

**DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA CURVA DEL COEFICIENTE DE
CULTIVO (K_c) DEL AJÍ TABASCO (*CAPSICUM ANNUUM*) EN LA VEREDA
GUACAS, MUNICIPIO DE GUACARÍ (VALLE)**

JUAN FERNANDO HERRERA GUARDIOLA

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
SANTIAGO DE CALI**

2015

**DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA CURVA DEL COEFICIENTE DE
CULTIVO (K_c) DEL AJÍ TABASCO (*CAPSICUM ANNUUM*) EN LA VEREDA
GUACAS, MUNICIPIO DE GUACARÍ (VALLE)**

PROYECTO DE GRADO

JUAN FERNANDO HERRERA GUARDIOLA

Director

NORBERTO URRUTIA COBO Esp., M.Sc, Ph D.

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
SANTIAGO DE CALI**

2015

NOTA DE ACEPTACIÓN.

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Santiago de Cali, Mayo de 2015

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico especialmente a mis padres que estuvieron junto a mí en todo momento brindándome su apoyo para hacer realidad este logro tan esperado.

A mis abuelos Ana Sara, Oscar y Jaime que no me acompañan en vida pero que seguramente lo estarán haciendo muy orgullosos desde otro lugar.

A mi familia, mi abuela Dorlly y seres queridos que me acompañaron durante este proceso y siempre estuvieron a mi lado incluso en los momentos más difíciles para seguir adelante en este trabajo.

A Márcia por toda tu paciencia, colaboración y por estar siempre pendiente de mí dándome alegría y apoyo cuando más lo necesitaba.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad del Valle por darme la oportunidad de formarme como profesional en manos de los mejores profesores.

Al grupo de investigación REGAR por permitirme ser parte de este proyecto, por el acompañamiento y apoyo durante estos meses.

Al profesor Norberto Urrutia Cobo y Andrés Echeverri por la ayuda y asesoría en el desarrollo de este proyecto.

Finalmente a la familia Montenegro y a la asociación Asoguaqueños por la colaboración prestada durante el trabajo de campo y a Alejandro Montenegro por ayudarme en la toma de datos en los lisímetros.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	2
2	OBJETIVOS	5
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	5
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1	GENERALIDADES DEL CULTIVO.....	6
3.2	CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS.....	9
3.3	DEMANDA HÍDRICA	12
3.4	BALANCE HÍDRICO	12
3.5	EVAPOTRANSPIRACIÓN (ET).....	14
3.5.1	Evapotranspiración del Cultivo de referencia (ET_0).....	15
3.5.2	Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c)	16
3.5.3	Coeficiente de Cultivo (K_c)	17
3.5.4	Elaboración de la Curva de K_c	19
3.6	LISÍMETRO	20
4	MATERIALES Y MÉTODOS	22
4.1	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y LOCALIZACIÓN.....	22
4.2	PARCELA EXPERIMENTAL.....	23
4.2.1	Labores de campo.....	24
4.2.1.1	Estudios previos	24
4.2.1.2	Preparación del terreno	25
4.2.1.3	Instalación sistema de riego	26
4.2.1.4	Siembra y trasplante.....	27
4.2.1.5	Fertilización, control de malezas, plagas y enfermedades	28
4.2.1.6	Cosecha	29
4.3	DISEÑO EXPERIMENTAL	31
4.4	EQUIPOS Y DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO	31
4.4.1	Lisímetros.....	31

4.4.1.1	Diseño y Construcción.....	31
4.4.1.2	Instalación.....	34
4.4.1.3	Monitoreo.....	36
4.4.2	Tensiómetros.....	36
4.4.2.1	Curva de retención de humedad.....	37
4.4.2.2	Capacidad de campo.....	38
4.4.3	Estación climática portátil:.....	40
4.5	PROGRAMACIÓN DE RIEGO Y REGISTRO DE DATOS	42
4.5.1	Riego de lisímetros.....	42
4.5.2	Climatología y evapotranspiración (ET _o).....	44
4.6	BALANCE HÍDRICO Y EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ETC)	45
4.7	NECESIDAD DE RIEGO NETA Y TOTAL.....	46
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
5.1	CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD.....	47
5.2	CAPACIDAD DE CAMPO.....	49
5.3	VARIACIÓN VOLUMEN A REGAR.....	51
5.4	CLIMATOLOGÍA Y EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET _o)	54
5.5	EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO ETC, VOLUMEN DE RIEGO APLICADO Y ÁREA EQUIVALENTE	55
5.6	COEFICIENTE DE CULTIVO K _c	59
5.7	CURVA DE COEFICIENTE DE CULTIVO	62
5.8	NECESIDAD DE RIEGO NETA Y TOTAL.....	64
6	CONCLUSIONES.....	66
7	RECOMENDACIONES.....	67
8	BIBLIOGRAFÍA	68
	ANEXOS	70

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Área, producción y rendimiento nacional de ají 2011.....	8
Tabla 2. Textura muestras de suelo de lisímetros.....	47
Tabla 3. Peso de suelo húmedo de las muestras (PSH).	49
Tabla 4. Peso de las muestras de suelo saturadas (PSSat).	49
Tabla 5. Peso de muestras de suelo drenadas (PSD).	50
Tabla 6. Peso de suelo seco (PSS) de las muestras.	50
Tabla 7. Contenido de humedad a capacidad de campo (%).	50
Tabla 8. Desarrollo radicular del cultivo de ají de acuerdo a las fases fenológicas del cultivo.	51
Tabla 9. Cambios de área de influencia y volumen de suelo a regar durante las fases fenológicas del cultivo en el lisímetro #1.	52
Tabla 10. Cambios de área de influencia y volumen de suelo a regar durante las fases fenológicas del cultivo en el lisímetro #2.	53
Tabla 11. . Cambios de área de influencia y volumen de suelo a regar durante las fases fenológicas del cultivo en el lisímetro #3.	53
Tabla 12. Promedio de las variables climatológicas durante los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero.	55
Tabla 13. Coeficiente de cultivo (Kc) obtenidos para la región del Valle del Cauca y los reportados en el Manual Riego y Drenaje #56 de la FAO (Allen et al., 1998).	64
Tabla 14. Contenido de humedad relacionada a la tensión en el lisímetro #1	70
Tabla 15. Contenido de humedad relacionada a la tensión en el lisímetro #2	72
Tabla 16. Contenido de humedad relacionada a la tensión en el lisímetro #3	73
Tabla 17. Tabla de registro de datos del lisímetro #1.....	74
Tabla 18. Tabla de registro de datos del lisímetro #2.....	76
Tabla 19. Tabla de registro de datos del lisímetro #3.....	78
Tabla 20. Tabla indicación de riego.	80
Tabla 21. Climatología y ETo del mes de noviembre de 2014.	82
Tabla 22. Climatología y ETo del mes de diciembre de 2014	83
Tabla 23. Climatología y ETo del mes de enero de 2015.....	84

Tabla 24. Climatología y ETo del mes de febrero de 2015.....	85
Tabla 25. Volumen de agua de riego aplicado, área equivalente y evapotranspiración ETc del lisímetro #1	86
Tabla 26. Volumen de agua de riego aplicado, área equivalente y evapotranspiración ETc del lisímetro #2	89
Tabla 27. Volumen de agua de riego aplicado, área equivalente y evapotranspiración ETc del lisímetro #3	92
Tabla 28. Evapotranspiración del cultivo (ETc) diaria del lisímetro #1.	95
Tabla 29. Evapotranspiración del cultivo (ETc) diaria del lisímetro #2.	97
Tabla 30. Evapotranspiración del cultivo (ETc) diaria del lisímetro #3.	99
Tabla 31. Evapotranspiración de referencia ETo para cada 5 días.....	101
Tabla 32. Coeficiente de cultivo Kc del lisímetro 1	103
Tabla 33. Coeficiente de cultivo Kc del lisímetro 2.	105
Tabla 34. . Coeficiente de cultivo Kc del lisímetro 3.	107
Tabla 35. Precipitación (P) y precipitación efectiva (Pe) diaria y para cada 5 días	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Participación departamental de ají periodo 2007-2011.....	7
Figura 2. Producción de Ají tabasco en Colombia, 2007-2010.....	9
Figura 3. Distancia de siembra en el cultivo de ají tabasco.....	10
Figura 4. Fases vegetativas del cultivo de ají.	11
Figura 5. Componentes del balance hídrico.	13
Figura 6. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0) y bajo condiciones estándar (ET_C).....	17
Figura 7. Curva del coeficiente de cultivo (K_C).	18
Figura 8. Curva del coeficiente de cultivo.....	20
Figura 9. Localización geográfica de la vereda Guacas en el municipio Guacarí (Valle del Cauca).....	23
Figura 10. Levantamiento topográfico de la parcela experimental realizado por el grupo de investigación I lama.....	24
Figura 11. Lote en preparación con pases de rastra.....	25
Figura 12. Bomba eléctrica de 2 Hp y sistema de bombeo instalado en el predio.	26
Figura 13. Módulos de riego y cintas de riego de alta frecuencia sobre los surcos.	27
Figura 14. Bandeja con plántulas de ají Tabasco.	27
Figura 15. Trasplante de plántulas sobre los surcos cubiertos del plástico.	28
Figura 16. Fertilización, fumigación y control de plagas en el cultivo.	29
Figura 17. Medición del peso de las canastas de cosecha del ají.	30
Figura 18. Estados de maduración del ají.....	30
Figura 19. Esquema general del lisímetro.	32
Figura 20. Construcción de los lisímetros en el laboratorio LASA.....	33
Figura 21. Medidas del lisímetro y la “caja metálica”.	33
Figura 22. Ubicación Lisímetros en el predio.	34
Figura 23. Techo y su estructura de los lisímetros instalados en el predio.	35
Figura 24. (A): Capa de grava en la capa inferior de los lisímetros. (B): Relleno de suelo en los lisímetros.....	35

Figura 25. Tensiómetro Irrometer® de 15 cm instalado sobre el lisímetro con medición hasta 100 KPa.	36
Figura 26. Lisímetro con 2 tensiómetros instalados junto a la planta de ají.....	37
Figura 27. Software RETC versión 6.02 para determinación de curvas de retención de humedad del suelo.	38
Figura 28. (A) Mesa de tensión en modo de saturación a las muestras. (B) Muestras de suelo saturadas en la mesa de tensión.	39
Figura 29. Muestras de suelo drenadas en la mesa de tensión.	39
Figura 30. Muestra de suelo seca en la balanza.....	40
Figura 31. Estación climática portátil instalada dentro de uno de los lotes y Consola receptora de datos de la estación climática.....	41
Figura 32. Recipientes utilizados en la aplicación del riego en los lisímetros.	42
Figura 33. Curva de retención de humedad lisímetro #1.....	47
Figura 34. Curva de retención de humedad lisímetro #2.....	48
Figura 35. Curva de retención de humedad lisímetro #3.....	48
Figura 36. Desarrollo efectivo radicular del ají tabasco.	52
Figura 37. Evapotranspiración de referencia (ET _o).	54
Figura 38. Evapotranspiración de referencia (ET _o) y de cultivo (ET _c) en los 3 lisímetros y su promedio.	57
Figura 39. Evapotranspiración de referencia ET _o y de cultivo ET _c acumulado.	58
Figura 40. Coeficiente de cultivo del lisímetro 1.	60
Figura 41. Coeficiente de cultivo del lisímetro 3.	61
Figura 42. Coeficiente de cultivo promedio	61
Figura 43. Curva coeficiente de cultivo (K _c) resultante del promedio entre los datos obtenidos de los 2 lisímetros.	63
Figura 44. Evapotranspiración de cultivo (ET _c) y Precipitación efectiva (P _e)	65

RESUMEN

El presente trabajo hizo parte del proyecto "*Desarrollo de un sistema agroindustrial rural competitivo en una bioregión del Valle del Cauca*" financiado con recursos del Sistema General de Regalías (SGR). Debido a la importancia que está tomando a nivel nacional el cultivo de ají tabasco considerándose como uno de los cultivos promisorios, se estudiaron parámetros básicos como la evapotranspiración del cultivo (ETc) y el coeficiente de cultivo (Kc) para optimizar la aplicación de riego satisfaciendo las necesidades hídricas del cultivo y lograr un incremento en el rendimiento y hacer uso adecuado y eficiente del agua.

El estudio se realizó en la vereda de Guacas en el municipio de Guacarí en predios de la asociación Asoguaqueños durante los meses de septiembre de 2014 a febrero de 2015. Se instalaron tres (3) lisímetros de drenaje sobre el lote de 0,7 ha, conteniendo cada uno una planta donde se evaluó la ETc obteniendo un valor acumulado total durante el ciclo de 134 días después del trasplante (DDT) de 601,81 mm. La evapotranspiración de referencia (ETo) fue estimada por el método de Penman-Monteith (FAO) con ayuda del software Cropwat obteniendo un valor acumulado de 458,57 mm para un registro total de 105 días. De esta forma, el Kc es dado por la relación: $Kc = ETc/ETo$ en cada una de sus fases vegetativas. Los valores resultantes de Kc presentaron un comportamiento creciente durante todo el periodo vegetativo y un decrecimiento durante la maduración y cosecha. Estos valores para las fases II, III y IV fueron 0,70 (30 a 44 DDT), 1,51 (45 a 100 DDT) y 1,30 (100 a 134 DDT) respectivamente. Así mismo se determinó experimentalmente la curva de Kc del ají tabasco (*Capsicum annuum*) obteniendo valores de 0,70, 1,51 y 1,30 para Kc_{inicial}, Kc_{medio} y Kc_{final} respectivamente. Finalmente la necesidad de riego neta (NRn) del cultivo durante el ciclo de 105 días fue de 380,52 mm y la necesidad de riego total (NRt) de 447,67 mm.

Palabras claves: *Coeficiente de cultivo, Ají Tabasco, Evapotranspiración, Lisimetría.*

1 INTRODUCCIÓN

El éxito de la agricultura irrigada se da a través del estudio de diversas variables antes de dar inicio a un proyecto de riego. Entre otras variables se destacan el buen dimensionamiento del sistema agua-suelo-planta y el manejo del riego, y para ello es fundamental conocer parámetros básicos como la evapotranspiración de referencia (ETo), la evapotranspiración del cultivo (ETc) y el coeficiente del cultivo (Kc).

En una superficie vegetada ocurren simultáneamente los procesos evaporación y transpiración (evapotranspiración ET), donde el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y otra parte por transpiración del cultivo. Por tal motivo es un parámetro importante en la determinación de las necesidades hídricas del cultivo.

Según Allen *et al.* (2006), relacionar la ET a una superficie específica permite contar con una referencia a la cual se puede relacionar la evapotranspiración de otras superficies y además se elimina la necesidad de definir un nivel de evapotranspiración para cada cultivo y periodo de crecimiento. Por esta razón surge la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) que es la ET de un cultivo con una superficie de referencia que se encuentra a unas condiciones específicas determinadas.

La evapotranspiración del cultivo (ETc) se refiere a la ET que presenta un cultivo en condiciones óptimas de contenido de humedad y manejo de suelo aportando la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas.

Estos parámetros básicos dependen de datos meteorológicos, factores de cultivo y de suelo que pueden ser medidos directamente por lisímetros o indirectamente con ecuaciones combinadas.

Los lisímetros son tanques o cajas que contienen un volumen de suelo y están aisladas de la zona radicular del cultivo y permiten medir, de forma directa, términos del balance hídrico, entre ellos la evapotranspiración del cultivo. Para ello es necesario que la vegetación dentro y fuera del lisímetro sea igual y presente las mismas condiciones de altura e índice de área foliar.

Entre las ecuaciones que son utilizadas, la FAO recomienda la ecuación de Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración del cultivo E_{Tc} que es obtenida diariamente en unidades de milímetros de agua perdida (mm/día).

La razón entre la E_{Tc} y la E_{To} se conoce como el coeficiente de cultivo (K_c) y representa la integración de efectos de características como la altura del cultivo, la evaporación del suelo, la resistencia del cultivo y el albedo (reflectancia) de la superficie del cultivo y suelo que distinguen el cultivo estudiado del cultivo de referencia que es el pasto (Pereira & Allen, 1997, citado por Miranda *et al.*, 2005). Por lo tanto, y debido a la importancia de este coeficiente, es recomendable que sea determinado para condiciones locales donde será utilizado el K_c .

Las especies *Capsicum*, según Doorenbos & Kassam (2000, citado por Chaves *et al.*, 2005), generalmente tienen un ciclo de 120 a 150 días y consumen de 600 a 1250 mm de agua, dependiendo de las condiciones climáticas y de la variedad. Para Chaves *et al.* (2005), los valores de K_c obtenidos en el cultivo de ají tabasco en la región del nordeste de Brasil fueron 0,96 en la fase inicial, 1,29 para el fase de desarrollo, floración y producción de frutos, y 1,24 para la fase final que comprende la maduración y cosecha.

A pesar de tener como referencia estos valores de coeficiente de cultivo, la FAO en su edición 56 no presenta valores específicos del coeficiente K_c para el cultivo del ají tabasco. Por esta razón y debido a la importancia del ají para el desarrollo de la región, por ser considerado por el Plan Hortícola Nacional (PHN) como uno de los cultivos más atractivos a nivel nacional, el objetivo de este trabajo es estimar la curva del coeficiente del cultivo (K_c) del

ají tabasco (*Capsicum annuum*) en condiciones edafo-climáticas de la vereda Guacas en el municipio de Guacarí (Valle del Cauca), utilizando tres lisímetros de drenaje para la obtención de la evapotranspiración real del cultivo (ETc) y la fórmula Penman-Monteih para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ETo).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar experimentalmente la curva del coeficiente de cultivo (K_c) de ají tabasco (*Capsicum annuum*.) en la vereda Guacas del municipio de Guacarí, Valle del Cauca, para mejorar el uso y manejo de agua.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el coeficiente del cultivo (K_c) en cada una de las fases vegetativas y construir la curva experimental del coeficiente del cultivo (K_c).
- Determinar las necesidades hídricas del cultivo de ají tabasco para la zona de estudio con el fin de determinar las necesidades de riego del cultivo.

3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 GENERALIDADES DEL CULTIVO

El ají de la familia *Solanaceae*, pertenece al género *Capsicum* y es originario de la cuenca amazónica, cultivado en las regiones tropicales y subtropicales de América, especialmente en los Estados Unidos, México, Costa Rica, Panamá, Honduras, República Dominicana, Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil.

Es un cultivo de hábito *perenne* en condiciones naturales, es decir que su ciclo de vida dura más de 1 año, sin embargo comercialmente se maneja como anual. El ají se destaca por su alto contenido de ácido ascórbico, valor que incluso es superior al de los cítricos. Posee un alto contenido de vitaminas A, B1, B2 y C; contiene más vitamina C que el tomate y tres veces más que la naranja y, además, son de elevada pungencia (picor); aspecto que los caracteriza (Martínez, 2005)

Según el PHN, en el mercado internacional se encuentran dos tipos de ají: secos y verdes. En el año 2005, India fue el mayor productor y principal exportador de ají seco seguido por China. Perú se encontró en la cuarta posición en exportación de este producto. Para el ají verde en el mismo año, los mayores productores fueron China con una producción de 12 millones de toneladas, seguido por Turquía y México. El principal exportador de ají verde es México seguido de España, y el mayor importador de ají seco y verde es Estados Unidos.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el rendimiento a nivel mundial. De acuerdo con Martínez (2005), el rendimiento en México es de 12,2 t/ha, en Turquía de 20 y en España de 41,2. Se destaca el rendimiento de Israel, que a pesar de no encontrarse como uno de los principales productores en el mundo, reportan rendimientos de 45,4 toneladas por hectárea, más de 3 veces el promedio mundial.

En Colombia, según Martínez (2005), se cultivan diferentes especies de ají, destacándose el ají dulce, ají topito dulce y el ají picante. Referente a este último, las especies cultivadas son el Tabasco, Cayena, Habanero y el Chivato. En menor escala se encuentra el ají Jalapeño.

De acuerdo al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2012) los principales departamentos productores de ají en el País son mostrados en la Figura 1, mientras que la Tabla 1 y Figura 2 muestran las áreas, rendimientos y producción por departamentos.

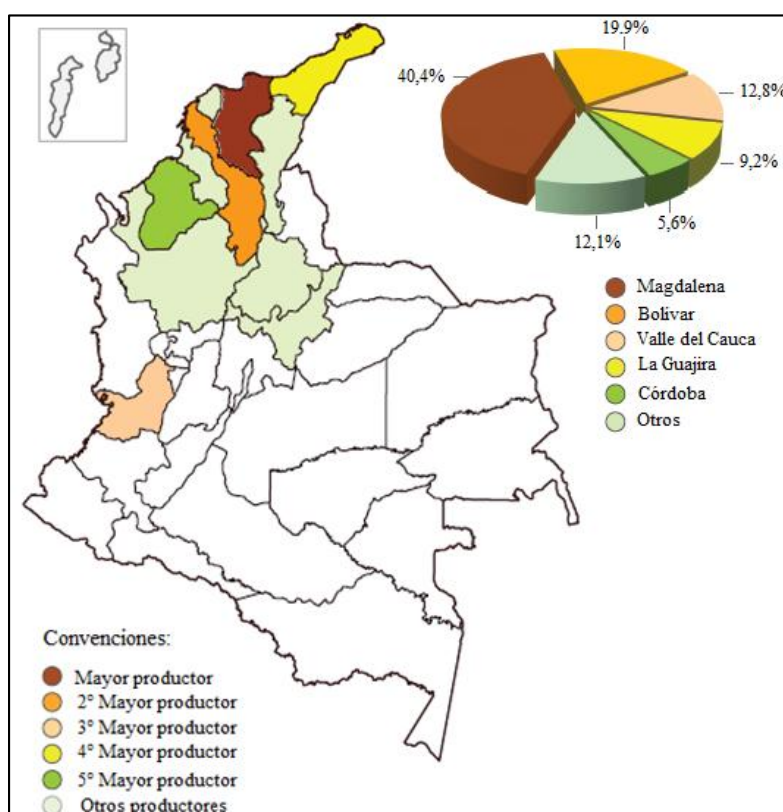


Figura 1. Participación departamental de ají periodo 2007-2011.

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2012).

Tabla 1. Área, producción y rendimiento nacional de ají 2011.

DEPARTAMENTO	2011		
	ÁREA (ha)	PRODUCCIÓN (Toneladas)	RENDIMIENTO (t/ha)
Antioquia	55	292	5,36
Atlántico	169	903	5,34
Bolívar	367	3.280	8,94
Boyacá	15	73	4,87
César	39	138	3,54
Córdoba	114	922	8,09
La Guajira	244	1.527	6,26
Magdalena	843	6.674	7,92
Santander	8	32	4,00
Sucre	57	563	9,88
Valle del Cauca	134	2.111	15,75
TOTAL	2.045	16.515	8,08

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2012).

En el departamento del Valle del Cauca se resaltan como productores de ají los municipios de El Dovio, Palmira, Tulúa, Vijes, Candelaria, Calcedonia, Restrepo, Dagua, Yumbo, y Guacarí.

La especie de ají que será trabajada en el presente proyecto es el Tabasco (*Capsicum annuum*). Según el reporte de producción de ají Tabasco en Colombia para el periodo de 2007-2010, en el país hay una producción de esta especie cercana a 550 toneladas con una área cosechada 90 hectáreas para el año 2010 (Agronet, 2013).

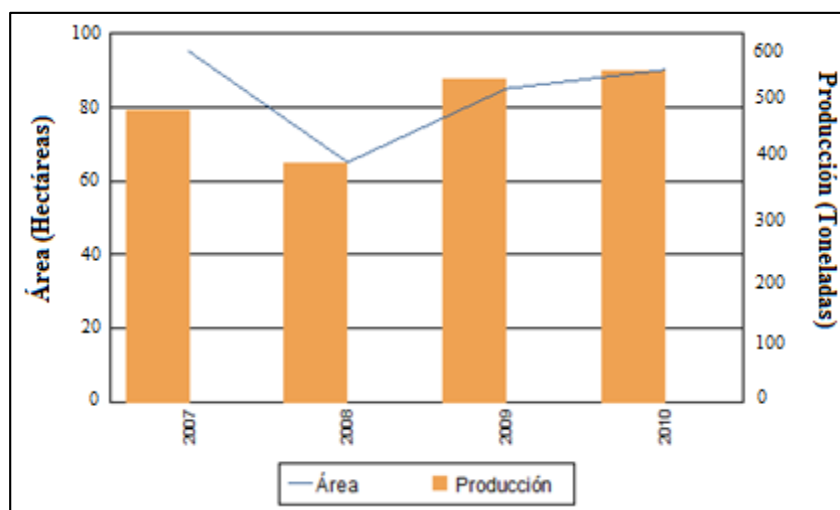


Figura 2. Producción de Ají tabasco en Colombia, 2007-2010.

