DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HIDRICOS DEL CILANTRO (Coriandrum Sativum), VARIEDAD UNAPAL PRECOSO Y SU RELACIÓN CON EL DESARROLLO DEL CULTIVO, LA PRODUCCIÓN Y LA CALIDAD, COMPARANDO UN PERIODO SECO Y HÚMEDO DE SIEMBRA DEL CULTIVO EN EL AÑO

GILBERTO EDUARDO MARIN PIMENTEL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
COORDINACIÓN GENERAL DE POSTGRADO
PALMIRA
2010

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HIDRICOS DEL CILANTRO (Coriandrum Sativum), VARIEDAD UNAPAL PRECOSO Y SU RELACIÓN CON EL DESARROLLO DEL CULTIVO, LA PRODUCCIÓN Y LA CALIDAD, COMPARANDO UN PERIODO SECO Y HÚMEDO DE SIEMBRA DEL CULTIVO EN EL AÑO

GILBERTO EDUARDO MARIN PIMENTEL

Tesis de grado para optar el titulo de Magister en CIENCIAS AGRARIAS, línea de investigación en SUELOS

DIRIGIDO POR:
Msc. MARIA SARA MEJIA DE TAFUR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
COORDINACIÓN GENERAL DE POSTGRADO
PALMIRA
2010

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE PALMIRA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ACTA DE JURADO DE TESIS

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
LINEA DE INVESTIGACIÓN SUELOS

En Palmira a los 03 días del mes de junio de 2010, se reunió en esta Sede el Jurado Calificador de Tesis, integrado por los doctores EDGAR IVAN ESTRADA SALAZAR y JUAN CARLOS MENJIVAR FLORES

Para calificar la Tesis de Grado de:

GILBERTO EDUARDO MARIN PIMENTEL

Titulada:

"Determinación de los requerimientos hídricos del cilantro (*Coriandrum sativum),* variedad Unapal-Precoso y su relación con el desarrollo del cultivo, la producción y la calidad, comparando un periodo seco y húmedo de siembra del cultivo en el año" bajo la dirección del profesor María Sara Mejía de Tafur, M.Sc.

Después de oír el informe del jurado evaluador compuesto por los docentes EDGAR IVAN ESTRADA SALAZAR y JUAN CARLOS MENJIVAR FLORES, y de haber cumplido con el proceso de evaluación, la tesis fue calificada como:

APROBADA X

REPROBADA ____

EDGAR IVÁN ESTRADA S.

JUAN CARLOS MENJIVAR F.

DEDICATORIA

A mi madre, y a mi amada esposa

AGRADECIMIENTOS

Mis más sentidos agradecimientos a:

Msc. María Sara Mejía de Tafur por su orientación, colaboración y paciencia durante la realización de este trabajo.

Al Dr. Juan Carlos Menjivar Flores por colaboración y valiosos aportes e ideas.

Al Dr. Harold Tafur Herman por sus valiosas explicaciones.

Al profesor Carlos Alberto Escobar Chalarca por sus excelentes ideas.

Al señor Héctor, por su gran colaboración y confianza.

A Hernán Felipe por colaboración en la fase experimental.

A mis amigos: Oscar P, Oscar T, Mabel, Jorge, Jorge Mario, Ludwing y demás compañeros del postgrado.

A todos y cada uno Mil gracias.

“La facultad y los jurados de la tesis

No se harán responsables de las

Ideas emitidas por el autor”

Articulo 24, resolución 04 de 1974

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN 23

1. OBJETIVOS 26

1.1. GENERAL 26

2. MARCO DE REFERENCIA 27

2.1 EL AGUA EN EL SUELO 27

2.1.1 Agua higroscópica 27

2.1.2 Agua capilar 28

2.1.3 Agua gravitacional. 28

2.2 MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO 28

2.3 LA EVAPOTRANSPIRACIÓN 28

2.3.1. Evapotranspiración potencial 29

2.3.2 Evapotranspiración real 29

2.3.3 Determinación de la evapotranspiración 29

2.4 LA TRANSPIRACIÓN 30

2.5 COEFICIENTE DEL CULTIVO (KC) 31

2.6 LA CALIDAD 31

2.6.1 Componentes de la Calidad 32

2.6.1.1 Apariencia 32

2.6.1.2 Sabor 32

2.6.1.3 Valor nutritivo.....32
2.6.1.4 Seguridad 33
2.7 PLANTA OBJETO DE ESTUDIO.....33
2.7.1 Cilantro (Coriandrum sativum L.).....33
2.7.2 Agronomía del cultivo 33
2.7.3 La variedad Unapal precoso.....34
2.7.4 Ventajas agronómicas de la variedad Unapal precoso.....34
2.7.5 Algunos estudios 35
3. METODOLOGIA.....38
3.1 LOCALIZACION 38
3.2 HIPÓTESIS 39
4. DISEÑO EXPERIMENTAL.....40
4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.....41
4.2 DESCRIPCION DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL 42
4.3 FERTILIZACIÓN.....42
4.4 DESCRIPCION DEL ENSAYO.....43
4.4.1 Recolección de muestras de suelo.....43
4.4.2 Variables climatológicas 43
4.4.3 Evapotranspiración real.....44
4.4.4. Evaporación.....44
4.4.5 Evapotranspiración de referencia.....47
4.4.6. Coeficiente del cultivo (KC). 48
4.4.7 Eficiencia en la aplicación de agua (EUA). 49

4.4.8 Muestreo en plantas. 49
4.4.9 Rendimientos....49
4.4.10 Materia seca. 49
4.4.11 Determinación de Apariencia.....49
4.4.12 Contenidos nutricionales 50
4.4.13 Deterioro fisiológico 50
5. RESUMEN DE VARIABLES EVALUADAS 51
6. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN 54
7. RESULTADOS Y DISCUSION....55
7.1 CONSUMO DE AGUA....55
7.1.1 Consumo de agua en el ciclo 1 55
7.1.2 Consumo de agua en el ciclo 2 56
7.1.3 Consumo de agua promedio para los dos ciclos. 57
7.1.4. Análisis de regresión para la evapotranspiración 59
7.1.5 Correlaciones entre las variables climatológicas y la evapotranspiración. 60
7.2 EVAPORACIÓN 60
7.2.1 Evaporación en el ciclo 1....60
7.2.2 Evaporación en el ciclo 2.....61
7.3 COEFICIENTE DEL CULTIVO (KC)....62
7.3.1. En el primer ciclo de siembra del cultivo....62
7.3.2 En el segundo ciclo de siembra del cultivo 63
7.4 EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA (EUA)....65
7.4.1 Eficiencia de agua en el ciclo1 65

7.4.2 Eficiencia en el uso del agua el ciclo 2 66
7.4.3 Eficiencia en el uso de agua promediando los dos ciclos.....67
7.5 DESARROLLO DEL CULTIVO.....67
7.5.1 Altura de la planta.....67
7.5.1.1 Altura del cilantro en el ciclo 1 68
7.5.1.2 Altura del cilantro en el ciclo 2 69
7.5.1.3 Análisis de regresión para la altura de la planta 69
7.5.2 Diámetro del tallo obtenido promediando los dos ciclos de siembra del cultivo 71
7.5.2.1 Diámetro del tallo del cilantro en el ciclo 1.....72
7.5.2.2. Diámetro del tallo del cilantro en el ciclo 2.....72
7.5.2.3 Análisis de regresión para el diámetro del tallo. 73
7.5.3 Número de hojas basales en los dos ciclos.....74
7.5.3.1 Número de hojas basales en el ciclo 1 75
7.5.3.2 Número de hojas basales en el ciclo 2 75
7.5.3.3 Análisis de regresión para el número de hojas basales.....76
7.6 PRODUCCIÓN DEL CULTIVO.....77
7.6.1 Rendimiento 77
7.6.1.1 Rendimiento ciclo 1 77
7.6.1.2 Rendimiento en el ciclo 2.....79
7.6.1.3 Rendimiento promedio de los dos ciclos 79
7.6.1.4 Análisis de regresión para el rendimiento.....80
7.6.2 Materia seca 82

7.6.2.1 Acumulación de materia seca en el ciclo 1 82
7.6.2.2 Acumulación de materia seca en el ciclo 2 83
7.6.2.3 Acumulación de materia seca promediando los dos ciclos. 83
7.6.2.4 Análisis de regresión para la acumulación de materia seca 84
7.7 CALIDAD 86
7.7.1 Apariencia 86
7.7.2 Contenidos nutricionales 88
7.7.2.1 Contenidos nutricionales en el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo 88
7.7.2.2 Contenidos nutricionales promedio para dos ciclos de siembra del cultivo en el año 93
7.7.3. Deterioro fisiológico 99
7.7.3.1 Pérdida de peso del cilantro después de cosecha para el ciclo 1 de siembra del cultivo 99
7.7.3.2 Pérdida de peso del cilantro después de cosecha para el ciclo 2 de siembra del cultivo 101
7.7.3.3 Pérdida de peso en el cilantro en dos ciclos de siembra del cultivo 102
7.8 CORRELACIONES ENTRE PRODUCCIÓN, DESARROLLO Y CALIDAD DEL CULTIVO DE CILANTRO EN DOS ÉPOCAS DEL AÑO. 105
7.9 ANÁLISIS DE COSTOS 106
8. CONCLUSIONES 107
9. RECOMENDACIONES 108
BIBLIOGRAFÍA 109
ANEXOS 118

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Distribución del agua durante cada ciclo.....41

Tabla 2. Distribución del agua durante cada ciclo por una parcela y una hectárea. 41

Tabla 3. Descripción detallada de fertilización para cada unidad experimental. 42

Tabla 4. Valoración de la apariencia del cultivo de cilantro según las características que presente a la cosecha. 50

Tabla 5. Características del suelo.....51

Tabla 6. Variables climatológicas medidas durante el desarrollo del cultivo.....52

Tabla 7. Parámetros medidos en la planta a la cosecha del cultivo.....53

Tabla 8. Eficiencia del uso del agua, para el cultivo de cilantro, en el ciclo 1. 66

Tabla 9. Eficiencia del uso del agua, para el cultivo de cilantro, en el ciclo 2. 66

Tabla 10. Eficiencia del uso del agua, para el cultivo de cilantro, promediando los dos ciclos. 67

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Arreglo experimental de los diferentes tratamientos.....40

Figura 2. Estación meteorológica utilizada en el experimento. 44

Figura 3. Microevaporimetro calibrado con las características del tanque clase A. 47

Figura 4. Consumo de agua acumulado en el tiempo, expresado como días desde la siembra, para el cultivo de cilantro, en el primer ciclo de siembra. 56

Figura 5. Consumo de agua acumulado en el tiempo, expresado como días desde la siembra, para el cultivo de cilantro, en el segundo ciclo de siembra.....57

Figura 6: Evapotranspiración acumulada en el tiempo, expresado como días desde la siembra, para el cultivo de cilantro, en el promedio de dos ciclos de siembra. ..58

Figura 7. Variación de la evapotranspiración promedio con respecto a las láminas de riego en un periodo seco y húmedo del año. 59

Figura 8. Evaporación del tanque microevaporimetro en el primer ciclo del cultivo, a través del tiempo.....61

Figura 9. Evaporación del tanque microevaporímetro en el segundo ciclo de siembra del cultivo, a través del tiempo. 61

Figura 10. Coeficiente del cultivo (Kc), expresado por etapas y por tratamientos, para el cultivo de cilantro, en el ciclo 1. 63

Figura 11. Coeficiente del cultivo (Kc), expresado por etapas y por tratamientos, para el cultivo de cilantro, en el ciclo 2. 64

Figura 12. Altura del cilantro expresado a través de días después de siembra, tratamientos y ciclos de siembra.....68

Figura 13. Análisis de regresión para la variación de la altura del cilantro, con respecto a las láminas de riego aplicadas a la cosecha del cultivo. 70

Figura 14. Diámetro del tallo del cilantro expresado a través de días después de siembra, tratamientos y ciclos de siembra. 71

Figura 15. Análisis de regresión para la variación del diámetro del tallo, con respecto a las láminas de riego aplicadas a la cosecha del cilantro, promediando los dos ciclos.....73

Figura 16. Número de hojas basales del cilantro expresado a través de días después de siembra, tratamientos y ciclos de siembra.....74

Figura 17. Análisis de regresión para la variación del número de hojas basales, con respecto a las láminas de riego aplicadas a la cosecha del cilantro, promediando dos ciclos de siembra del cultivo.....76

Figura 18. Rendimiento del cilantro en su ciclo productivo por tratamiento, en dos ciclos de siembra del cultivo. 78

Figura 19. Rendimiento del cilantro en su ciclo productivo para cada tratamiento, promediando los dos ciclos.....80

Figura 20. Análisis de regresión para el rendimiento del cilantro durante dos ciclos del cultivo, a la cosecha. 81

Figura 21. Acumulación de materia seca por tratamiento, en dos ciclos de siembra del cultivo. 82

Figura 22. Producción de materia seca del cilantro en su ciclo productivo para cada tratamiento, promediando dos ciclos de siembra. 84

Figura 23. Análisis de regresión para la variación del contenido de materia seca, con respecto a las láminas de riego aplicadas a la cosecha del cilantro. 85

Figura 24. Valoración visual de la apariencia del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo, en una escala de 1 a 5. 87

Figura 25. Materia seca analítica del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo. 88

Figura 26. Contenido de cenizas del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo. 89

Figura 27. Contenido de proteínas del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo. 90

Figura 28. Extracto etéreo del cilantro en su ciclo productivo de follaje para el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo. 91

Figura 29. Contenido de carbohidratos del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo. 92

Figura 30. Porcentaje de fibra detergente neutra del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo. 93

Figura 31. Porcentaje de materia seca analítica del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para dos ciclos de siembra en el año. 94

Figura 32. Porcentaje de cenizas del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para dos ciclos de siembra en el año.....95

Figura 33. Porcentaje de proteína del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para dos ciclos de siembra en el año.....96

Figura 34. Porcentaje extracto etéreo del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para dos ciclos de siembra en el año.....97

Figura 35. Porcentaje de carbohidratos del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para dos ciclos de siembra en el año. 98

Figura 36. Porcentaje de fibra detergente neutra del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para dos ciclos de siembra en el año. 99

Figura 37. Pérdida de peso del cilantro en su ciclo productivo para el ciclo 1. 100

Figura 38. Pérdida de peso del cilantro en su ciclo productivo para un periodo húmedo del año. 101

LISTA DE CUADROS

pág.

