		16	22,70	74,20	3,20	16,00
		17	1,50	75,40	2,20	0,50
		18	4,70	70,00	2,20	2,90
		19	1,40	77,40	1,40	1,50
		20	0,00	74,80	0,80	2,50
		21	11,70	75,20	1,60	3,50
		22	12,00	76,00	1,00	8,80
		23	4,70	70,60	2,00	1,60
		24	0,00	67,80	2,40	4,90
		25	0,00	70,60	2,00	5,70
		26	0,10	69,60	1,40	3,40
		27	0,00	73,80	1,00	4,00
		28	0,00	65,60	2,40	4,50
		29	2,50	74,40	2,60	2,50
		30	8,90	72,40	1,20	3,60
		31	0,00	73,60	2,80	3,90
TOTAL	X	X	158,60	2374,60	62,60	184,35
PROMEDIO	X	X	4,96	74,21	1,96	5,76
F I N A L	N O V I E M B R E	1	18,90	62,80	2,20	5,80
		2	0,00	71,80	2,00	5,60
		3	1,80	64,60	1,00	5,20
		4	0,60	59,60	3,40	7,40
		5	7,40	64,80	2,40	6,50
		6	13,10	67,20	2,20	4,60
		7	4,20	69,20	2,80	5,00
		8	0,80	65,20	2,40	5,30
		9	2,20	77,60	1,20	4,00
		10	0,20	71,20	1,20	6,70
		11	0,00	68,40	2,00	4,60
		12	2,90	67,40	4,20	6,40
		13	18,90	70,40	2,40	0,30
TOTAL	X	X	71,00	880,20	29,40	67,40
PROMEDIO	X	X	5,46	67,71	2,26	5,18

Anexo 13. Datos climáticos de precipitaciones diarias, mm/día; humedad relativa %; velocidad del viento m/s; evaporación mm/día

Fases	MES	HR	VV	Kp	E	Eto	
Fenológicas		%	%		mm/día	mm/día	
I N I C I O	A G O S T O	1	83,00	2,20	0,65	1,80	1,17
		2	78,00	3,80	0,65	0,70	0,46
		3	85,00	1,60	0,75	2,00	1,50
		4	70,60	2,60	0,65	3,80	2,47
		5	73,60	2,40	0,65	4,50	2,93
		6	80,60	2,00	0,75	2,00	1,50
		7	67,60	2,40	0,60	5,50	3,30
		8	70,80	1,40	0,75	4,50	3,38
		9	74,40	2,20	0,65	2,00	1,30
		10	81,60	1,40	0,75	3,10	2,33
		11	76,60	2,00	0,65	4,80	3,12
		12	77,60	2,20	0,65	0,50	0,33
		13	81,00	1,80	0,75	0,00	0,00
		14	76,60	3,20	0,65	3,30	2,15
		15	76,40	4,80	0,65	3,80	2,47
		16	74,00	2,80	0,65	1,00	0,65
		17	77,80	2,80	0,65	3,30	2,15
		18	80,60	2,00	0,65	3,20	2,08
		19	75,80	2,20	0,65	0,50	0,33
		20	83,00	2,80	0,65	2,50	1,63
TOTAL	X	X	1544,60	48,60	13,45	52,80	35,21
PROMEDIO	X	X	77,23	2,43	0,67	2,64	1,78
D E S A R R O L L O	A G O S T O	21	77,60	4,40	0,65	4,80	3,12
		22	62,60	2,80	0,60	3,80	2,28
		23	72,40	2,20	0,65	4,50	2,93
		24	76,20	1,20	0,75	1,50	1,13
		25	78,20	2,40	0,65	3,50	2,28
		26	72,20	3,40	0,65	1,50	0,98
		27	70,80	5,00	0,60	1,50	0,90
		28	74,60	4,00	0,65	3,50	2,28
		29	64,00	8,20	0,50	5,00	2,50
		30	56,40	5,60	0,60	5,00	3,00
	31	60,60	2,60	0,60	1,10	0,66	
	S E P T I E M B R E	1	77,80	1,80	0,75	1,50	1,13
		2	64,40	2,00	0,65	4,50	2,93
		3	62,60	1,60	0,65	4,80	3,12
		4	69,00	2,80	0,60	0,00	0,00
		5	72,20	4,00	0,65	2,50	1,63
		6	67,20	2,80	0,60	4,10	2,46
		7	74,60	2,20	0,65	4,10	2,67
		8	75,40	2,00	0,65	1,50	0,98
		9	72,00	3,20	0,65	0,50	0,33
		10	76,50	1,20	0,75	2,90	2,18
		11	65,60	3,20	0,60	4,50	2,70
		12	64,20	2,80	0,60	5,00	3,00
		13	61,40	1,60	0,60	4,50	2,70
		14	73,00	2,00	0,65	1,50	0,98
		15	83,20	2,20	0,65	0,50	0,33
		16	75,00	3,60	0,65	3,00	1,95
		17	61,00	2,80	0,60	4,10	2,46
		18	65,60	3,20	0,60	1,50	0,90
		19	83,00	3,60	0,65	17,00	11,05
		20	59,20	4,00	0,60	4,50	2,70
21	57,40	2,40	0,60	4,90	2,94		
22	55,60	3,40	0,60	7,00	4,20		
23	79,60	4,00	0,65	6,50	4,23		
24	66,40	5,20	0,60	5,50	3,30		
25	76,40	3,60	0,65	2,50	1,63		
26	69,20	5,40	0,60	1,50	0,90		
27	62,20	4,00	0,60	3,10	1,86		
28	79,20	3,60	0,65	2,30	1,50		
29	77,20	3,60	0,65	7,00	4,55		
TOTAL	X	X	2791,70	129,60	25,30	148,50	93,29
PROMEDIO	X	X	69,79	3,24	0,63	3,71	2,35