Fuente: Agronet (2013)

3.2 CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS

El ají tabasco posee un sistema radicular pivotante, con un número elevado de ramificaciones laterales, pudiendo llegar a profundidades de 70-120 cm (Carvalho *et al.*, 2007, citado por Borges, 2011). La zona efectiva de la raíz de encuentra a los 50-100 cm. y es recomendable que se tenga una humedad del suelo a 30 cm. de profundidad al utilizar riego.

Según la Corporación Colombiana Internacional CCI (2007) el ají tabasco debe ser cultivado en suelos franco-arcillosos o franco-arenosos, profundos y bien drenados, con un pH entre 5,5 y 6,8. El cultivo se desarrolla adecuadamente a una humedad relativa de 55-90%, altitud entre 0-1000 msnm y a una temperatura entre 20 y 28°C. La densidad de siembra de esta variedad tabasco es alrededor de 12.500 plantas/ ha, con una distancia entre surcos de 1 m y 0.8 m entre plantas como lo muestra la Figura 3. La temperatura mínima permisible es de 16°C y máxima de 30°C. Temperaturas por encima de los 35 °C son perjudiciales para la formación de los frutos (Borges, 2011).



Figura 3. Distancia de siembra en el cultivo de ají tabasco.

Fuente: URL¹

Para obtener una mayor producción y evitar la incidencia de plagas y enfermedades, el PHN recomienda realizar una buena fertilización de acuerdo al análisis de suelo, raleo de frutos en mal estado y deformes, podas de hojas senescentes, y tutorado que permite guiar y mantener erguida la planta para que las ramas y frutos no entren en contacto con el suelo.

El ciclo vegetativo del ají tabasco para las condiciones edafo-climáticas de la región de Ceará (Brasil), según Chaves *et al.* (2005), se divide en 4 fases que inician después del trasplante de las plántulas ya germinadas (35 días):

- Fase I: Inicia en el trasplante y finaliza en el punto en que el cultivo alcanza aproximadamente 10% de su desarrollo (25 días).
- Fase II: Inicia inmediatamente después de la fase anterior y finaliza hasta un punto inmediatamente antes de la floración, que corresponde a un intervalo del 70 al 80% de la cobertura vegetal (75 días).
- Fase III: Corresponde al periodo de floración y desarrollo de frutos (120 días).
- Fase IV: Periodo de maduración, comprendida entre el fin de la fase III y la cosecha (135 días).

De acuerdo a Abreu (2004), el ciclo del cultivo de ají tabasco, en el mismo estado de Ceará, es el siguiente: germinación (35 días), primera poda (7 días después del trasplante), segunda

poda (21 días después del trasplante), inicio de floración (45 días después del trasplante) y cosecha (120 días después del trasplante).

Para las condiciones en Colombia y considerando 4 variedades de ají (Cayenne, tabasco, habanero y red devil) la germinación, según la CCI (2007), se produce entre los 15 y 17 días después de la siembra, el trasplante se realiza entre los 45 y 60 días, la floración ocurre a los 60 a 120 días después del trasplante y dependiendo de las condiciones agroecológicas y la variedad, la cosecha se realiza de los 80 a los 100 días. La descripción gráfica de las fases fenológicas del cultivo de ají se presenta en la Figura 4:



Figura 4. Fases vegetativas del cultivo de ají.

3.3 DEMANDA HÍDRICA

Suministrar la cantidad adecuada de agua a la planta es muy importante durante todo su desarrollo, además es esencial para la producción del fruto ya que, según Sezen *et al.* (2006, citado por Borges 2011), el ají es considerado uno de los cultivos más susceptibles al estrés hídrico en la horticultura que puede llegar a causar estancamiento en el desarrollo de la planta y en casos críticos pudrición interna del fruto. El trasplante, floración y cuajado del fruto son las fases más críticas y sensibles al estrés hídrico (CCI, 2007).

El requerimiento hídrico del género *Capsicum* varía entre 600 a 1250 mm por ciclo vegetativo, dependiendo del clima, del suelo, de la variedad y del manejo del cultivo (Doorenbos *et al.* 2000, citado por Borges, 2011). Chaves *et al.* (2005) encontraron que la demanda del cultivo de ají tabasco es de 1.083 mm durante el ciclo de 135 días en el estado de Ceará, Brasil.

El riego en el cultivo se puede realizar por surcos, aspersión y localizado, sin embargo, el sistema de riego por goteo es el más recomendable ya que presenta ventajas en la producción de ají y evita el desperdicio de los recursos hídricos, mitigando impactos al medio ambiente, además de aumentar la rentabilidad de las labores agrícolas (Borges, 2011).

3.4 BALANCE HÍDRICO

En el sistema suelo-planta ocurren diferentes procesos que surten y otros que reducen el contenido de agua en el suelo (Figura 5), es decir un balance hídrico donde hay flujos que entran y salen de la zona radicular de la planta dentro de un determinado periodo de tiempo, los cuales permiten calcular la cantidad de agua en el suelo, y de este modo determinar las necesidades hídricas.

Entre estos componentes el riego (R) y la precipitación (P) proporcionan agua a la zona radicular, siendo que una parte puede perderse por escurrimiento superficial (ES) y percolación profunda (D) que eventualmente recargará la capa freática (Allen *et al.* 2006). Por capilaridad (C) también se puede transportar el agua desde la capa freática sub-superficial hacia la zona de raíces o ser transferida horizontalmente, bajo condiciones de pendientes pronunciadas, por flujo sub-superficial hacia dentro (FSin) o fuera (FSout) de la zona radicular (ΔFS). Como flujos de salida se encuentra la evaporación y transpiración del cultivo que pueden agotar el contenido de agua en la zona radicular. De esta forma, a partir del cambio en el contenido de agua en el suelo (ΔSW) a lo largo de un periodo de tiempo, se puede deducir la evapotranspiración si son evaluados los valores de los componentes restantes del balance (Ecuación 1):

$$ET_c = P + R - ES - D + C \pm \Delta FS \pm \Delta SW \quad \text{Ecuación 1}$$

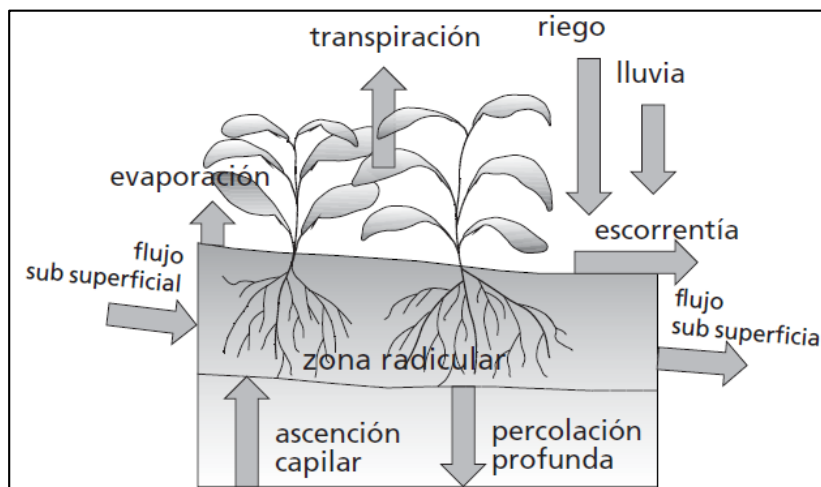


Figura 5. Componentes del balance hídrico.

Fuente: Allen *et al.*, (2006).

No obstante, Miranda *et al.* (2005) determinaron la ET_c , mediante la ecuación del balance hídrico, despreciando el escurrimiento superficial y considerando la percolación profunda (D) como el contenido de agua drenada del lisímetro (mm) y agregando un componente ΔS

a la ecuación que representa el cambio en el contenido de agua almacenada en el lisímetro. De esta forma, la ecuación del balance hídrico resulta de la siguiente forma:

$$ET_c = P + R - D \pm \Delta S \quad \text{Ecuación 2}$$

Para fines prácticos, en el presente proyecto se simplificará la ecuación 2 considerando la evapotranspiración como un cambio en la humedad del suelo (W) de un volumen de control que es aislado por el lisímetro:

$$ET_c = W = (w_i - w_f) \quad \text{Ecuación 3}$$

donde el contenido de humedad inicial (w_i) será capacidad de campo y (w_f) equivale a la humedad del suelo luego de n días de consumo, siendo n una constante definida de acuerdo al método de riego, en este caso riego localizado de alta frecuencia (RLAF), es decir $n < 4$ días.

3.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN (ET)

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

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay un método sencillo que permita diferenciar estos dos procesos. En la serie no. 56 del Estudio de Riego y Drenaje de la FAO, Allen *et al.* (2006) mencionan que la evaporación de un suelo cultivado se determina principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, sin embargo a lo largo del desarrollo del cultivo, disminuye debido a la sombra sobre

el suelo que se va proyectando por el dosel del cultivo mientras aumenta la transpiración como la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta. Finalmente cuando la cobertura vegetal del cultivo es completa, más del 90% de la evapotranspiración es debida por la transpiración.

Los factores que intervienen en la evapotranspiración están relacionados con las condiciones climatológicas y la relación del sistema suelo-planta (Esmeral, 2011). Entre las variables climáticas se encuentran la radiación solar, temperatura del aire, flujo de calor, la humedad atmosférica y la velocidad del viento.

Según Allen *et al.* (2006) la radiación solar es la cantidad de energía disponible para evaporar el agua y para calentar la atmósfera y el suelo. Además aseguran que la importancia de la temperatura en la evapotranspiración se debe a que el calor sensible del aire circundante transfiere energía al cultivo haciendo que a temperaturas altas la ET se incremente y a temperaturas bajas la ET disminuya.

En el caso de la humedad del aire, en condiciones de alta humedad, la evapotranspiración es baja debido a que la diferencia de presión del aire circundante y la superficie evapotranspirante disminuye (Esmeral, 2011). El viento contribuye en la remoción de agua de la superficie evaporante ya que renueva constantemente el aire circundante a la planta.

3.5.1 Evapotranspiración del Cultivo de referencia (ET_o)

Según la serie no. 56 de la FAO (Allen *et al.*, 2006) la evapotranspiración del cultivo de referencia ET_o es la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua. Esta superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético con características específicas y similares a una superficie extensa de pasto verde, bien regada, de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo.

Este concepto se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo. Además relacionar la ET a una superficie específica permite contar con una referencia a la cual se puede relacionar la ET de otras superficies (Allen *et al.*, 2006).

Así como la ET, los factores climáticos afectan la ET_0 que también se considera como un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos, y cuyas unidades de medida se expresan en milímetros (mm) por unidad de tiempo (hora, día, 10 días, mes o año) definiendo la cantidad de agua perdida en una superficie cultivada en unidades de lámina de agua.

De acuerdo con Allen *et al.* (2006) la evapotranspiración del cultivo de referencia ET_0 expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo. Desde este punto de vista, el método FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método de determinación de ET_0 con parámetros climáticos.

3.5.2 Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c)

Este concepto se refiere a la evapotranspiración real del cualquier cultivo en cualquier estado fenológico 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 (Lopes, 2010).

Debido a la dificultad de obtener la evapotranspiración en campo, se han desarrollado métodos estimativos de evapotranspiración basados en datos meteorológicos. Sin embargo, por su practicidad se ha utilizado la determinación de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) por la ecuación $ET_c = ET_0 \cdot K_c$, donde se multiplica la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0) por el valor del coeficiente de cultivo (K_c) (Figura 6). De todas formas es

importante y se recomienda que los parámetros meteorológicos sean obtenidos de estaciones próximas al cultivo, con el objetivo de representar condiciones más reales posibles.

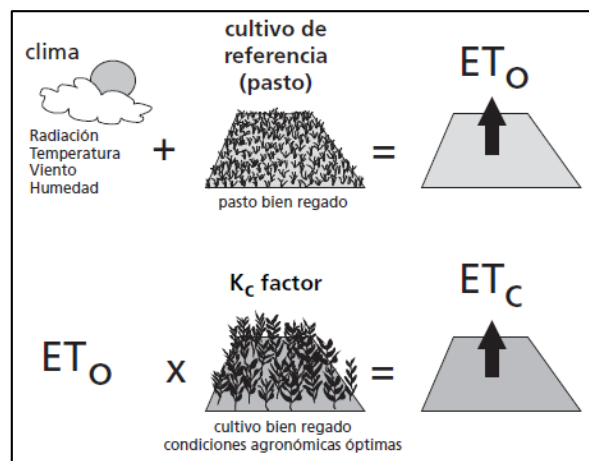


Figura 6. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) y bajo condiciones estándar (ET_c).

Fuente: Allen *et al.*, (2006).

3.5.3 Coeficiente de Cultivo (K_c)

Según Allen *et al.* (2006), el K_c es un coeficiente que tiene en cuenta las características del cultivo y los efectos promedios de la evapotranspiración en el suelo, y describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección.

Este coeficiente varía de acuerdo a las fases de crecimiento del cultivo y se representa a través de la curva de K_c (Figura 7). La curva describe cuatro fases del ciclo vegetativo: inicial, desarrollo del cultivo, mediados de temporada o intermedia y final de la temporada. La fase inicial está comprendida desde la siembra hasta que el cultivo alcanza un 10% de la cobertura del suelo. La fase de desarrollo inicia después de finalizada la etapa anterior y termina hasta el crecimiento activo de la planta. La etapa intermedia inicia en la floración y va hasta un punto en el cual el cultivo alcanza el 70-80% de la cobertura vegetal. La fase final está comprendida desde el periodo de maduración hasta la cosecha.

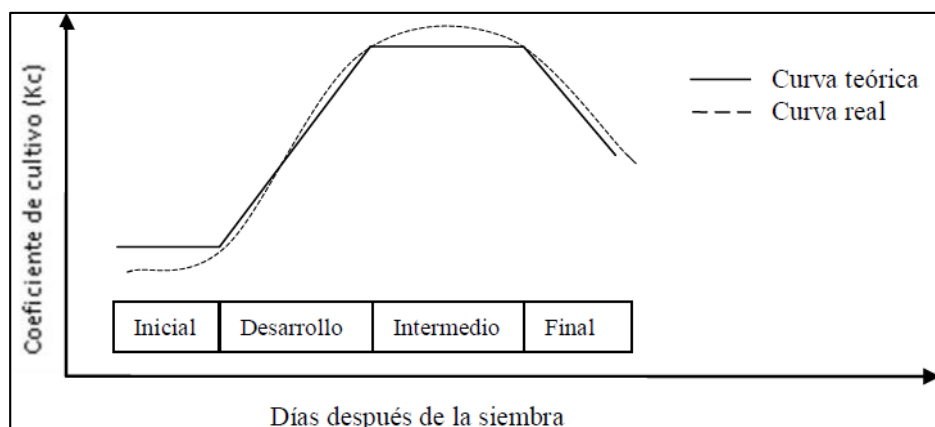


Figura 7. Curva del coeficiente de cultivo (K_c).

Fuente: Esmeral (2011).

El coeficiente de cultivo se define como la relación ET_c/ET_o :

$$K_c = ET_c / ET_o \quad \text{Ecuación 4}$$

La FAO en su reporte 56 sobre los requerimientos hídricos y evapotranspiración de los cultivos, determinó que los coeficientes de cultivo (K_c) del ají morrón o “bell pepper” (*Capsicum annuum* var. *annuum*) para las fases inicial, medio y final son 0,30, 1,05, y 0,9 respectivamente (Allen *et al.*, 1998).

De acuerdo a investigaciones realizadas por Chaves *et al.* (2005) sobre el cultivo de ají tabasco en la región del estado de Ceará en Brasil, el valor del K_c para la fase inicial es de 0,96, para la etapa de desarrollo, floración y producción de frutos (intermedia) 1,29; y 1,24 para la fase final que comprende la maduración y cosecha en un periodo total de 135 días después del trasplante.

Así mismo, en la región nordeste de Brasil, Miranda *et al.* (2005) determinaron que el coeficiente de cultivo del ají tabasco para las etapas de desarrollo del cultivo inicial, media y final son respectivamente 0,30, 1,22-1,08 y 0,65-0,60, teniendo en cuenta que para las ultimas

dos fases (media y final) se registró el valor promedio de K_c para el primer y segundo ciclo de cosecha.

3.5.4 Elaboración de la Curva de K_c

Según Allen *et al.* (2006), para elaborar y describir la curva del K_c para cultivos anuales solamente se requiere de tres valores de este coeficiente y se construye mediante los siguientes pasos:

- *“Dividir el periodo de crecimiento de las etapas generales que describen la fenología o desarrollo del cultivo (inicial, desarrollo del cultivo, mediados de temporada y final). Determinar las duraciones de las cuatro etapas de crecimiento e identificar los tres valores de K_c que corresponden a $K_{c_{ini}}$, $K_{c_{med}}$ y $K_{c_{fin}}$ ” a partir de la Figura 8.*
- *“Ajustar los valores de K_c según la frecuencia del humedecimiento o las condiciones climáticas de las etapas de crecimiento”.*
- *“Construir una curva uniendo segmentos de línea recta a través de cada una de las etapas de crecimiento. Se deberán trazar líneas horizontales a través de $K_{c_{ini}}$, en la etapa inicial y a través de $K_{c_{med}}$ en la etapa de mediados de temporada. Se deberán trazar líneas diagonales desde $K_{c_{ini}}$ hasta $K_{c_{med}}$ durante la etapa de desarrollo del cultivo y desde $K_{c_{med}}$ hasta $K_{c_{fin}}$ durante la etapa final”.*

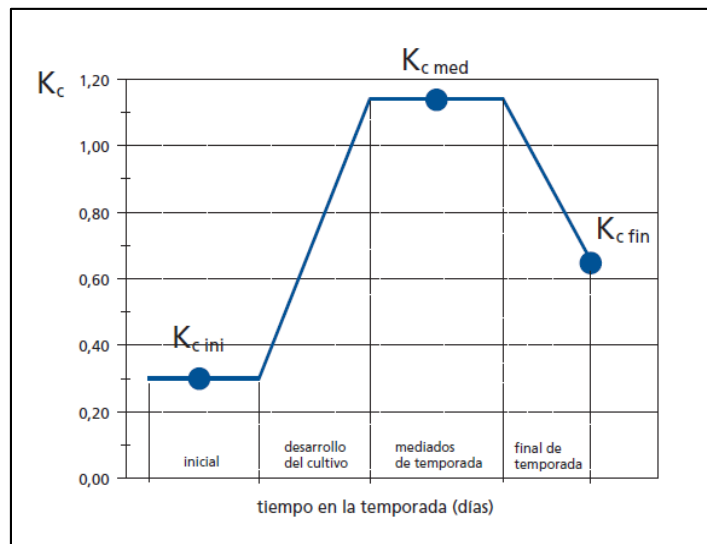


Figura 8. Curva del coeficiente de cultivo.

Fuente: Allen *et al.* (2006).

3.6 LISÍMETRO

Para determinar los valores del coeficiente de cultivo K_c a lo largo del ciclo vegetativo del cultivo se utilizan lisímetros; los cuales son los principales equipos de medición directa de la evapotranspiración que permiten lecturas de forma más precisa, debido a que se aísla la zona radicular del cultivo teniendo un control más riguroso y adecuado de las condiciones del sistema suelo-agua-planta (Da Silva, 2012).

Según la FAO (Allen *et al.*, 2006), los lisímetros son tanques aislados llenados con suelo disturbado o no disturbado, localizados en campo, en los que el cultivo crece y se desarrolla y cuya finalidad es cuantificar la evapotranspiración de un cultivo. Son esencialmente “containers” que aíslan hidrológicamente un volumen de suelo-aire-agua del suelo circundante (Aboukhaled *et al.* 1982, citado por Da Silva, 2012).

Los lisímetros pueden dividirse de acuerdo a la forma en la cual es medida la variación del almacenamiento de agua en su interior, es decir en lisímetros de pesaje y de aquellos que no se pesan, diferenciándose en la precisión y periodo de la toma de datos.

De acuerdo a Allen *et al.* (2006) la evapotranspiración en los lisímetros de pesaje 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. Para el caso de lisímetros de no pesaje como el de drenaje, la evapotranspiración es medida en un período dado, restando la cantidad de agua de drenaje recogida en el fondo de los lisímetros, de la cantidad total de agua ingresada.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y LOCALIZACIÓN

Este trabajo fue desarrollado al interior del grupo de investigación REGAR de la Universidad del Valle, y hace parte del proyecto *"Desarrollo de un sistema agroindustrial rural competitivo en una bioregión del Valle del Cauca"* financiado por el Sistema General de Regalías.

Entre las labores realizadas por el grupo de investigación, se encuentra el estudio y desarrollo experimental de la curva del coeficiente (K_c) para los 3 cultivos estudiados en el proyecto, entre ellos, el ají tabasco presente en este trabajo.

Este proyecto se llevó a cabo en una parcela localizada en la vereda Guacas en el municipio de Guacarí (Valle del Cauca) con coordenadas 3,79 latitud Norte y 76,33 de longitud Oeste. Se encuentra a 966 m.s.n.m en la región occidental de Colombia, en el centro del departamento del Valle del Cauca con una temperatura media de 25 °C. En la Figura 9 se ilustra la ubicación del municipio con respecto al territorio colombiano.

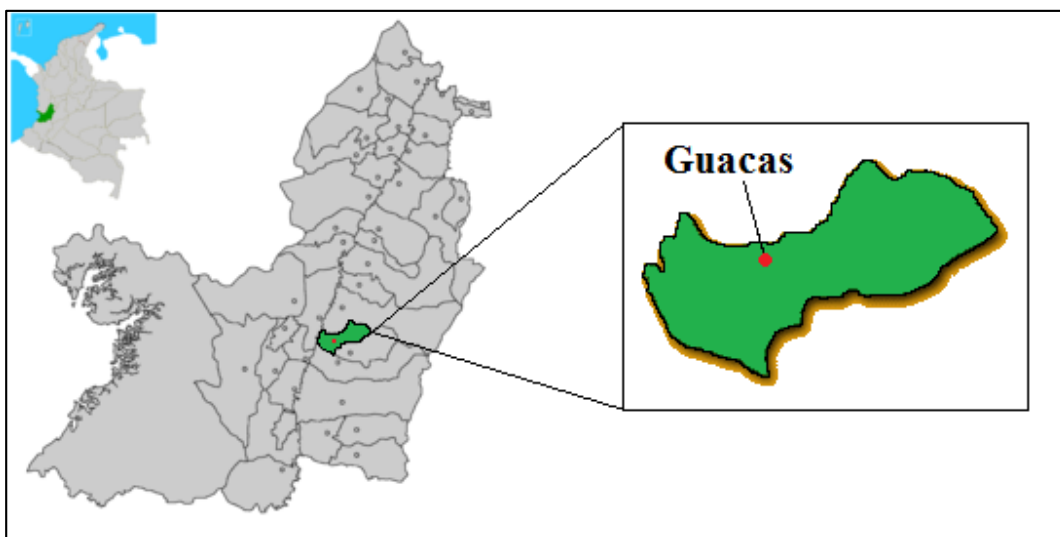


Figura 9. Localización geográfica de la vereda Guacas en el municipio Guacarí (Valle del Cauca).

Fuente: URL².

4.2 PARCELA EXPERIMENTAL

La parcela donde se desarrolló el proyecto cuenta con un área de 0,7 hectáreas, dividida en 5 lotes cuyos propietarios pertenecen a la asociación ASOGUAQUEÑOS del municipio de Guacarí (Figura 10). El uso actual del predio en conjunto es destinado al cultivo de ají. Se cultivó la especie Tabasco (*Capsicum annum.*) suministrada por la empresa Hugo Restrepo y Asociados.

En el lote, la instalación del sistema de riego de alta frecuencia estuvo a cargo del grupo de investigación Regar perteneciente a la escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente (EIDENAR) de la Universidad del Valle.