Cuadro 1. Pérdida de peso después de 2 horas de cosecha del cilantro en un periodo seco (1) y húmedo (2) del año. 103

Cuadro 2. Valoración de la calidad* del cultivo de cilantro teniendo en cuenta producción de follaje, materia seca, desarrollo fisiológico y apariencia. 105

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo I. Descripción de las pruebas físicas del suelo utilizado en el experimento. 118

Anexo II. Descripción de las pruebas químicas del suelo utilizado en el experimento. 121

Anexo III. Descripción de la unidad de suelo utilizado en el experimento. 123

Anexo IV. Descripción de la unidad de suelo utilizado en el experimento. 125

Anexo V. Determinación del contenido de ceniza. 128

Anexo VI. Determinación del contenido en grasa 130

Anexo VII. Determinación del contenido de proteína bruta 134

Anexo VIII. Determinación del contenido en fibra 142

Anexo IX. ANDEVA realizado para el primer ciclo del cultivo (26 de agosto al 29 de septiembre de 2009) 146

Anexo X. ANDEVA realizado para el segundo ciclo del cultivo (07 de octubre al 10 de noviembre de 2009) 152

Anexo XI. ANDEVA realizado para los dos ciclos del cultivo 158

Anexo XII. Contenidos nutricionales obtenidos después de la cosecha para las dos épocas del desarrollo del cultivo 169

Anexo XIII. Datos climatológicos promedios obtenidos por la estación meteorológica dentro del invernadero del 26 de agosto al 29 de septiembre de 2009 (época seca) 170

Anexo XIV. Datos climatológicos promedios obtenidos por la estación meteorológica dentro del invernadero del 07 de octubre al 10 de noviembre de 2009 (época húmeda).....171

Anexo XV. Datos de la evaporación dados por el microevaporimetro entre el 26 de agosto al 29 de septiembre de 2009 (época seca) 172

Anexo XVI. Datos de la evaporación dados por el microevaporimetro entre 07 de octubre al 10 de noviembre de 2009 (época húmeda).....173

Anexo XVII. Datos de evapotranspiración de referencia entre el 26 de agosto al 29 de septiembre de 2009 (época seca).....174

Anexo XVIII. Datos de evapotranspiración de referencia entre el entre 07 de octubre al 10 de noviembre de 2009. (Ciclo 2) 175

Anexo XIX. Datos de evapotranspiración real entre el 26 de agosto al 29 de septiembre de 2009 (época seca).....176

Anexo XX. Datos de evapotranspiración real entre el entre 07 de octubre al 10 de noviembre de 2009 (época húmeda) 178

Anexo XXI. Datos de evapotranspiración en dos ciclos del cultivo 180

Anexo XXII. Datos de Kc entre el 26 de agosto al 29 de septiembre de 2009....182

Anexo XXIII. Datos de Kc promedio por etapa del cultivo, entre el 26 de agosto al 29 de septiembre de 2009 (ciclo 1).....183

Anexo XXIV. Datos de Kc entre el 07 de octubre al 10 de noviembre de 2009 (época húmeda).....184

Anexo XXV. Datos de Kc promedio por etapa del cultivo, entre el 07 de octubre al 10 de noviembre de 2009 (época húmeda) 185

Anexo XXVI. Estructura de costos para el establecimiento de una hectárea de cilantro en el Valle del Cauca, para Mayo de 2010.....186

Anexo XXVII. Análisis de la estructura de costos para el establecimiento de una hectárea de cilantro en el Valle del Cauca, para Mayo de 2010, teniendo en cuenta el consumo de agua por tratamiento.....188

RESUMEN

El uso del agua como elemento fundamental en la producción agrícola presenta fuertes desafíos en los últimos años debido a la escasez del recurso. Los excesos de agua aplicados en la agricultura son comunes en pequeños, medianos y grandes agricultores, por ende es un reto, generar alternativas que permitan utilizar en forma eficiente el agua. La presente investigación se realizó en el Invernadero de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira donde se buscó determinar los requerimientos hídricos del cilantro, variedad Unapal precoso, utilizando varias láminas de riego y sembrando en una época seca y otra húmeda del año. Las variables de respuesta en el cultivo correspondieron a la evapotranspiración, rendimientos, desarrollo, contenidos nutricionales, apariencia y deterioro fisiológico. Debido a que se utilizó una estación meteorológica y un microevaporimetro dentro del Invernadero, se determinó el Kc del cultivo para cada tratamiento. Se aplicaron 5 tratamientos: 140, 160, 200, 240 y 280 mm de láminas de riego. A los 16, 26 y 35 después de siembra se tomaron en la planta: altura, diámetro de tallo y número de hojas basales. Al inicio de la etapa experimental se determinó en el suelo, colectado del CEUNP y clasificado como un Haplustert típico, algunas propiedades físicas como Densidad Aparente, Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente, Conductividad Hidráulica Saturada entre otras. Se realizó el análisis químico completo analizando macro y micro nutrientes. Los análisis indicaron que el consumo de agua en el cilantro se incrementó por efecto de las láminas de riego y su crecimiento. Las épocas de siembra no difieren muy significativamente en las variables de respuesta. Los tratamientos 4 y 5 de láminas de riego 240 y 280 mm respectivamente, obtuvieron rendimientos comparativamente iguales con el tratamiento 3, de lámina de riego 200 mm. Con los tratamientos de 140 y 160 mm no se obtienen los resultados esperados. Los tratamientos 3, 4 y 5 fueron aquellos que perdieron la mayor cantidad de agua después de ser cosechados, presentaron una excelente apariencia, obtuvieron una alta eficiencia en el uso del agua, fueron los de mejor desarrollo y estuvieron libre de plagas y enfermedades. El Kc tuvo una tendencia creciente conforme aumenta el contenido de agua aplicado. El efecto del agua no incidió significativamente en los contenidos nutricionales del cilantro. Como análisis final, por los resultados obtenidos, la mejor alternativa para usar como requerimiento hídrico del cilantro es utilizar el tratamiento 3 de lámina de riego de 200 mm, lo cual confirma lo planteado por Vallejo et al (2004), el cual propone como alternativa de riego está dosis.

Palabras claves: Requerimientos hídricos, Unapal precoso, Haplustert típico, láminas de agua, Kc.

ABSTRAC

The use of water as a fundamental part in the agriculture production has shown strong challenges in the last few years because of the scarcity of this resource. The excess of water applied in agriculture are common in small, medium size and large farmers, therefore it is a challenge to generate alternatives that allow the use of water in an efficient way. This investigation took place in the greenhouse of Universidad Nacional de Colombia, Palmira and it aimed to determine the hydric requirements of Cilantro variety *Unapal precoso*, by using several water sheets and growing in a dry and wet season. The variable of answer in the crop corresponded to the evapotranspiration, yield, development, nutritional content, appearance and physiological deterioration. Due to the fact that a metereologic station was used and a microevaporimeter inside the greenhouse, the Kc of the crop was determined for each treatment. Five treatments were applied: 140, 160, 200, 240 and 280 mm of water sheets. At 16, 26 and 35 after sowing the height, diameter of stem and the number of basal leaves were taken in the plant. At the beginning of the experimental stage some physical properties such as apparent density, field capacity, permanent withering point, and saturated hydraulic conductivity among others were determined in the soil, collected from CEUNP and classified as a typical hapluster, a complete chemical analysis was performed by analyzing macro and micro nutrients. The analysis showed that the water intaking in the cilantro was increased because of the effect of water sheets and its growing. The sowing seasons didn't show a meaningful change from the answer variables. The treatment 4 and 5 of water sheets 240 and 280 mm respectively, obtained comparatively equal yields with the treatment 3, of water sheets 200 mm. With the treatments 140 and 140 and 160 mm. The results expected were not obtained. The treatments 2, 4 and 5 were those which lost the higher quantity of water after being harvested; they showed an excellent appearance, efficiency in the use of water, better development and they were pest and illnesses free. The Kc had an increasing tendency as the applied water content increases. The water effect did not have important effect in the nutritional content of the cilantro. As a final analysis, according to the results obtained, the best alternative to use as a hydric resource of the cilantro is to use the treatment 3 of water sheets of 200 mm which confirms the Vallejo's theory (2004) who proposed as alternative this spraying dose.

Keywords: Water requirements, Unapal Precoso, Haplustert typical, water bodies, Kc.

INTRODUCCIÓN

El cilantro *Coriandrum sativum* es una de las especias de mayores implicaciones económicas, ya que es un cultivo con buen rendimiento y muy buen precio internacional. Se calcula que las especias mueven alrededor de US$ 6.000 millones en el mercado mundial y que el sector está creciendo entre un 5 y 6 % por año (Salazar, 2008). En Colombia se cultivan unas 3000 ha, de las cuales 1200 están en el Valle del Cauca; además son productores importantes de esta hortaliza Antioquia y el viejo Caldas (Estrada, 2003; Vallejo y Estrada, 2004).

Son pocos los estudios en Colombia sobre la cantidad de agua de riego que optimice los rendimientos y la calidad del cultivo de cilantro, por ejemplo, Vallejo et al (2004), para la variedad Unapal precoso menciona que demanda 200 mm, distribuidos así: un 20% en los primeros 6 días, 50% en la etapa de establecimiento y crecimiento acelerado hasta los 25 días y un 30% en los 10 días restantes hasta inicio de formación de tallo, floración y cosecha. Camacho (2008) manifiesta una necesidad hídrica de 1500 mm.año-1, aproximadamente 150 mm.mes-1. Según Morales (1995), la productividad tanto en hojas como de semillas en cilantro, es mayor cuando se utiliza riego. Por estas consideraciones se hace necesario determinar los requerimientos hídricos del cilantro, variedad Unapal precoso y buscar una alternativa eficaz que permita definir una relación entre la cantidad de agua aplicada, los rendimientos y la calidad en el cilantro variedad Unapal precoso.

La importancia de hallar los requerimientos hídricos cilantro, se basa fundamentalmente en la escasez del recurso en los últimos años. Las interacciones del agua con la planta se deben a que ésta conforma entre 90 y 95% de una planta y produce la hidratación de las células, claves para el crecimiento vegetal. Además es el vehículo de transporte de los elementos nutritivos desde el suelo hasta las raíces y desde estas hasta toda la planta. Si se conocen los requerimientos hídricos se controla un 90% de la producción y la calidad de las cosechas (Amézquita, 1999).

La aplicación de cantidades de agua concordante con los requerimientos de las plantas y la eficiencia de aplicación, del sistema de riego que se utilice, permite ahorrar agua y energía, controlar las pérdidas de nutrientes por lixiviación y aumentar los rendimientos y la calidad de la producción (Selles et al, 2003).

Los años de rápido crecimiento demográfico y el creciente consumo de agua para la agricultura, la industria y las municipalidades han creado tensiones en los recursos de agua dulce mundialmente. En algunas zonas la demanda de agua ya es superior al suministro de la naturaleza, y se prevé que un número cada vez mayor de países enfrentarán condiciones de escasez de agua en un futuro cercano. En 2025 más de 2.800 millones de personas vivirán en 48 países que encaran tensiones hídricas o escasez de agua: Oriente y Norte de África o en el África subsahariana son algunos de los territorios con mayor problemática.

El agua fue considerada desde siempre, como el factor que más incide en la producción de alimentos en el mundo. El desafío constante es conocer cómo el

clima, el suelo, la genética vegetal y el manejo cultural pueden ser combinados para aumentar la eficiencia del uso del agua por los cultivos. La evaluación cuantitativa del agua del suelo constituye entonces una herramienta fundamental para comprender tales interacciones y establecer pautas de manejo que optimicen su uso en el sistema de producción (Micucci et al, 2002).

El agua es uno de los factores ambientales más importantes en la producción, cada cultivo presenta un consumo específico de agua que optimiza sus funciones metabólicas y favorece el crecimiento y reproducción. Aplicar agua más allá de este consumo es desperdicio y reducción de otras oportunidades de uso, por tales consideraciones es de vital importancia definir una lámina adecuada de riego para el cultivo de cilantro que le permita incrementar sus características bromatológicas y organolépticas. Para determinar la cantidad óptima de agua a aplicar durante el riego se deben conocer los requerimientos hídricos de los cultivos, los cuales dependen de la interacción entre el clima (temperatura, velocidad del viento, radiación solar, humedad relativa y pluviometría), suelo (textura y propiedades físico-hídricas), y características propias de la planta (variedad, porcentaje de cobertura del cultivo, sistema radical, etc.) (Stewart y Hagan,1973; Varas, 1991).

Con base en lo expuesto, en el presente trabajo de investigación se planteó determinar, bajo condiciones controladas, los requerimientos hídricos del cilantro que permitan optimizar el desarrollo de la planta, mejorar la calidad, aumentar los rendimientos y ahorrar el recurso agua.

1. OBJETIVOS

1.1. GENERAL

Determinar los requerimientos hídricos del cilantro (*Coriandrum sativum*), variedad Unapal precoso y su relación con el desarrollo del cultivo, la producción y la calidad, en dos ciclos del cultivo.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la evapotranspiración real del cultivo de cilantro y relacionarla con diferentes láminas de riego, en dos ciclos del cultivo.

- Evaluar el efecto de las láminas de riego con el desarrollo, los rendimientos y la calidad del cultivo de cilantro en dos ciclos del cultivo.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 EL AGUA EN EL SUELO

Desde un punto de vista físico, el suelo puede ser considerado como una mezcla porosa de partículas minerales, orgánicas, aire y agua con sustancias disueltas en solución (Olalla et al, 1993). El rendimiento de los cultivos es dependiente de la disponibilidad de agua en el suelo, cultivos que cuentan con una adecuada disponibilidad de agua en el suelo, van a evapotranspirar a su máxima capacidad alcanzando los mayores rendimientos en caso de no tener otro tipo de limitaciones (Castro et al, 2004). La capacidad del suelo para almacenar agua depende dentro de sus propiedades físicas básicamente de características como, textura, estructura, densidad aparente, densidad real entre otras (Simpfendörfer, 1996).

El agua en el suelo se presenta en tres formas según sea retenida (Meneses, 2006):

2.1.1 Agua higroscópica. Es aquella que se halla retenida el suelo por fuerzas de absorción, cuyo valor está en equilibrio con la presión de vapor del aire circundante. Esta varía de acuerdo con la humedad relativa y la temperatura del ambiente. No es utilizable por las plantas; se aloja en los microporos.

2.1.2 Agua capilar. Es la que se encuentra por encima del agua higroscópica (ocupa los mesoporos) y que el suelo retiene debido a las fuerzas de tensión superficial, contra la gravedad. Es el agua realmente aprovechada por las plantas.

2.1.3 Agua gravitacional. Es aquella que por lo general está en exceso; ocupa los macroporos y es susceptible a moverse del suelo, razón por la cual está expuesta a la fuerza de gravedad que tiende a hacerla percolar.

2.2 MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO

El agua se mueve por diferencias de potenciales entre los puntos en que se produce ese movimiento, de tal manera que siempre fluye de mayor a menor potencial (Artigao y Guardado, 1993). Las fuerzas que originan este movimiento son por gravedad, ósmosis y capilaridad. En consecuencia, el contenido de agua en el suelo es dinámico, presentando variaciones a intervalos cortos de tiempo, dependiendo de las condiciones propias del suelo, ambientales, y de manejo (Castro et al, 2005).