M E D I A D O S	SEPT	30	67,00	4,00	0,60	4,30	2,58
	O C T U B R E	1	64,20	1,80	0,65	5,40	3,51
		2	63,00	2,40	0,60	5,30	3,18
		3	71,00	2,60	0,65	2,00	1,30
		4	83,80	2,20	0,65	0,40	0,26
		5	75,60	2,20	0,65	9,00	5,85
		6	82,20	2,00	0,75	10,75	8,06
		7	69,20	2,80	0,60	3,60	2,16
		8	79,00	2,40	0,65	1,80	1,17
		9	73,20	1,80	0,75	1,50	1,13
		10	71,20	1,00	0,75	3,50	2,63
		11	74,60	2,00	0,75	5,50	4,13
		12	86,20	1,20	0,75	2,00	1,50
		13	88,60	0,80	0,75	27,00	20,25
		14	80,60	1,60	0,75	4,50	3,38
		15	83,80	1,60	0,75	28,00	21,00
		16	74,20	3,20	0,65	16,00	10,40
		17	75,40	2,20	0,65	0,50	0,33
		18	70,00	2,20	0,65	2,90	1,89
		19	77,40	1,40	0,75	1,50	1,13
		20	74,80	0,80	0,75	2,50	1,88
		21	75,20	1,60	0,75	3,50	2,63
		22	76,00	1,00	0,75	8,80	6,60
		23	70,60	2,00	0,75	1,60	1,20
		24	67,80	2,40	0,60	4,90	2,94
		25	70,60	2,00	0,75	5,70	4,28
		26	69,60	1,40	0,65	3,40	2,21
		27	73,80	1,00	0,75	4,00	3,00
		28	65,60	2,40	0,60	4,50	2,70
		29	74,40	2,60	0,65	2,50	1,63
		30	72,40	1,20	0,75	3,60	2,70
		31	73,60	2,80	0,65	3,90	2,54
TOTAL	X	X	2374,60	62,60	22,15	184,35	130,09
PROMEDIO	X	X	74,21	1,96	0,69	5,76	3,99
F I N A L	N O V I E M B R E	1	62,80	2,20	0,60	5,80	3,48
		2	71,80	2,00	0,65	5,60	3,64
		3	64,60	1,00	0,65	5,20	3,38
		4	59,60	3,40	0,60	7,40	4,44
		5	64,80	2,40	0,60	6,50	3,90
		6	67,20	2,20	0,60	4,60	2,76
		7	69,20	2,80	0,60	5,00	3,00
		8	65,20	2,40	0,60	5,30	3,18
		9	77,60	1,20	0,75	4,00	3,00
		10	71,20	1,20	0,75	6,70	5,03
		11	68,40	2,00	0,60	4,60	2,76
		12	67,40	4,20	0,60	6,40	3,84
		13	70,40	2,40	0,65	0,30	0,20
TOTAL	X	X	880,20	29,40	8,25	67,40	42,60
PROMEDIO	X	X	67,71	2,26	0,63	5,18	3,29

Anexo 14. Obtención del ΔW de las fases fenológicas del cultivo, mm

Fases	MES	CC	MP	CC %	MP %	Da	Pr	CC	MP	±			
Fenologicas		cb	cb	e	e	g/cm3	mm	mm	mm	mm			
I N I C I O	A G O S T O	1	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		2	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		3	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		4	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		5	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
		6	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		7	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		8	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
		9	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
		10	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
		11	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
		12	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
		13	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		14	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		15	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		16	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		17	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
		18	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
		19	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
		20	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
TOTAL	X	X	410,0	440,0	4,7	3,8	15,4	4000,0	726,0	591,4	134,6		
PROMEDIO	X	X	20,50	22,00	0,24	0,19	0,77	200,00	36,30	29,57	6,73		
D E S A R R O L L O	A G O S T O	21	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
		22	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		23	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		24	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		25	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		26	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		27	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		28	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		29	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		30	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		31	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
	S E P T I E M B R E	1	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		2	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		3	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		4	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		5	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		6	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		7	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		8	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
		9	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
		10	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		11	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		12	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
		13	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
		14	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
		15	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
		16	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
		17	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		18	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		19	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		20	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
		21	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		22	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		23	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		24	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		25	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		26	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		27	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		28	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		29	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49		
		TOTAL	X	X	831,0	880,0	9,1	7,7	30,8	8000,0	1402,7	1182,8	219,9
		PROMEDIO	X	X	20,78	22,00	0,23	0,19	0,77	200,00	35,07	29,57	5,50