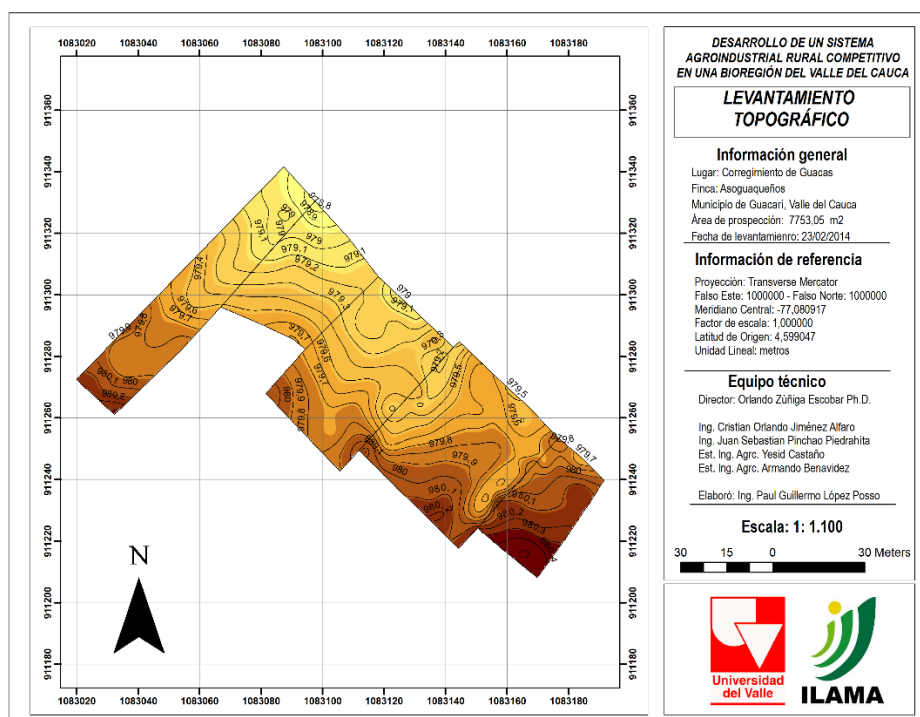


Figura 10. Levantamiento topográfico de la parcela experimental realizado por el grupo de investigación Ilama.

4.2.1 Labores de campo

4.2.1.1 Estudios previos

Para determinar el estado de la fuente hídrica del predio, se realizó un estudio de calidad de agua en el laboratorio Análisis Ambiental de la ciudad de Cali, donde se evaluaron parámetros como pH, coliformes, cloruros, sulfatos, sodio, potasio, magnesio, calcio, conductividad y alcalinidad. De igual forma se evaluó la cantidad de agua disponible para riego y se estimó un caudal aproximado de 0,6 lps.

El diseño del sistema de riego del predio fue realizado por el equipo técnico del grupo de investigación. En este estudio se tuvo en cuenta el caudal disponible de la fuente y la

topografía para poder definir la cantidad de módulos y materiales necesarios para la instalación.

Además, el grupo de investigación Ilama de la Universidad del Valle hizo el levantamiento topográfico de la parcela y tomó muestras de suelo en cada uno de los lotes para luego ser llevadas al laboratorio de Aguas y Suelos Agrícolas (LASA) de la universidad del Valle y realizar el análisis físico pertinente.

4.2.1.2 Preparación del terreno

Para la respectiva preparación del predio, fue necesario eliminar cierta parte de los linderos que separaban cada uno de los lotes, sobretodo en la cabecera donde iba a pasar la tubería de riego enterrada. En uno de los lotes fue necesario remover una carbonera, que luego fue esparcido el carbón por todo el lote.

Los miembros de la asociación realizaron el surcado de los lotes de acuerdo a la topografía que se tenía del terreno como lo muestra la Figura 11. La distancia entre surco fue de 1,5 metros y la distancia entre plantas de 0,40 metros.



Figura 11. Lote en preparación con pases de rastra.

4.2.1.3 Instalación sistema de riego

Una vez preparado el terreno y teniendo los estudios para el sistema de riego, se procedió a su instalación.

La fuente proviene de un aljibe con una profundidad aproximada de 6,5 metros, donde se instaló una bomba centrífuga Barnes eléctrica de 2 hp (1,5 Kw) que es conducida por medio de una tubería principal de PVC de 1 ½” de diametro hasta la tubería secundaria de 1 ¼” el cual se distribuye en 8 módulos de riego (Figura 12).



Figura 12. Bomba eléctrica de 2 Hp y sistema de bombeo instalado en el predio.

De cada modulo se instalaron las cintas de riego por goteo Jain Irrigation ® de 16 mm de diametro interno y con una distancia entre emisores de 20 cm como se ilustra en la Figura 13. El caudal obtenido por emisor fue de 1 litro/min aproximadamente.



Figura 13. Módulos de riego y cintas de riego de alta frecuencia sobre los surcos.

4.2.1.4 Siembra y trasplante

Las plantas empleadas en el proyecto fueron suministradas por Hugo Restrepo y Asociados, que fueron sembradas el 8 de agosto de 2014 en un invernadero en la ciudad de Palmira.

Después de tener el sistema de riego instalado y operando adecuadamente, se llevaron las plántulas al predio (Figura 14) y se dejaron durante 2 días dentro de una habitación para que se adaptaran a las condiciones climáticas del lugar.



Figura 14. Bandeja con plántulas de ají Tabasco.

El 6 de octubre se realizó el trasplante en los 5 lotes de la parcela y el 7 de octubre se trasplantaron las plántulas de los lisímetros.

En la Figura 15 se puede observar que las plántulas fueron trasplantadas sobre los surcos cubiertos con el plástico para evitar el desarrollo de maleza y contener la humedad sobre el surco.



Figura 15. Trasplante de plántulas sobre los surcos cubiertos del plástico.

Sin embargo, sobre los lisímetros las plántulas se trasplantaron sin el plástico, ya que el propósito del proyecto es cuantificar la evapotranspiración del cultivo por medio del balance hídrico y con el plástico se obtendrían valores de evapotranspiración alterados.

4.2.1.5 Fertilización, control de malezas, plagas y enfermedades

A pesar de los surcos estar cubiertos con plásticos, el crecimiento de malezas tuvo que ser controlado sobre todo en las calles de los surcos. Para ello se utilizó el herbicida Finale junto al coadyuvante no ionico Inex-A.

De igual forma se aplicó de manera foliar nitrato de calcio, Cosmo ion Boro, Kelatex Hierro Fe, Kelatex Zinc Zn, Sulfato de magnesio como fertilizantes (Figura 16).

Tanto la planta como el sistema radicular del cultivo del ají tienden a ser afectados por hongos, muchas veces debido al alto contenido de humedad sobre el suelo, por lo tanto se aplicaron los fungicidas Vitavax, Ridomil, Manzate, Kasumin y Prevalor. Para promover el desarrollo radicular se suministró Rafos, Microrenti y Rootex.



Figura 16. Fertilización, fumigación y control de plagas en el cultivo.

Según la CCI (2007), el cultivo de ají en Colombia es afectado por plagas como la mosca blanca, trips, trotadores y hongos como el cercospora. Para ello se aplicaron insecticidas como Lorsban, cipermitrina, imidacloprid.

4.2.1.6 Cosecha

La cosecha inició el día viernes 7 de febrero y estuvo a cargo de los integrantes de la asociación. Se registró una producción de 5894 kg durante el mes de febrero y marzo, obteniendo un rendimiento de 8,4 t/ha. Como se ilustra en la Figura 17, los frutos fueron almacenados en canastas, se pesaron en una balanza industrial y luego fueron transportados

hasta el municipio de Yumbo donde fueron entregados a la empresa Hugo Restrepo y Asociados.



Figura 17. Medición del peso de las canastas de cosecha del ají.

La actividad continuó los siguientes días teniendo en cuenta el estado de maduración del fruto como lo muestra la Figura 18.

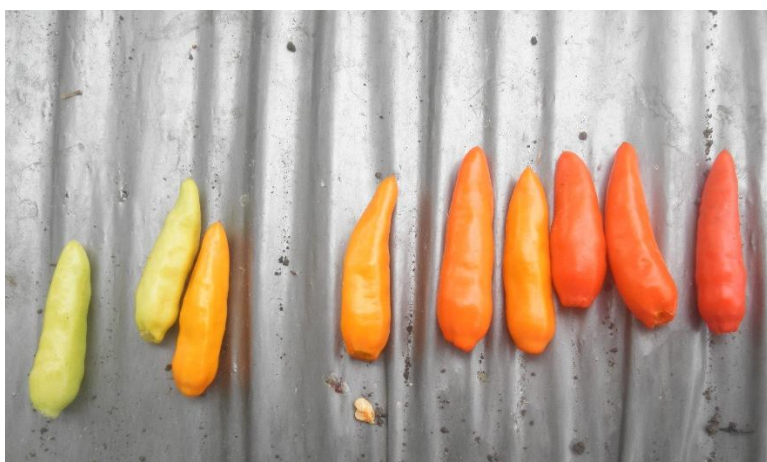


Figura 18. Estados de maduración del ají.

4.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento consistió en determinar la curva de coeficiente (K_c) del cultivo ají tabasco (*capsicum annuum*), el cual se utilizó un solo tratamiento que es la evaluación de la evapotranspiración de las plantas a condiciones semejantes a las del cultivo mediante el método de balance hídrico. Para este tratamiento se utilizaron 3 repeticiones dispuestas en los 3 lisímetros.

En estos 3 lisímetros se realizaron los mismos tratamientos que consistieron en la aplicación de riego, fertilizantes, insecticidas y plaguicidas. Finalmente la variable de respuesta del experimento mencionado fue la evapotranspiración (ET_c) del cultivo del ají.

4.4 EQUIPOS Y DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

En el área destinada para el desarrollo del proyecto se contó con 3 lisímetros que contenían 1 planta de ají cada uno; 1 tensiómetro de 15 cm y otro de 30 cm por lisímetro; 1 estación climática portátil y un GPS submétrico.

4.4.1 Lisímetros

4.4.1.1 Diseño y Construcción

El esquema general de los lisímetros con los cuales se trabajó en el presente proyecto consistió en una estructura cúbica metálica que en su interior se sembró una planta de ají a condiciones iguales al resto del cultivo junto con una batería de tensiómetros. Esta estructura se encontraba elevada a la superficie del cultivo para permitir un aislamiento completo del sistema suelo-agua-planta a estudiar con el exterior. El diseño de los lisímetros se presenta en la Figura 19. Así mismo, se diseñó el lisímetro con una cubierta de un material traslúcido que permitiera la entrada de luz solar para el desarrollo normal de la planta y que a su vez

impidiera el ingreso de contenido de agua por precipitación. De igual forma tendrá una bandeja de descarga que almacene el contenido de agua drenado.

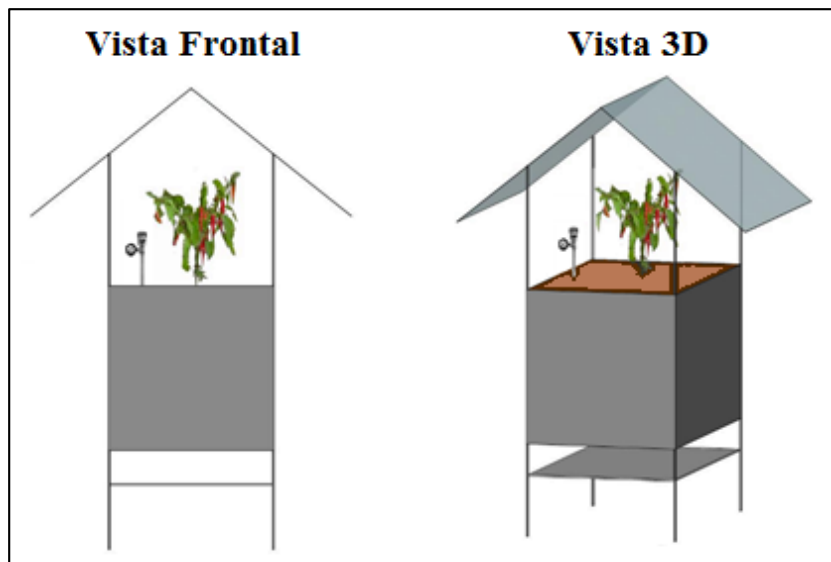


Figura 19. Esquema general del lisímetro.

La construcción de los lisímetros estuvo a cargo del personal de apoyo del grupo de investigación. Los lisímetros contruidos son de tipo drenaje por su practicidad de manejo y economía.

Se construyeron 3 lisímetros en el laboratorio de Aguas y Suelos Agrícolas (LASA) de la Universidad del Valle (Figura 20). Los materiales utilizados para su fabricación fueron láminas de acero, ángulos de acero, soldadura para dicho material, acrílico y tejas plásticas transparentes.



Figura 20. Construcción de los lisímetros en el laboratorio LASA.

Las medidas de la “caja” metálica es de 0,5*0,5*0,5 m, que permitió el desarrollo óptimo radicular de las plantas (Figura 21). A su vez, estas cajas están soportados sobre una estructura que tiene una altura de 50 cm. Los lisímetros contienen una bandeja para recibir el agua drenada sobre la porción de suelo estudiada. Para ello la base de la caja se perforó con varios huecos para facilitar el flujo de agua.

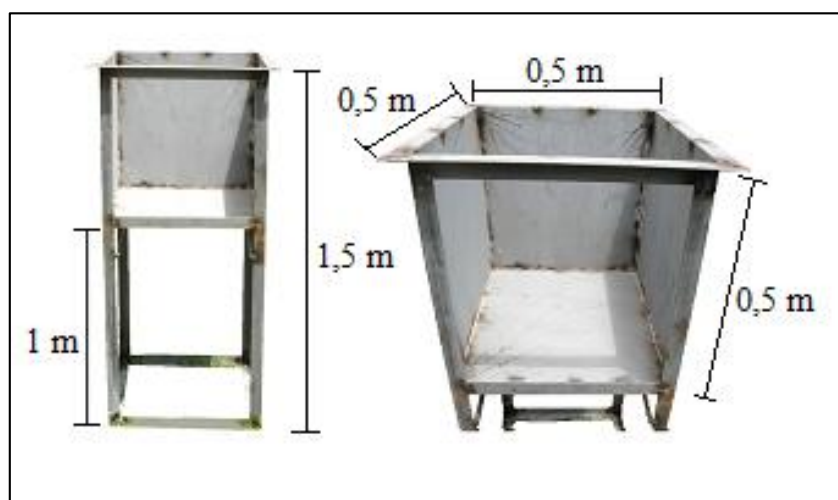


Figura 21. Medidas del lisímetro y la “caja metálica”.

De igual forma se construyó la estructura para el techo del lisímetro que evitó la entrada de agua por precipitación al sistema, pero que permitió la entrada de luz solar por su material plástico traslúcido para asemejar condiciones naturales.

4.4.1.2 Instalación

Se instalaron 3 lisímetros ubicados en la parcela de 0,7 ha para tener una mejor distribución de datos recolectados en el área estudiada. Los lisímetros 1, 2 y 3 se instalaron en los lotes 1, 3 y 5 respectivamente como muestra la Figura 22.

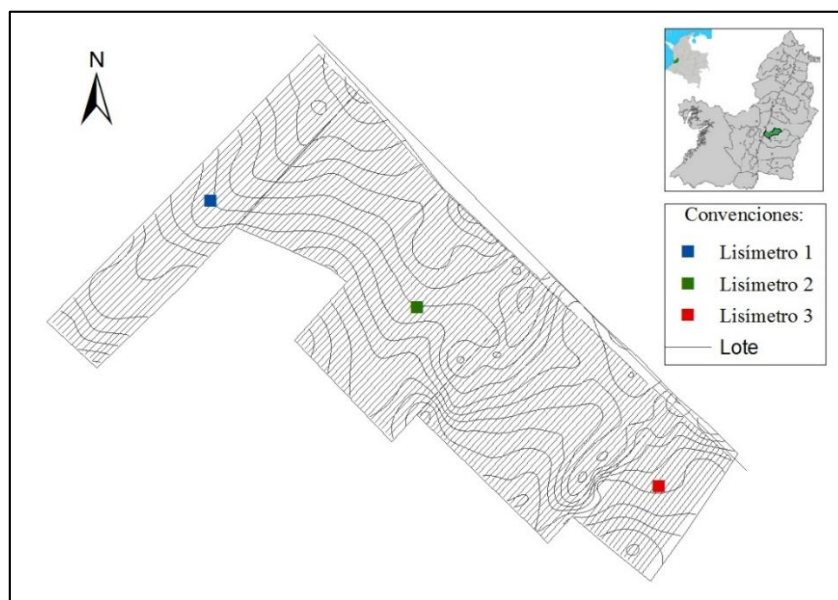


Figura 22. Ubicación Lisímetros en el predio.

Como se mencionó en el numeral anterior, en los lisímetros se instaló una estructura con un techo plástico que impidió el ingreso de agua por precipitación para facilitar el cálculo en el balance hídrico (Figura 23).



Figura 23. Techo y su estructura de los lisímetros instalados en el predio.

Los lisímetros se instalaron sobre los surcos para sustituir una planta del cultivo. En ellos se colocó una capa de grava de aproximadamente 7 cm de espesor en la base de la caja del lisímetro para facilitar el drenaje (Figura 24-A). Luego se rellenaron los lisímetros con suelo extraído del surco, respetando el orden de los estratos del suelo (Figura 24-B). De esta forma las propiedades físicas del suelo del lisímetro son semejantes a las del surco.



Figura 24. (A): Capa de grava en la capa inferior de los lisímetros. (B): Relleno de suelo en los lisímetros.

Finalmente sobre los lisímetros, donde están ubicadas las plantas, no se colocó el plástico que se utilizó en los surcos del cultivo, ya que precisamente el plástico controla el crecimiento de malezas y evita la evaporación en el surco, generando datos alterados de ETc.

4.4.1.3 Monitoreo

El contenido de agua almacenado en los lisímetros fue registrado periódicamente para un óptimo funcionamiento del sistema. El agua recolectada por los lisímetros fue cuantificada y posteriormente, mediante la ecuación 3 simplificada del balance hídrico, se determinó la evapotranspiración de acuerdo a la variación del contenido de humedad en el suelo con ayuda de la curva de retención de humedad.

4.4.2 Tensiómetros

En la zona de trabajo se instalaron 6 tensiómetros Irrometer® con medición hasta 100 KPa de 15 y 30 cm de profundidad. En cada lisímetro se instalaron 2 tensiómetros con el fin de monitorear y medir el contenido de humedad a las profundidades anteriormente mencionadas (Figura 25 y 26).



Figura 25. Tensiómetro Irrometer® de 15 cm instalado sobre el lisímetro con medición hasta 100 KPa.

Mediante el uso de los tensiómetros se midió el potencial mátrico (ψ_m) y el potencial gravitacional (ψ_g) que permiten conocer la tensión que ejerce el agua sobre el suelo, es decir, se determinó la variación en el contenido de humedad del suelo.



Figura 26. Lisímetro con 2 tensiómetros instalados junto a la planta de ají.

4.4.2.1 Curva de retención de humedad

La curva de retención de humedad es una gráfica que representa la relación entre el potencial mátrico del agua del suelo y el contenido de humedad del mismo, en un amplio rango de tensiones.

En el presente trabajo se utilizó el software libre RETC versión 6.02 para la determinación de las curvas de retención de humedad para las muestras de suelo de los 3 lisímetros estudiados (Figura 27). Para definir las curvas, el programa requirió la textura de las muestras y la densidad aparente de cada una de ellas.

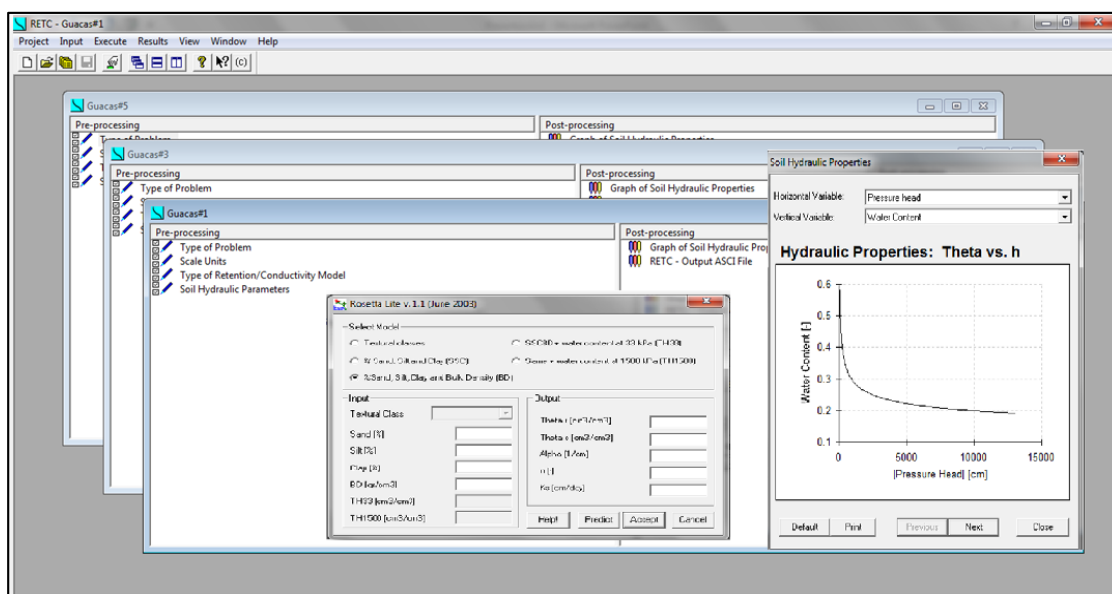


Figura 27. Software RETC versión 6.02 para determinación de curvas de retención de humedad del suelo.

4.4.2.2 Capacidad de campo

Dentro de la metodología propuesta para la determinación de la evapotranspiración de un cultivo, se recomienda mantener el cultivo a capacidad de campo, es decir un estado de humedad ideal para el desarrollo de los cultivos.

Según (FAO, 2005), para determinar la capacidad de campo es necesario medir el contenido de humedad de una porción de suelo saturado que se deja drenando durante 48 horas para el caso de suelos bien estructurados.

En el presente proyecto se determinó la capacidad de campo para las muestras de suelo de los 3 lisímetros a 2 profundidades: 15 y 40 cm. En el lisímetro #2 sólo se tomó una muestra de suelo a una profundidad de 40 cm ya que no había disponibilidad de más cilindros para muestras no alteradas que son necesarios para realizar este análisis en el laboratorio.

Las muestras de suelo fueron analizadas en el laboratorio de Aguas y Suelos Agrícolas (LASA), y en él se realizaron las pruebas de capacidad de campo.

Antes de iniciar el proceso de saturación, se registró el peso húmedo del suelo PSH. Luego se dejaron saturar las muestras sobre la mesa de tensión (caja de arenas) durante 48 horas y fueron cubiertos los cilindros con una gasa sobre la parte inferior para evitar la pérdida de material (Figura 28 A y 28 B).



Figura 28. (A) Mesa de tensión en modo de saturación a las muestras. (B) Muestras de suelo saturadas en la mesa de tensión.

Una vez registrados los pesos del suelo saturado (PSSat), las muestras se drenaron en la misma mesa de tensión con una succión de 100 cm de altura durante 48 horas, produciendo el vaciamiento de macroporos (Figura 29).



Figura 29. Muestras de suelo drenadas en la mesa de tensión.

En las muestras de suelo ya drenadas aún hay contenido de humedad dentro de los microporos, por lo tanto se procede al secado de las muestras a una temperatura de 105°C durante 24 horas (Figura 30).



Figura 30. Muestra de suelo seca en la balanza.

Finalmente, la capacidad de campo se determina como el contenido de humedad que debe tener el suelo para el óptimo desarrollo del cultivo. Por lo tanto este contenido de humedad está representado por la siguiente ecuación:

$$CC = (PSD - PSS) / PSS * 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

Teniendo los valores de capacidad de campo en las muestras de suelo de los lisímetros, se determinó la tensión relacionada a la humedad de capacidad de campo sobre las tablas y curvas de retención de humedad.

4.4.3 Estación climática portátil:

Para el registro y seguimiento de los datos meteorológicos se dispuso de la estación climática portátil Davis Vantage Pro2® que se instaló dentro del predio de la parcela experimental y

la consola receptora de los datos registrados permaneció en la casa de uno de los habitantes dueños de un lote de la parcela (Figura 31).



Figura 31. Estación climática portátil instalada dentro de uno de los lotes y Consola receptora de datos de la estación climática.

La estación climática inició la toma de datos el 9 de Octubre de 2014 y finalizó el día 21 de Febrero de 2015 y el registro estuvo programado para tomar datos a cada 2 horas.

Dentro de los datos registrados por la estación, los más relevantes y que fueron utilizados para el desarrollo y análisis del presente proyecto fueron: temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$), temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$), humedad exterior (%), velocidad del viento (Km/hr), insolación (horas de sol), precipitación (mm) y evapotranspiración de referencia ETo (mm).

Con estos datos registrados, se determinó diariamente la evapotranspiración de referencia ETo por medio del software Cropwat de la FAO.