2.3 LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración es la combinación de la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación (Chávarri, 2004). La FAO en su estudio de Riego y Drenaje No 56 indica que el clima, las características del cultivo, el

manejo y el medio de desarrollo son factores que afectan la evaporación y la transpiración. De manera práctica, la evaporación y la transpiración son procesos que se realizan en la naturaleza en forma simultánea, son independientes y es muy difícil su medición por separado. El cálculo de la evapotranspiración es fundamental para la estimación de la demanda de riego de un cultivo y la estimación del escurrimiento medio anual de una cuenca (Chávarri, 2004).

2.3.1. Evapotranspiración potencial. Se refiere a la evapotranspiración del cultivo exento de enfermedades que crece en un campo extenso en condiciones óptimas del suelo, incluida una fertilidad y agua suficientes en el que se llega al potencial de plena producción de ese cultivo con arreglo al medio vegetativo dado (Doorenbos y Pruitt, 1979).

2.3.2 Evapotranspiración real. Se conoce como evapotranspiración real, la que se produce para las condiciones de humedad y estado de vegetación en un momento dado (Jiménez citado por Diez, 1997). La evapotranspiración real toma en consideración el agua disponible en el suelo y las condiciones ambientales en las cuales se desarrolla un cultivo determinado (Chávarri, 2004).

2.3.3 Determinación de la evapotranspiración. La evapotranspiración puede estimarse directamente de las siguientes maneras: (a) en campo, mediante lisímetros (Rosenberg, 1983; Lira, 1986); (b) con fórmulas empíricas que involucran uno o más elementos meteorológicos, como son los métodos de Thornthwaite, Blaney y Criddle, Makking, Turk, Linacre, método de unidades térmicas solares, Hargreaves, Jensen y Haise, Horton y Norero, entre otros

(Linacre, 1977; Mojarro y Palacios, 1979; Rosenberg, 1983; Lira, 1986; Ortíz, 1987); (c) métodos micrometeorológicos, como el método de transporte de masas de la ecuación de Dalton, el cociente de Bowen y balance de energía, la ecuación de Thornthwaite-Holzman y la técnica de correlación de Eddy (Chang, 1968; Rosenberg, 1983); (d) métodos aerodinámicos combinados con balance de energía, como la ecuación de Penman y Penman modificada por Monteith, los métodos de Van Bavel, Slatyer y McIlroy, Priestley y Taylor (Chang, 1968; Rosenberg, 1983); y (e) con la evaporación medida en el tanque evaporímetro ajustada con un coeficiente que depende de la cobertura del terreno, la humedad relativa y la velocidad del viento (Doorenbos y Kassam, 1986).

2.4 LA TRANSPIRACIÓN

La evaporación fisiológica o transpiración es el resultado del proceso físico y biológico por el cual el agua cambia del estado líquido al gaseoso, a través del metabolismo de la planta y pasa a la atmósfera (Chávarri, 2004). Según la FAO en su estudio de Riego y Drenaje No 56 indica que los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas. Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta, a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera. El agua, junto con algunos nutrientes, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta. La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales. Según Selles y Ferreyra (2003) la transpiración constituye la fuerza motriz del ascenso de agua en las plantas.

2.5 COEFICIENTE DEL CULTIVO (KC)

El coeficiente del cultivo (kc) es una relación empírica que relaciona la evapotranspiración máxima (ET) con la evapotranspiración de referencia (ETP) de un cultivo. Según Chávarri (2004) el coeficiente del cultivo Kc, depende de las característica anatomorfológicas y fisiológicas de la especie y expresa la variación de su capacidad para extraer agua del suelo durante su ciclo vegetativo. El valor de kc varía con el cultivo, con la etapa de desarrollo y en cierta medida con la velocidad del viento y la humedad (Doorenbos y Kassam, 1986), y se puede expresar de la siguiente manera: kc = ET/ETP o kc = ET/Ev (Denmead y Shaw, 1962). Tijerina (1986) presentó expresiones cúbicas incompletas que se han derivado de estudios experimentales para relacionar el valor de kc con la proporción de desarrollo del ciclo del cultivo. Así mismo, García (1979) obtuvo varios modelos cuadráticos y cúbicos de kc a partir de relaciones gráficas presentadas en trabajos experimentales donde se relaciona el valor de kc y el porcentaje de desarrollo del cultivo. Norero (1976) utilizó una ecuación de tipo cúbico incompleta para calcular kc, que requiere una constante que indica la proporción de evaporación en suelo desnudo, el índice de área foliar promedio y la duración del cultivo. Mojarro y Palacios (1979) determinó un modelo de kc para frijol, por medio del índice de área foliar (IAF) y la proporción entre la ET y la Ev.

2.6 LA CALIDAD

La palabra calidad proviene del latín qualitas, que significa atributo, propiedad o naturaleza básica de un objeto. Sin embargo, en la actualidad y en sentido abstracto su significado es grado de excelencia o superioridad (Kader et al, 1985).

2.6.1 Componentes de la Calidad

2.6.1.1 Apariencia- Es un indicador de la frescura del producto y está relacionada con el tamaño, forma, color, madurez compacidad entre otros. Se usa preferentemente en hortalizas en donde la cosecha es el punto de máxima calidad organoléptica caracterizado por una mayor turgencia, color, sabor y crocantez (FAO, 2005).

2.6.1.2 Sabor. El Sabor es la combinación de las sensaciones percibidas por la lengua (sabor o gusto) y por la nariz (aromas) (Wills et al, 1981). En frutas y hortalizas, el sabor se expresa normalmente en términos de la combinación de principios dulces y ácidos, que son indicadores de la madurez y de la calidad gustativa. El contenido de sólidos solubles es una buena estimación del contenido de azúcares totales y muchos frutos deben contener un contenido mínimo de sólidos para ser cosechados con buena calidad (FAO, 2005).

2.6.1.3 Valor nutritivo. Desde el punto de vista nutritivo, las frutas y hortalizas no son suficientes para satisfacer los requerimientos nutricionales diarios, esencialmente por su bajo contenido de materia seca. Poseen un alto contenido de agua y bajo de carbohidratos. Por estas consideraciones un análisis nutricional, con buenos contenidos de elementos como la fibra, proteína, grasa entre otros son indicadores de buena calidad (FAO, 2005).

2.6.1.4 Seguridad. Las hortalizas no solamente deben ser atractivas en cuanto a su apariencia, frescura, presentación y valor nutritivo, sino también su consumo no debe poner en riesgo la salud. La seguridad de los alimentos consiste en la ausencia de substancias dañinas para la salud y tradicionalmente la presencia de plaguicidas sobre el producto ha sido la principal preocupación de la opinión pública. Sin embargo, existen muchos otros contaminantes potencialmente tan o más peligrosos, como la presencia de microorganismos patógenos, micotoxinas, metales, pesados entre otros (FAO, 2005).

2.7 PLANTA OBJETO DE ESTUDIO

2.7.1 Cilantro (Coriandrum sativum L.). Es una hortaliza utilizada desde tiempos remotos como condimentos y planta medicinal (Cruz, 2004). El cilantro, es una planta herbácea de la familia de las apiáceas, de uso común en la zona mediterránea, latinoamericana y el sudeste asiático. El nombre coriandro viene del latín *coriandrum*, que a su vez deriva del griego *korios*, que quiere decir chinche, refiriéndose al desagradable olor del cilantro cuando sus frutos aún están verdes.

2.7.2 Agronomía del cultivo. El cilantro es una especie que se adapta muy bien en áreas ubicadas entre los 1000 y 1300 m.s.n.m., y suelos con pH entre 5.0 y 7.5, crece bien en cualquier clase de suelo, pero prefiere los livianos, ricos en materia orgánica y bien drenados (Acuña, 1988). Para una producción optima de follaje en el cilantro se necesitan entre 200 a 300 plantas por metro cuadrado (Arcos, 2002). La siembra se hace en forma directa en eras o camas, la semilla se distribuye al voleo de una manera uniforme tapándola posteriormente con una capa de suelo

fina de 0.5 cm (Caicedo, 1993). El periodo vegetativo de diferentes variedades dura alrededor de 45 a 50 días y alcanza rendimientos de 8 toneladas de follaje fresco (Pineda, 1992). Caicedo (1993) indica que es indispensable la desyerba manual para conservar el cultivo libre de malezas.

2.7.3 La variedad Unapal precoso. La variedad Unapal precoso ha sido probado en ambientes frescos y cálidos (20 - 27° C) y alturas de 800 – 1500 m.s.n.m. También se tienen reportes de un comportamiento aceptable en climas fríos (2500 m.s.n.m) en la Sabana de Bogotá, pero con un aumento de su periodo vegetativo. Se desarrolla bien en suelos sueltos con textura franca, altos contenidos de materia orgánica, neutros o ligeramente ácidos pH (6 – 7) y con buen drenaje. Para una producción óptima de follaje, el número de plantas por metro cuadrado está entre 180 – 250 plantas. Responde bien a sistemas de siembra artesanales (materos, contenedores de diversos tamaños, camas de siembra) y en sistemas extensivos en campo abierto en surcos sencillos o múltiples (pachas). Se estima que en un ciclo de 35 días para cosecha de follaje, el cilantro demanda 200 mm, distribuidos en un 20 % los primeros 6 días, 50% en la etapa de establecimiento y crecimiento acelerado hasta los 25 días y un 30% en los 10 días restantes hasta inicio de formación de tallo floral y cosecha (Vallejo et al, 2004). Estrada (2000) reporto rendimientos de follaje en el cultivar Unapal precoso que varían de 18 a 20 t ha^{-1}.

2.7.4 Ventajas agronómicas de la variedad Unapal precoso. De acuerdo a Vallejo et al (2004) el cultivar de cilantro Unapal precoso sobresale por las siguientes características agronómicas:

- Alta precocidad: Periodo vegetativo muy corto (28 – 35 días) entre emergencia y cosecha, lo cual representa una ganancia de 15 – 20 días frente a otros cultivares presentes en el mercado.

- Permite alta densidad de siembra, lo cual se traduce en mayor rendimiento y productividad de materia verde por planta y por unidad de superficie.

- Tolerancia de campo a las principales enfermedades fungosas causantes del daño de las hojas (alternariosis y cercosporiosis).

- Menor cantidad de semilla para la siembra debido a la alta frecuencia de frutos con dos semillas y sobresaliente germinación.

- Intenso aroma en sus hojas y tallos, características que se mantiene en las flores y semillas. Este rasgo señala un enorme potencial de las semillas en la producción de condimentos y en la extracción de aceites esenciales.

2.7.5 Algunos estudios. En muchos estudios se evalúan el efecto de diferentes fertilizaciones sobre los rendimientos del cilantro, la producción de aceites esenciales entre otros. También se analizan efectos del lavado del cilantro y su relación con la conservación en poscosecha.

Al respecto Usman et al (2003) evaluaron el efecto de varias alternativas de fertilización orgánica en el rendimiento y calidad de semillas, y en el rendimiento de follaje de la variedad de cilantro Unapal precoso. Los tratamientos correspondieron a una dosis recomendada de nitrógeno (100 $kg.ha^{-1}$) aplicando

cuatro fuentes (Gallinaza, Bocashi, Compost de Cavasa y urea). El análisis estadístico no detectó diferencias significativas entre tratamientos. Los resultados indicaron la extracción de nitrógeno varió entre 46 y 81 $kg.ha^{-1}$ y la de potasio entre 90 y 141 $kg.ha^{-1}$; la concentración de potasio en el tejido fue alta (promedio de 5,5%). El rendimiento de follaje fresco varió entre 1.2 y 1.8 $kg.m^{-2}$, y la aplicación de urea fue el mejor tratamiento. El rendimiento de semillas varió entre 1.433 y 2.266 $kg.ha^{-1}$ de semilla pura. La germinación de la semilla fue siempre superior a 84%.

Wang et al (2004) evaluaron la eficacia del lavado del cilantro con agua bajo ciertas condiciones como contenido de electrolitos, contenido de ozono, lavado secuencial entre otros, en la descontaminación y reducción de poblaciones microbianas para la mejora de la calidad de almacenamiento. Los resultados de las pruebas indicaron que el lavado secuencial es eficaz en la reducción de la cantidad inicial de microbios. El tratamiento de ozono logró la más alta calidad general de cilantro durante el almacenamiento.

Neffati et al (2008) evaluaron el efecto de diferentes concentraciones de cloruro de sodio sobre el rendimiento del aceite esencial en hojas para una variedad de cilantro tunecino. En esta investigación encontraron que el alto contenido de sales disminuye significativamente el contenido total de aceites esenciales en hojas superiores y basales.

Mejía y Estrada (2008) evaluaron la respuesta del cilantro, Variedad Unapal precoso, a diferentes niveles de N y K. Los tratamientos correspondieron a

soluciones nutritivas (Testigo: Solución completa de Hougland y Arnon y los tratamientos restantes a variaciones en las concentraciones de N y K). Los resultados mostraron una mayor acumulación de biomasa y menor perdida de agua en poscosecha con una concentración alta de K. El rango optimo de concentración de N en la solución nutritiva se estimo entre 3.9 mM y el nivel crítico de deficiencia de K en 8.4 mM.

3. METODOLOGIA

3.1 LOCALIZACION

La etapa experimental se desarrolló en el invernadero de la Universidad Nacional de Colombia, Municipio de Palmira, Valle del Cauca, georreferenciado bajo coordenadas 3° 30’ 45.6 ‘’ N y 76° 18’ 29.911’’ W, ubicado a una altura de 950 m.s.n.m., con temperatura media de 24℃. Se utilizó la variedad de cilantro Unapal precoso, liberado por el programa de Mejoramiento Genético, Agronomía y Producción de Semillas de Hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira. Se realizaron dos ciclos de siembra del cultivo, el primer ciclo se realizó en los meses de agosto y septiembre y correspondió a período seco en Colombia, mientras el segundo ciclo se realizó entre los meses de octubre y noviembre y se ubicó en una época o período húmedo.

La recolección del suelo se realizó en el Centro Experimental de la Universidad Nacional de Palmira (CEUNP) el cual se encuentra georreferenciado bajo las coordenadas a 3º25’39.81” N y 76º25’.70”O en el Municipio de Candelaria, Valle del Cauca, a una altura aproximada de 953 msnm. Con temperatura promedio de 24ºC y humedad de 60% donde se presenta una precipitación anual aproximada de 1020 mm ubicado en la planicie aluvial sobre una terraza de la parte distal del piedemonte. El suelo se clasifico como Haplustert típico francoso fino isohipertérmico 1%. La descripción del suelo se hace en el anexo III.

3.2 HIPÓTESIS

La aplicación de diferentes láminas de riego al suelo, tiene efecto en el desarrollo, rendimientos y calidad del cultivo de cilantro independiente de la época de siembra.

4. DISEÑO EXPERIMENTAL

Las unidades experimentales se organizaron bajo un diseño completamente al azar conformado por cinco tratamientos incluyendo el testigo, un suelo y cuatro repeticiones para un total de 60 macetas que representan 20 unidades experimentales previamente aleatorizadas y organizadas según la figura 1.