M E D I A D O S	SEPT	30	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49
	O C T U B R E	1	22,00	22,00	0,19	0,19	0,77	200	29,57	29,57	0,00
		2	22,00	22,00	0,19	0,19	0,77	200	29,57	29,57	0,00
		3	22,00	22,00	0,19	0,19	0,77	200	29,57	29,57	0,00
		4	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49
		5	22,00	22,00	0,19	0,19	0,77	200	29,57	29,57	0,00
		6	22,00	22,00	0,19	0,19	0,77	200	29,57	29,57	0,00
		7	22,00	22,00	0,19	0,19	0,77	200	29,57	29,57	0,00
		8	22,00	22,00	0,19	0,19	0,77	200	29,57	29,57	0,00
		9	22,00	22,00	0,19	0,19	0,77	200	29,57	29,57	0,00
		10	22,00	22,00	0,19	0,19	0,77	200	29,57	29,57	0,00
		11	22,00	22,00	0,19	0,19	0,77	200	29,57	29,57	0,00
		12	22,00	22,00	0,19	0,19	0,77	200	29,57	29,57	0,00
		13	22,00	22,00	0,19	0,19	0,77	200	29,57	29,57	0,00
		14	22,00	22,00	0,19	0,19	0,77	200	29,57	29,57	0,00
		15	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49
		16	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49
		17	22,00	22,00	0,19	0,19	0,77	200	29,57	29,57	0,00
		18	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49
		19	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49
		20	22,00	22,00	0,19	0,19	0,77	200	29,57	29,57	0,00
		21	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49
		22	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49
		23	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49
		24	22,00	22,00	0,19	0,19	0,77	200	29,57	29,57	0,00
		25	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49
		26	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49
		27	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97
		28	19,00	22,00	0,28	0,19	0,77	200	43,03	29,57	13,46
		29	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97
		30	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49
31	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97		
TOTAL	X	X	683,0	704,0	6,8	6,1	24,6	6400,0	1040,5	946,3	94,2
PROMEDIO	X	X	21,34	22,00	0,21	0,19	0,77	200,00	32,52	29,57	2,94
F I N A L	N O V I E M B R E	1	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97
		2	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49
		3	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97
		4	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97
		5	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49
		6	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49
		7	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97
		8	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49
		9	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49
		10	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97
		11	20,00	22,00	0,25	0,19	0,77	200	38,54	29,57	8,97
		12	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49
		13	21,00	22,00	0,22	0,19	0,77	200	34,06	29,57	4,49
TOTAL	X	X	267,0	286,0	3,0	2,5	10,0	2600,0	469,7	384,4	85,3
PROMEDIO	X	X	20,54	22,00	0,23	0,19	0,77	200,00	36,13	29,57	6,56

Anexo 15. Determinación del Uso Consuntivo (Uc) del frejol método de balance de humedad del suelo, mm/día