4.5 PROGRAMACIÓN DE RIEGO Y REGISTRO DE DATOS

4.5.1 Riego de lisímetros

A diferencia de la aplicación de riego en el cultivo del predio por medio del sistema de riego localizado de alta frecuencia, en los lisímetros fue suministrado manualmente con un recipiente de medición de volumen y una probeta como lo muestra la Figura 32. De esta forma se obtuvo un control y se cuantificó las entradas en el balance hídrico.



Figura 32. Recipientes utilizados en la aplicación del riego en los lisímetros.

El riego fue realizado periódicamente cada vez que los valores de tensión marcados por los tensiómetros fueran superiores a la tensión respectiva de capacidad de campo, esto quiere decir que el agua consumida por la planta fue restituida suministrada hasta llegar al contenido de humedad ideal de capacidad de campo.

La aplicación del riego sobre los lisímetros fue diferente en cada una de las fases fenológicas del cultivo, de acuerdo a su desarrollo y a la evapotranspiración diaria de las plantas.

El volumen de suelo a ser regado se determinó teniendo en cuenta el estado de desarrollo de la planta en cada lisímetro. Para ello se estimó el área de influencia de riego como la

circunferencia proyectada por la cobertura vegetal de la planta; y el crecimiento radicular de la planta obteniendo valores de profundidad efectiva.

Esta profundidad multiplicada por el área de influencia representa el volumen de suelo que será regado.

De esta forma, ya teniendo el contenido de humedad volumétrico (H) relacionado a una tensión obtenido a partir de la curva de retención de humedad y el volumen de suelo a regar (V), se expresó el volumen de humedad del suelo (Hs) como el producto de estos dos factores:

$$Hs = H * V \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde,

Hs: Humedad del suelo expresada en volumen de agua (ml)

H: Humedad volumétrica relacionada a una tensión determinada por la curva de retención de humedad (%)

V: Volumen de agua en el suelo a regar (ml).

De esta manera, el volumen de agua que será aplicado al lisímetro (Va), el cual corresponde a la evapotranspiración real del cultivo, será la diferencia entre volumen de agua contenido en el suelo a capacidad de campo y el volumen de agua en el suelo correspondiente a la lectura de tensión registrada por los tensiómetros:

$$Va = Hcc - Hsx \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde,

Va: Volumen de agua a aplicar (ml)

Hcc: Volumen de agua en el suelo a capacidad de campo (ml)

Hsx: Volumen de agua en el suelo registrado en tiempo real por los tensiómetros (ml)

De esta forma, el volumen de agua que se aplica cada vez que se hace el riego en los lisímetros permitirá que se llegue al estado de humedad a capacidad de campo.

Los volúmenes aplicados en cada uno de los lisímetros fueron registrados en la tabla de registro de datos (**Anexo B**). En cada riego se tomaron las lecturas de tensión de los 2 tensiómetros, luego en las tablas de indicación de riego (**Anexo C**) se verificó el volumen a aplicar de acuerdo a la tensión medida por uno de los tensiómetros. En este caso se escogió la tensión cuyo tensiómetro se encontrara cercano a la profundidad efectiva de raíz, es decir, que a profundidades radicales menores de 30 cm, el tensiómetro el cual se verificaba era el de 15 cm.

Cuando la profundidad radicular efectiva fue mayor a 30 cm, se revisaban los dos tensiómetros y se tenía en cuenta el dato cuya tensión fuera más crítica, ya que en muchos casos los estratos inferiores se encontraban húmedos pero los superiores muy secos y viceversa.

Igualmente también fueron cuantificados y registrados volúmenes drenados por los lisímetros. En estos casos, los volúmenes de agua drenados incidieron en la ecuación del balance hídrico para determinar la evapotranspiración del cultivo.

4.5.2 Climatología y evapotranspiración (ET_o)

Para la determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) se utilizó la ecuación de Penman-Monteith de la FAO mediante el software Cropwat tomando como referencia los datos climáticos obtenidos en la estación climática portátil que se descargaron por medio del software WeatherLink 6.0.3.

Con estas variables registradas, se determinó diariamente la evapotranspiración de referencia ET_o por medio del software Cropwat de la FAO (**Anexo D**).

4.6 BALANCE HÍDRICO Y EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ETC)

El proyecto consistió en determinar la curva experimental del coeficiente del cultivo de ají tabasco mediante el método de balance hídrico, utilizando lisímetros que permitieron medir la evapotranspiración ETc. Para ello se construyeron los lisímetros y posteriormente se instalaron en la parcela que fue sembrada de ají Tabasco (*Capsicum annuum*).

La evapotranspiración del cultivo (ETc) se determinó para cada fase del ciclo vegetativo del cultivo, y se calculó a partir de la ecuación 3 como un cambio en la humedad del suelo confinado por el lisímetro, donde el contenido de humedad inicial: es capacidad de campo; y la humedad final: el consumo de la porción del suelo que se determinó por la curva de retención de humedad del suelo medida por los tensiómetros. De esta manera el riego en el lisímetro es el suministro de la cantidad de agua consumida. El área restante del predio, contó con la implementación de un sistema de riego localizado de alta frecuencia por goteo que se diseñó e instaló por el grupo de investigación Regar.

Como se mencionó anteriormente, se determinó la evapotranspiración de referencia (ETo) por medio del software Cropwat. Con valores diarios de ETo y ETc se calculó el coeficiente de cultivo (Kc) utilizando la ecuación 4 ($Kc = ETc / ETo$).

Finalmente, con los valores promedios de cada una de las fases del ciclo del cultivo, se construyó la curva del coeficiente de cultivo para el ají tabasco para condiciones edafoclimáticas propias del Valle del Cauca.

4.7 NECESIDAD DE RIEGO NETA Y TOTAL

Para determinar la necesidad de riego neta del cultivo es necesario conocer la ETc y la precipitación efectiva (Pe). Ésta última resulta del método del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés) expuesta en la ecuación 8:

$$Pe = P * \frac{(125 - (0.20P))}{125} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde,

Pe: Precipitación efectiva (mm).

P: Precipitación (mm)

De esta forma la necesidad de riego neta se expresa como la diferencia entre la ETc y la Pe:

$$NRn = ETc - Pe \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde,

NRn: Necesidad de riego neta (mm)

ETc: Evapotranspiración de cultivo (mm).

Pe: Precipitación efectiva (mm).

Finalmente, la necesidad de riego total (NRt) tiene en cuenta la eficiencia de aplicación de riego en el cultivo que depende del sistema que sea empleado. Por lo tanto, la NRt resulta de la siguiente ecuación:

$$NRt = \frac{NRn}{Ea} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde,

NRt: Necesidad de riego total (mm).

NRn: Necesidad de riego neta (mm).

Ea: Eficiencia de aplicación.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD

Como se mencionó en el numeral 4.4.2.1, por medio del software libre RETC versión 6.02, se crearon las curvas de retención de humedad para las muestras de suelo de los 3 lisímetros estudiados. En la Tabla 2 se presenta la textura y densidad aparente de las muestras de suelo que el programa requirió para la determinar las curvas.

Tabla 2. Textura muestras de suelo de lisímetros.

LISÍMETRO #	Da (g/cm ³)	A(%)	L(%)	Ar(%)	TEXTURA
1	1,45	49	15	37	ArA
2	1,19	31	25	45	Ar
3	1,12	20	29	51	Ar

En las Figuras 33, 34 y 35 se muestran las 3 curvas que corresponden al suelo contenido en los lisímetros 1, 2 y 3 respectivamente:

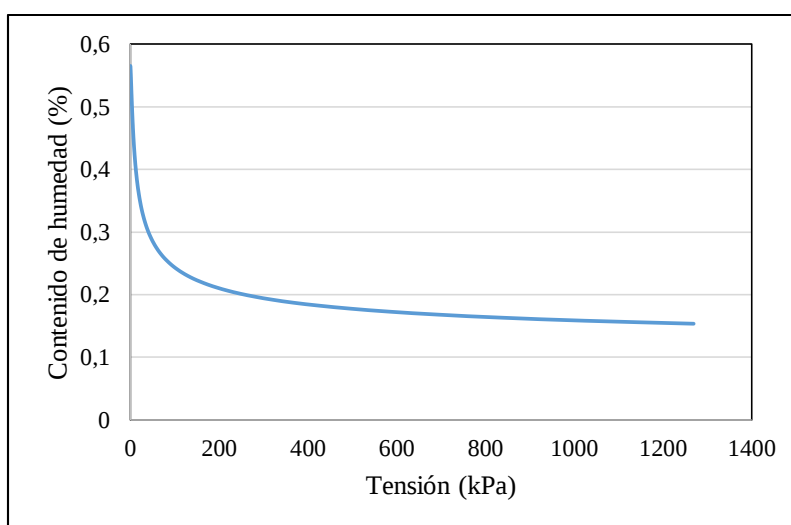


Figura 33. Curva de retención de humedad lisímetro #1

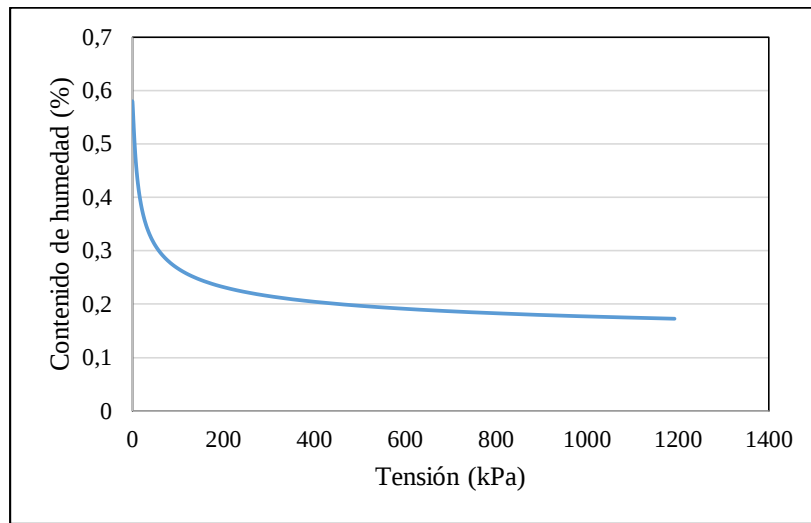


Figura 34. Curva de retención de humedad lisímetro #2

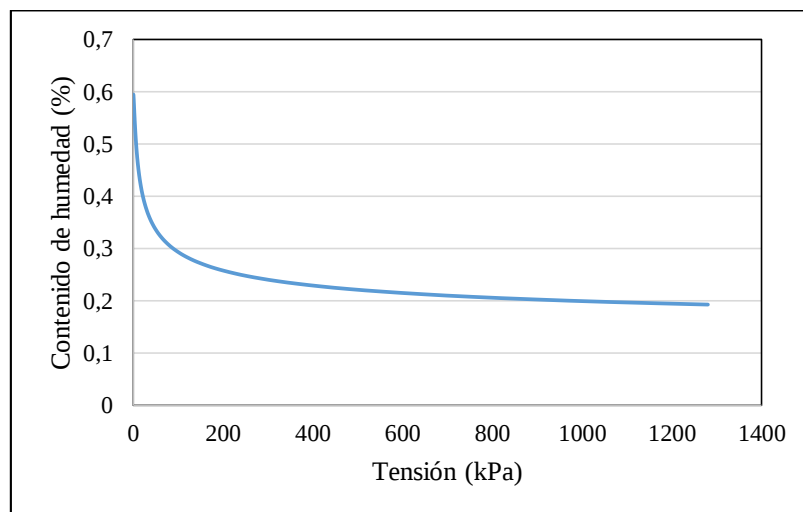


Figura 35. Curva de retención de humedad lisímetro #3

Como muestran las figuras, la tensión y el contenido de humedad volumétrico tienen una relación inversamente proporcional, es decir que a medida que aumenta la tensión, el contenido de humedad disminuye.

Teniendo definidas las curvas de retención de humedad del suelo se estableció el contenido de humedad volumétrico que presenta éste en cualquier momento al medir en el campo la tensión con que el agua está retenida (Jaramillo, 2002). Las tablas que muestran este

contenido de humedad en los lisímetros 1,2 y 3 están expuestas en el **Anexo A** en las Tablas 14, 15 y 16 respectivamente.

5.2 CAPACIDAD DE CAMPO

Según la metodología para la determinación de la capacidad de campo mencionada en el numeral 4.4.2.2, el peso húmedo del suelo PSH registrado de las muestras se presenta en la Tabla 3. Los cilindros 18 y 6 corresponden a las muestras tomadas del suelo del lisímetro #1. El cilindro 9 corresponde al lisímetro #2 y al lisímetro #3 corresponden los cilindros 2 y X.

Tabla 3. Peso de suelo húmedo de las muestras (PSH).

CILINDRO #	PESO (g)	PESO CILINDRO (g)	PSH (g)
2	203,2	94,3	108,9
6	218,0	95,0	123,0
9	244,5	95,9	148,6
18	214,1	94,8	119,3
X	235,0	93,9	141,1

Una vez finalizado el proceso de saturación, los pesos de las muestras de suelo saturadas fueron:

Tabla 4. Peso de las muestras de suelo saturadas (PSSat).

CILINDRO #	PESO (g)	PESO CILINDRO (g)	PSSat (g)
2	237,1	94,3	142,8
6	251,2	95,0	156,2
9	263,3	95,9	167,4
18	248,6	94,8	153,8
X	252,1	93,9	158,2

Luego de ser saturadas las muestras, se registró el peso de muestras de suelo drenadas. Los pesos resultantes son presentados en la Tabla 5.

Tabla 5. Peso de muestras de suelo drenadas (PSD).

CILINDRO #	PESO (g)	PESO CILINDRO (g)	PSD (g)
2	214,5	94,3	120,2
6	235,7	95,0	140,7
9	251,5	95,9	155,6
18	231,2	94,8	136,4
x	241,2	93,9	147,3

Luego de ser drenadas las muestras, éstas pasan por un proceso de secado. En la Tabla 6 se presenta el peso de suelo seco de las muestras.

Tabla 6. Peso de suelo seco (PSS) de las muestras.

CILINDRO #	PESO (g)	PESO CILINDRO (g)	PSS (g)
2	175,5	94,3	81,2
6	194,8	95,0	99,8
9	208,7	95,9	112,8
18	193,6	94,8	98,8
x	194,6	93,9	100,7

Finalmente, según la ecuación 5 se determinó el contenido de humedad en base a masa de la capacidad de campo de las muestras de suelo. Los resultados son presentados en la Tabla 7.

Tabla 7. Contenido de humedad a capacidad de campo (%).

LISÍMETRO	HUMEDAD A CAPACIDAD DE CAMPO (%)	
	PROFUNDIDAD 15 CM	PROFUNDIDAD 40 CM
1	38,06	40,98
2	-	37,94
3	48,03	46,28

5.3 VARIACIÓN VOLUMEN A REGAR

Teniendo en cuenta la metodología para el riego de lisímetros enunciada en el numeral 4.5.1, el desarrollo radicular del cultivo de ají para determinar el volumen de suelo a ser regado se presenta en la Tabla 8 y Figura 36.

Tabla 8. Desarrollo radicular del cultivo de ají de acuerdo a las fases fenológicas del cultivo.

FASE FENOLOGICA	DESCRIPCIÓN	DÍAS DESPUÉS DE TRASPLANTE	PROFUNDIDAD EFECTIVA RADICULAR (cm)		
			INICIO	MEDIO	FIN
I	Siembra hasta cubrir 10% de la superficie del suelo.	1	10	12,5	15
II	Finaliza hasta antes de la floración, que corresponde a un intervalo del 70 al 80% de la cobertura vegetal.	25	15	20	25
III	Corresponde al periodo de floración y desarrollo de frutos.	45	25	30	35
IV	Periodo de maduración, comprendida entre el fin de la fase III y la cosecha.	100	35	37,5	40

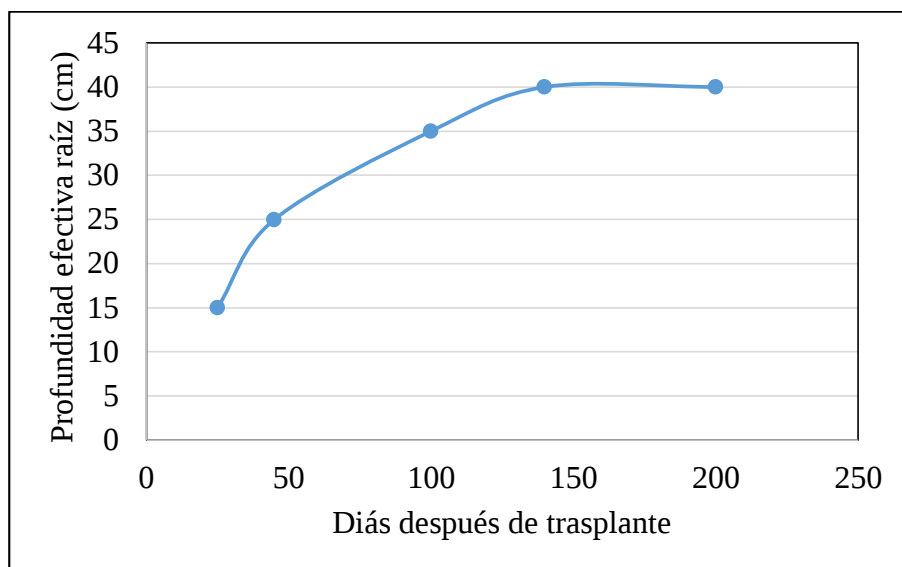


Figura 36. Desarrollo efectivo radicular del ají tabasco.

De esta manera, el volumen de suelo que será regado es representado como el producto entre la profundidad efectiva y el área de influencia. Los valores de volumen iniciaron en el primer ciclo con 589 ml y finalizó en la fase de cosecha con un volumen de 56991 ml. En las Tablas 9, 10 y 11 se presentan los cambios de área y volumen durante las fases fenológicas en las plantas de cada uno de los lisímetros.

Tabla 9. Cambios de área de influencia y volumen de suelo a regar durante las fases fenológicas del cultivo en el lisímetro #1.

FASE FENOLÓGICA	FECHA	DÍAS DESPUÉS DE TRASPLANTE	PROF. RADICULAR (cm)	ÁREA DE INFLUENCIA (cm ²)	VOLUMEN DE SUELO A REGAR (cm ³)
FASE 2	05/11/2014	29	10	452	4522
	08/11/2014	32	15	615	9232
	19/11/2014	43	22,5	907	20418
FASE 3	21/11/2014	45	25	907	22687
	11/12/2014	65	30	1385	41542
FASE 4	15/01/2015	100	35	1520	53192
	07/02/2015	123	37,5	1520	56991

Tabla 10. Cambios de área de influencia y volumen de suelo a regar durante las fases fenológicas del cultivo en el lisímetro #2.

FASE FENOLÓGICA	FECHA	DÍAS DESPUÉS DE TRASPLANTE	PROF. RADICULAR (cm)	ÁREA DE INFLUENCIA (cm ²)	VOLUMEN DE SUELO A REGAR (cm ³)
FASE 1	06/11/2014	13	7,5	79	589
	08/11/2014	15	12,5	154	1923
FASE 2	19/11/2014	26	15	154	2308
	24/11/2014	31	15	201	3014
	02/12/2014	39	20	254	5086,8
FASE 3	11/12/2014	48	25	452	11304
	16/12/2014	53	25	907	22687
	30/12/2014	67	30	1385	41542
FASE 4	07/02/2015	106	35	1520	53192

Tabla 11. Cambios de área de influencia y volumen de suelo a regar durante las fases fenológicas del cultivo en el lisímetro #3.

FASE FENOLÓGICA	FECHA	DIAS DESPUES DE TRASPLANTE	PROF. RADICULAR (cm)	AREA DE INFLUENCIA (cm ²)	VOLUMEN DE SUELO A REGAR (cm ³)
FASE 2	05/11/2014	29	10	706,5	7065
	08/11/2014	32	15	803,84	12057,6
	19/11/2014	43	22,5	2123	47759
FASE 3	21/11/2014	45	25	2123	53066
	25/11/2014	50	25	1809	45216
	11/12/2014	65	30	1809	54259
FASE 4	15/01/2015	100	35	1520	53192
	07/02/2015	123	37,5	1520	56991

5.4 CLIMATOLOGÍA Y EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET_o)

La variación de la ET_o respecto a los días después del trasplante es presentada en la Figura 37.

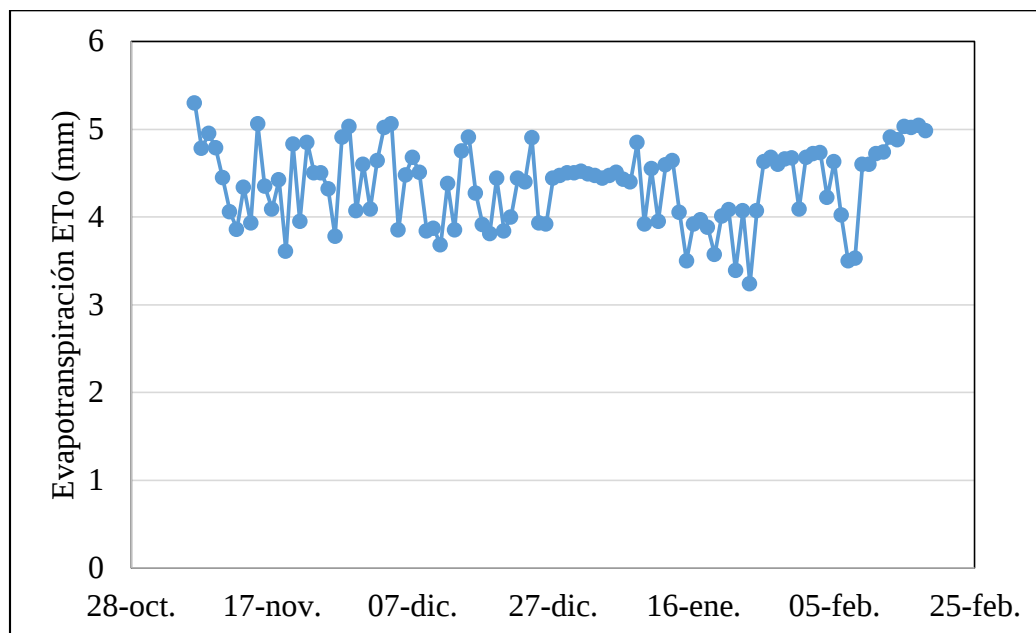


Figura 37. Evapotranspiración de referencia (ET_o).

En la figura se puede observar que los valores de ET_o se mantuvieron en un rango entre 3,24 a 5,30 mm, reflejando cierta semejanza durante el ciclo de 105 días. La variación fue de 2,06 mm donde la ET_o más baja fue de 3,24 mm que se presentó el 24 de enero de 2015 y la ET_o más alta fue de 5,30 mm presentándose el 6 de noviembre del 2014.

Los datos de ET_o obtenidos directamente de la estación se tuvieron en cuenta para compararlos con los resultados suministrados por Cropwat. Se determinó que los datos de ET_o estimados por la estación fueron inferiores, proporcionando valores de K_c más altos que los obtenidos en el presente proyecto.

En la Tabla 12 se presentan los valores promedios mensuales de las variables climatológicas medidas por la estación para el caso de la temperatura mínima, máxima, humedad, velocidad del viento e insolación. Los datos obtenidos por Cropwat son de radiación solar y evapotranspiración de referencia. Estos valores representan a los registrados desde el inicio del proyecto hasta su finalización.

Tabla 12. Promedio de las variables climatológicas durante los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero.

VARIABLE CLIMATOLÓGICA	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO
Temperatura Mínima (°C)	19,0	19,2	18,9	19,9
Temperatura Máxima (°C)	30,0	31,5	32,2	31,9
Humedad (%)	80,0	78,0	76,0	75,0
Velocidad del Viento (Km/día)	35,0	23,0	15,0	20,0
Insolación (Horas)	9,9	9,6	9,0	9,4
Radiación Solar (MJ/m ² /día)	23,4	22,4	22,0	23,4
ET _o (mm/día)	4,48	4,32	4,22	4,62

5.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO ETC, VOLUMEN DE RIEGO APLICADO Y ÁREA EQUIVALENTE

Teniendo en cuenta la ecuación 3, donde se resume la ET_c como un cambio de humedad W del suelo, se determinó la evapotranspiración del cultivo en cada una de las plantas de los lisímetros que se encontraban en un volumen de control. De esta forma la ET_c resulta de la razón entre los volúmenes de riego registrados diariamente en cada uno de los lisímetros y el área equivalente al volumen de control confinado por el lisímetro, es decir:

$$ETc \text{ (mm)} = \frac{\text{Volumen de riego (L)}}{\text{Área equivalente (m}^2\text{)}} \quad \text{Ecuación 11}$$

Los resultados obtenidos de la evapotranspiración del cultivo ETc, el volumen de riego aplicado y el área equivalente se presentan en el **Anexo E** en las Tablas 25, 26 y 27 que representan los lisímetros 1, 2 y 3 respectivamente.