Figura 1. Arreglo experimental de los diferentes tratamientos

Las unidades experimentales se colocaron en las mesas del invernadero. Se realizó la siembra del cilantro con una cantidad de semilla de 2.5 $g.m^{-2}$ que permite una población de 2.500.000 $plantas.ha^{-1}$ (Vallejo et al, 2004). Consecutivamente se adicionaron las láminas de agua según la tabla 1.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Se aplicaron diferentes láminas de riego por etapa distribuidos según la tabla 1 y por parcela y hectárea según la tabla 2.

TRAT	(mm)	(cm^3)	Etapa 1 [8 días] (1 riego al día) (cm^3)	Etapa 2 [18 días] (1 riego al día) (cm^3)	Etapa 3 [9 días] (1 riego cada dos días) (cm^3)
T1	140	14000	5850	5705	2445
T2	160	16000	5850	7105	3045
T3*	200	20000	5850	9905	4245
T4	240	24000	5850	12705	5445
T5	280	28000	5850	15505	6645

Tabla 1. Distribución del agua durante cada ciclo.

* Testigo (Propuesta de riego planteada por Vallejo et al, 2004)

Tratamientos	Parcela (m^2)	Lámina Parcela (mm)	Volumen Parcela (l)	Lámina Parcela ($mm.ha^{-1}$)	Volumen Parcela ($l.ha^{-1}$)
1	1	1400	140	$1.4x10^7$	$1.4x10^6$
2	1	1600	160	$1.6x10^7$	$1.6x10^6$
3	1	2000	200	$2.0x10^7$	$2.0x10^6$
4	1	2400	240	$2.4x10^7$	$2.4x10^6$
5	1	2800	280	$2.8x10^7$	$2.8x10^6$

Tabla 2. Distribución del agua durante cada ciclo por una parcela y una hectárea.

4.2 DESCRIPCION DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL

En el invernadero el suelo se secó al aire y se homogenizó previamente pasándolo por una zaranda. Luego se depositó en macetas de plástico con un peso promedio de 6 kg. Tres macetas representaron una unidad experimental con un área de 0.1 m^2.

4.3 FERTILIZACIÓN

La fertilización se realizó a los 16 días después de siembra de la semilla superficialmente, luego se regó para su disolución e infiltración en el suelo. Los fertilizantes se colocaron en los lados a través de un circulo imaginario alrededor de la plantas, a 3 cm del tallo (tabla 3).

Tipo de Fertilizante	**Área (m^2)**	**Cantidad* ($g.m^{-2}$)**
UREA (46%)	0.10	1.4
K_2SO_4 (50%)	0.10	2.6
$MgSO_4$ (30%)	0.10	2.8

Tabla 3. Descripción detallada de fertilización para cada unidad experimental.

*Datos sin publicar suministrados por Mejía, 2009.

4.4 DESCRIPCION DEL ENSAYO

4.4.1 Recolección de muestras de suelo. La recolección de muestras de suelo se realizó a una profundidad de 25 cm desde la superficie, el criterio de selección fue el haber sido utilizado para hallarle los contenidos nutricionales al cilantro en estudios preliminares, corresponder a un suelo con buenos contenido de arcilla que permita retener el agua y ser un suelo muy común en el Valle del Cauca, el cual corresponde al orden Vertisol que ocupa según el estudio semidetallado de suelos del Valle del Cauca (1980) el tercer puesto en área después de los ordenes Molisoles (36%) e Inceptisoles (26%) con un 21%. Posteriormente fue llevado a la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, para realizar el análisis de las propiedades físicas y químicas y establecer el experimento.

4.4.2 Variables climatológicas. Las variables climatológicas como temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar, radiación ultravioleta y presión atmosférica fueron medidas utilizando la estación meteorológica Davis Modelo 99800-30 (ver figura 2) a las 8, 13 y 18 horas del día. Los datos de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento permitieron realizar la corrección de la evaporación del microevaporimetro, a través de una expresión utilizada por Znyder (1992), y junto con los de radiación solar, radiación ultravioleta y presión atmosférica permitieron realizar correlaciones con la evapotranspiración y el Kc del cultivo.

Figura 2. Estación meteorológica utilizada en el experimento.

4.4.3 Evapotranspiración real. Para la determinación de la evapotranspiración real se midió el peso perdido de una maceta en 24 horas a través de la balanza gravimétrica (12.1 kg ± 1g Mettler, Toledo).

4.4.4. Evaporación. Para determinar la evaporación se utilizó un tanque de evaporación denominado microevaporimetro. El cual es un tanque que fue calibrado teniendo en cuenta el tanque clase A, el cual presenta un coeficiente de determinación altamente significativo (0.84) y una relación lineal de la forma EV(exp) = 1.04 EV (Tanque clase A) (Rojas, 2000).

El microevaporimetro es un tanque cilíndrico elaborado en fibra de vidrio, cuenta con un diámetro de 38 cm y 15 cm de profundidad, debe estar completamente pintado de blanco y el fondo de color negro, el nivel del agua debe estar a 5 cm del borde superior, debe estar colocado a 15 cm del suelo (Rojas, 2000) (Ver figura 3). Según Rojas[1] (2009) para la determinación de las lecturas se puede utilizar un gancho con una arista el cual indica el nivel del agua, para medir la evaporación pérdida se utilizó una probeta de 100 cm^3, la cual permite agregarle el agua necesaria hasta recuperar el nivel. Se mide el perímetro del tanque y a través de la fórmula 1:

$$r = \frac{P}{2\pi} \qquad (1)$$

Donde:

r = Radio del tanque (cm).

P = Perímetro (cm).

π = pi= 3.1415…

Se obtiene el radio que me permite hallar el área de la sección circular del tanque a través de la fórmula 2:

$$A = 2\pi r^2 \qquad (2)$$

Donde:

---

[1] Rojas. 2009 Comunicación personal

A = Área de la sección circular del tanque (cm^2).

r = Radio del tanque (cm).

π = pi= 3.1415…

Teniendo el área y volumen se encuentra la lámina evaporada a través de la ecuación 3:

$$levp = \frac{Vr}{Ar} \qquad (3)$$

Donde:

Levp = Lámina evaporada (cm).

Vr = Volumen recuperado (cm^3).

Ar = Área de la sección circular del tanque (cm^2).

Obteniéndose una precisión de 0.1 mm.

Figura 3. Microevaporimetro calibrado con las características del tanque clase A.

4.4.5 Evapotranspiración de referencia. La evapotranspiración de referencia es hallada con base en la evaporación del tanque microevaporimetro y por un factor kp. Este factor tiene en cuenta la distancia del tanque a la zona de borde del cultivo o especie vegetal (F), la humedad relativa (HR) y la velocidad del viento (U).

Para hallar la evapotranspiración de referencia se utiliza la ecuación 4:

$$Eto = Etaq \times kp \qquad (4)$$

Donde:

Eto = Evapotranspiración de referencia ($cm^3.día^{-1}$).

Etaq = Evaporación del tanque ($cm^3.día^{-1}$).

K_P = 0.482+0.024*Ln(F) - 0.000376*U+0.0045*HR (Znyder,1992) (5)

Con las siguientes unidades:

F (m)

U ($Km.día^{-1}$)

HR (%)

Un valor general propuesto para K_P es el de 0.66, que con frecuencia se redondea en 0.7 (Pereira et al, 1997).

4.4.6. Coeficiente del cultivo (KC). Para la estimación del Kc del cultivo se utilizó la siguiente expresión:

$$Kc = \frac{(EVTr)}{(Eto)} \quad (6)$$

Donde:

Kc = Coeficiente del cultivo (Adimensional).

EVTr = Evapotranspiración real ($cm^3.día^{-1}$).

Eto = Evapotranspiración de referencia ($cm^3.día^{-1}$).

4.4.7 Eficiencia en la aplicación de agua (EUA). La eficiencia en la aplicación de agua correspondió a la relación entre la acumulación de materia seca (g) y el volumen aplicado (l) de agua durante toda la etapa del cultivo.

4.4.8 Muestreo en plantas. El muestreo fisiológico de la planta se realizó a los 16, 26 y 35 después de siembra. Se escogieron plantas que estuvieran en el centro de cada maceta para eliminar el efecto de bordes. Para determinar el diámetro del tallo se utilizó un vernier, el cual se ubicaba en la parte central del tallo, la altura de la planta fue medida con un flexómetro desde el suelo hasta la copa de la planta y el número de hojas basales fue a través de un conteo visual.

4.4.9 Rendimientos. Para la determinación de los rendimientos se cuantifico el peso fresco promedio de 10 plantas por repetición y por tratamiento a través de la balanza gravimétrica (12.1 kg ± 1g, Mettler Toledo).

4.4.10 Materia seca. La acumulación de materia seca se halló secando 10 plantas frescas por tratamiento y por repetición en la estufa durante 24 horas a 68° C y pesándolas a través de la balanza gravimétr ica (12.1 kg ± 1g, Mettler Toledo).

4.4.11 Determinación de Apariencia. Para la determinación de la apariencia del cultivo se utilizó una escala visual por categorías (Cruz, 2004) a la cosecha del cultivo (Ver tabla 4)

Valoración	Características
1	Plantas que presentan muy pobre desarrollo. Se observa tejido muerto, ataque de plaga severa.
2	Plantas que presentan bajo desarrollo. Se observan partes de la planta cloróticas, leve ataque de plagas.
3	Plantas que presentan poco desarrollo de sus partes. Se observan algunos puntos cloróticos.
4	Plantas que presentan un buen desarrollo de sus partes, tejido sano y follaje frondoso.
5	Plantas que presentan un excelente estado fitosanitario, un buen desarrollo de todas sus partes, follaje frondoso y exuberante.

Tabla 4. Valoración de la apariencia del cultivo de cilantro según las características que presente a la cosecha.

Fuente: Cruz (2004)

4.4.12 Contenidos nutricionales. Después de la cosecha se destinaron muestras para la estimación de los contenidos nutricionales en la planta: Materia seca analítica, cenizas, proteína, extracto etéreo, fibra y carbohidratos. Se guardaron en bolsas de polietileno debidamente rotuladas las cuales fueron llevadas al laboratorio en el menor tiempo y almacenadas a -4 ℃ hasta la realización de los respectivos análisis.

4.4.13 Deterioro fisiológico. El deterioro fisiológico o pérdida de peso se midió después de cosecha en intervalos de tiempo de 30 minutos, el cual consistió en determinar la pérdida de peso del cilantro, por cada tratamiento, hasta dos horas después de la cosecha a través de la Balanza gravimétrica (12.1 kg ± 1g. Mettler, Toledo).

5. RESUMEN DE VARIABLES EVALUADAS

En las tablas 5, 6, y 7 se describen las variables evaluadas en el suelo, en el ambiente y en la planta, indicando la metodología y la época de muestreo.

Propiedad	Parámetro	Metodología Autor	Época de Muestreo
Física	Humedad	Gravimétrico (Motta et al, 1990).	0 días.
	Densidad aparente	Núcleo (Malagón y Montenegro, 1990).	0 días.
	Textura	Bouyoucos (Malagón y Montenegro, 1990)	0 días.
	Porosidad total	Cálculo Matemático	0 días.
	Curva de retención de humedad	Sofware: RETC (Modelo Van Genutchten-Mualen ,1980).	0 días.
	Capacidad de Campo	Ollas de presión	0 días.
	Punto de Marchitez Permanente	Cálculo Matemático	0 días.
	Conductividad hidráulica saturada	Sofware: RETC (Modelo Van Genutchten-Mualen, 1980).	0 días.
Química	pH	Potenciómetro (1:1) (Motta et al, 1990).	0 días.
	CIC	Acetato de Amonio pH (Motta et al, 1990).	0 días.
	% MO	Walkley and Black (Motta et al, 1990).	0 días.
	Macro y micronutrientes	Espectrofotometría de Absorción Atómica (Motta et al, 1990).	0 días.
	Fosforo	Olsen (Motta et al, 1990).	0 días.

Tabla 5. Características del suelo

Los análisis en los laboratorios de física y química de suelos de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.

Parámetro	Método	Época de Muestreo	Unidad
Temperatura	E.M**	8, 13 y 18 hdd*	℃
Humedad relativa	E.M**	8, 13 y 18 hdd*	%
Velocidad del Viento	E.M**	8, 13 y 18 hdd*	Km/h
Radiación solar	E.M**	8, 13 y 18 hdd*	W/m^2
Radiación ultravioleta	E.M**	8, 13 y 18 hdd*	MEDs
Evaporación	Tanque microevaporimetro	18 hdd*	cm^3
Evapotranspiración	Balanza gravimétrica	8 hdd*	g

Tabla 6. Variables climatológicas medidas durante el desarrollo del cultivo.

* Horas del día

****** Estación Meteorológica Marca Davis; Modelo 99800-30.

Los análisis se realizaron ubicando la estación meteorológica dentro del invernadero.

Propiedad	Variable	Método*	Época de Muestreo
Expresión física del cultivo	Rendimiento	Balanza gravimétrica	35 días
	Materia seca	Gravimétrico (Motta et al, 1990).	35 días.
	Altura de planta	Flexómetro	16, 26 y 35 días.
	Diámetro de tallo	Vernier	16, 26 y 35 días.
	No. Hojas basales	Conteo	16, 26 y 35 días.
	Pérdida de peso	Balanza gravimétrica.	35 días
Análisis nutricionales**	Materia seca analítica	Gravimétrico	35 días
	Cenizas	Gravimétrico	35 días
	Proteína	Titulación	35 días
	Extracto etéreo	Método de Soxhelet	35 días
	Carbohidratos	Cálculo matemático	35 días
	Fibra detergente neutra	Con Beakers y crisoles	35 días

Tabla 7. Parámetros medidos en la planta a la cosecha del cultivo.

****** Los métodos para determinar los contenidos nutricionales se describen en los anexos 4, 5, 6 7 y 8.

Los análisis se realizaron en el invernadero, en los laboratorios de química de suelos y de nutrición animal.

6. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La información recopilada de las distintas variables se sometió a análisis de varianza (ANDEVA) donde se evaluó el efecto de los tratamientos y edades del cultivo de cilantro. La prueba de Duncan se utilizó para determinar las diferencias significativas entre tratamientos. El paquete estadístico fue SAS (2009) y Minitab (2009).

7. RESULTADOS Y DISCUSION

7.1 CONSUMO DE AGUA

7.1.1 Consumo de agua en el ciclo 1. El consumo de agua en el periodo productivo de follaje del cilantro, en el primer ciclo de siembra se muestra en la figura 4. El ANDEVA ($P < 0.05$) (Anexo IX) con respecto a la evapotranspiración mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos y entre días de muestreo del cultivo, entre repeticiones no se observan diferencias significativas para ninguna de las variables analizadas. La figura 5 muestra el incremento de la evapotranspiración acumulada a través del tiempo, es decir, el tratamiento de 280 mm evapotranspiró mucho más que el tratamiento 160 mm. De lo anterior se puede inferir que cuando a la planta de cilantro se le aplican altos contenidos de agua, su evapotranspiración aumenta, posiblemente los estomas se encuentran bien abiertos lo que permiten un buen intercambio gaseoso. En los primeros 8 días no se observa diferencia entre los tratamientos, debido a que la aplicación de agua fue igual para todos y como no había emergencia de plantas estos datos representan la evaporación del suelo.