Fases	MES	Entradas					Salidas					Uso consuntivo		
		Precipitación		Riego		TOTAL	Drenaje		± e		TOTAL			
		mm/día	m3/ha	mm/día	m3/ha	m3/ha	mm/día	m3/ha	mm/día	m3/ha	m3/ha	mm/día	mm/día	
Fenológicas	A G O S T O	1	14,50	145,00	5,13	51,33	196,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	151,46	
		2	10,20	102,00	5,13	51,33	153,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	108,46	
		3	2,10	21,00	5,13	102,67	123,67	8,83	88,27	4,49	44,87	133,14	0,53	0,05
		4	2,50	25,00	5,13	51,33	76,33	2,08	20,82	4,49	44,87	65,69	10,65	1,06
		5	0,00	0,00	10,27	102,67	102,67	1,10	11,01	8,97	89,74	100,75	1,92	0,19
		6	6,30	63,00	5,13	51,33	114,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	69,46	6,95
		7	6,00	60,00	5,13	51,33	111,33	1,83	18,28	4,49	44,87	63,15	48,18	4,82
		8	1,50	15,00	10,27	102,67	117,67	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	27,92	2,79
		9	0,00	0,00	10,27	102,67	102,67	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	12,92	1,29
		10	1,50	15,00	10,27	102,67	117,67	1,04	10,41	8,97	89,74	100,15	17,52	1,75
		11	1,80	18,00	10,27	102,67	120,67	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	30,92	3,09
		12	1,00	10,00	10,27	102,67	112,67	0,62	6,19	8,97	89,74	95,93	16,73	1,67
		13	2,50	25,00	5,13	51,33	76,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	31,46	3,15
		14	0,80	8,00	5,13	51,33	59,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	14,46	1,45
		15	0,90	9,00	5,13	51,33	60,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	15,46	1,55
		16	5,10	51,00	5,13	51,33	102,33	0,86	8,61	4,49	44,87	53,48	48,85	4,88
		17	0,00	0,00	10,27	102,67	102,67	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	12,92	1,29
		18	1,10	11,00	10,27	102,67	113,67	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	23,92	2,39
		19	2,50	25,00	10,27	102,67	127,67	1,01	10,13	8,97	89,74	99,87	27,79	2,78
		20	0,60	6,00	10,27	102,67	108,67	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	18,92	1,89
TOTAL	X	X	60,90	609,00	154,00	1591,33	2200,33	17,37	173,71	134,62	1346,15	1519,86	690,47	43,05
PROMEDIO	X	X	3,05	30,45	7,70	79,57	110,02	0,87	8,69	6,73	67,31	75,99	34,52	2,15
DESARROLLO	A G O S T O	21	0,00	0,00	10,27	102,67	102,67	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	12,92	1,29
		22	0,30	3,00	5,13	51,33	54,33	1,48	14,83	4,49	44,87	59,70	4,63	0,46
		23	1,10	11,00	5,13	51,33	62,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	17,46	1,75
		24	0,50	5,00	5,13	51,33	56,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	11,46	1,15
		25	1,20	12,00	5,13	51,33	63,33	1,03	10,27	4,49	44,87	55,14	8,19	0,82
		26	0,50	5,00	5,13	51,33	56,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	11,46	1,15
		27	1,50	15,00	5,13	51,33	66,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	21,46	2,15
		28	2,10	21,00	5,13	51,33	72,33	2,25	22,47	4,49	44,87	67,35	4,99	0,50
		29	0,00	0,00	5,13	51,33	51,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	6,46	0,65
		30	0,00	0,00	5,13	51,33	51,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	6,46	0,65
		31	0,00	0,00	5,13	51,33	51,33	0,98	9,81	4,49	44,87	54,68	6,65	0,67
	S E P T I E M B R E	1	0,00	0,00	5,13	51,33	51,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	151,46	15,15
		2	1,20	12,00	5,13	51,33	63,33	1,13	11,33	4,49	44,87	56,20	97,13	9,71
		3	1,10	11,00	5,13	51,33	62,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	27,46	2,75
		4	0,50	5,00	5,13	51,33	56,33	1,65	16,49	4,49	44,87	61,36	14,98	1,50
		5	0,60	6,00	5,13	102,67	108,67	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	57,79	5,78
		6	0,50	5,00	5,13	51,33	56,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	69,46	6,95
		7	0,00	0,00	5,13	51,33	51,33	1,23	12,34	4,49	44,87	57,21	54,12	5,41
		8	0,00	0,00	10,27	102,67	102,67	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	27,92	2,79
		9	0,00	0,00	10,27	102,67	102,67	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	12,92	1,29
		10	1,80	18,00	5,13	102,67	120,67	1,10	10,96	4,49	44,87	55,83	61,83	6,18
		11	2,50	25,00	5,13	102,67	127,67	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	75,79	7,58
		12	0,00	0,00	10,27	102,67	102,67	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	22,92	2,29
		13	0,00	0,00	10,27	102,67	102,67	1,40	13,95	8,97	89,74	103,70	23,97	2,40
		14	0,00	0,00	10,27	102,67	102,67	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	20,92	2,09
		15	1,00	10,00	10,27	102,67	111,67	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	21,92	2,19
		16	0,80	8,00	10,27	51,33	102,33	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	12,59	1,26
		17	2,50	25,00	5,13	102,67	102,67	1,11	11,10	4,49	44,87	55,97	46,70	4,67
		18	6,50	65,00	5,13	102,67	113,67	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	68,79	6,88
19	2,00	20,00	5,13	102,67	127,67	1,02	10,22	4,49	44,87	55,10	72,57	7,26		
20	0,00	0,00	10,27	102,67	108,67	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	18,92	1,89		
21	7,00	70,00	5,13	102,67	102,67	2,28	22,84	4,49	44,87	67,71	34,95	3,50		
22	1,80	18,00	5,13	51,33	54,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	9,46	0,95		
23	0,00	0,00	5,13	51,33	62,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	17,46	1,75		
24	0,00	0,00	5,13	51,33	66,33	1,83	18,28	4,49	44,87	63,15	3,18	0,32		
25	0,00	0,00	5,13	51,33	63,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	18,46	1,85		
26	1,00	10,00	5,13	51,33	56,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	11,46	1,15		
27	0,50	5,00	5,13	51,33	66,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	21,46	2,15		
28	2,50	25,00	5,13	51,33	72,33	0,79	7,93	4,49	44,87	52,80	19,53	1,95		
29	3,00	30,00	5,13	51,33	51,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	6,46	0,65		
TOTAL	X	X	44,00	440,00	251,53	2823,33	3161,33	19,28	192,83	219,87	2198,72	2391,55	1214,79	121,48
PROMEDIO	X	X	1,10	11,00	6,29	70,58	79,03	0,48	4,82	5,50	54,97	59,79	30,37	3,04