El área equivalente 0,25 m², que es constante, resulta de las dimensiones (50 x 50 cm²) del lisímetro.

Como se puede observar, hay días en que la evapotranspiración es cero (0), esto se debe a que en ese día específicamente no se suministró riego sobre la planta por presentar una humedad a capacidad de campo. No obstante, tanto los seres humanos como las plantas transpiramos todos los días, por este motivo se distribuyeron los datos de suministro de riego en los días que no se aplicó agua sobre la planta con el fin de estimar la evapotranspiración diaria de la planta (**Anexo F**).

Los datos registrados de ETc para cada lisímetro fueron analizados con una prueba no paramétrica por medio del software SPSS mediante el test de Friedman el cual, al ser estudiados los 3 ensayos y posteriormente ser comparados en parejas, se determinó que los datos del lisímetro 2 presentan una diferencia estadística significativa respecto a los datos de los otros lisímetros. La significancia entre los datos de ETc de los lisímetros 1 y 3 fue de $p=0.143$ superando el nivel de significancia fijado (0.05) el cual confirma que el conjunto de datos no presentan diferencias estadísticas significativas.

Comprobando con el desarrollo fenológico de la planta correspondiente al lisímetro 2, se presentaron diferentes dificultades entre ellas el marchitamiento en 2 oportunidades de la planta. Por esta razón se decide continuar con los datos obtenidos en los lisímetros 1 y 3 para el respectivo análisis de los resultados.

En estudios de Kc se recomienda determinar este coeficiente para cada 5 días, sumando los valores obtenidos durante ese periodo de tiempo con el fin de obtener resultados más coherentes. De este modo se debe determinar también la ETc y la ETo para 5 días (**Anexo F** y **G** respectivamente).

En la Figura 38 se presenta la evapotranspiración de cultivo (ETc) determinada para cada 5 días del promedio entre los lisímetros 1 y 3, junto a la evapotranspiración de referencia ETo. Los datos se registraron durante 117 días en un ciclo que inició en el día 15 después del trasplante hasta el día 134.

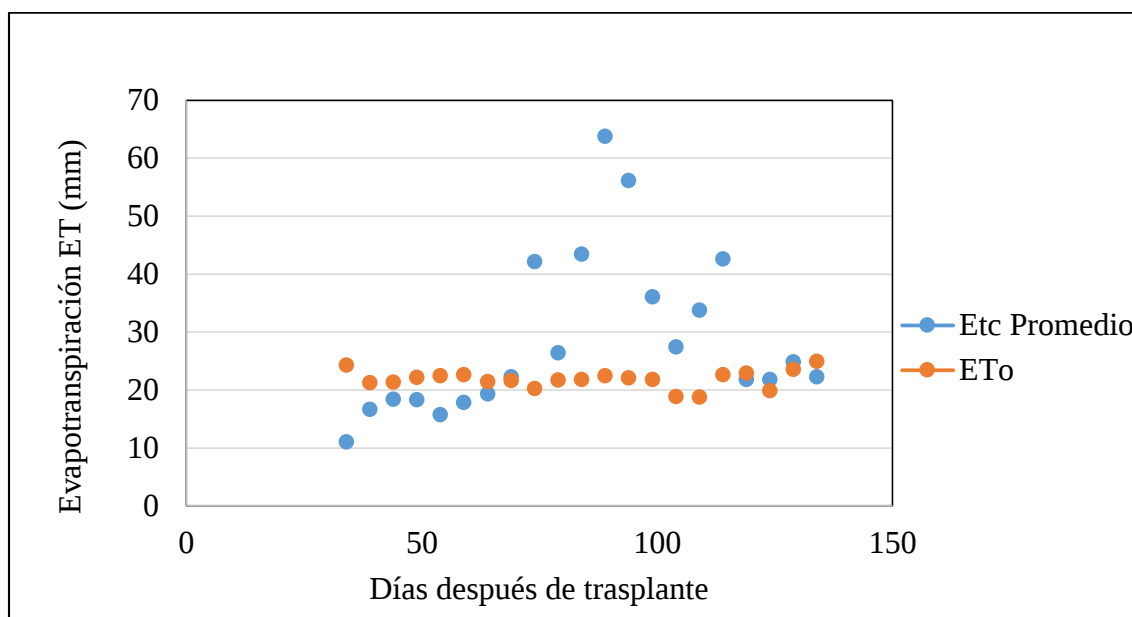


Figura 38. Evapotranspiración de referencia (ETo) y de cultivo (ETc) en los 3 lisímetros y su promedio.

En general, los valores de ETo fueron muy parecidos durante todo el ciclo que inició justamente al finalizar la temporada de lluvias (Octubre- noviembre) y donde la temporada seca (Diciembre-Febrero) estuvo afectada por lluvias ocasionales evitando grandes diferencias climáticas.

Por otro lado, en la ETc si se presentó gran variabilidad durante el ciclo. En los 2 lisímetros, durante las primeras fases fenológicas del cultivo, la evapotranspiración fue menor que en fases de desarrollo y floración (Fase 3) donde se registraron los valores más altos de ETc durante un periodo entre 70 DDT hasta 100 DDT. Luego de producir el fruto (durante la maduración), la evapotranspiración disminuye hasta llegar a la cosecha.

Este comportamiento se asemeja al obtenido por Miranda *et al.*, (2005), donde los valores máximos de ETc ocurrieron desde 80 DDT hasta 100 DDT durante la floración y desarrollo del fruto y luego decrecieron hasta la fase de cosecha.

La evapotranspiración acumulada de ETo y ETc durante el ciclo total de 105 días, que inicia a los 34 días después del trasplante y finaliza a los 134, es ilustrada en la Figura 39.

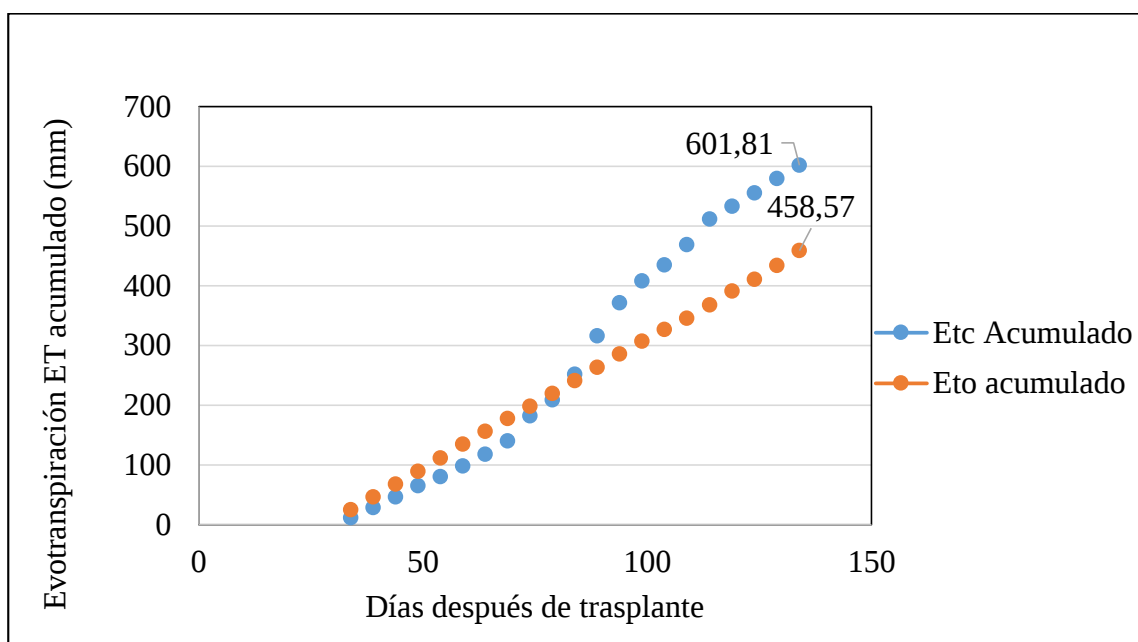


Figura 39. Evapotranspiración de referencia ETo y de cultivo ETc acumulado.

La ETo total acumulada determinada en este estudio fue de 458,57 mm y en el caso de la ETc fue de 601,81 mm que representa las necesidades hídricas del cultivo de ají tabasco para un ciclo de 134 días después de ser trasplantas. Este valor se encuentra dentro del rango

mencionado por Doorenbos *et al.*, (1979) donde determinaron que para el cultivo de ají, la ETc acumulada durante su ciclo vegetativo puede variar en un rango entre 600 a 1250 mm dependiendo de la región climática y la variedad del ají.

Por otro lado Miranda *et al.*, (2005) encontró un valor de ETc acumulado de 888 mm, sin embargo fue determinado durante un ciclo de 300 días para condiciones edafo-climáticas del nordeste de Brasil.

Finalmente Owusu *et al.*, (2010) determinaron que el cultivo de ají tabasco requiere de 587,48 mm de agua durante un ciclo de 120 días para una zona de estudio en la ciudad de Cape Coast en Ghana.

Este último dato de ETc acumulado se asemeja al obtenido en el presente estudio (601,81 mm) debido a que los respectivos estudios se realizaron durante mismo periodo de tiempo (100-120 días). Así mismo, si el estudio se prolongara a un ciclo de 300 días, seguramente coincidiría con los datos obtenidos por los anteriores autores.

5.6 COEFICIENTE DE CULTIVO Kc

Teniendo ya los datos de ETc y ETo, de la ecuación 4 resulta el coeficiente de cultivo Kc como la razón entre estos dos valores.

En el **Anexo H** se presentan los valores obtenidos del Kc para cada 5 días de los lisímetros 1 y 3 relacionados a un orden cronológico representado como los días después del trasplante (DDT), que es la metodología típica para la representación del coeficiente de cultivo Kc.

El registro de datos inició el día 6 de noviembre de 2014 y para esta fecha las plantas de los lisímetros 1 y 3 ya tenían 29 días de ser trasplantadas registrando valores a partir de la fase

II. De esta forma, el primer dato de Kc a cada 5 días en los lisímetros 1 y 3 se dio a los 34 días después del trasplante.

En las Figuras 32, 33 y 34 se representan los valores de Kc obtenidos relacionados a los días después de trasplante en los lisímetros 1, 3 y el promedio respectivamente. En cada una de las curvas se ajustó una línea de tendencia polinómica de orden 2 con el fin de asemejar el comportamiento de la variación del Kc respecto al tiempo. De igual forma, en las curvas se presenta el coeficiente de correlación lineal R. En general, los valores de R representan una buena correlación entre las variables mostrando cierta confiabilidad en el modelo polinómico de orden 2 propuesto. Los valores de R obtenidos para las Figuras 40, 41 y 42 son 0,834, 0,564 y 0,738 respectivamente.

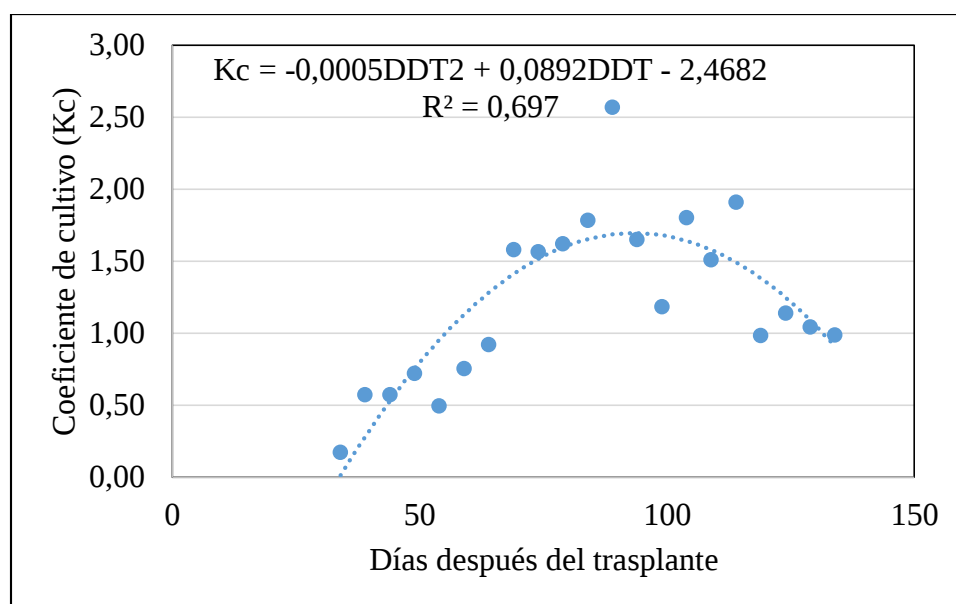


Figura 40. Coeficiente de cultivo del lisímetro 1.

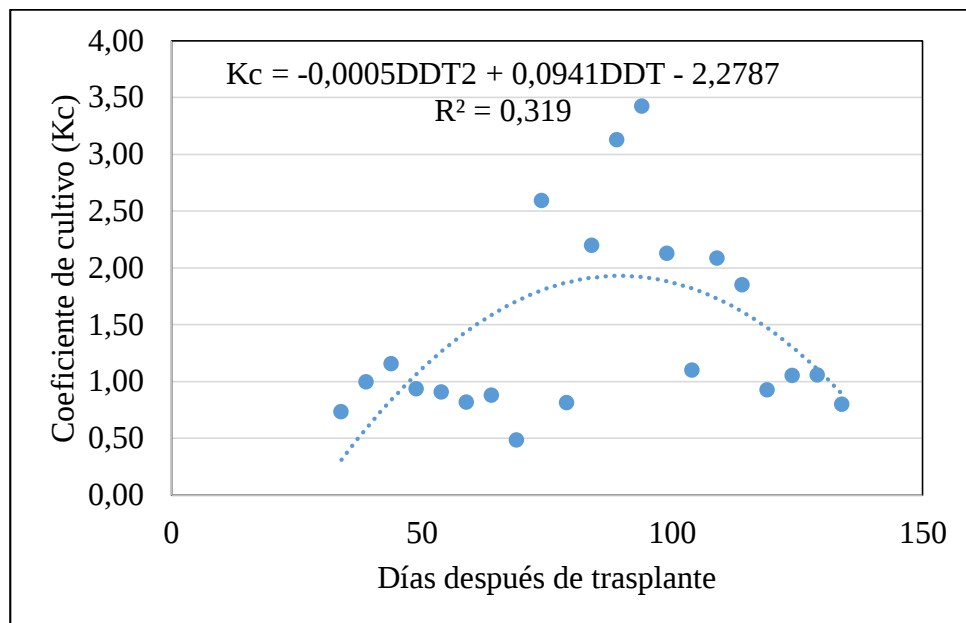


Figura 41. Coeficiente de cultivo del lisímetro 3.

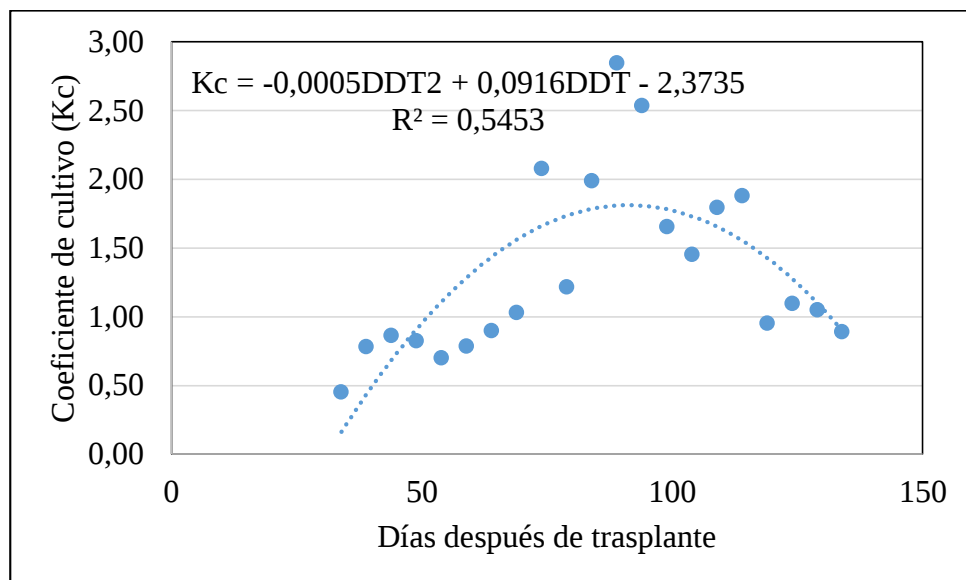


Figura 42. Coeficiente de cultivo promedio

Los valores encontrados para los coeficientes de cultivo (K_c) del ají tabasco varían de acuerdo a las fases fenológicas del cultivo.

En el estado de Alagoas, región nordeste de Brasil, Santos *et al.*, (2014) determinó el coeficiente de cultivo (Kc) estimado por el método Penman-Monteith de la FAO a los 15, 30, 45, 65 y 75 días después del trasplante. Estos valores son: 0.57, 0.63, 1.62, 1.37, 0.68 respectivamente.

Por otro lado, el coeficiente Kc para la fase I, II, III y IV durante un ciclo de 120 días fueron 0.47, 0.86, 1.42 y 0.91 respectivamente para la zona de estudio en la ciudad de Cape Coast en Ghana (Owusu *et al.*, 2010).

Promediando los valores, se obtuvo en el presente estudio un Kc durante la fase II de 0,70 en un período de 30 a 44 días después del trasplante y tiene un comportamiento creciente que continua en la fase de floración y desarrollo de frutos (Fase III) donde obtiene los valores más altos de Kc. El valor promedio para esta fase es de 1,51 (45-99 DDT). Finalmente se presentan valores decrecientes para la última fase de maduración de frutos y cosecha (Fase IV) obteniendo en promedio un valor de 1,30 en un periodo de 100 a 134 DDT.

Estos valores difieren en las primeras fases a los determinados por Chaves *et al.*, (2005), cuyos valores de Kc para las fases I, II, III y IV fueron de 0,96 (0 a 25 DDT), 1,13 (25 a 75 DDT), 1,29 (75 a 120 DDT) y 1,24 (120 a 135 DDT) respectivamente.

La diferencia de valores en las primeras fases puede ser debido a que justamente en estas fases no se obtuvieron suficientes datos como en las otras fases ya que el registro de datos de los lisímetros inició durante la segunda fase del cultivo a los 34 días de haber sido trasplantados.

5.7 CURVA DE COEFICIENTE DE CULTIVO

La metodología aplicada para la construcción de la curva de coeficiente de cultivo Kc fue la propuesta por la FAO (Numeral 3.5.4). En ella, los valores de Kc se dividen en cada uno de

las fases fenológicas del cultivo y posteriormente se toma para cada fase un valor promedio. Luego se construye la curva obteniendo 3 valores de K_c : inicial, medio y final. En la Figura 43, se presenta la curva del coeficiente de cultivo resultante del promedio de los datos obtenidos en los 2 lisímetros.

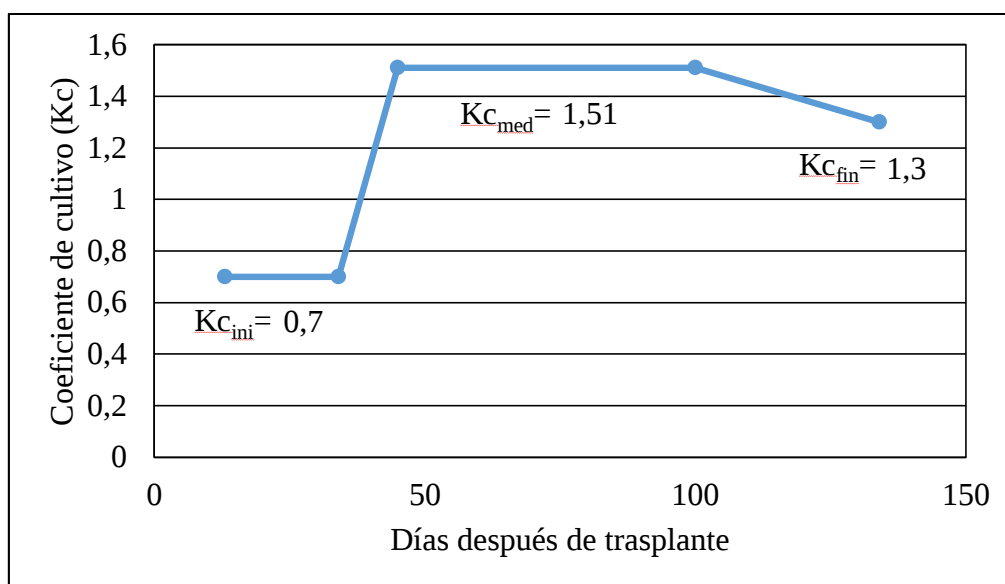


Figura 43. Curva coeficiente de cultivo (K_c) resultante del promedio entre los datos obtenidos de los 2 lisímetros.

Los valores de $K_{c_{ini}}$, $K_{c_{med}}$ y $K_{c_{fin}}$ resultantes en esta curva de coeficiente de cultivo son 0,7, 1,51 y 1,30 respectivamente (Tabla 13). Los máximos valores de K_c obtenidos (1,51) se presentaron a partir de los 45 días después del trasplante, que corresponde a la fase de floración y desarrollo de frutos. Luego a partir de los 100 DDT, el coeficiente de cultivo disminuyó hasta 1,30 finalizando en el periodo de cosecha a los 134 DDT.

Estos valores obtenidos son cercanos con los reportados por la FAO en el Manual de Riego y Drenaje #56 (Allen *et al.*, 1998). No obstante, es importante mencionar que los datos presentados por la FAO corresponden al cultivo de ají morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivado en regiones áridas del mediterráneo europeo.

Tabla 13. Coeficiente de cultivo (Kc) obtenidos para la región del Valle del Cauca y los reportados en el Manual Riego y Drenaje #56 de la FAO (Allen et al., 1998).

FASE DESARROLLO	VALORES DE Kc OBTENIDOS ¹	VALORES DE Kc REPORTADOS POR LA FAO ²
Inicial	0,70	0,3
Medio	1,51	1,05
Final	1,30	0,9

¹ Valores promedio de los datos obtenidos en los 2 lisímetros.

² Coeficiente de cultivo Kc para Ají morrón (*Capsicum annum.L*)

Por otro lado, Miranda *et al.*, (2005) determinaron la curva de Kc para el cultivo de ají tabasco en la región del nordeste de Brasil. Los valores de Kc_{inicial}, Kc_{medio} y Kc_{final} obtenidos son respectivamente 0,30, 1,22 y 0,65. Estos valores se acercan más a los obtenidos en el presente proyecto debido a que la región del nordeste de Brasil tiene condiciones edafoclimáticas similares a las del Valle del Cauca, además la especie de estudio es la misma (Ají tabasco).

5.8 NECESIDAD DE RIEGO NETA Y TOTAL

De acuerdo al numeral 4.7, la precipitación efectiva (Pe) se determinó por medio del método del USDA (Ecuación 8) usando los datos de precipitación registrados por la estación climática que inició el día 6 de noviembre y finalizó el 18 de febrero. Estos datos son presentados en el **Anexo I** (Tabla 35).

La Figura 43 muestra la evapotranspiración del cultivo ETc y la precipitación efectiva (Pe) determinadas para cada 5 días.