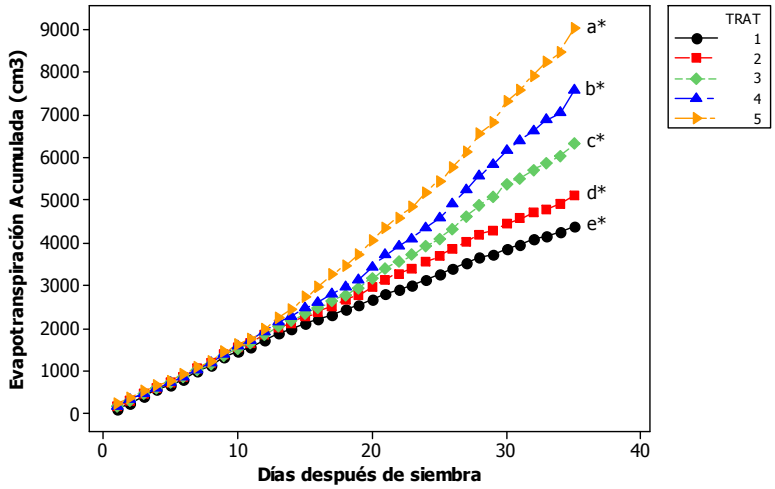


Figura 4. Consumo de agua acumulado en el tiempo, expresado como días desde la siembra, para el cultivo de cilantro, en el primer ciclo de siembra.

*Diferencias altamente significativas entre tratamientos

7.1.2 Consumo de agua en el ciclo 2. El consumo de agua en ciclo productivo de follaje del cilantro, en el segundo ciclo de siembra del cultivo se muestra en la figura 5. El ANDEVA (Anexo X) en la época húmeda mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos y días de muestreo del cultivo, al igual que en el ciclo 1 no se observan diferencias significativas para ninguna variable analizada lo que indica el buen ajuste del diseño experimental y la no incidencia de factores externos al experimento. La tendencia de la evapotranspiración por tratamientos es similar a la que se presenta en el ciclo 1.

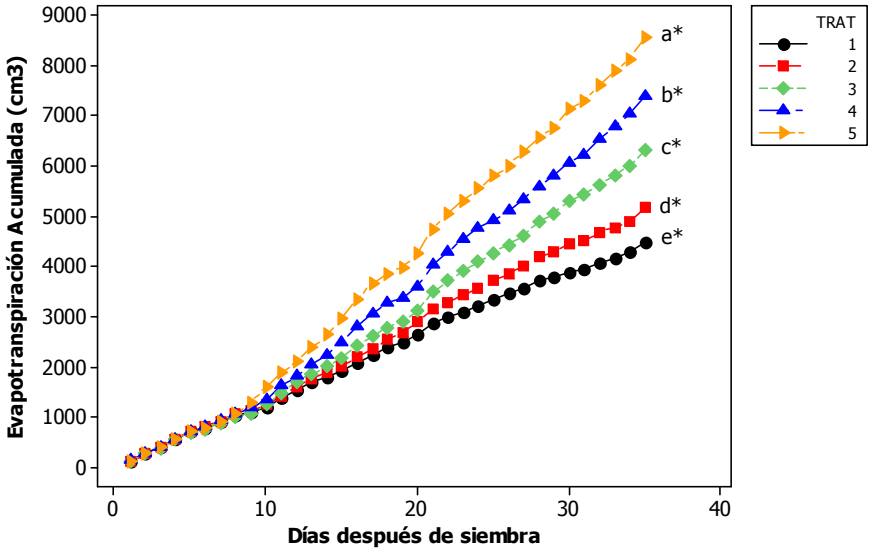


Figura 5. Consumo de agua acumulado en el tiempo, expresado como días desde la siembra, para el cultivo de cilantro, en el segundo ciclo de siembra.

*Diferencias altamente significativas entre tratamientos

7.1.3 Consumo de agua promedio para los dos ciclos. El consumo de agua en el ciclo productivo de follaje del cilantro, en los dos ciclos de siembra se muestra en la figura 6. El ANDEVA (Anexo XI) en los dos ciclos no mostró diferencias significativas entre ciclo de siembra del cultivo. Se observaron diferencias altamente significativas entre tratamientos y días de muestreo del cultivo. En la figura 7 se observa la misma tendencia en la evapotranspiración acumulada para cada tratamiento, al igual que en cada ciclo. La primera fase del desarrollo del cultivo, no muestra diferencias entre tratamientos, en la segunda y tercera fase los tratamientos siguen la tendencia de de aumentar el consumo de agua conforme aumenta la cantidad de agua aplicada y la altura de la planta. Según Andrade et al

(1996) a medida que el cultivo crece, el aumento de su área foliar hace que sea mayor la proporción de agua evaporada desde el follaje respecto de la del suelo.

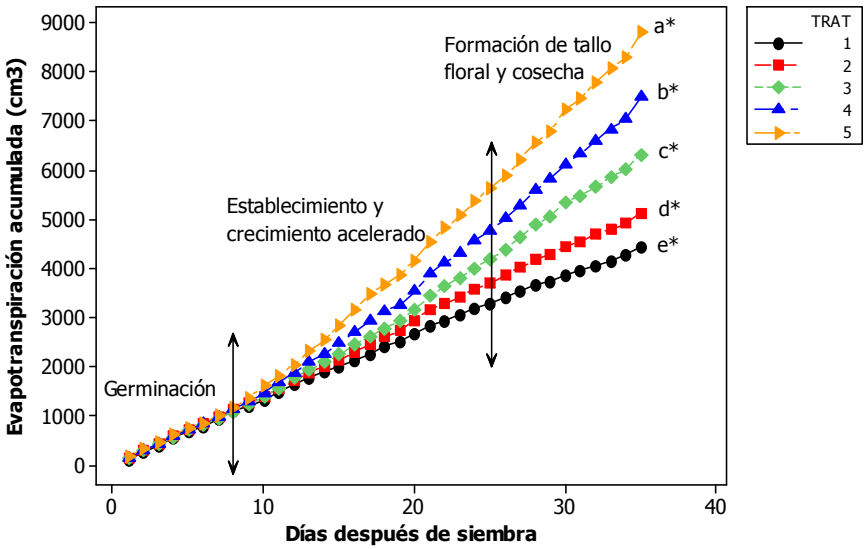


Figura 6: Evapotranspiración acumulada en el tiempo, expresado como días desde la siembra, para el cultivo de cilantro, en el promedio de dos ciclos de siembra.

*Diferencias altamente significativas entre tratamientos

Según Selles y Ferreyra (2003) en la medida que la disponibilidad de agua del suelo disminuye, (disminuye el potencial mátrico y la conductividad hidráulica del suelo), el flujo de agua hacia la planta es cada vez menor, llegando un momento en que la absorción no puede igualar a la transpiración, produciéndose un déficit hídrico en la planta, lo que induce un cierre estomático, lo que explica la baja evapotranspiración para los tratamientos 1 y 2.

7.1.4. Análisis de regresión para la evapotranspiración. En la figura 7 se observa que la evapotranspiración promedio varía en forma lineal con respecto a las láminas de riego. Presenta una pendiente positiva la cual va creciendo cuando aumenta la cantidad de agua aplicada. El modelo matemático presenta una ecuación lineal que se encuentra en función de las laminas de riego, de la cual permite inferir que al no aplicar ninguna lámina de riego la evapotranspiración será de 4.5 cm^3. El coeficiente de determinación es casi de 1, lo que indica que la regresión presenta un muy buen ajuste a los datos.

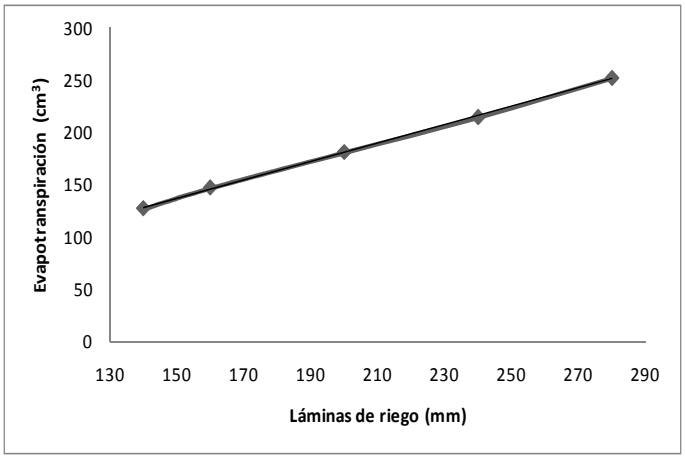


Figura 7. Variación de la evapotranspiración promedio con respecto a las láminas de riego en un periodo seco y húmedo del año.

De acuerdo a la regresión la evapotranspiración real se ajusta al siguiente modelo matemático:

$$Evt = 0.8792Lam + 4.5459$$

Coeficiente de determinación (R^2)= 0.99

Donde:

Evt: es la evapotranspiración real en centímetro cúbicos por día.

Lam: Lámina de riego en milímetros.

7.1.5 Correlaciones entre las variables climatológicas y la evapotranspiración. Según el análisis de correlación de Pearson (anexo XI) la evapotranspiración no presentó correlaciones con las variables climatológicas medidas en el invernadero, lo que se debió posiblemente a que las variables climatológicas medidas son relativamente contrastantes o uniformes en la casa de mallas.

7.2 EVAPORACIÓN

7.2.1 Evaporación en el ciclo 1. La figura 8 se observa la evaporación obtenida por el tanque microevaporimetro en el primer ciclo de siembra del cultivo, la cual osciló entre 160 y 380 cm^3 por día durante todo el desarrollo del cultivo. La evaporación media en este periodo fue de 261 $cm^3.día^{-1}$.

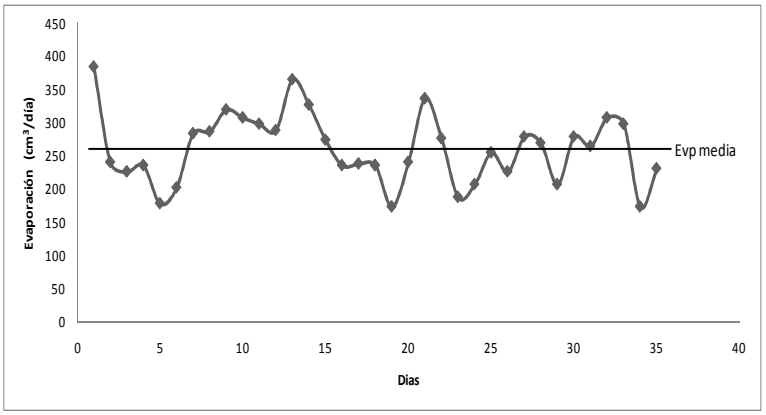


Figura 8. Evaporación del tanque microevaporimetro en el primer ciclo del cultivo, a través del tiempo.

7.2.2 Evaporación en el ciclo 2. La figura 9 se observa la evaporación obtenida por el tanque microevaporimetro en el segundo ciclo de siembra del cultivo, la cual fluctuó entre 110 y 380 cm^3 por día durante todo el desarrollo del cultivo. La evaporación media en este periodo fue de 222.12 $cm^3.día^{-1}$.

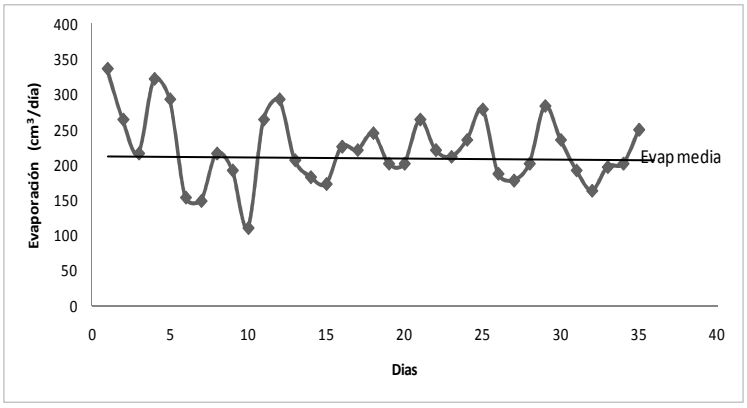


Figura 9. Evaporación del tanque microevaporímetro en el segundo ciclo de siembra del cultivo, a través del tiempo.

Analizando los dos ciclos, se concluye que el segundo ciclo obtuvo una menor evaporación lo que corrobora que en este período disminuye la temperatura y la radiación solar, factores que tienen un efecto significativo en la evaporación.

7.3 COEFICIENTE DEL CULTIVO (KC)

7.3.1. En el primer ciclo de siembra del cultivo. Según la ANDEVA ($P< 0.005$) en el primer ciclo el Kc mostró diferencias altamente significativas entre etapas y días después de siembra del cultivo de cilantro y entre tratamientos. En el anexo XXIII se observa los valores de Kc por cada tratamiento y por cada etapa, notándose poca variabilidad en la etapa de germinación entre tratamientos ya que en esta etapa no hay transpiración porque no han emergido las plantas. En la etapa de establecimiento y crecimiento acelerado el Kc va aumentando a medida que aumenta la cantidad de agua aplicada, igual sucede en la etapa de formación de tallo floral y cosecha.

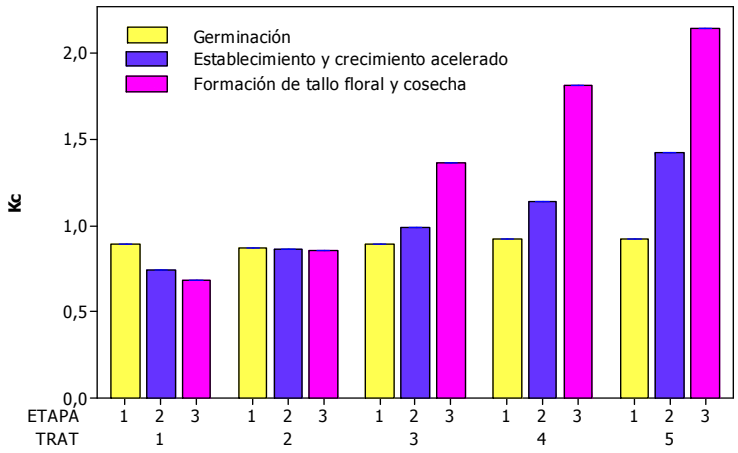


Figura 10. Coeficiente del cultivo (Kc), expresado por etapas y por tratamientos, para el cultivo de cilantro, en el ciclo 1.

La figura 10 muestra una tendencia decreciente entre etapas para el Kc en el tratamiento 1, en el tratamiento 2 no hay una variación significativa y en los tratamientos 3, 4 y 5 el Kc aumenta a medida que se desarrolla el cultivo.