M E D I A D O S	SEPT	30	5,10	51,00	5,13	51,33	51,33	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	6,46	0,65	
	O C T U B R E	1	0,00	0,00	0,35	3,45	3,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,45	0,35
		2	0,00	0,00	0,35	3,45	3,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,45	0,35
		3	1,80	18,00	0,35	3,45	21,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,45	2,15
		4	0,60	6,00	5,33	53,31	59,31	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	14,44	1,44	
		5	7,40	74,00	0,35	3,45	77,45	0,48	4,79	0,00	0,00	4,79	72,66	7,27	
		6	7,90	79,00	0,35	3,45	82,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	82,45	8,25	
		7	4,20	42,00	0,35	3,45	45,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45,45	4,55	
		8	0,80	8,00	0,35	3,45	11,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,45	1,15	
		9	2,20	22,00	0,35	3,45	25,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,45	2,55	
		10	0,20	2,00	0,35	3,45	5,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,45	0,55	
		11	0,00	0,00	0,35	3,45	3,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,45	0,35	
		12	2,90	29,00	0,35	3,45	32,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,45	3,25	
		13	18,90	189,00	0,35	3,45	192,45	6,17	61,66	0,00	0,00	61,66	130,79	13,08	
		14	31,30	313,00	0,35	3,45	316,45	11,49	114,90	0,00	0,00	114,90	201,55	20,16	
		15	3,80	102,00	5,33	102,67	204,67	15,93	159,34	4,49	44,87	204,21	0,46	0,05	
		16	22,70	227,00	5,33	53,31	280,31	0,72	7,18	4,49	44,87	52,06	228,25	22,83	
		17	1,50	15,00	0,35	3,45	18,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,45	1,85	
		18	4,70	47,00	5,33	102,67	149,67	9,27	92,70	4,49	44,87	137,57	12,09	1,21	
		19	1,40	14,00	5,33	53,31	67,31	0,14	1,38	4,49	44,87	46,25	21,05	2,11	
		20	0,00	0,00	0,35	3,45	3,45	0,08	0,78	0,00	0,00	0,78	2,67	0,27	
		21	11,70	117,00	5,33	53,31	170,31	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	125,44	12,54	
		22	12,00	120,00	5,33	53,31	173,31	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	128,44	12,84	
		23	0,50	47,00	5,33	102,67	149,67	10,03	100,30	4,49	44,87	145,17	4,49	0,45	
		24	0,00	0,00	0,35	3,45	3,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,45	0,35	
		25	0,00	0,00	5,33	53,31	53,31	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	8,44	0,84	
		26	0,10	1,00	5,33	53,31	54,31	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	9,44	0,94	
		27	0,00	0,00	10,32	103,17	103,17	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	13,42	1,34	
		28	0,00	0,00	15,30	153,02	153,02	0,00	0,00	13,46	134,62	134,62	18,41	1,84	
		29	2,50	25,00	10,32	103,17	128,17	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	38,42	3,84	
		30	8,90	89,00	5,33	102,67	191,67	10,65	106,52	4,49	44,87	151,39	40,28	4,03	
		31	0,00	0,00	10,32	103,17	103,17	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	13,42	1,34	
TOTAL	X	X	153,10	1637,00	115,54	1352,88	2938,88	64,96	649,56	94,23	942,31	1591,87	1347,01	134,70	
PROMEDIO	X	X	4,78	51,16	3,61	42,28	91,84	2,03	20,30	2,94	29,45	49,75	42,09	4,21	
F I N A L	N O V I E M B R E	1	0,00	189,00	4,79	102,67	291,67	18,79	187,89	8,97	89,74	277,63	14,03	1,40	
		2	0,00	0,00	4,79	102,67	102,67	0,78	7,83	4,49	44,87	52,70	49,97	5,00	
		3	1,80	18,00	4,79	102,67	120,67	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	30,92	3,09	
		4	0,60	6,00	4,79	102,67	108,67	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	18,92	1,89	
		5	7,40	74,00	4,79	47,88	121,88	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	77,01	7,70	
		6	7,90	131,00	4,79	102,67	233,67	18,79	187,89	4,49	44,87	232,76	0,90	0,09	
		7	4,20	42,00	4,79	47,88	89,88	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	0,14	0,01	
		8	0,80	8,00	9,92	99,22	107,22	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	62,35	6,23	
		9	2,20	22,00	9,92	99,22	121,22	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	76,35	7,63	
		10	0,20	2,00	4,79	102,67	104,67	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	14,92	1,49	
		11	0,00	0,00	4,79	102,67	102,67	0,00	0,00	8,97	89,74	89,74	12,92	1,29	
		12	2,90	145,00	9,92	99,22	244,22	18,79	187,89	4,49	44,87	232,76	11,45	1,15	
		13	18,90	189,00	9,92	99,22	288,22	0,00	0,00	4,49	44,87	44,87	243,35	24,33	
TOTAL	X	X	46,90	826,00	82,78	1211,30	2037,30	57,15	571,50	85,26	852,56	1424,07	613,24	61,32	
PROMEDIO	X	X	3,61	63,54	6,37	93,18	156,72	4,40	43,96	6,56	65,58	109,54	47,17	4,72	

Anexo 16. Obtención de la ETo del ciclo vegetativo del frejol, mm/día mediante el método de Penman Monteith