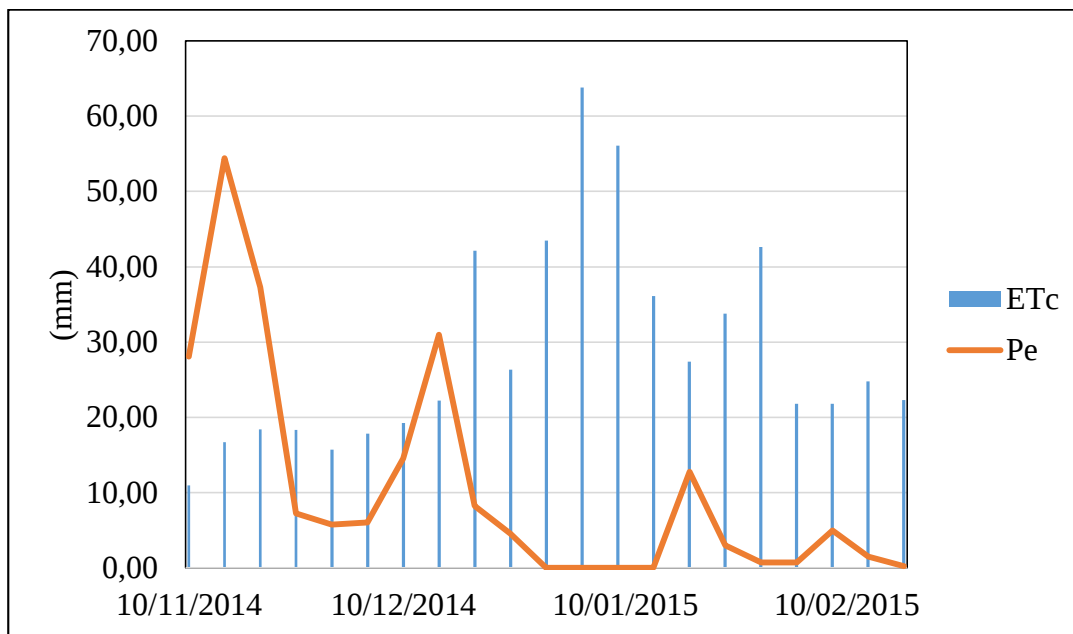


Figura 44. Evapotranspiración de cultivo (ETc) y Precipitación efectiva (Pe)

Teniendo en cuenta la ecuación 9 presentada en el numeral 4.7, la necesidad de riego neta (NRn) del cultivo durante el ciclo de 105 días fue de 380,52 mm. La necesidad de riego total (NRt) según la Ecuación 10 fue de 447,67 mm teniendo en cuenta una eficiencia de aplicación del 85% por el sistema de riego de alta frecuencia empleado.

6 CONCLUSIONES

- Para condiciones edafo-climáticas de la vereda de Guacas, municipio de Guacarí (Valle del Cauca), los coeficientes de cultivo (K_c) determinados para las fases II, III y IV son 0,70 (30 a 44 DDT), 1,51 (45 a 100 DDT) y 1,30 (100 a 134 DDT) respectivamente. Los valores encontrados son cercanos a los propuestos por la FAO (1998), teniendo en cuenta que la región y la variedad de ají estudiados por la FAO son diferentes.
- Los resultados obtenidos en este estudio indican que la evapotranspiración del cultivo (ET_c) en el ají tabasco fue de 601,81 mm durante un ciclo total de 134 días después del trasplante, representándose la ET_c como las necesidades hídricas del cultivo durante el periodo de estudio. De igual forma, la necesidad de riego neta y la necesidad de riego total fueron de 380,52 y 447,67 mm respectivamente.

7 RECOMENDACIONES

- Continuar con estudios sobre la determinación de la curva del coeficiente del cultivo de ají tabasco en la región del Valle del Cauca.
- Determinar la evapotranspiración (ET_c) de este cultivo para etapas después de la primera cosecha y determinar su comportamiento.
- Realizar estudios sobre la evapotranspiración del ají tabasco cuando está cultivado sobre el plástico negro para surcos agrícolas y confrontarlos con los datos obtenidos sin el plástico.
- Para estudios de ET_o y K_c es necesario realizar un estudio de análisis físico, químico y biológico de suelos, para determinar el estado y tipo de suelo el cual se va a desarrollar dicho proyecto. Así mismo, realizar un análisis de calidad de agua en la fuente disponible para el riego del predio para evitar posibles daños en el cultivo.
- Se recomienda tener conocimientos fisiológicos del cultivo que se desea estudiar su evapotranspiración, especialmente el desarrollo radicular y las fases fenológicas, ya que el volumen de agua aplicado dependerán de estas variables.
- Tener en cuenta también el tipo de lisímetros que se emplearán y sus dimensiones que dependen del tamaño de la planta y su profundidad radicular. De igual forma, procurar una cobertura (techo) que permita la entrada de luz solar para un desarrollo normal de la planta.
- Implementar, monitorear y evaluar los resultados de esta investigación en las prácticas de riego de los cultivadores de ají tabasco del área de estudio.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, R. (2004). *Produção de pimenta tabasco em agricultura familiar no estado do Ceará*. Avaí-Ceará: Embrapa Hortaliças.
- Agronet. (23 de Noviembre de 2013). Agronet. Obtenido de http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/ReportesAjax/parametros/reporte16_2011.aspx?cod=16
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration*. Rome, Italy: FAO Irrigation Drainage Paper no. 56.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. En O. d. Alimentación, *Estudio FAO riego y drenaje no. 56 modificado de versión (1998)* (pág. 322). Roma.
- Borges, L. (2011). *Irrigação plena e com déficit em pimenta cv. Tabasco em ambiente protegido*. Piracicaba.
- Chaves Paulino, S. W., Moreira de Azevedo, B., de Medeiros, J. F., Lima Bezerra, F. M., & de Moraes, N. B. (2005). Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da pimenteira em lisímetro de drenagem. *Revista Ciência Agronômica*, 6.
- Corporación Colombiana Internacional. (2007). *Plan Hortícola Nacional*. Bogotá.
- Da Silva, N. (2012). *Construção, instalação e calibração de lisímetros para a determinação da evapotranspiração de referência*. Recife, Brasil.
- Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1979). *Yield Response to Water.*, FAO., Rome, Italy: FAO Irrigation and Drainage Paper, 33.
- Esmeral, Y. R. (2011). *Análisis de la evapotranspiración real en el cultivo de rosa*. Bogotá.
- FAO. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal*. Roma: Boletín de suelos de la FAO.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín: Universidad Nacional.
- Lopes, O. D. (2010). *Desenvolvimento, determinação do coeficiente de cultura (Kc) e da eficiência do uso da água do alecrim pimenta (Lippia sidoides Cham.) na região de Montes Claros, MG*. Janaúba, Brasil.
- Martínez, G. S. (2005). *Análisis de Agronegocios Alianza Productiva y Comercial Ají*. Cali, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2012). *Anuario estadístico de frutas y hortalizas 2007-2011 y sus calendarios de siembras y cosechas*. Bogotá: JL Impresores LTDA.
- Miranda, F. R., Gondim, R. S., & Costa, C. A. (2005). *Evapotranspiration and crop coefficients for tabasco pepper (Capsicum frutescens L.)*. Fortaleza, Brasil: Embrapa Tropical Agroindustry.
- Owusu-Sekyere, J. D., Asante, P., & Osei-Bonsu, P. (2010). *Water requirement, deficit irrigation and crop coefficient of hot pepper (Capsicum frutescens) using irrigation interval of four (4) days* (Vol. 5). Cape Coast, Ghana: ARPN Journal of Agricultural and Biological Science.
- Santos, C. S., Santos, D. P., Santos, M. A., Silva, T. V., & Silva, P. F. (2014). *Determinação do coeficiente de cultivo (Kc) da pimenta (Capsicum frutescens) para o agreste Alagoano*. Arapiraca, Alagoas, Brasil: Inovagri.
- URL¹: <http://www.tabasco.com/avery-island/>
- URL²: Alcaldía de Guacarí http://www.guacari-valle.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=1654830

ANEXOS

ANEXO A: Tablas contenido de humedad relacionado a la tensión.

Tabla 14. Contenido de humedad relacionada a la tensión en el lisímetro #1

TENSIÓN (KPa)	HUMEDAD (%)
100	24,4
99	24,4
98	24,5
97	24,5
96	24,6
95	24,6
94	24,7
93	24,7
92	24,8
91	24,8
90	24,9
89	24,9
88	25
87	25
86	25,1
85	25,2
84	25,3
83	25,4
82	25,4
81	25,5
80	25,6
79	25,7
78	25,8
77	25,8
76	25,9
75	25,9
74	26
73	26,1
72	26,2
71	26,3

TENSIÓN (KPa)	HUMEDAD (%)
70	26,3
69	26,4
68	26,5
67	26,6
66	26,7
65	26,8
64	26,8
63	26,9
62	27
61	27,1
60	27,3
59	27,5
58	27,6
57	27,7
56	27,8
55	27,9
54	28
53	28,1
52	28,2
51	28,3
50	28,5
49	28,6
48	28,7
47	28,9
46	29
45	29,2
44	29,4
43	29,6
42	29,7
41	29,9

TENSIÓN (KPa)	HUMEDAD (%)
40	30,1
39	30,2
38	30,4
37	30,6
36	30,8
35	30,9
34	31,1
33	31,4
32	31,6
31	31,9
30	32,1
29	32,6
28	32,8
27	33
26	33,3
25	33,5
24	34
23	34,3
22	34,51
21	34,99
20	35,47
19	35,95
18	36,43
17	36,9
16	37,38
15	37,86
14	38,34
13	38,82
12	39,3
11	39,78

TENSIÓN (KPa)	HUMEDAD (%)
10	41,7
9	42,6
8	43,6
7	44,6
6	46
5	47,4
4	48,9
3	50,8
2	53
1	55
0	56,5

Tabla 15. Contenido de humedad relacionada a la tensión en el lisímetro #2

TENSIÓN (KPa)	HUMEDAD (%)	TENSIÓN (KPa)	HUMEDAD (%)	TENSIÓN (KPa)	HUMEDAD (%)
100	26,6	66	29,2	32	34,2
99	26,6	65	29,3	31	34,5
98	26,7	64	29,4	30	34,7
97	26,8	63	29,5	29	35
96	26,8	62	29,6	28	35,4
95	26,9	61	29,7	27	35,8
94	27	60	29,8	26	36
93	27,1	59	29,8	25	36,2
92	27,2	58	29,9	24	36,6
91	27,3	57	30	23	37
90	27,4	56	30,1	22	37,2
89	27,5	55	30,3	21	37,8
88	27,6	54	30,4	20	38,12
87	27,6	53	30,5	19	38,6
86	27,7	52	30,6	18	39,09
85	27,7	51	30,8	17	39,57
84	27,8	50	31	16	40,06
83	27,8	49	31,1	15	40,54
82	27,9	48	31,3	14	41,03
81	27,9	47	31,5	13	41,51
80	28	46	31,7	12	42,5
79	28,1	45	31,9	11	43
78	28,2	44	32	10	44
77	28,3	43	32,2	9	45
76	28,4	42	32,3	8	45,9
75	28,5	41	32,5	7	47,2
74	28,6	40	32,7	6	48,3
73	28,7	39	32,8	5	49,7
72	28,7	38	33	4	51,2
71	28,8	37	33,3	3	52,7
70	28,9	36	33,5	2	54,8
69	28,9	35	33,7	1	56,5
68	29	34	33,8	0	58
67	29,1	33	34		

Tabla 16. Contenido de humedad relacionada a la tensión en el lisímetro #3

TENSIÓN (KPa)	HUMEDAD (%)
100	29,3
99	29,4
98	29,4
97	29,5
96	29,5
95	29,6
94	29,6
93	29,7
92	29,7
91	29,8
90	29,9
89	30
88	30,1
87	30,1
86	30,2
85	30,2
84	30,3
83	30,4
82	30,5
81	30,5
80	30,6
79	30,7
78	30,8
77	30,9
76	31
75	31,1
74	31,1
73	31,2
72	31,3
71	31,4
70	31,5
69	31,6
68	31,6
67	31,7

TENSIÓN (KPa)	HUMEDAD (%)
66	31,8
65	31,9
64	32
63	32,1
62	32,2
61	32,3
60	32,4
59	32,5
58	32,6
57	32,7
56	32,9
55	33,1
54	33,2
53	33,3
52	33,5
51	33,6
50	33,7
49	33,8
48	34
47	34,1
46	34,2
45	34,4
44	34,5
43	34,6
42	34,7
41	34,9
40	35,1
39	35,3
38	35,5
37	35,7
36	35,9
35	36
34	36,3
33	36,5

TENSIÓN (KPa)	HUMEDAD (%)
32	36,7
31	36,9
30	37,2
29	37,5
28	37,7
27	38
26	38,2
25	38,6
24	38,9
23	39,2
22	39,6
21	40
20	40,4
19	40,7
18	41,15
17	41,65
16	42,14
15	42,64
14	43,13
13	43,63
12	44,6
11	45,4
10	46,1
9	47
8	47,6
7	49
6	50
5	51,4
4	52,8
3	54,7
2	56
1	58
0	59,5

ANEXO B: Tabla de registro de datos.

Tabla 17. Tabla de registro de datos del lisímetro #1.

FECHA (DD/MM/AA)	HORA	<u>TENSIÓMETRO</u> <u>15 cm</u> LECTURA INICIAL (kPa)	<u>TENSIÓMETRO</u> <u>30 cm</u> LECTURA INICIAL (kPa)	VOLUMEN DE AGUA APLICADO (mL)
07/11/2014	11:50	22	28	173
08/11/2014	11:54	25	36	219
08/11/2014	17:45	18	39	177
10/11/2014	11:25	26	27	466
11/11/2014	11:45	25	39	447
11/11/2014	15:58	23	33	373
12/11/2014	08:47	24	41	401
13/11/2014	08:33	24	41	401
13/11/2014	15:28	22	35	354
14/11/2014	08:28	25	41	447
14/11/2014	16:15	21	35	310
15/11/2014	09:06	21	35	310
16/11/2014	08:53	18	39	117
18/11/2014	08:46	21	36	310
18/11/2014	15:40	23	30	373
19/11/2014	10:15	32	43	1376
20/11/2014	09:40	20	40	586
20/11/2014	15:43	17	34	294
21/11/2014	10:07	17	37	294
22/11/2014	09:38	19	36	542
22/11/2014	17:05	17	31	326
23/11/2014	09:39	19	35	542
24/11/2014	09:36	19	33	542
24/11/2014	15:50	18	29	433
25/11/2014	09:38	29	37	1302
26/11/2014	08:42	17	39	326
27/11/2014	09:34	19	37	542
28/11/2014-	15:55	15	25	109
29/11/2014	09:34	22	31	869
29/11/2014	16:16	23	27	916
01/12/2014	12:03	23	31	916
02/12/2014	09:55	25	32	1098

FECHA (DD/MM/AA)	HORA	TENSÍÓMETRO <u>15 cm</u> LECTURA INICIAL (kPa)	TENSÍÓMETRO <u>30 cm</u> LECTURA INICIAL (kPa)	VOLUMEN DE AGUA APLICADO (mL)
04/12/2014	08:58	30	38	1415
05/12/2014	12:00	35	40	1688
07/12/2014	15:17	35	45	1688
09/12/2014	10:11	39	42	1847
10/12/2014	12:30	19	47	542
11/12/2014	10:20	20	48	4004
12/12/2014	11:41	44	3	3714
14/12/2014	09:28	6	17	598
15/12/2014	09:57	11	15	199
16/12/2014	10:10	17	17	598
18/12/2014	11:30	20	18	1192
19/12/2014	11:35	51	32	4171
20/12/2014	11:42	47	17	3921
22/12/2014	09:40	8	28	2301
24/12/2014	10:34	23	28	2301
26/12/2014	10:11	57	57	4420
27/12/2014	11:24	14	53	4254
29/12/2014	09:45	16	17	598
30/12/2014	11:45	27	31	2675
02/01/2015	11:20	64	65	4794
03/01/2015	09:25	25	60	4586
04/01/2015	10:26	27	71	5001
05/01/2015	11:20	10	71	5001
08/01/2015	12:41	26	19	2094
10/01/2013	10:50	49	37	4046
13/01/2015	09:48	62	57	4420
17/01/2015	11:12	77	77	5670
21/01/2015	10:20	45	50	4234
23/01/2015	06:28	77	75	5670
26/01/2015	06:30	70	70	5405
28/01/2015	05:20	26	70	5405
01/02/2015	09:38	71	75	5617
05/02/2015	06:25	-	77	5670
13/02/2015	02:00	-	77	6146
18/02/2015	-	-	77	6146

Tabla 18. Tabla de registro de datos del lisímetro #2

FECHA (DD/MM/AA)	HORA	<u>TENSIÓMETRO</u> <u>15 cm</u> LECTURA INICIAL (kPa)	<u>TENSIÓMETRO</u> <u>30 cm</u> LECTURA INICIAL (kPa)	VOLUMEN DE AGUA APLICADO (mL)
07/11/2014	11:40	23	19	7
08/11/2014	11:31	29	20	19
08/11/2014	17:40	24	17	29
10/11/2014	11:15	34	24	79
11/11/2014	10:30	36	24	89
11/11/2014	15:49	30	23	66
12/11/2014	08:39	36	25	89
13/11/2014	08:24	38	26	98
13/11/2014	15:22	34	23	83
14/11/2014	08:21	26	37	41
14/11/2014	16:07	30	23	66
15/11/2014	08:50	35	27	85
16/11/2014	08:44	38	27	98
18/11/2014	08:39	37	28	93
18/11/2014	03:33	32	23	75
19/11/2014	10:00	46	29	148
20/11/2014	09:27	49	33	162
20/11/2014	15:17	40	30	125
21/11/2014	09:58	43	31	137
21/11/2014	15:10	41	30	130
22/11/2014	09:29	43	32	137
22/11/2014	16:58	41	39	130
23/11/2014	09:30	42	33	135
24/11/2014	09:28	42	32	135
24/11/2014	15:35	40	30	163
25/11/2014	09:32	50	32	215
25/11/2014	16:44	47	31	200
26/11/2014	08:34	51	36	221
27/11/2014	09:27	55	37	236
27/11/2014	16:35	47	33	200
28/11/2014	15:45	40	31	163
29/11/2014	09:20	49	36	212
29/11/2014	16:05	43	32	178

FECHA (DD/MM/AA)	HORA	TENSIÓMETRO <u>15 cm</u> LECTURA INICIAL (kPa)	TENSIÓMETRO <u>30 cm</u> LECTURA INICIAL (kPa)	VOLUMEN DE AGUA APLICADO (mL)
01/12/2014	11:57	48	37	206
02/12/2014	09:45	50	40	362
04/12/2014	08:45	55	38	398
05/12/2014	11:30	59	41	423
07/12/2014	15:11	66	44	454
09/12/2014	10:05	63	43	438
10/12/2014	12:23	66	44	454
11/12/2014	10:00	68		1031
12/12/2014	11:35	70	51	1042
14/12/2014	09:20	73	52	1065
15/12/2014	09:33	75	53	1087
16/12/2014	09:50	75	53	2182
18/12/2014	11:12	65	50	2001
19/12/2014	11:22	68	56	2069
20/12/2014	11:25	57	54	2046
21/12/2014	10:12	29	53	708
22/12/2014	09:20	35	48	1002
24/12/2014	10:22	52	55	1706
26/12/2014	10:00	60	60	1887
27/12/2014	11:12	59	62	1887
28/12/2014	09:05	41	61	1275
30/12/2014	11:25	45	65	2584
02/01/2015	11:13	69	70	3830
03/01/2015	09:14	32	71	1629
04/01/2015	10:10	41	73	2335
05/01/2015	11:15	33	73	1629
07/01/2015	11:01	57	74	3373
10/01/2013	10:35	76	77	4038
13/01/2015	09:35	71	78	3872
17/01/2015	11:02	77	80	4080
21/01/2015	10:09	74	0	3955
23/01/2015	06:10	71	59	3456
26/01/2015	06:12	79	79	4163
28/01/2015	05:10	70	70	3830
01/02/2015	09:22	78	75	3997
13/02/2015	01:40			4277
18/02/2015	09:29	0	77	4224

Tabla 19. Tabla de registro de datos del lisímetro #3.

FECHA (DD/MM/AA)	HORA	TENSIÓMETRO <u>15 cm</u> LECTURA INICIAL (kPa)	TENSIÓMETRO <u>30 cm</u> LECTURA INICIAL (kPa)	VOLUMEN DE AGUA APLICADO (mL)
06/11/2014	14:40	36	17	930
07/11/2014	11:25	35	21	919
08/11/2014	11:16	40	24	982
08/11/2014	17:25	35	22	1000
10/11/2014	11:06	21	27	636
11/11/2014	10:15	24	30	1217
11/11/2014	15:40	14	29	707
12/11/2014	08:29	13	31	647
13/11/2014	08:14	13	29	647
13/11/2014	15:16	13	27	647
14/11/2014	08:13	10	30	349
14/11/2014	15:53	11	28	434
15/11/2014	08:33	13	30	647
16/11/2014	08:36	13	33	647
18/11/2014	08:28	31	35	1459
18/11/2014	15:25	32	39	1483
20/11/2014	09:20	13	40	2565
22/11/2014	09:18	10	25	1539
24/11/2014	09:09	16	29	3000
25/11/2014	16:35	8	25	633
27/11/2014	09:17	13	24	2428
28/11/2014	15:30	14	33	2654
02/12/2014	09:30	9	10	904
04/12/2014	08:32	13	13	2428
05/12/2014	11:20	10	21	1311
07/12/2014	15:02	16	9	3102
09/12/2014	09:52	9	8	904
10/12/2014	12:15	15	8	2816
15/12/2014	09:13	30		500
16/12/2014	09:25	41	9	4000
18/12/2014	10:15	24	7	1906
19/12/2014	11:11	52	10	4836
20/12/2014	11:16	27	10	2395
21/12/2014	10:00	27	9	2395
24/12/2014	10:10	71	12	813

FECHA (DD/MM/AA)	HORA	TENSÍÓMETRO <u>15 cm</u> LECTURA INICIAL (kPa)	TENSÍÓMETRO <u>30 cm</u> LECTURA INICIAL (kPa)	VOLUMEN DE AGUA APLICADO (mL)
26/12/2014	09:50	0	27	2395
27/12/2014	11:00	0	35	3208
28/12/2014	09:00	59	23	1743
29/12/2014	09:20	67	34	3317
30/12/2014	10:45	55	39	5053
02/01/2015	10:54	81	61	4487
03/01/2015	09:02	75	66	5759
04/01/2015	09:53	80	71	5976
05/01/2015	11:00	87	75	6138
07/01/2015	10:41	81	65	6464
10/01/2013	10:22	77	80	5247
13/01/2015	09:20	79	3	6355
17/01/2015	10:50	83	79	5192
21/01/2015	10:00	0	70	4767
23/01/2015	06:00	76	69	5032
26/01/2015	06:00	73	81	5298
28/01/2015	05:00	44	79	5192
01/02/2015	09:10	72	81	5298
05/02/2015	06:00	0	80	5245
13/02/2015	01:20			6245
18/02/2015	09:14			5000

ANEXO C: Ejemplo de tabla indicación de riego.

Tabla 20. Tabla indicación de riego.



Universidad del Valle

GRUPO DE INVESTIGACIÓN REGAR

TABLA INDICACIÓN DE RIEGO LISÍMETRO #2 – FASE FENOLÓGICA IV

Capacidad de Campo (kPa): 20
Profundidad efectiva de raíces (cm): 35

Superficie de riego (cm²): 1520
Volumen de riego (cm³): 5319

TENSIÓN (kPa)	VOLUMEN A REGAR (mL)	TENSIÓN (kPa)	VOLUMEN A REGAR (mL)	TENSIÓN (kPa)	VOLUMEN A REGAR (mL)
100	5128	78	4277	56	3266
99	5128	77	4224	55	3160
98	5075	76	4170	54	3107
97	5022	75	4117	53	3053
96	5022	74	4064	52	3000
95	4968	73	4011	51	2894
94	4915	72	4011	50	2787
93	4862	71	3958	49	2734
92	4809	70	3905	48	2628
91	4756	69	3905	47	2522
90	4702	68	3851	46	2415
89	4649	67	3798	45	2309
88	4596	66	3745	44	2256
87	4596	65	3692	43	2149
86	4543	64	3639	42	2096
85	4543	63	3585	41	1990
84	4490	62	3532	40	1883
83	4490	61	3479	39	1830
82	4436	60	3426	38	1724
81	4436	59	3426	37	1564
80	4383	58	3373	36	1458
79	4330	57	3319	35	1351

TENSIÓN (kPa)	VOLUMEN A REGAR (mL)
34	1298
33	1192
32	1085
31	926
30	819

TENSIÓN (kPa)	VOLUMEN A REGAR (mL)
29	660
28	447
27	234
26	128
25	21

TENSIÓN (kPa)	VOLUMEN A REGAR (mL)
24	809
23	596
22	490
21	170
20	0

ANEXO D: Datos climatológicos y evapotranspiración de referencia ETo.

Tabla 21. Climatología y ETo del mes de noviembre de 2014.