7.3.2 En el segundo ciclo de siembra del cultivo. Según la ANDEVA en el segundo ciclo el Kc mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos, etapas y días del desarrollo del cultivo. En la etapa de germinación tuvo un valor de Kc promedio de 0.77 para todos los tratamientos, en la etapa de establecimiento y crecimiento y acelerado tuvo la misma tendencia que en el ciclo 1, aumentando a medida que aumenta el contenido de agua aplicado. En la etapa de formación de tallo floral y cosecha su valor crece igual como en la etapa anterior. De acuerdo a estos resultados en la etapa 1 la evapotranspiración real es menor que la evapotranspiración de referencia y en las etapas 2 y 3 se invierte la

relación. Con base en los tratamientos el Kc fue mayor en aquel al cual se le aplicó mayor cantidad de agua (ver anexo XXV).

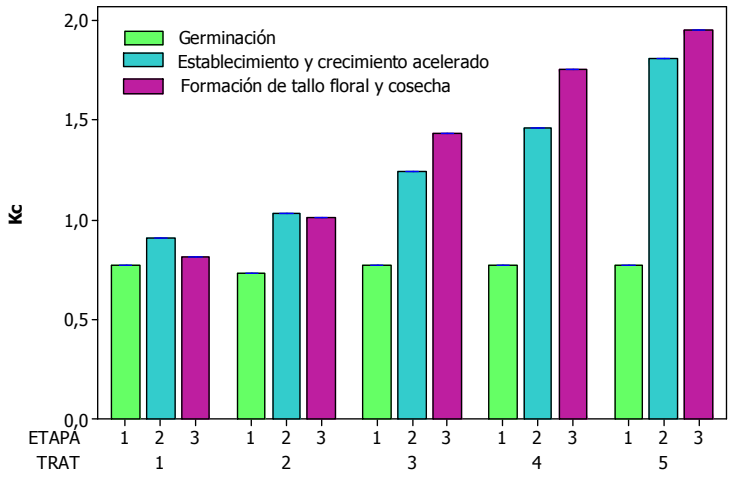


Figura 11. Coeficiente del cultivo (Kc), expresado por etapas y por tratamientos, para el cultivo de cilantro, en el ciclo 2.

De acuerdo con la figura 11 en la etapa 1 no se observan diferencias significativas entre tratamientos, mientras para las etapas 2 y 3 el valor de Kc aumenta a medida que incrementan las láminas de riego.

Entre tratamientos, el aumento en las láminas de riego agranda el valor de Kc, debido a que aumenta la evapotranspiración real del cultivo, porque la planta tiene disponible gran cantidad de agua en el suelo que hace que su potencial hídrico incremente, para lo cual abre sus estomas y permite el intercambio gaseoso.

Según el análisis de correlación de Pearson (anexo XI) el Kc no tuvo una relación significativa con las variables climatológicas, debido a que esta variable es inherente básicamente a características propias de la planta.

7.4 EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA (EUA)

7.4.1 Eficiencia de agua en el ciclo1. La tabla 8 muestra que en el primer ciclo del cultivo el tratamiento 4 fue el más eficiente en el uso de agua, produciendo 0.7 g de materia seca por litro de agua aplicado. La diferencia de este tratamiento con el tratamiento 3 no es muy significativa, lo que llevaría a un ahorro de 4 litros de agua aplicada si se utiliza este tratamiento como requerimiento hídrico durante el ciclo del cultivo. Los tratamientos 1 y 2 tienen eficiencias muy bajas comparadas con los otros tratamientos. El tratamiento 5, al cual se le aplicó la mayor cantidad de agua presentó una eficiencia muy por debajo de los tratamientos con menos cantidad de agua aplicada (3 y 4), lo que indica que aplicar 8 litros de agua por encima de 20 litros durante el ciclo del cultivo de cilantro no representa una ganancia apreciable de materia seca. Para lo cual Selles y Ferreyra (2003) indica que los excesos de agua en el suelo provocan problemas de aireación, afectando el metabolismo radicular, lo que también afecta el desarrollo del cultivo en general. Por lo tanto es necesario mantener niveles de humedad adecuados en el suelo para satisfacer las necesidades transpiratorias de las plantas y no provocar déficit hídricos, que afecten el crecimiento y desarrollo.

Tratamientos	1	2	3	4	5
Materia seca (g)*	4.15	5.84	13.61	16.70	15.16
V (l)	14	16	20	24	28
Ef agua ($g.l^{-1}$)	0.30	0.36	0.68	0.70	0.54

Tabla 8. Eficiencia del uso del agua, para el cultivo de cilantro, en el ciclo 1.

***** Para 36 plantas que conforman una unidad experimental.

7.4.2 Eficiencia en el uso del agua el ciclo 2. En el ciclo 2 la tabla 9 indica que el tratamiento 3 fue el más eficiente en el uso de agua. Los tratamientos 2, 4 y 5 no presentaron diferencias significativas y el tratamiento 1 fue el menos eficiente. Se observa que el tratamiento 3 presenta una mayor eficiencia en el uso del agua, comparado con los tratamientos 4 y 5 a los cuales se les aplicó mayor cantidad de agua.

Tratamientos	1	2	3	4	5
Materia seca (g)*	5.85	8.55	12.15	12.33	14.76
V (l)	14	16	20	24	28
Ef agua ($g.l^{-1}$)	0.42	0.53	0.61	0.51	0.53

Tabla 9. Eficiencia del uso del agua, para el cultivo de cilantro, en el ciclo 2.

***** Para 36 plantas que conforman una unidad experimental.

7.4.3 Eficiencia en el uso de agua promediando los dos ciclos. Observando la tabla 10 que agrupa los dos ciclos del desarrollo del cultivo, los tratamientos 1 y 2 son poco eficientes en el uso del agua, comparados con los otros tratamientos, el tratamiento 3 alcanzó la mayor eficiencia en el uso del agua, ratificando el resultado en los análisis independientes. El tratamiento 4 se encuentra igual en la EUA con respecto al tratamiento 3, pero la cantidad de agua aplicada es superior en 4 litros. Definitivamente el tratamiento 5 no alcanzó una eficiencia significativa con respecto a los otros tratamientos, los que lleva a concluir que aplicar agua por encima de 20 litros por unidad experimental durante todo el ciclo del cultivo no es recomendable.

Tratamientos	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Materia seca (g)*	5.00	7.20	12.88	14.52	14.96
V (litros)	14	16	20	24	28
Ef agua ($g.l^{-1}$)	0.36	0.45	0.64	0.61	0.53

Tabla 10. Eficiencia del uso del agua, para el cultivo de cilantro, promediando los dos ciclos.

***** Para 36 plantas que conforman una unidad experimental

7.5 DESARROLLO DEL CULTIVO

7.5.1 Altura de la planta. Según el análisis estadístico la altura de la planta en el ciclo 1 y 2 presentó diferencias significativas, notándose una mayor altura promedio en la época húmeda (ver figura 12)

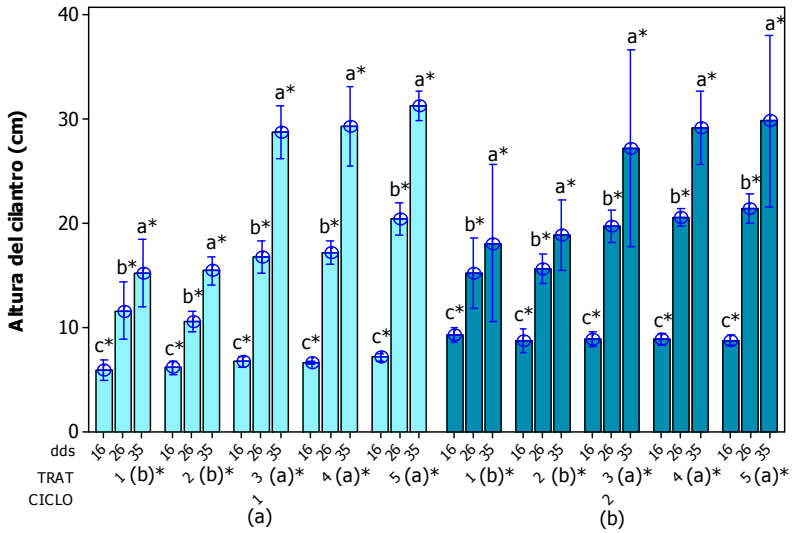


Figura 12. Altura del cilantro expresado a través de días después de siembra, tratamientos y ciclos de siembra.

*Diferencias altamente significativas entre tratamientos y dds.

7.5.1.1 Altura del cilantro en el ciclo 1. En el ciclo 1 de siembra del cilantro con respecto a su altura mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos. Aquellos de láminas de riego 200, 240 y 280 mm no presentan diferencias significativas entre sí. Es decir que al igual que el rendimiento y el contenido de materia seca cuando se aplica una lámina de riego superior a los 200 mm no representa un aumento apreciable en la altura. Los tratamientos de bajas láminas de riego (140 y 160 mm) no presentan diferencias significativas y manifiestan una reducida altura comparativamente con los tratamientos de media (T3) y altas láminas de riego (T4 y T5). Existe una tendencia en el aumento de la altura con el aumento de agua aplicada. Existen diferencias altamente significativas entre días después de siembra.

7.5.1.2 Altura del cilantro en el ciclo 2. En el ciclo 2 la ANDEVA reveló diferencias altamente significativas entre los tratamientos. Las aplicaciones de riego que representan los tratamientos 3, 4 y 5 no presentan diferencias significativas, al igual que los tratamientos 1 y 2. Con la aplicación de una lámina de riego de 200 mm es suficiente para lograr alturas muy similares a las encontradas con láminas de 240 y 280 mm. Los tratamientos de bajo contenido de agua aplicado no alcanzan alturas apreciables comparadas con los tratamientos de más agua aplicada. Los muestreos a los 16, 26 y 35 días después de siembra mostraron diferencias altamente significativas con respecto a la altura, debido a la diferencia en la edad de la planta.

7.5.1.3 Análisis de regresión para la altura de la planta. La figura 13 muestra la variación que presenta la altura de la planta con respecto a las láminas de riego a la cosecha del cultivo y la curva de regresión. Con base en la figura 13 se observa que la curva de regresión se ajusta moderadamente a los datos. Con láminas de 160 mm la altura de la planta aumenta considerablemente. Con láminas superiores a 200 mm, se presenta poco incremento en la altura de la planta.

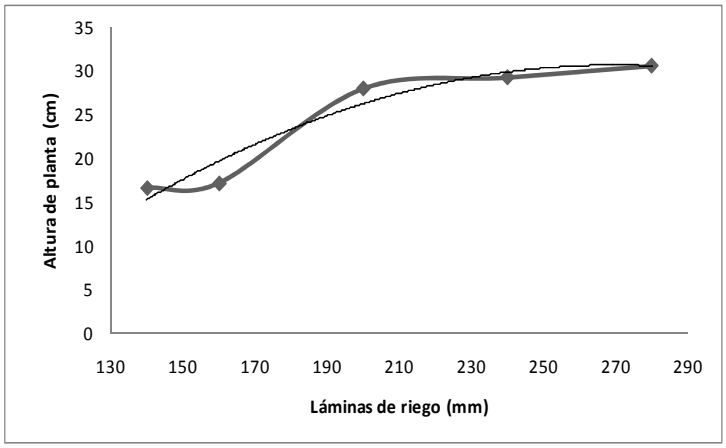


Figura 13. Análisis de regresión para la variación de la altura del cilantro, con respecto a las láminas de riego aplicadas a la cosecha del cultivo.

De acuerdo a la regresión la altura de la planta se ajusta al siguiente modelo matemático:

$$y = -0.0009Lam^2 + 0.4929Lam - 35.759$$

Coeficiente de determinación (R^2)= 0.94

Donde:

y: es la altura de la planta en centímetros.

Lam: lamina de riego en milímetros.

El análisis de regresión presentó una ecuación de segundo grado, donde la variable dependiente fue la altura de la planta y la independiente las laminas de riego. El coeficiente de determinación es cercano a 1, lo que indica que el modelo se ajusta bien a los datos obtenidos experimentalmente.

7.5.2 Diámetro del tallo obtenido promediando los dos ciclos de siembra del cultivo. Según el ANDEVA el diámetro del tallo en los dos ciclos mostró diferencias altamente significativas, notándose un mayor diámetro promedio en el segundo ciclo (ver figura 14). Entre días después de siembra también se observan diferencias altamente significativas.

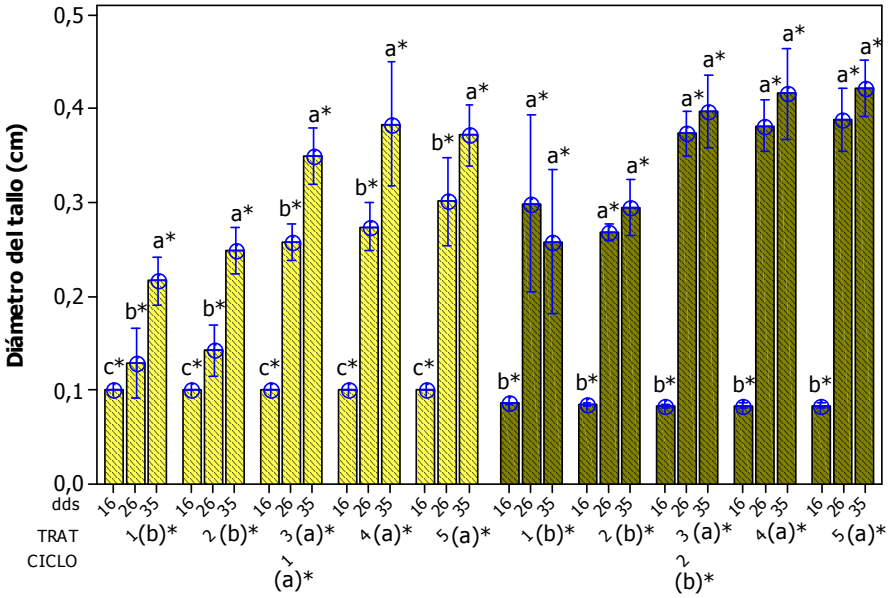


Figura 14. Diámetro del tallo del cilantro expresado a través de días después de siembra, tratamientos y ciclos de siembra.

*Diferencias altamente significativas entre tratamientos, dds y ciclos.

Los tratamientos 3, 4 y 5 no presentan diferencias significativas entre si en el diámetro del tallo al igual que entre los tratamientos 1 y 2. El diámetro de tallo presentó una tendencia creciente a medida que aumentan las láminas de riego aplicadas. Por consiguiente el mayor diámetro promedio lo logró el tratamiento 5 y el menor el tratamiento 1. Con una lámina de riego igual a 200 mm durante el ciclo del cultivo, se logra un diámetro muy similar al alcanzado con láminas de riego superiores.