Fases	MES	Tmin	T max	HR	Vv	Rad	Insolación	ETo	
Fenologicas		°C	°C	%	km/día	MJ/m2/día	horas	mm/día	
I N I C I O	A G O S T O	1	12,00	15,80	83,00	190,00	1,20	10,10	1,99
		2	13,40	16,00	78,00	328,00	2,40	11,80	2,48
		3	14,00	16,60	85,00	138,00	0,10	8,50	1,81
		4	15,00	17,80	70,00	225,00	4,00	14,10	3,02
		5	15,00	16,00	73,00	207,00	0,50	9,20	2,31
		6	14,00	15,00	80,00	173,00	1,00	9,90	2,06
		7	12,40	20,00	67,00	207,00	7,80	19,70	3,72
		8	6,20	22,40	70,00	121,00	7,80	19,70	3,53
		9	10,00	21,70	74,00	190,00	7,80	19,70	3,61
		10	13,40	18,60	81,00	121,00	2,10	11,60	2,30
		11	13,20	19,20	76,00	173,00	5,80	17,00	3,11
		12	11,20	20,40	77,00	190,00	6,80	18,40	3,31
		13	13,00	20,00	81,00	156,00	7,00	18,80	3,24
		14	13,60	19,40	76,00	276,00	1,00	10,10	2,56
		15	13,40	17,20	76,00	415,00	5,60	16,80	3,19
		16	14,00	19,80	74,00	242,00	2,60	12,50	2,86
		17	13,00	16,40	77,00	242,00	8,10	20,60	3,34
		18	12,40	15,60	80,00	173,00	0,40	9,30	2,01
		19	10,20	16,80	75,00	190,00	3,50	13,90	2,64
		20	13,20	14,40	83,00	242,00	0,00	8,80	1,89
TOTAL	X	X	252,60	359,10	1536,00	4199,00	75,50	280,50	54,98
PROMEDIO	X	X	12,63	17,96	76,80	209,95	3,78	14,03	2,75
D E S A R R O L L O	A G O S T O	21	13,60	16,00	77,00	380,00	3,30	13,70	2,78
		22	13,00	21,40	62,00	242,00	10,30	24,10	4,60
		23	12,00	17,60	72,00	190,00	5,50	17,00	3,14
		24	11,60	20,20	76,00	104,00	5,40	16,90	3,07
		25	13,80	19,20	78,00	207,00	4,50	15,60	2,99
		26	12,20	19,00	72,00	294,00	2,70	12,90	3,00
		27	14,00	17,60	70,00	432,00	5,00	16,40	3,56
		28	14,20	16,00	74,00	346,00	4,30	15,40	3,08
		29	13,60	17,40	64,00	708,00	9,10	22,60	4,66
		30	13,00	18,80	56,00	484,00	10,50	24,80	5,18
		31	13,00	18,80	60,00	225,00	6,90	19,40	3,94
	S E P T I E M B R E	1	14,60	18,00	77,00	156,00	5,40	17,20	3,13
		2	8,80	21,80	64,00	173,00	10,10	24,30	4,36
		3	9,80	22,60	62,00	138,00	8,60	22,10	4,14
		4	11,40	20,80	69,00	242,00	5,10	16,80	3,56
		5	14,80	17,60	72,00	346,00	2,00	12,10	3,00
		6	15,20	18,40	67,00	242,00	8,70	22,40	4,15
		7	15,00	16,00	74,00	190,00	3,00	13,70	2,78
		8	13,20	17,00	75,00	173,00	2,30	12,60	2,61
		9	13,40	18,20	72,00	276,00	3,10	13,90	3,07
		10	14,80	15,40	76,00	104,00	7,90	21,30	3,50
		11	14,00	19,80	65,00	276,00	3,50	14,60	3,55
		12	9,60	22,60	64,00	242,00	9,40	23,70	4,60
		13	11,20	24,40	61,00	138,00	8,70	22,60	4,44
		14	14,60	21,20	73,00	173,00	4,00	15,40	3,25
		15	15,00	15,80	83,00	190,00	2,00	12,30	2,38
		16	14,00	17,40	75,00	311,00	1,30	11,30	2,71
		17	10,20	21,20	61,00	242,00	8,60	22,60	4,46
		18	16,20	17,60	65,00	276,00	5,50	17,80	3,83
19	13,00	14,00	83,00	311,00	0,20	9,60	2,02		
20	14,60	18,20	59,00	346,00	5,80	18,30	4,26		
21	11,40	22,20	57,00	207,00	10,10	25,00	4,87		
22	16,00	20,20	55,00	294,00	8,90	23,20	5,02		
23	16,20	16,80	79,00	346,00	2,50	13,20	2,81		
24	15,80	17,20	66,00	449,00	2,20	12,80	3,59		
25	14,80	18,40	76,00	311,00	2,60	13,40	2,97		
26	14,60	20,20	69,00	467,00	7,00	20,30	4,33		
27	13,60	22,00	62,00	346,00	9,30	23,90	5,01		
28	13,60	18,40	79,00	311,00	1,90	12,40	2,70		
29	12,00	19,80	77,00	311,00	1,80	12,20	2,85		
TOTAL	X	X	535,40	755,20	2778,00	11199,00	219,00	699,80	143,95
PROMEDIO	X	X	13,39	18,88	69,45	279,98	5,48	17,50	3,60