DÍA	TEMP. MÍNIMA (°C)	TEMP. MÁXIMA (°C)	HUMEDAD (%)	VELOCIDAD DEL VIENTO (Km/día)	INSOLACIÓN (Horas)	RADIACIÓN SOLAR (MJ/m²/día)	ETo (mm/día)
1	18.2	31.2	78	50	10.0	24.0	4.69
2	18.6	27.3	87	30	10.0	23.9	4.42
3	17.5	32.3	76	45	10.0	23.9	4.71
4	19.9	29.2	78	45	10.0	23.9	4.58
5	19.4	30.8	79	38	10.0	23.8	4.64
6	19.7	32.8	77	42	12.0	26.8	5.30
7	19.2	32.6	78	51	10.0	23.8	4.78
8	20.6	27.9	79	38	12.0	26.7	4.95
9	19.4	32.9	79	48	10.0	23.7	4.79
10	18.6	28.7	83	45	10.0	23.7	4.45
11	19.4	29.8	84	38	8.0	20.7	4.06
12	19.3	26.6	88	42	8.0	20.6	3.86
13	18.6	27.5	85	42	10.0	23.6	4.34
14	19.2	28.8	79	22	8.0	20.6	3.93
15	19.2	30.7	76	58	12.0	26.5	5.06
16	18.1	28.7	83	19	10.0	23.5	4.35
17	19.6	30.9	78	42	8.0	20.5	4.09
18	17.4	30.4	76	38	10.0	23.4	4.42
19	17.7	23.7	90	22	8.0	20.4	3.61
20	15.8	31.1	79	26	12.0	26.3	4.83
21	19.1	29.7	78	32	8.0	20.4	3.95
22	19.1	29.4	77	35	12.0	26.2	4.85
23	19.1	32.1	78	16	10.0	23.3	4.50
24	19.4	31.7	74	29	10.0	23.2	4.50
25	19.9	28.2	80	22	10.0	23.2	4.32
26	19.6	26.3	91	22	8.0	20.3	3.78
27	19.4	30.7	80	19	12.0	26.1	4.91
28	18.8	33.1	76	26	12.0	26.0	5.03
29	19.6	32.7	76	29	8.0	20.2	4.07
30	20.4	33.0	75	29	10.0	23.1	4.60

Tabla 22. Climatología y ETo del mes de diciembre de 2014

DÍA	TEMP. MÍNIMA (°C)	TEMP. MÁXIMA (°C)	HUMEDAD (%)	VELOCIDAD DEL VIENTO (Km/día)	INSOLACIÓN (Horas)	RADIACIÓN SOLAR (MJ/m ² /día)	ETo (mm/día)
1	20,4	33	74	26	8	20,2	4,09
2	19,4	34	75	35	10	23,1	4,64
3	19,4	33,2	73	29	12	25,9	5,02
4	20,5	33	76	22	12	25,9	5,06
5	20	28,4	85	26	8	20,1	3,85
6	19,9	31,8	79	19	10	23	4,48
7	19,4	27,8	82	16	12	25,9	4,68
8	18,4	33,5	76	26	10	23	4,51
9	19,4	28,5	89	48	8	20,1	3,84
10	19,2	29,6	81	29	8	20	3,87
11	18,9	26,1	87	26	8	20	3,68
12	19,5	30,3	83	22	10	22,9	4,38
13	18,2	29,4	85	45	8	20	3,85
14	18,2	30,3	79	19	12	25,8	4,75
15	18,2	33	76	19	12	25,8	4,91
16	17,6	30,9	76	19	10	22,9	4,27
17	19,8	30,1	83	26	8	20	3,91
18	19,6	28,6	82	22	8	20	3,81
19	18,9	32,8	77	16	10	22,9	4,44
20	19,2	30,4	77	16	8	20	3,84
21	19,2	32,5	81	19	8	20	4,0
22	18,3	33,1	78	16	10	22,9	4,44
23	18,3	32,6	76	16	10	22,9	4,4
24	19,1	32,4	73	26	12	25,8	4,9
25	18,3	31,8	79	22	8	20	3,93
26	18,6	32,3	74	19	8	20	3,92
27	20	32,6	73	16	10	22,9	4,44
28	20,2	33,3	70	19	10	22,9	4,47
29	19,4	33,7	70	22	10	23	4,5
30	19,8	33,4	73	19	10	23	4,5
31	19,9	33,6	74	16	10	23	4,52

Tabla 23. Climatología y ETo del mes de enero de 2015

DÍA	TEMP. MÍNIMA (°C)	TEMP. MÁXIMA (°C)	HUMEDAD (%)	VELOCIDAD DEL VIENTO (Km/día)	INSOLACIÓN (Horas)	RADIACIÓN SOLAR (MJ/m²/día)	ETo (mm/día)
1	18.6	33.8	75,00	16	10.0	23.0	4.49
2	17.8	33.8	74,00	19	10.0	23.0	4.47
3	17.6	33.9	71,00	19	10.0	23.0	4.44
4	17.4	34.3	72,00	19	10.0	23.0	4.47
5	19.2	33.5	72,00	19	10.0	23.1	4.51
6	16.8	34.3	70,00	16	10.0	23.1	4.43
7	17.6	33.6	71,00	13	10.0	23.1	4.40
8	18.1	32.9	69,00	16	12.0	26.0	4.85
9	21.1	30.3	74,00	10	8.0	20.2	3.92
10	21.1	32.5	72,00	19	10.0	23.2	4.55
11	18.9	31.9	73,00	16	8.0	20.3	3.95
12	18.8	35.2	70,00	16	10.0	23.2	4.59
13	20.6	34.9	69,00	16	10.0	23.3	4.64
14	20.8	33.0	71,00	13	8.0	20.4	4.05
15	19.4	30.7	83,00	13	6.0	17.5	3.50
16	18.0	30.9	77,00	16	8.0	20.4	3.92
17	19.0	30.2	84,00	13	8.0	20.4	3.97
18	18.7	28.3	85,00	22	8.0	20.5	3.88
19	18.6	29.2	80,00	13	10.0	23.5	3.57
20	19.4	30.9	79,00	13	8.0	20.5	4.01
21	19.3	31.7	80,00	19	8.0	20.6	4.08
22	19.3	27.1	86,00	19	6.0	17.6	3.39
23	19.2	31.1	80,00	22	8.0	20.6	4.07
24	18.6	30.2	79,00	10	8.0	20.7	3.24
25	18.1	33.0	74,00	13	8.0	20.7	4.07
26	18.9	32.7	76,00	16	10.0	23.7	4.63
27	18.3	33.2	79,00	19	10.0	23.7	4.68
28	17.4	33.4	76,00	10	10.0	23.8	4.60
29	18.5	33.9	73,00	13	10.0	23.8	4.66
30	20.0	33.1	73	10	10.0	23.8	4.67
31	20.7	31.1	76	3	8.0	20.9	4.09

Tabla 24. Climatología y ETo del mes de febrero de 2015

DÍA	TEMP. MÍNIMA (°C)	TEMP. MÁXIMA (°C)	HUMEDAD (%)	VELOCIDAD DEL VIENTO (Km/día)	INSOLACIÓN (Horas)	RADIACIÓN SOLAR (MJ/m²/día)	ETo (mm/día)
1	20.3	32.4	73	16	10.0	23.9	4.68
2	19.7	33.4	73	13	10.0	24.0	4.72
3	20.2	32.5	75	16	10.0	24.0	4.73
4	19.5	34.1	72	10	8.0	21.0	4.22
5	19.9	31.3	76	3	10.0	24.1	4.63
6	19.7	28.4	81	0	8.0	21.1	4.02
7	19.8	26.9	86	3	6.0	18.1	3.50
8	19.6	27.5	87	0	6.0	18.1	3.53
9	19.4	30.7	75	3	10.0	24.2	4.60
10	19.1	30.7	76	0	10.0	24.3	4.60
11	19.9	32.8	73	0	10.0	24.3	4.72
12	19.6	32.8	75	0	10.0	24.3	4.74
13	20.3	35.0	73	6	10.0	24.4	4.91
14	19.4	32.8	75	32	10.0	24.4	4.88
15	20.1	33.2	73	54	10.0	24.5	5.03
16	19.9	34.0	71	42	10.0	24.5	5.02
17	20.8	32.6	69	58	10.0	24.5	5.04
18	20.1	32.5	70	51	10.0	24.6	4.98
19	20.8	33.2	65	54	12.0	27.7	5.57
20	19.7	31.5	78	29	8.0	21.5	4.34

ANEXO E: Volumen de agua de riego aplicado, área equivalente y evapotranspiración ET_c.

Tabla 25. Volumen de agua de riego aplicado, área equivalente y evapotranspiración ET_c del lisímetro #1

FECHA (DD/MM/AA)	VOLUMEN DE AGUA APLICADO (L)	AREA EQUIVALENTE (M ²)	ET _c CONSUMO DE AGUA DIARIO (mm)
06/11/2014	0	0	0
07/11/2014	0,173	0,25	0,69
08/11/2014	0,396	0,25	1,58
09/11/2014	0	0,25	0
10/11/2014	0,466	0,25	1,86
11/11/2014	0,82	0,25	3,28
12/11/2014	0,401	0,25	1,60
13/11/2014	0,755	0,25	3,02
14/11/2014	0,757	0,25	3,03
15/11/2014	0,31	0,25	1,24
16/11/2014	0,117	0,25	0,47
17/11/2014	0	0,25	0
18/11/2014	0,683	0,25	2,73
19/11/2014	1,376	0,25	5,50
20/11/2014	0,88	0,25	3,52
21/11/2014	0,294	0,25	1,18
22/11/2014	0,868	0,25	3,47
23/11/2014	0,542	0,25	2,17
24/11/2014	0,975	0,25	3,90
25/11/2014	1,302	0,25	5,21
26/11/2014	0,326	0,25	1,30
27/11/2014	0,542	0,25	2,17
28/11/2014	0,109	0,25	0,44
29/11/2014	1,785	0,25	7,14
30/11/2014	0	0,25	0,00
01/12/2014	0,916	0,25	3,66
02/12/2014	1,098	0,25	4,39
03/12/2014	0	0,25	0,00
04/12/2014	1,415	0,25	5,66
05/12/2014	1,688	0,25	6,75
06/12/2014	0	0,25	0,00
07/12/2014	1,688	0,25	6,75

FECHA (DD/MM/AA)	VOLUMEN DE AGUA APLICADO (L)	AREA EQUIVALENTE (M ²)	ETc CONSUMO DE AGUA DIARIO (mm)
08/12/2014	0	0,25	0,00
09/12/2014	1,847	0,25	7,39
10/12/2014	0,542	0,25	2,17
11/12/2014	4,004	0,25	16,02
12/12/2014	3,714	0,25	14,86
13/12/2014	0	0,25	0,00
14/12/2014	0,598	0,25	2,39
15/12/2014	0,199	0,25	0,80
16/12/2014	0,598	0,25	2,39
17/12/2014	0	0,25	0,00
18/12/2014	1,192	0,25	4,77
19/12/2014	4,171	0,25	16,68
20/12/2014	3,921	0,25	15,68
21/12/2014	0	0,25	0,00
22/12/2014	2,301	0,25	9,20
23/12/2014	0	0,25	0,00
24/12/2014	2,301	0,25	9,20
25/12/2014	0	0,25	0,00
26/12/2014	4,42	0,25	17,68
27/12/2014	4,254	0,25	17,02
28/12/2014	0	0,25	0,00
29/12/2014	0,598	0,25	2,39
30/12/2014	2,675	0,25	10,70
31/12/2014	0	0,25	0,00
01/01/2015	0	0,25	0,00
02/01/2015	4,794	0,25	19,18
03/01/2015	4,586	0,25	18,34
04/01/2015	5,001	0,25	20,00
05/01/2015	5,001	0,25	20,00
06/01/2015	0	0,25	0,00
07/01/2015	0	0,25	0,00
08/01/2015	2,094	0,25	8,38
09/01/2015	0	0,25	0,00
10/01/2015	4,046	0,25	16,18
11/01/2015	0	0,25	0,00
12/01/2015	0	0,25	0,00
13/01/2015	4,42	0,25	17,68

FECHA (DD/MM/AA)	VOLUMEN DE AGUA APLICADO (L)	AREA EQUIVALENTE (M²)	ETc CONSUMO DE AGUA DIARIO (mm)
14/01/2015	0	0,25	0,00
15/01/2015	0	0,25	0,00
16/01/2015	0	0,25	0,00
17/01/2015	5,67	0,25	22,68
18/01/2015	0	0,25	0,00
19/01/2015	0	0,25	0,00
20/01/2015	0	0,25	0,00
21/01/2015	4,234	0,25	16,94
22/01/2015	0	0,25	0,00
23/01/2015	5,67	0,25	22,68
24/01/2015	0	0,25	0,00
25/01/2015	0	0,25	0,00
26/01/2015	5,405	0,25	21,62
27/01/2015	0	0,25	0,00
28/01/2015	5,405	0,25	21,62
29/01/2015	0	0,25	0,00
30/01/2015	0	0,25	0,00
31/01/2015	0	0,25	0,00
01/02/2015	5,617	0,25	22,47
02/02/2015	0	0,25	0,00
03/02/2015	0	0,25	0,00
04/02/2015	0	0,25	0,00
05/02/2015	5,67	0,25	22,68
06/02/2015	0	0,25	0,00
07/02/2015	0	0,25	0,00
08/02/2015	0	0,25	0,00
09/02/2015	0	0,25	0,00
10/02/2015	0	0,25	0,00
11/02/2015	0	0,25	0,00
12/02/2015	0	0,25	0,00
13/02/2015	6,146	0,25	24,58
14/02/2015	0	0,25	0,00
15/02/2015	0	0,25	0,00
16/02/2015	0	0,25	0,00
17/02/2015	0	0,25	0,00
18/02/2015	6,146	0,25	24,58

Tabla 26. Volumen de agua de riego aplicado, área equivalente y evapotranspiración ET_c del lisímetro #2

FECHA (DD/MM/AA)	VOLUMEN DE AGUA APLICADO (L)	AREA EQUIVALENTE (M ²)	ET _c CONSUMO DE AGUA DIARIO (mm)
06-nov	0	0,000	0,00
07-nov	0,007	0,250	0,03
08-nov	0,048	0,250	0,19
09-nov	0	0,250	0,00
10-nov	0,079	0,250	0,32
11-nov	0,155	0,250	0,62
12-nov	0,089	0,250	0,36
13-nov	0,181	0,250	0,72
14-nov	0,107	0,250	0,43
15-nov	0,085	0,250	0,34
16-nov	0,098	0,250	0,39
17-nov	0	0,250	0,00
18-nov	0,168	0,250	0,67
19-nov	0,148	0,250	0,59
20-nov	0,287	0,250	1,15
21-nov	0,267	0,250	1,07
22-nov	0,267	0,250	1,07
23-nov	0,135	0,250	0,54
24-nov	0,298	0,250	1,19
25-nov	0,415	0,250	1,66
26-nov	0,221	0,250	0,88
27-nov	0,436	0,250	1,74
28-nov	0,163	0,250	0,65
29-nov	0,39	0,250	1,56
30-nov	0	0,250	0,00
01-dic	0,206	0,250	0,82
02-dic	0,362	0,250	1,45
03-dic	0	0,250	0,00
04-dic	0,398	0,250	1,59
05-dic	0,423	0,250	1,69
06-dic	0	0,250	0,00
07-dic	0,454	0,250	1,82
08-dic	0	0,250	0,00
09-dic	0,438	0,250	1,75
10-dic	0,454	0,250	1,82

FECHA (DD/MM/AA)	VOLUMEN DE AGUA APLICADO (L)	AREA EQUIVALENTE (M ²)	ETc CONSUMO DE AGUA DIARIO (mm)
11-dic	1,031	0,250	4,12
12-dic	1,042	0,250	4,17
13-dic	0	0,250	0,00
14-dic	1,065	0,250	4,26
15-dic	1,087	0,250	4,35
16-dic	2,182	0,250	8,73
17-dic	0	0,250	0,00
18-dic	2,001	0,250	8,00
19-dic	2,069	0,250	8,28
20-dic	2,046	0,250	8,18
21-dic	0,708	0,250	2,83
22-dic	1,002	0,250	4,01
23-dic	0	0,250	0,00
24-dic	1,706	0,250	6,82
25-dic	0	0,250	0,00
26-dic	1,887	0,250	7,55
27-dic	1,887	0,250	7,55
28-dic	1,275	0,250	5,10
29-dic	0	0,250	0,00
30-dic	2,584	0,250	10,34
31-dic	0	0,250	0,00
01-ene	0	0,250	0,00
02-ene	3,83	0,250	15,32
03-ene	1,629	0,250	6,52
04-ene	2,335	0,250	9,34
05-ene	1,629	0,250	6,52
06-ene	0	0,250	0,00
07-ene	3,373	0,250	13,49
08-ene	0	0,250	0,00
09-ene	0	0,250	0,00
10-ene	3,373	0,250	13,49
11-ene	0	0,250	0,00
12-ene	0	0,250	0,00
13-ene	3,872	0,250	15,49
14-ene	0	0,250	0,00
15-ene	0	0,250	0,00
16-ene	0	0,250	0,00

FECHA (DD/MM/AA)	VOLUMEN DE AGUA APLICADO (L)	AREA EQUIVALENTE (M ²)	ETc CONSUMO DE AGUA DIARIO (mm)
17-ene	4,08	0,250	16,32
18-ene	0	0,250	0,00
19-ene	0	0,250	0,00
20-ene	0	0,250	0,00
21-ene	3,955	0,250	15,82
22-ene	0	0,250	0,00
23-ene	3,456	0,250	13,82
24-ene	0	0,250	0,00
25-ene	0	0,250	0,00
26-ene	4,163	0,250	16,65
27-ene	0	0,250	0,00
28-ene	3,83	0,250	15,32
29-ene	0	0,250	0,00
30-ene	0	0,250	0,00
31-ene	0	0,250	0,00
01-feb	3,997	0,250	15,99
02-feb	0	0,250	0,00
03-feb	0	0,250	0,00
04-feb	0	0,250	0,00
05-feb	0	0,250	0,00
06-feb	0	0,250	0,00
07-feb	0	0,250	0,00
08-feb	0	0,250	0,00
09-feb	0	0,250	0,00
10-feb	0	0,250	0,00
11-feb	0	0,250	0,00
12-feb	0	0,250	0,00
13-feb	4,228	0,250	16,91
14-feb	0	0,250	0,00
15-feb	0	0,250	0,00
16-feb	0	0,250	0,00
17-feb	0	0,250	0,00
18-feb	4,224	0,250	16,90

Tabla 27. Volumen de agua de riego aplicado, área equivalente y evapotranspiración ET_c del lisímetro #3

FECHA (DD/MM/AA)	VOLUMEN DE AGUA APLICADO (L)	AREA EQUIVALENTE (M ²)	ET _c CONSUMO DE AGUA DIARIO (mm)
06-nov	0,93	0,25	3,72
07-nov	0,919	0,25	3,68
08-nov	1,982	0,25	7,93
09-nov	0	0,25	0,00
10-nov	0,636	0,25	2,54
11-nov	1,924	0,25	7,70
12-nov	0,647	0,25	2,59
13-nov	1,294	0,25	5,18
14-nov	0,783	0,25	3,13
15-nov	0,647	0,25	2,59
16-nov	0,647	0,25	2,59
17-nov	0	0,25	0,00
18-nov	2,942	0,25	11,77
19-nov	0	0,25	0,00
20-nov	2,565	0,25	10,26
21-nov	0	0,25	0,00
22-nov	1,539	0,25	6,16
23-nov	0	0,25	0,00
24-nov	3	0,25	12,00
25-nov	0,633	0,25	2,53
26-nov	0	0,25	0,00
27-nov	2,428	0,25	9,71
28-nov	2,654	0,25	10,62
29-nov	0	0,25	0,00
30-nov	0	0,25	0,00
01-dic	0	0,25	0,00
02-dic	0,904	0,25	3,62
03-dic	0	0,25	0,00
04-dic	2,428	0,25	9,71
05-dic	1,311	0,25	5,24
06-dic	0	0,25	0,00
07-dic	3,102	0,25	12,41
08-dic	0	0,25	0,00
09-dic	0,904	0,25	3,62
10-dic	2,816	0,25	11,26

FECHA (DD/MM/AA)	VOLUMEN DE AGUA APLICADO (L)	AREA EQUIVALENTE (M ²)	ETc CONSUMO DE AGUA DIARIO (mm)
11-dic	0	0,25	0,00
12-dic	0	0,25	0,00
13-dic	0	0,25	0,00
14-dic	0	0,25	0,00
15-dic	0,5	0,25	2,00
16-dic	4	0,25	16,00
17-dic	0	0,25	0,00
18-dic	1,906	0,25	7,62
19-dic	4,836	0,25	19,34
20-dic	2,395	0,25	9,58
21-dic	2,395	0,25	9,58
22-dic	0	0,25	0,00
23-dic	0	0,25	0,00
24-dic	0,813	0,25	3,25
25-dic	0	0,25	0,00
26-dic	2,395	0,25	9,58
27-dic	3,208	0,25	12,83
28-dic	1,743	0,25	6,97
29-dic	3,317	0,25	13,27
30-dic	5,053	0,25	20,21
31-dic	0	0,25	0,00
01-ene	-1,23	0,25	-4,92
02-ene	4,487	0,25	17,95
03-ene	5,759	0,25	23,04
04-ene	5,976	0,25	23,90
05-ene	6,138	0,25	24,55
06-ene	0	0,25	0,00
07-ene	6,464	0,25	25,86
08-ene	-0,142	0,25	-0,57
09-ene	0	0,25	0,00
10-ene	5,247	0,25	20,99
11-ene	0	0,25	0,00
12-ene	0	0,25	0,00
13-ene	6,355	0,25	25,42
14-ene	0	0,25	0,00
15-ene	0	0,25	0,00
16-ene	0	0,25	0,00

FECHA (DD/MM/AA)	VOLUMEN DE AGUA APLICADO (L)	AREA EQUIVALENTE (M ²)	ETc CONSUMO DE AGUA DIARIO (mm)
17-ene	5,192	0,25	20,77
18-ene	0	0,25	0,00
19-ene	0	0,25	0,00
20-ene	0	0,25	0,00
21-ene	4,767	0,25	19,07
22-ene	0	0,25	0,00
23-ene	5,032	0,25	20,13
24-ene	0	0,25	0,00
25-ene	0	0,25	0,00
26-ene	5,298	0,25	21,19
27-ene	0	0,25	0,00
28-ene	5,192	0,25	20,77
29-ene	0	0,25	0,00
30-ene	0	0,25	0,00
31-ene	0	0,25	0,00
01-feb	5,298	0,25	21,19
02-feb	0	0,25	0,00
03-feb	0	0,25	0,00
04-feb	0	0,25	0,00
05-feb	5,245	0,25	20,98
06-feb	0	0,25	0,00
07-feb	0	0,25	0,00
08-feb	0	0,25	0,00
09-feb	0	0,25	0,00
10-feb	0	0,25	0,00
11-feb	0	0,25	0,00
12-feb	0	0,25	0,00
13-feb	6,245	0,25	24,98
14-feb	0	0,25	0,00
15-feb	0	0,25	0,00
16-feb	0	0,25	0,00
17-feb	0	0,25	0,00
18-feb	5	0,25	20,00

ANEXO F: Evapotranspiración del cultivo (ETc) diaria:

Tabla 28. Evapotranspiración del cultivo (ETc) diaria del lisímetro #1.