7.5.2.1 Diámetro del tallo del cilantro en el ciclo 1. El ANDEVA (Anexo IX) mostró que en la época seca el diámetro del tallo mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos y días después de siembra. Los tratamientos 3, 4 y 5 no presentan diferencias significativas entre sí al igual que los tratamientos 1 y 2. Los tratamientos 1 y 2 presentaron diámetros promedios muy bajos, comparados con los otros tratamientos, eso no quiere decir que no sean los adecuados, ya que los mercados prefieren un tallo muy fino.

7.5.2.2. Diámetro del tallo del cilantro en el ciclo 2. El ANDEVA (Anexo X) mostró que en el ciclo 2, los tratamientos y los días de muestreos, diferencias altamente significativas. Los tratamientos 3, 4 y 5 no presentan diferencias significativas entre sí al igual que los tratamientos 1 y 2. Con esto se confirma que aplicar láminas de riego por encima de 200 mm implica un desperdicio en el agua. Los tratamientos 1 y 2 mostraron los diámetros de tallo promedio más bajos, comparados con los tratamientos 3, 4 y 5, los cuales alcanzaron los mayores diámetros de tallo.

7.5.2.3 Análisis de regresión para el diámetro del tallo. La figura 15 muestra una tendencia creciente del diámetro del tallo de la planta de cilantro, a partir de 140 mm hasta aproximadamente 240 mm de lámina de riego, luego se observa un tendencia constante con una inclinación a disminuir. La curva de regresión presenta un buen ajuste a los datos.

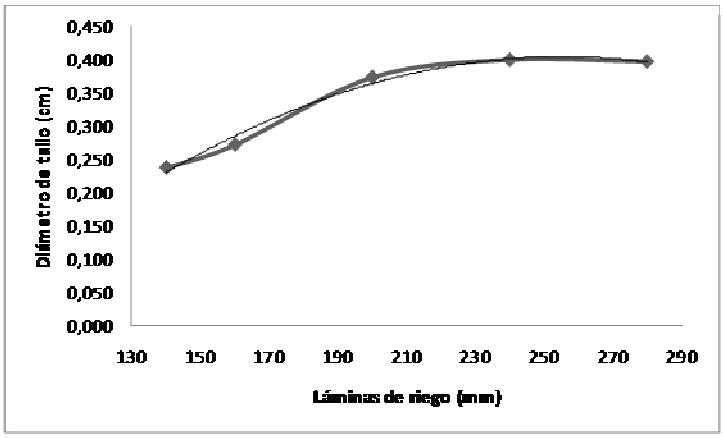


Figura 15. Análisis de regresión para la variación del diámetro del tallo, con respecto a las láminas de riego aplicadas a la cosecha del cilantro, promediando los dos ciclos.

De acuerdo a la regresión el diámetro del tallo se ajusta al siguiente modelo matemático:

$$D = -0.00001Lam^2 + 0.0067Lam - 0.4512$$

Coeficiente de determinación (R^2)= 0.99

Donde:

D: es el diámetro del tallo del cilantro en centímetros.

Lam: Lámina de riego en milímetros.

El modelo matemático enseño una ecuación de segundo grado con un coeficiente de determinación muy próximo a 1, lo que representa un buen ajuste del modelo.

7.5.3 Número de hojas basales en los dos ciclos. Según el ANDEVA el número de hojas basales en los dos ciclos no mostró diferencias significativas entre sí (ver figura 16).

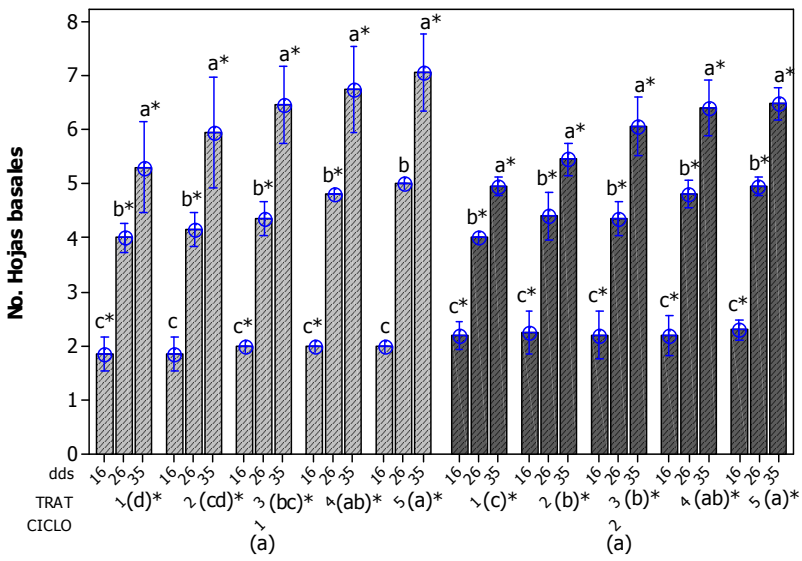


Figura 16. Número de hojas basales del cilantro expresado a través de días después de siembra, tratamientos y ciclos de siembra.

*Diferencias altamente significativas entre tratamientos y dds.

Entre tratamientos y días de muestreo se observan diferencias altamente significativas. Los tratamientos 2 y 3, 4 y 5 no presentan diferencias significativas. A medida que aumenta el contenido de agua aplicado, aumenta el número de hojas basales promedio. Por consiguiente el tratamiento 5 alcanzó el mayor número de hojas basales promedio y el tratamiento 1 el menor. Los tratamientos de altos contenidos de agua aplicado 4 y 5 se encuentran con 5 hojas basales en promedio a diferencia con los tratamientos 2 y 3 que se hayan con 4 hojas basales en promedio, lo que indica que pasar de un lámina de riego de 160 a 280 mm, implica un ganancia de una sola hoja basal, por lo cual se puede deducir que el contenido de agua aplicado no tiene un efecto significativo en el aumento del número de hojas basales, ya esta característica es inherente a la variedad y en una población de 2.500.000 plantas por hectárea es importante para el análisis de la actividad fotosintética y el intercambio gaseoso.

7.5.3.1 Número de hojas basales en el ciclo 1. Según el ANDEVA el número de hojas basales en el ciclo 1 reveló diferencias altamente significativas entre tratamientos y entre muestreos después de siembra. Los tratamientos 2 y 3, 3 y 4, y 4 y 5, no presentaron diferencias significativas. En términos generales el contenido agua aplicado no marca una diferencia con respecto a la aparición de hojas basales en la época seca.

7.5.3.2 Número de hojas basales en el ciclo 2. Según el ANDEVA el número de hojas basales en el ciclo 2 mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos y entre días de muestreos después de siembra. La cantidad promedio de hojas basales aumenta cuando se incrementa el contenido de agua aplicado. Los tratamientos 2, 3 y 4, y 4 y 5 no presentan diferencias significativas. Al igual

que en el ciclo 1 el contenido de agua aplicado no marca una diferencia significativa en la aparición de hojas basales.

7.5.3.3 Análisis de regresión para el número de hojas basales. Según la figura 17 la relación entre el número de hojas basales y las láminas de riego se ajusta acorde a la línea de tendencia. El modelo matemático corresponde a una ecuación de segundo grado, donde la variable dependiente es el número de hojas basales y la independiente las láminas de riego, con un alto coeficiente de determinación lo que indica que el modelo se ajusta muy bien a los datos. La figura 17 también muestra que el contenido de agua aplicado no genera un cambio significativo en la cantidad de hojas basales.

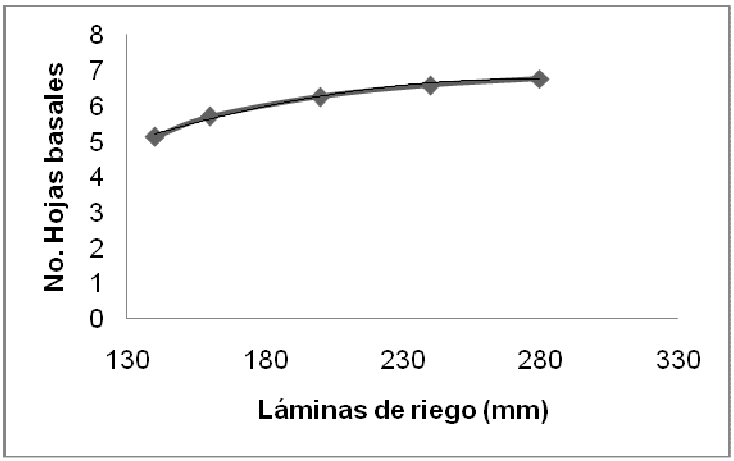


Figura 17. Análisis de regresión para la variación del número de hojas basales, con respecto a las láminas de riego aplicadas a la cosecha del cilantro, promediando dos ciclos de siembra del cultivo.

De acuerdo a la regresión el diámetro del tallo se ajusta al siguiente modelo matemático:

$$Hb = -0.00008Lam^2 + 0.0461Lam - 0.3691$$

Coeficiente de determinación (R^2)= 0.99

Donde:

Hb: es el número de hojas basales del cilantro.

Lam: Lámina de riego en milímetros.

7.6 PRODUCCIÓN DEL CULTIVO

7.6.1 Rendimiento

7.6.1.1 Rendimiento ciclo 1. El ANDEVA ($P < 0.05$) (Anexo IX) indicó que no hay diferencias significativas con respecto al rendimiento entre ciclos de siembra del cultivo (ver figura 18).

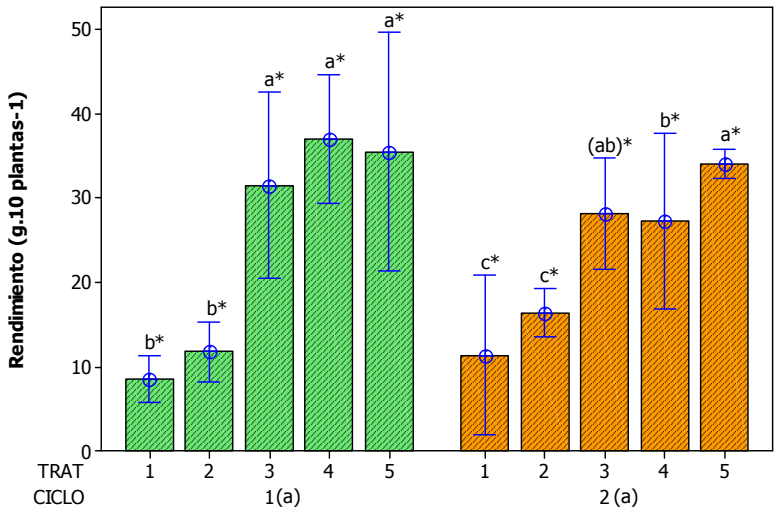


Figura 18. Rendimiento del cilantro en su ciclo productivo por tratamiento, en dos ciclos de siembra del cultivo.

*Diferencias altamente significativas entre tratamientos

El rendimiento medido como peso en gramos de 10 plantas en el ciclo 1 exhibe diferencias altamente significativas entre tratamientos. Aquellos de mayor contenido de agua 3, 4 y 5 no presentan diferencias significativas entre sí, al igual que los tratamientos de bajo contenido de agua (1 y 2). Se observa que después de una aplicación superior de riego de 200 mm (T4 y T5) no aumentó el rendimiento en forma considerable. Se presentó una tendencia creciente entre el contenido de agua aplicado y el rendimiento hasta el tratamiento 4, después presenta un leve descenso.

7.6.1.2 Rendimiento en el ciclo 2. En el ciclo 2 el rendimiento mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos, presentándose los mayores rendimientos en los tratamientos 5, 3 y 4, respectivamente. Entre los tratamientos 1 y 2 no hay diferencias significativas y son aquellos que presentan los menores rendimientos. Al igual que en el ciclo 1, un mayor contenido de agua aplicado produce mayor rendimiento.

7.6.1.3 Rendimiento promedio de los dos ciclos. El rendimiento de follaje del cilantro se muestra en la figura 19. El ANDEVA (Anexo XI) mostró que hay diferencias altamente significativas entre tratamientos. Las láminas de riego de 200, 240 y 280 mm, que representan los tratamientos 3, 4 y 5 no presentan diferencias significativas, lo que indica que aplicar 40 y 80 mm de lámina de riego por encima de 200 mm no genera un aumento considerable en el rendimiento, estos tratamientos fueron los que generaron los mayores rendimientos. Los tratamientos de 140 y 160 mm de láminas de riego, que representan los tratamientos 1 y 2 no presentan diferencias significativas y son aquellas que poseen los más bajos rendimientos.

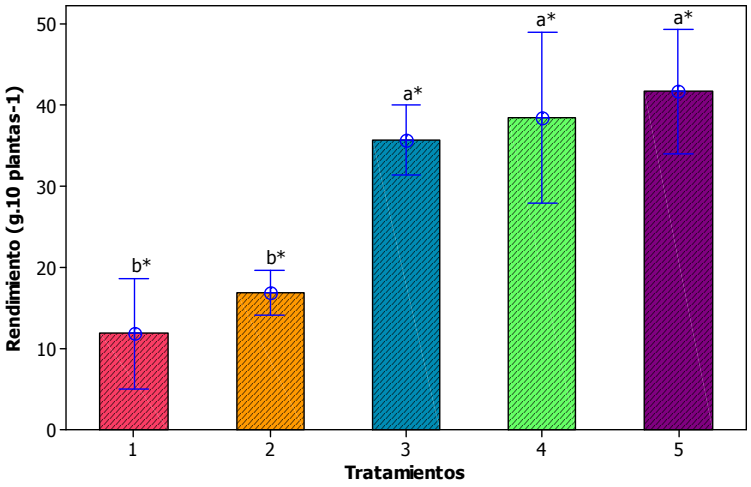


Figura 19. Rendimiento del cilantro en su ciclo productivo para cada tratamiento, promediando los dos ciclos.

*Diferencias altamente significativas entre tratamientos.

7.6.1.4 Análisis de regresión para el rendimiento. Según la figura 20 muestra una tendencia creciente en el rendimiento, cuando aumentan las láminas de riego. Entre láminas de riego de 140 mm y 200 mm se observan cambios notorios, después de ahí, el aumento en el rendimiento no es tan significativo. La curva de regresión presenta un ajuste aceptable a los datos.

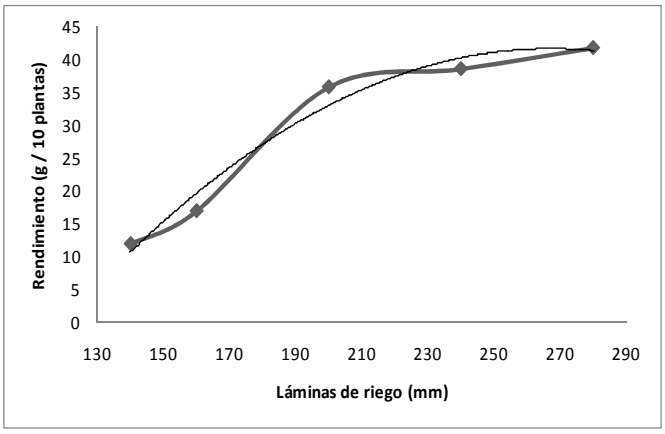


Figura 20. Análisis de regresión para el rendimiento del cilantro durante dos ciclos del cultivo, a la cosecha.