M E D I A D O S	SEPT	30	12,40	22,40	67,00	346,00	6,70	19,90	4,39
	O C T U B R E	1	12,60	24,20	64,00	156,00	9,50	24,30	4,71
		2	12,80	22,20	63,00	207,00	8,90	23,40	4,59
		3	14,60	21,80	71,00	225,00	4,10	15,90	3,54
		4	14,00	15,80	83,00	190,00	0,60	10,40	2,14
		5	14,40	19,20	75,00	190,00	3,50	14,90	3,07
		6	14,60	15,00	82,00	173,00	0,70	10,60	2,17
		7	14,00	18,60	69,00	242,00	5,00	17,30	3,56
		8	14,40	16,60	79,00	207,00	3,90	15,60	2,90
		9	15,20	17,40	73,00	156,00	4,00	15,80	3,10
		10	13,40	20,20	71,00	86,00	4,30	16,20	3,14
		11	10,00	22,40	74,00	173,00	7,40	21,10	3,94
		12	13,00	21,00	86,00	104,00	1,80	12,30	2,47
		13	13,40	19,60	88,00	69,00	1,10	11,20	2,23
		14	13,60	20,80	80,00	138,00	2,60	13,60	2,78
		15	12,60	20,80	83,00	138,00	3,00	14,20	2,78
		16	12,60	21,20	74,00	276,00	6,60	19,80	3,87
		17	12,20	22,20	75,00	190,00	4,10	15,90	3,34
		18	13,60	21,20	70,00	190,00	6,10	19,10	3,81
		19	15,00	20,00	77,00	121,00	5,90	18,70	3,48
		20	14,00	19,80	74,00	69,00	8,30	22,50	3,91
		21	14,60	22,20	75,00	138,00	4,50	16,50	3,37
		22	14,20	23,00	76,00	86,00	4,80	17,00	3,36
		23	13,00	22,00	70,00	173,00	7,90	21,90	4,16
		24	15,00	21,80	67,00	207,00	7,30	20,90	4,24
		25	15,40	19,80	70,00	173,00	4,70	16,80	3,47
		26	15,20	18,80	69,00	121,00	6,70	20,00	3,70
		27	12,80	21,40	73,00	86,00	4,70	16,80	3,25
		28	15,60	22,80	65,00	207,00	3,50	14,90	3,68
		29	12,60	24,00	74,00	225,00	7,60	21,30	4,24
		30	13,80	20,80	72,00	104,00	2,30	13,10	2,81
		31	14,60	19,40	73,00	242,00	3,00	14,20	3,14
TOTAL	X	X	439,20	658,40	2362,00	5408,00	155,10	546,10	109,34
PROMEDIO	X	X	13,73	20,58	73,81	169,00	4,85	17,07	3,42
F I N A L	N O V I E M B R E	1	13,80	21,00	62,00	190,00	9,10	23,70	4,54
		2	13,20	19,60	71,00	173,00	6,10	19,00	3,61
		3	8,40	23,20	64,00	86,00	6,30	19,30	3,68
		4	10,60	23,80	59,00	294,00	9,60	24,40	5,20
		5	8,60	24,60	64,00	207,00	9,10	23,60	4,75
		6	11,20	23,40	67,00	190,00	7,30	20,80	4,22
		7	10,60	21,80	69,00	242,00	6,60	19,70	3,99
		8	11,20	23,40	65,00	207,00	6,40	19,40	4,15
		9	12,00	22,20	77,00	104,00	5,70	18,30	3,44
		10	9,80	25,00	71,00	104,00	9,10	23,50	4,37
		11	13,20	21,80	68,00	173,00	7,70	21,30	4,12
		12	16,40	21,40	67,00	363,00	7,80	21,50	4,61
		13	15,80	22,20	70,00	207,00	1,70	12,00	3,12
TOTAL	X	X	154,80	293,40	874,00	2540,00	92,50	266,50	53,80
PROMEDIO	X	X	11,91	22,57	67,23	195,38	7,12	20,50	4,14

Anexo 17. Características agronómicas del cultivo

Etapas de desarrollo del cultivo de frejol.

Fase	Etapas	Código	DDS
Vegetativa	Germinación	V0	9 días
	Emergencia	V1	14 días
	Hojas primarias	V2	15 días
	Primera hoja trifoliada	V3	25 días
	Tercera hoja trifoliada	V4	30 días
Reproductiva	Prefloración	R5	45-60 días
	Floración	R6	61-76 días
	Formación de vainas	R7	76-90 días
	Llenado de vainas	R8	76-100 días
	Maduración	R9	62-105 días

DDS: Días después de la siembra

Datos agronómicos registrados del cultivo de frejol.

Numero de semanas	Altura	Fecha	Numero de hojas
	cm		
1	0	29/07/2013 - 04/08/2013	0
2	4	05/08/2013 - 11/08/2013	2
3	7	12/08/2013 - 18/08/2013	2
4	15	19/08/2013 - 25/08/2013	3
5	19	26/08/2013 - 01/09/2013	5
6	24	02/09/2013 - 08/09/2013	8
7	29	09/09/2013 - 15/09/2013	8
8	33	16/08/2013 - 22/09/2013	14
9	48	23/09/2013 - 29/09/2013	14
10	61	30/09/2013 - 06/10/2013	20
11	78	07/10/2013 - 13/10/2013	20
12	81	14/10/2013 - 20/10/2013	26
13	85	21/10/2013 - 27/10/2013	26
14	86	28/10/2013 - 03/11/2013	32
15	90	04/11/2013 - 10/11/2013	32
16	91	11/11/2013 - 17/11/2013	35

Datos agronómicos al momento de la cosecha del cultivo de frejol.

Recipientes	vaina sin granos	Granos sin vaina	Numero de granos	peso planta sin vaina en seco	peso de planta en verde	peso de vaina con grano por planta	Tamaño de la vaina		Botones florales	
	por planta	por planta	por planta				planta		plantas	
	gramos	gramos	numero	gramos	gramos	gramos	cm		Inicio	Final
1	65,50	26,70	25	31,50	143,90	93,10	6	13	21	10
2	53,60	33,70	55	23,90	124,50	89,80	8	12	23	9
3	32,60	5,40	4	31,60	148,70	39,90	8	12	6	6
4	55,00	19,90	27	21,60	114,30	76,00	8	13	15	8
5	48,50	53,30	56	14,50	75,40	105,20	8	14	15	5
6	43,80	38,30	65	20,30	142,40	83,40	9	14	19	15
7	38,10	42,50	44	12,20	57,10	82,00	7	14	13	7
8	53,20	64,50	65	17,60	83,30	118,60	12	14	15	4
9	29,70	30,90	30	14,30	74,40	61,20	12	14	7	3
10	21,00	34,10	38	10,20	35,00	55,70	10	15	10	5
11	24,80	29,90	28	20,60	104,70	55,30	8	12	8	7
12	64,40	52,50	61	12,20	54,80	117,90	11	16	15	5
13	19,70	32,40	34	16,70	80,40	52,60	11	15	11	7
14	20,80	26,10	37	9,60	25,80	47,50	13	15	9	2
15	24,50	31,10	40	7,50	17,70	56,10	10	13	10	1
16	24,90	40,50	68	14,60	73,10	66,10	10	12	16	8
17	38,00	36,00	43	16,40	90,90	74,60	10	14	12	3
18	33,60	28,00	30	7,70	35,80	62,30	12	15	9	7
19	22,70	35,40	46	9,50	29,00	58,70	11	13	13	5
20	24,80	36,10	49	10,80	39,20	61,60	11	15	15	7
21	37,30	31,70	37	12,80	46,10	67,00	10	13	10	2
22	31,80	39,70	49	14,40	39,30	72,00	11	14	11	5
23	43,50	60,30	108	17,80	65,20	104,30	10	11	21	4
24	32,40	45,00	58	14,20	28,50	78,00	13	15	13	2
Total	884,20	874,00	1097	382,50	1729,50	1778,90	239	328	317	137
Promedio	36,84	36,42	45,71	15,94	72,06	74,12	9,96	13,67	13,21	5,71