FECHA (DD/MM/AA)	ETc DIARIO (mm)	ETc 5 DÍAS (mm)	FECHA (DD/MM/AA)	ETc DIARIO (mm)	ETc 5 DÍAS (mm)
06/11/2014	0,35	4,14	10/12/2014	2,17	34,06
07/11/2014	0,35		11/12/2014	16,02	
08/11/2014	1,58		12/12/2014	7,43	
09/11/2014	0,93		13/12/2014	7,43	
10/11/2014	0,93		14/12/2014	2,39	
11/11/2014	3,28	12,17	15/12/2014	0,80	31,69
12/11/2014	1,60		16/12/2014	2,39	
13/11/2014	3,02		17/12/2014	2,38	
14/11/2014	3,03		18/12/2014	2,38	
15/11/2014	1,24		19/12/2014	16,68	
16/11/2014	0,47	12,22	20/12/2014	7,84	35,09
17/11/2014	1,37		21/12/2014	7,84	
18/11/2014	1,37		22/12/2014	4,60	
19/11/2014	5,50		23/12/2014	4,60	
20/11/2014	3,52		24/12/2014	9,20	
21/11/2014	1,18	15,92	25/12/2014	8,84	38,95
22/11/2014	3,47		26/12/2014	8,84	
23/11/2014	2,17		27/12/2014	8,51	
24/11/2014	3,90		28/12/2014	8,51	
25/11/2014	5,21		29/12/2014	2,39	
26/11/2014	1,30	11,05	30/12/2014	10,70	57,52
27/11/2014	2,17		31/12/2014	6,39	
28/11/2014	0,44		01/01/2015	6,39	
29/11/2014	3,57		02/01/2015	6,39	
30/11/2014	3,57		03/01/2015	18,34	
01/12/2014	3,66	17,09	04/01/2015	20,00	36,47
02/12/2014	4,39		05/01/2015	10,00	
03/12/2014	2,83		06/01/2015	10,00	
04/12/2014	2,83		07/01/2015	4,19	
05/12/2014	3,38		08/01/2015	4,19	
06/12/2014	3,38	19,68	09/01/2015	8,09	25,77
07/12/2014	6,75		10/01/2015	8,09	
08/12/2014	3,69		11/01/2015	4,42	
09/12/2014	3,69		12/01/2015	4,42	

FECHA (DD/MM/AA)	ETc DIARIO (mm)	ETc 5 DÍAS (mm)
13/01/2015	4,42	
14/01/2015	4,42	
15/01/2015	7,56	33,97
16/01/2015	7,56	
17/01/2015	7,56	
18/01/2015	5,65	
19/01/2015	5,65	
20/01/2015	5,65	28,33
21/01/2015	5,67	
22/01/2015	5,67	
23/01/2015	5,67	
24/01/2015	5,67	
25/01/2015	10,81	43,24
26/01/2015	10,81	
27/01/2015	7,21	
28/01/2015	7,21	
29/01/2015	7,21	
30/01/2015	4,49	22,47
31/01/2015	4,49	
01/02/2015	4,49	
02/02/2015	4,49	
03/02/2015	4,49	
04/02/2015	4,54	22,68
05/02/2015	4,54	
06/02/2015	4,54	
07/02/2015	4,54	
08/02/2015	4,54	
09/02/2015	4,92	24,58
10/02/2015	4,92	
11/02/2015	4,92	
12/02/2015	4,92	
13/02/2015	4,92	
14/02/2015	4,92	24,58
15/02/2015	4,92	
16/02/2015	4,92	
17/02/2015	4,92	
18/02/2015	4,92	

Tabla 29. Evapotranspiración del cultivo (ETc) diaria del lisímetro #2.

FECHA (DD/MM/AA)	ETc DIARIO (mm)	ETc 5 DÍAS (mm)	FECHA (DD/MM/AA)	ETc DIARIO (mm)	ETc 5 DÍAS (mm)
06-nov	0,01	0,54	11-dic	4,12	16,90
07-nov	0,01		12-dic	4,17	
08-nov	0,19		13-dic	2,13	
09-nov	0,16		14-dic	2,13	
10-nov	0,16		15-dic	4,35	
11-nov	0,62	2,47	16-dic	4,36	33,19
12-nov	0,36		17-dic	4,36	
13-nov	0,72		18-dic	8,00	
14-nov	0,43		19-dic	8,28	
15-nov	0,34		20-dic	8,18	
16-nov	0,39	2,80	21-dic	2,83	17,44
17-nov	0,34		22-dic	4,01	
18-nov	0,34		23-dic	3,41	
19-nov	0,59		24-dic	3,41	
20-nov	1,15		25-dic	3,77	
21-nov	1,07	5,53	26-dic	3,77	26,76
22-nov	1,07		27-dic	7,55	
23-nov	0,54		28-dic	5,10	
24-nov	1,19		29-dic	5,17	
25-nov	1,66		30-dic	5,17	
26-nov	0,88	4,84	31-dic	5,11	31,18
27-nov	1,74		01-ene	5,11	
28-nov	0,65		02-ene	5,11	
29-nov	0,78		03-ene	6,52	
30-nov	0,78		04-ene	9,34	
01-dic	0,82	5,56	05-ene	3,26	20,01
02-dic	1,45		06-ene	3,26	
03-dic	0,80		07-ene	4,50	
04-dic	0,80		08-ene	4,50	
05-dic	1,69		09-ene	4,50	
06-dic	0,91	5,38	10-ene	6,75	28,98
07-dic	0,91		11-ene	6,75	
08-dic	0,88		12-ene	5,16	
09-dic	0,88		13-ene	5,16	
10-dic	1,82		14-ene	5,16	

FECHA (DD/MM/AA)	ETc DIARIO (mm)	ETc 5 DÍAS (mm)
15-ene	3,26	16,32
16-ene	3,26	
17-ene	3,26	
18-ene	3,26	
19-ene	3,26	
20-ene	5,27	29,64
21-ene	5,27	
22-ene	5,27	
23-ene	6,91	
24-ene	6,91	
25-ene	5,55	31,97
26-ene	5,55	
27-ene	5,55	
28-ene	7,66	
29-ene	7,66	
30-ene	3,20	15,99
31-ene	3,20	
01-feb	3,20	
02-feb	3,20	
03-feb	3,20	
04-feb	0,00	0,00
05-feb	0,00	
06-feb	0,00	
07-feb	0,00	
08-feb	0,00	
09-feb	3,38	16,91
10-feb	3,38	
11-feb	3,38	
12-feb	3,38	
13-feb	3,38	
14-feb	3,38	16,90
15-feb	3,38	
16-feb	3,38	
17-feb	3,38	
18-feb	3,38	

Tabla 30. Evapotranspiración del cultivo (ETc) diaria del lisímetro #3.

FECHA (DD/MM/AA)	ETc DIARIO (mm)	ETc 5 DÍAS (mm)	FECHA (DD/MM/AA)	ETc DIARIO (mm)	ETc 5 DÍAS (mm)
06-nov	3,72	17,87	11-dic	2,82	10,45
07-nov	3,68		12-dic	2,82	
08-nov	3,96		13-dic	2,82	
09-nov	3,96		14-dic	1,00	
10-nov	2,54		15-dic	1,00	
11-nov	7,70	21,18	16-dic	8,00	52,55
12-nov	2,59		17-dic	8,00	
13-nov	5,18		18-dic	7,62	
14-nov	3,13		19-dic	19,34	
15-nov	2,59		20-dic	9,58	
16-nov	2,59	24,62	21-dic	3,19	17,62
17-nov	5,88		22-dic	3,19	
18-nov	5,88		23-dic	3,19	
19-nov	5,13		24-dic	3,25	
20-nov	5,13		25-dic	4,79	
21-nov	3,08	20,69	26-dic	4,79	47,97
22-nov	3,08		27-dic	12,83	
23-nov	6,00		28-dic	6,97	
24-nov	6,00		29-dic	13,27	
25-nov	2,53		30-dic	10,11	
26-nov	4,86	20,33	31-dic	10,11	70,07
27-nov	4,86		01-ene	4,05	
28-nov	3,54		02-ene	8,97	
29-nov	3,54		03-ene	23,04	
30-nov	3,54		04-ene	23,90	
01-dic	1,81	18,57	05-ene	12,28	75,70
02-dic	1,81		06-ene	12,28	
03-dic	4,86		07-ene	25,86	
04-dic	4,86		08-ene	12,36	
05-dic	5,24		09-ene	12,93	
06-dic	4,14	18,84	10-ene	10,49	46,41
07-dic	4,14		11-ene	10,49	
08-dic	4,14		12-ene	8,47	
09-dic	3,62		13-ene	8,47	
10-dic	2,82		14-ene	8,47	

FECHA (DD/MM/AA)	ETc DIARIO (mm)	ETc 5 DÍAS (mm)
15-ene	4,15	20,77
16-ene	4,15	
17-ene	4,15	
18-ene	4,15	
19-ene	4,15	
20-ene	9,53	39,20
21-ene	9,53	
22-ene	6,71	
23-ene	6,71	
24-ene	6,71	
25-ene	7,06	41,96
26-ene	7,06	
27-ene	7,06	
28-ene	10,38	
29-ene	10,38	
30-ene	4,24	21,19
31-ene	4,24	
01-feb	4,24	
02-feb	4,24	
03-feb	4,24	
04-feb	4,20	20,98
05-feb	4,20	
06-feb	4,20	
07-feb	4,20	
08-feb	4,20	
09-feb	5,00	24,98
10-feb	5,00	
11-feb	5,00	
12-feb	5,00	
13-feb	5,00	
14-feb	4,00	20,00
15-feb	4,00	
16-feb	4,00	
17-feb	4,00	
18-feb	4,00	

ANEXO G: Evapotranspiración de referencia ETo para cada 5 días:

Tabla 31. Evapotranspiración de referencia ETo para cada 5 días

FECHA (DD/MM/AA)	ETO CROPWAT (mm)	ETO CROPWAT (mm) 5 DÍAS	FECHA (DD/MM/AA)	ETO CROPWAT (mm)	ETO CROPWAT (mm) 5 DÍAS
06-nov	5,3	24,27	09-dic	3,84	
07-nov	4,78		10-dic	3,87	
08-nov	4,95		11-dic	3,68	
09-nov	4,79		12-dic	4,38	21,57
10-nov	4,45		13-dic	3,85	
11-nov	4,06	21,25	14-dic	4,75	
12-nov	3,86		15-dic	4,91	
13-nov	4,34		16-dic	4,27	20,27
14-nov	3,93		17-dic	3,91	
15-nov	5,06	21,30	18-dic	3,81	
16-nov	4,35		19-dic	4,44	
17-nov	4,09		20-dic	3,84	21,67
18-nov	4,42		21-dic	4	
19-nov	3,61		22-dic	4,44	
20-nov	4,83		23-dic	4,4	
21-nov	3,95	22,12	24-dic	4,9	21,83
22-nov	4,85		25-dic	3,93	
23-nov	4,5		26-dic	3,92	
24-nov	4,5		27-dic	4,44	
25-nov	4,32		28-dic	4,47	22,39
26-nov	3,78	22,39	29-dic	4,5	
27-nov	4,91		30-dic	4,5	
28-nov	5,03		31-dic	4,52	
29-nov	4,07		01-ene	4,49	22,39
30-nov	4,6		02-ene	4,47	
01-dic	4,09	22,66	03-ene	4,44	
02-dic	4,64		04-ene	4,47	
03-dic	5,02		05-ene	4,51	22,11
04-dic	5,06		06-ene	4,43	
05-dic	3,85		07-ene	4,4	
06-dic	4,48	21,38	08-ene	4,85	
07-dic	4,68		09-ene	3,92	21,78
08-dic	4,51		10-ene	4,55	

FECHA (DD/MM/AA)	ETO CROPWAT (mm)	ETO CROPWAT (mm) 5 DÍAS
11-ene	3,95	
12-ene	4,59	
13-ene	4,64	
14-ene	4,05	
15-ene	3,5	18,84
16-ene	3,92	
17-ene	3,97	
18-ene	3,88	
19-ene	3,57	
20-ene	4,01	18,79
21-ene	4,08	
22-ene	3,39	
23-ene	4,07	
24-ene	3,24	
25-ene	4,07	22,64
26-ene	4,63	
27-ene	4,68	
28-ene	4,6	
29-ene	4,66	

FECHA (DD/MM/AA)	ETO CROPWAT (mm)	ETO CROPWAT (mm) 5 DÍAS
30-ene	4,67	22,89
31-ene	4,09	
01-feb	4,68	
02-feb	4,72	
03-feb	4,73	
04-feb	4,22	19,90
05-feb	4,63	
06-feb	4,02	
07-feb	3,5	
08-feb	3,53	
09-feb	4,6	23,57
10-feb	4,6	
11-feb	4,72	
12-feb	4,74	
13-feb	4,91	
14-feb	4,88	24,95
15-feb	5,03	
16-feb	5,02	
17-feb	5,04	
18-feb	4,98	

ANEXO H: Coeficiente de cultivo Kc:

Tabla 32. Coeficiente de cultivo Kc del lisímetro 1

FECHA (DD/MM/AA)	ETc (mm)	ETo (mm)	Kc
06/11/2014	4,14	24,27	0,17
07/11/2014			
08/11/2014			
09/11/2014			
10/11/2014			
11/11/2014	12,17	21,25	0,57
12/11/2014			
13/11/2014			
14/11/2014			
15/11/2014			
16/11/2014	12,22	21,30	0,57
17/11/2014			
18/11/2014			
19/11/2014			
20/11/2014			
21/11/2014	15,92	22,12	0,72
22/11/2014			
23/11/2014			
24/11/2014			
25/11/2014			
26/11/2014	11,05	22,39	0,49
27/11/2014			
28/11/2014			
29/11/2014			
30/11/2014			
01/12/2014	17,09	22,66	0,75
02/12/2014			
03/12/2014			
04/12/2014			
05/12/2014			
06/12/2014	19,68	21,38	0,92
07/12/2014			

FECHA (DD/MM/AA)	ETc (mm)	ETo (mm)	Kc
08/12/2014			
09/12/2014			
10/12/2014			
11/12/2014	34,06	21,57	1,58
12/12/2014			
13/12/2014			
14/12/2014			
15/12/2014	31,69	20,27	1,56
16/12/2014			
17/12/2014			
18/12/2014			
19/12/2014	35,09	21,67	1,62
20/12/2014			
21/12/2014			
22/12/2014			
23/12/2014	38,95	21,83	1,78
24/12/2014			
25/12/2014			
26/12/2014			
27/12/2014	57,52	22,39	2,57
28/12/2014			
29/12/2014			
30/12/2014			
31/12/2014	36,47	22,11	1,65
01/01/2015			
02/01/2015			
03/01/2015			
04/01/2015			
05/01/2015			
06/01/2015			
07/01/2015			
08/01/2015			

FECHA (DD/MM/AA)	ETc (mm)	ETo (mm)	Kc
09/01/2015			
10/01/2015	25,77	21,78	1,18
11/01/2015			
12/01/2015			
13/01/2015			
14/01/2015			
15/01/2015	33,97	18,84	1,80
16/01/2015			
17/01/2015			
18/01/2015			
19/01/2015			
20/01/2015	28,33	18,79	1,51
21/01/2015			
22/01/2015			
23/01/2015			
24/01/2015			
25/01/2015	43,24	22,64	1,91
26/01/2015			
27/01/2015			
28/01/2015			
29/01/2015			

FECHA (DD/MM/AA)	ETc (mm)	ETo (mm)	Kc
30/01/2015	22,47	22,89	0,98
31/01/2015			
01/02/2015			
02/02/2015			
03/02/2015			
04/02/2015	22,68	19,90	1,14
05/02/2015			
06/02/2015			
07/02/2015			
08/02/2015			
09/02/2015	24,58	23,57	1,04
10/02/2015			
11/02/2015			
12/02/2015			
13/02/2015			
14/02/2015	24,58	24,95	0,99
15/02/2015			
16/02/2015			
17/02/2015			
18/02/2015			

Tabla 33. Coeficiente de cultivo Kc del lisímetro 2.

FECHA (DD/MM/AA)	ETc (mm)	ETo (mm)	Kc
06/11/2014	0,54	24,27	0,02
07/11/2014			
08/11/2014			
09/11/2014			
10/11/2014			
11/11/2014	2,47	21,25	0,12
12/11/2014			
13/11/2014			
14/11/2014			
15/11/2014			
16/11/2014	2,80	21,30	0,13
17/11/2014			
18/11/2014			
19/11/2014			
20/11/2014			
21/11/2014	5,53	22,12	0,25
22/11/2014			
23/11/2014			
24/11/2014			
25/11/2014			
26/11/2014	4,84	22,39	0,22
27/11/2014			
28/11/2014			
29/11/2014			
30/11/2014			
01/12/2014	5,56	22,66	0,25
02/12/2014			
03/12/2014			
04/12/2014			
05/12/2014			
06/12/2014	5,38	21,38	0,25
07/12/2014			
08/12/2014			
09/12/2014			
10/12/2014			

FECHA (DD/MM/AA)	ETc (mm)	ETo (mm)	Kc
11/12/2014	16,90	21,57	0,78
12/12/2014			
13/12/2014			
14/12/2014			
15/12/2014			
16/12/2014	33,19	20,27	1,64
17/12/2014			
18/12/2014			
19/12/2014			
20/12/2014			
21/12/2014	13,66	21,67	0,63
22/12/2014			
23/12/2014			
24/12/2014			
25/12/2014			
26/12/2014	30,53	21,83	1,40
27/12/2014			
28/12/2014			
29/12/2014			
30/12/2014			
31/12/2014	31,18	22,39	1,39
01/01/2015			
02/01/2015			
03/01/2015			
04/01/2015			
05/01/2015	20,01	22,11	0,90
06/01/2015			
07/01/2015			
08/01/2015			
09/01/2015			
10/01/2015	28,98	21,78	1,33
11/01/2015			
12/01/2015			
13/01/2015			
14/01/2015			

FECHA (DD/MM/AA)	ETc (mm)	ETo (mm)	Kc
15/01/2015	16,32	18,84	0,87
16/01/2015			
17/01/2015			
18/01/2015			
19/01/2015			
20/01/2015	29,64	18,79	1,58
21/01/2015			
22/01/2015			
23/01/2015			
24/01/2015			
25/01/2015	31,97	22,64	1,41
26/01/2015			
27/01/2015			
28/01/2015			
29/01/2015			
30/01/2015	15,99	22,89	0,70
31/01/2015			
01/02/2015			
02/02/2015			
03/02/2015			
04/02/2015	0,00	19,90	0,00
05/02/2015			
06/02/2015			
07/02/2015			
08/02/2015			
09/02/2015	16,91	23,57	0,72
10/02/2015			
11/02/2015			
12/02/2015			
13/02/2015			
14/02/2015	16,90	24,95	0,68
15/02/2015			
16/02/2015			
17/02/2015			
18/02/2015			

Tabla 34. . Coeficiente de cultivo Kc del lisímetro 3.

FECHA (DD/MM/AA)	ETc (mm)	ETo (mm)	Kc
06/11/2014	17,87	24,27	0,74
07/11/2014			
08/11/2014			
09/11/2014			
10/11/2014			
11/11/2014	21,18	21,25	1,00
12/11/2014			
13/11/2014			
14/11/2014			
15/11/2014			
16/11/2014	24,62	21,30	1,16
17/11/2014			
18/11/2014			
19/11/2014			
20/11/2014			
21/11/2014	20,69	22,12	0,94
22/11/2014			
23/11/2014			
24/11/2014			
25/11/2014			
26/11/2014	20,33	22,39	0,91
27/11/2014			
28/11/2014			
29/11/2014			
30/11/2014			
01/12/2014	18,57	22,66	0,82
02/12/2014			
03/12/2014			
04/12/2014			
05/12/2014			
06/12/2014	18,84	21,38	0,88
07/12/2014			
08/12/2014			
09/12/2014			
10/12/2014			

FECHA (DD/MM/AA)	ETc (mm)	ETo (mm)	Kc
11/12/2014	10,45	21,57	0,48
12/12/2014			
13/12/2014			
14/12/2014			
15/12/2014			
16/12/2014	52,55	20,27	2,59
17/12/2014			
18/12/2014			
19/12/2014			
20/12/2014			
21/12/2014	17,62	21,67	0,81
22/12/2014			
23/12/2014			
24/12/2014			
25/12/2014			
26/12/2014	47,97	21,83	2,20
27/12/2014			
28/12/2014			
29/12/2014			
30/12/2014			
31/12/2014	70,07	22,39	3,13
01/01/2015			
02/01/2015			
03/01/2015			
04/01/2015			
05/01/2015	75,70	22,11	3,42
06/01/2015			
07/01/2015			
08/01/2015			
09/01/2015			
10/01/2015	46,41	21,78	2,13
11/01/2015			
12/01/2015			
13/01/2015			
14/01/2015			

FECHA (DD/MM/AA)	ETc (mm)	ETo (mm)	Kc
15/01/2015	20,77	18,84	1,10
16/01/2015			
17/01/2015			
18/01/2015			
19/01/2015			
20/01/2015	39,20	18,79	2,09
21/01/2015			
22/01/2015			
23/01/2015			
24/01/2015			
25/01/2015	41,96	22,64	1,85
26/01/2015			
27/01/2015			
28/01/2015			
29/01/2015			
30/01/2015	21,19	22,89	0,93
31/01/2015			
01/02/2015			
02/02/2015			
03/02/2015			
04/02/2015	20,98	19,90	1,05
05/02/2015			
06/02/2015			
07/02/2015			
08/02/2015			
09/02/2015	24,98	23,57	1,06
10/02/2015			
11/02/2015			
12/02/2015			
13/02/2015			
14/02/2015	20,00	24,95	0,80
15/02/2015			
16/02/2015			
17/02/2015			
18/02/2015			

ANEXO I: Precipitación y precipitación efectiva

Tabla 35. Precipitación (P) y precipitación efectiva (Pe) diaria y para cada 5 días

FECHA (DD/MM/AA)	P (mm)	Pe (mm)	P 5 DÍAS (mm)	Pe 5 DÍAS (mm)
06/11/2014	0	0	28,97	28,1
07/11/2014	0	0		
08/11/2014	0	0		
09/11/2014	6,61	6,54		
10/11/2014	22,36	21,56		
11/11/2014	41,41	38,67	57,39	54,45
12/11/2014	4,82	4,78		
13/11/2014	1,01	1,01		
14/11/2014	0,25	0,25		
15/11/2014	9,9	9,74		
16/11/2014	1,02	1,02	39,62	37,3
17/11/2014	0	0		
18/11/2014	0,51	0,51		
19/11/2014	38,09	35,77		
20/11/2014	0	0		
21/11/2014	0,51	0,51	7,36	7,28
22/11/2014	0	0		
23/11/2014	0	0		
24/11/2014	0	0		
25/11/2014	6,85	6,77		
26/11/2014	5,84	5,79	5,84	5,79
27/11/2014	0	0		
28/11/2014	0	0		
29/11/2014	0	0		
30/11/2014	0	0		
01/12/2014	0	0	6,08	6,03
02/12/2014	0	0		
03/12/2014	0	0		
04/12/2014	5,83	5,78		
05/12/2014	0,25	0,25		
06/12/2014	0	0	14,72	14,53
07/12/2014	0	0		
08/12/2014	4,57	4,54		
09/12/2014	9,9	9,74		
10/12/2014	0,25	0,25		

FECHA (DD/MM/AA)	P (mm)	Pe (mm)	P 5 DÍAS (mm)	Pe 5 DÍAS (mm)
11/12/2014	12,44	12,19	31,75	30,97
12/12/2014	1,02	1,02		
13/12/2014	18,29	17,75		
14/12/2014	0	0		
15/12/2014	0	0		
16/12/2014	0	0	8,38	8,27
17/12/2014	8,13	8,02		
18/12/2014	0,25	0,25		
19/12/2014	0	0		
20/12/2014	0	0		
21/12/2014	3,55	3,53	4,56	4,54
22/12/2014	0,25	0,25		
23/12/2014	0	0		
24/12/2014	0	0		
25/12/2014	0,76	0,76		
26/12/2014	0	0	0	0
27/12/2014	0	0		
28/12/2014	0	0		
29/12/2014	0	0		
30/12/2014	0	0		
31/12/2014	0	0	0	0
01/01/2015	0	0		
02/01/2015	0	0		
03/01/2015	0	0		
04/01/2015	0	0		
05/01/2015	0	0	0	0
06/01/2015	0	0		
07/01/2015	0	0		
08/01/2015	0	0		
09/01/2015	0	0		
10/01/2015	0	0	0	0
11/01/2015	0	0		
12/01/2015	0	0		
13/01/2015	0	0		
14/01/2015	0	0		
15/01/2015	7,11	7,03	12,87	12,77
16/01/2015	1	1		
17/01/2015	2	1,99		
18/01/2015	1,76	1,76		
19/01/2015	1	1		

FECHA (DD/MM/AA)	P (mm)	Pe (mm)	P 5 DÍAS (mm)	Pe 5 DÍAS (mm)
20/01/2015	0,75	0,75	3	3
21/01/2015	0,5	0,5		
22/01/2015	0,5	0,5		
23/01/2015	0,75	0,75		
24/01/2015	0,5	0,5		
25/01/2015	0,25	0,25	0,75	0,75
26/01/2015	0,25	0,25		
27/01/2015	0,25	0,25		
28/01/2015	0	0		
29/01/2015	0	0		
30/01/2015	0	0	0,75	0,75
31/01/2015	0	0		
01/02/2015	0,5	0,5		
02/02/2015	0,25	0,25		
03/02/2015	0	0		
04/02/2015	0	0	5,04	5,02
05/02/2015	0	0		
06/02/2015	0	0		
07/02/2015	3,54	3,52		
08/02/2015	1,5	1,5		
09/02/2015	0,5	0,5	1,5	1,5
10/02/2015	0,5	0,5		
11/02/2015	0,25	0,25		
12/02/2015	0	0		
13/02/2015	0,25	0,25		
14/02/2015	0	0	0,25	0,25
15/02/2015	0	0		
16/02/2015	0	0		
17/02/2015	0	0		
18/02/2015	0,25	0,25		