Anexo18. Precipitación efectiva para cada mes, mm/día

MES		Pd	a	Pe
		mm/día		mm/día
A G O S T O	1	14,50	0,70	10,15
	2	10,20	0,70	7,14
	3	2,10	0,70	1,47
	4	2,50	0,70	1,75
	5	0,00	0,70	0,00
	6	6,30	0,70	4,41
	7	6,00	0,70	4,20
	8	1,50	0,70	1,05
	9	0,00	0,70	0,00
	10	1,50	0,70	1,05
	11	1,80	0,70	1,26
	12	1,00	0,70	0,70
	13	2,50	0,70	1,75
	14	0,80	0,70	0,56
	15	0,90	0,70	0,63
	16	5,10	0,70	3,57
	17	0,00	0,70	0,00
	18	1,10	0,70	0,77
	19	2,50	0,70	1,75
	20	0,60	0,70	0,42
	21	0,00	0,70	0,00
	22	0,30	0,70	0,21
	23	1,10	0,70	0,77
	24	0,50	0,70	0,35
	25	1,20	0,70	0,84
	26	0,50	0,70	0,35
	27	1,50	0,70	1,05
	28	2,10	0,70	1,47
	29	0,00	0,70	0,00
	30	0,00	0,70	0,00
	31	0,00	0,70	0,00
TOTAL		68,1	21,7	47,7
PROMEDIO		2,20	0,70	1,54

MES		Pd	a	Pe
		mm/día		mm/día
S E P T I E M B R E	1	0,00	0,70	0,00
	2	1,20	0,70	0,84
	3	1,10	0,70	0,77
	4	0,50	0,70	0,35
	5	0,60	0,70	0,42
	6	0,50	0,70	0,35
	7	0,00	0,70	0,00
	8	0,00	0,70	0,00
	9	0,00	0,70	0,00
	10	1,80	0,70	1,26
	11	2,50	0,70	1,75
	12	0,00	0,70	0,00
	13	0,00	0,70	0,00
	14	0,00	0,70	0,00
	15	1,00	0,70	0,70
	16	0,80	0,70	0,56
	17	2,50	0,70	1,75
	18	6,50	0,70	4,55
	19	2,00	0,70	1,40
	20	0,00	0,70	0,00
	21	7,00	0,70	4,90
	22	1,80	0,70	1,26
	23	0,00	0,70	0,00
	24	0,00	0,70	0,00
	25	0,00	0,70	0,00
	26	1,00	0,70	0,70
	27	0,50	0,70	0,35
	28	2,50	0,70	1,75
	29	3,00	0,70	2,10
	30	5,10	0,70	3,57
TOTAL		41,9	21,0	29,3
PROMEDIO		1,40	0,70	0,98

MES		Pd	a	Pe
		mm/día		mm/día
O C T U B R E	1	0,00	0,70	0,00
	2	0,00	0,70	0,00
	3	1,80	0,70	1,26
	4	0,60	0,70	0,42
	5	7,40	0,70	5,18
	6	7,90	0,70	5,53
	7	4,20	0,70	2,94
	8	0,80	0,70	0,56
	9	2,20	0,70	1,54
	10	0,20	0,70	0,14
	11	0,00	0,70	0,00
	12	2,90	0,70	2,03
	13	18,90	0,70	13,23
	14	31,30	0,70	21,91
	15	3,80	0,70	2,66
	16	22,70	0,70	15,89
	17	1,50	0,70	1,05
	18	4,70	0,70	3,29
	19	1,40	0,70	0,98
	20	0,00	0,70	0,00
	21	11,70	0,70	8,19
	22	12,00	0,70	8,40
	23	0,50	0,70	0,35
	24	0,00	0,70	0,00
	25	0,00	0,70	0,00
	26	0,10	0,70	0,07
	27	0,00	0,70	0,00
	28	0,00	0,70	0,00
	29	2,50	0,70	1,75
	30	8,90	0,70	6,23
	31	0,00	0,70	0,00
TOTAL		148,0	21,7	103,60
PROMEDIO		4,77	0,70	3,3

MES		Pd	a	Pe
		mm/día		mm/día
N O V I E M B R E	1	0,00	0,70	0,00
	2	0,00	0,70	0,00
	3	1,80	0,70	1,26
	4	0,60	0,70	0,42
	5	7,40	0,70	5,18
	6	7,90	0,70	5,53
	7	4,20	0,70	2,94
	8	0,80	0,70	0,56
	9	2,20	0,70	1,54
	10	0,20	0,70	0,14
	11	0,00	0,70	0,00
	12	2,90	0,70	2,03
	13	18,90	0,70	13,23
TOTAL		46,90	9,10	32,83
PROMEDIO		3,61	0,70	2,53