De acuerdo a la regresión el rendimiento se ajusta al siguiente modelo matemático:

$$R = -0.00192Lam^2 + 1.0245Lam – 95.205$$

Coeficiente de determinación (R^2)= 0.97

Donde:

R: es el rendimiento en g por 10 plantas.

Lam: Lamina de riego en milímetros.

El modelo matemático indico una ecuación de segundo grado con un coeficiente de determinación que brinda un buen ajuste al modelo.

7.6.2 Materia seca. La producción de materia seca por tratamiento, en el ciclo 1 y 2 se muestra en la figura 21. El ANDEVA (Anexo XI) indicó que no hay diferencias significativas con respecto a la materia seca entre ciclos de siembra del cultivo, notándose una mayor acumulación de materia seca en el ciclo 1.

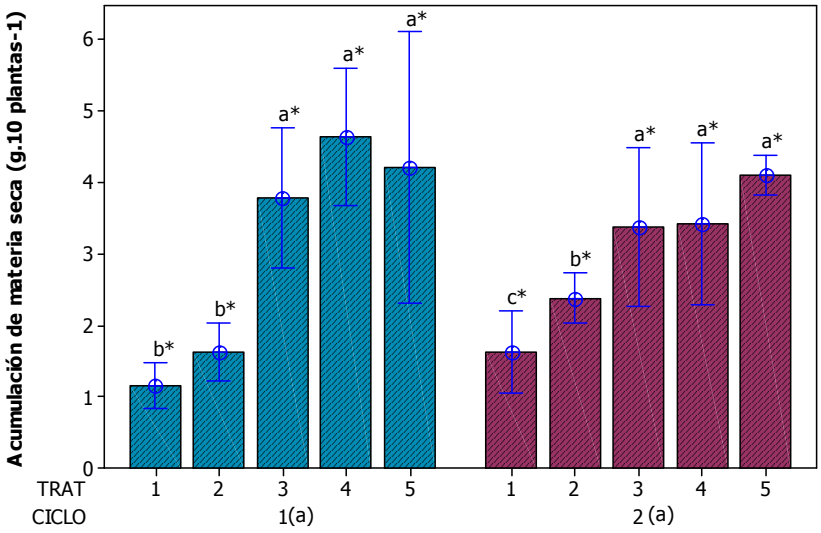


Figura 21. Acumulación de materia seca por tratamiento, en dos ciclos de siembra del cultivo.

*Diferencias altamente significativas entre tratamientos

7.6.2.1 Acumulación de materia seca en el ciclo 1. Según la ANDEVA el contenido de materia seca en el ciclo 1 mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos. Los tratamientos 3, 4 y 5 no presentan diferencias significativas entre sí, al igual que los tratamientos 1 y 2. En esta época el aumento de contenido de materia seca es directamente proporcional al aumento de aplicación de agua hasta el tratamiento 4. Después de la aplicación de una lámina de riego

superior a 200 mm (T4 y T5) no presenta un incremento significativo en el contenido de materia seca.

7.6.2.2 Acumulación de materia seca en el ciclo 2. El ciclo 2 presentó para la materia seca diferencias altamente significativas entre tratamientos. Aquellos tratamientos de láminas superiores o iguales a 200 mm no presentan diferencias significativas entre si, esto indica que da lo mismos aplicar 200, 240 y 280 mm de lámina de riego, ya que no aumenta significativamente el contenido de materia seca al aumentar la lámina aplicada. Los tratamientos 1 y 2 no mostraron diferencias significativas entre sí y produjeron bajo contenido de materia seca, comparativamente con los otros tratamientos. Se mantiene la tendencia como en el rendimiento, al aplicar mayor agua aumenta la materia seca.

7.6.2.3 Acumulación de materia seca promediando los dos ciclos. La producción de materia seca en el desarrollo del cultivo para cada tratamiento se muestra en la figura 22. El ANDEVA (Anexo XI) indicó que la producción de materia seca no presenta diferencias significativas entre ciclos de siembra del cultivo, con una mayor producción en el ciclo 1. Los tratamientos exhiben diferencias altamente significativas entre sí. Los tratamientos de 200, 240 y 280 mm de lámina de riego no presentan diferencias significativas, es decir, que después de la aplicación de 200 mm de agua de riego no hay un aumento significativo en la cantidad de materia seca en el cultivo. Los tratamientos de bajo contenido de agua aplicada, 1 y 2, no presentan diferencias significativas y obtuvieron los más bajos contenidos de materia seca 16.665 y 23.985 g respectivamente.

La producción de materia seca aumenta cuando incrementa la cantidad de agua aplicada (ver figura 22)

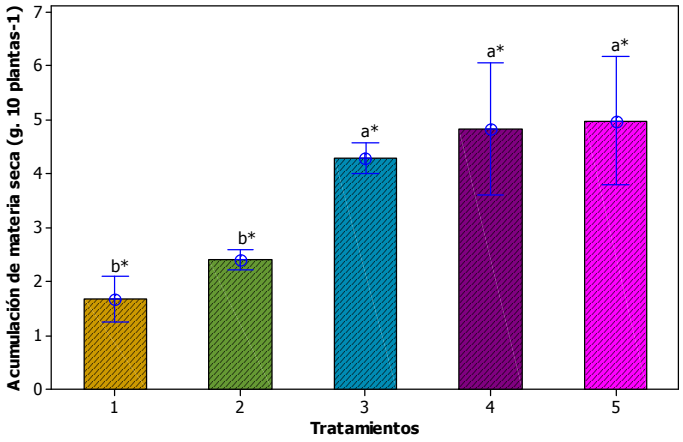


Figura 22. Producción de materia seca del cilantro en su ciclo productivo para cada tratamiento, promediando dos ciclos de siembra.

*Diferencias altamente significativas entre tratamientos

7.6.2.4 Análisis de regresión para la acumulación de materia seca. La figura 23 muestra un crecimiento en la acumulación de materia seca a medida que se incrementan las láminas de riego, después de 200 mm el aumento de materia seca no es significativo. La curva de regresión se ajusta muy bien a los datos.

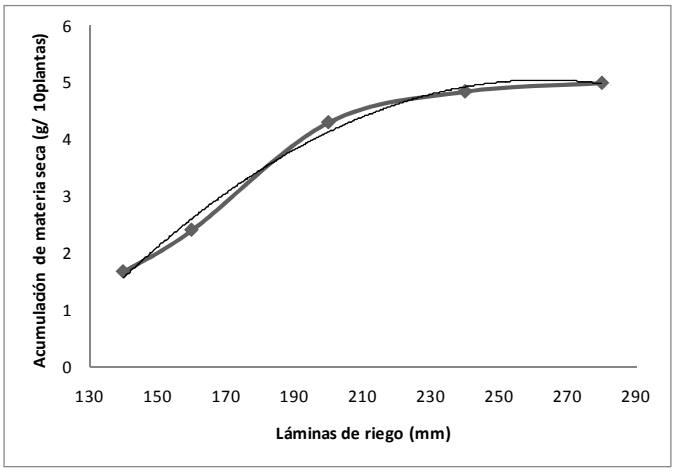


Figura 23. Análisis de regresión para la variación del contenido de materia seca, con respecto a las láminas de riego aplicadas a la cosecha del cilantro.

De acuerdo a la regresión la acumulación de materia seca se ajusta al siguiente modelo matemático:

$$Ms = -0.0002Lam^2 + 0.1206Lam - 10.823$$

Coeficiente de determinación (R^2)= 0.99

Donde:

Ms: es la acumulación de materia seca en g por 10 plantas.

Lam: Lamina de riego en milímetros.

El modelo matemático corresponde a una ecuación de segundo grado, con un coeficiente de determinación casi igual a 1, lo que indica que modelo representa muy bien a los datos experimentales hallados para materia seca.

7.7 CALIDAD

7.7.1 Apariencia. La valoración de la apariencia de acuerdo a la valoración propuesta por Cruz (2004) por tratamiento, en el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo se muestra en la figura 24. El ANDEVA ($P < 0.05$) (Anexo XI) mostró que hay diferencias altamente significativas entre ciclos y entre tratamientos. Según la figura 25 los tratamientos 3, 4 y 5 en el ciclo 1 presentan calificaciones por encima de cuatro, lo que indica que estos tratamientos presentan un buen desarrollo de sus partes, tejido sano y follaje frondoso. Los tratamientos 1 y 2 tienen una calificación muy cercana a tres, lo que revela que las plantas bajo estos tratamientos presentan poco desarrollo, puntos cloróticos y un leve ataque de plagas, el cual fue pulgón. En el ciclo 2 los tratamientos 3, 4 y 5 tienen una calificación igual a cuatro, un poco inferior a los mismos tratamientos pero en el ciclo 1. De acuerdo con esto, los tratamientos también presentan un buen desarrollo de sus partes, tejido sano y follaje frondoso. Los tratamientos 1 y 2 presentan una calificación muy por debajo de tres lo que demuestra que estos tratamientos presentan bajo desarrollo, puntos cloróticos y un ataque de plagas un poco agresivo (pulgón). Comparando ciclos, el 1, presentó una mejor apariencia que el 2. La valoración de la apariencia en el tratamiento de lámina de riego de 200 mm es casi igual a los tratamientos de 240 y 280 mm, lo que indica que aumentar el contenido de agua por encima de 200 mm durante el ciclo vegetativo, no redunda en una mejor apariencia del cultivo.

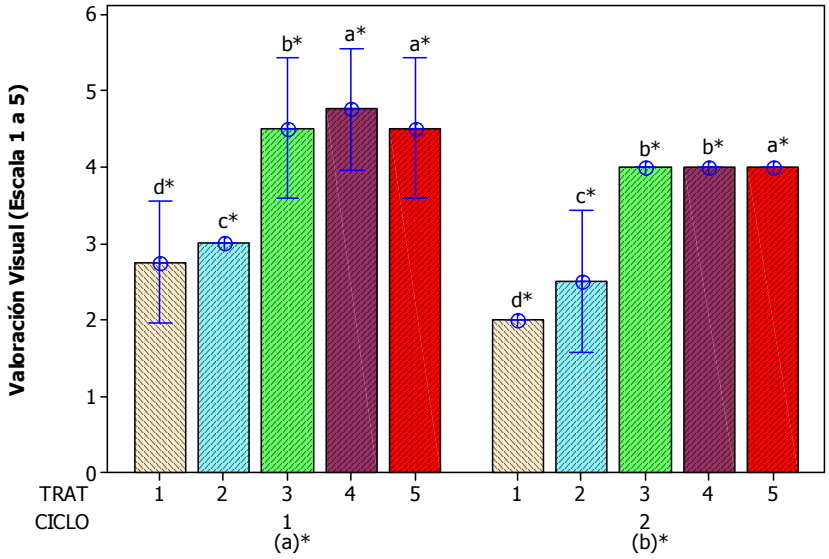


Figura 24. Valoración visual de la apariencia del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo, en una escala de 1 a 5.

*Diferencias altamente significativas entre tratamientos

Según el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) 2007 los estándares de calidad indican que el cilantro debe estar bien desarrollado, de color verde, en estado fresco, entero, limpio, libre de hojas amarillentas o descoloridas, libre de pudrición, libre de plagas, y libre de cualquier olor extraño. De acuerdo a estas consideraciones los tratamientos 3,4 y 5 se encuentran dentro de las consideraciones del IICA.

7.7.2 Contenidos nutricionales

7.7.2.1 Contenidos nutricionales en el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo

➢ **Materia seca analítica.** El contenido de materia seca analítica en el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo se muestra en la figura 25. El ANDEVA mostró diferencias significativas entre tratamientos y ciclos.

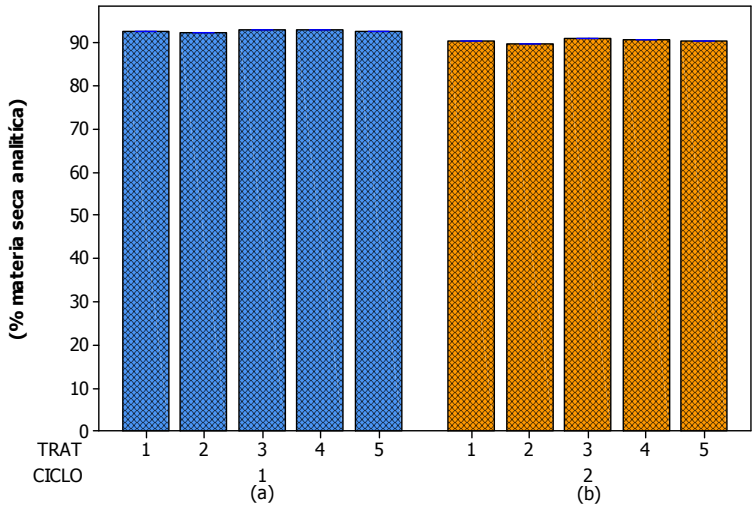


Figura 25. Materia seca analítica del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo.

El ciclo 1 tuvo un mayor promedio (92.82%) en el contenido de materia seca analítica comparativamente con el ciclo 2 (90.51%).

➢ **Cenizas.** El contenido de cenizas en el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo se muestra en la figura 26. El ANDEVA no manifestó diferencias significativas entre tratamientos y entre ciclos.

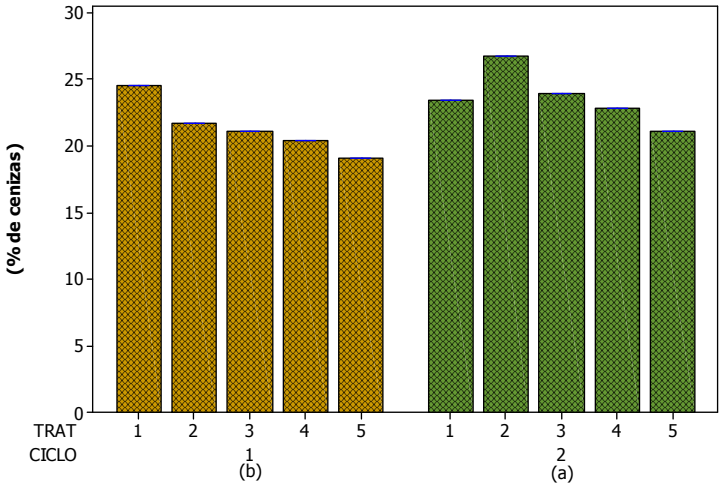


Figura 26. Contenido de cenizas del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo.

El contenido promedio de cenizas fue mayor en el ciclo 2 (23.63%) comparado con el ciclo 1 (21.41%).

➢ **Proteína.** El contenido de proteínas en el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo se muestra en la figura 27. El ANDEVA no mostró diferencias significativas entre tratamientos y ciclos.

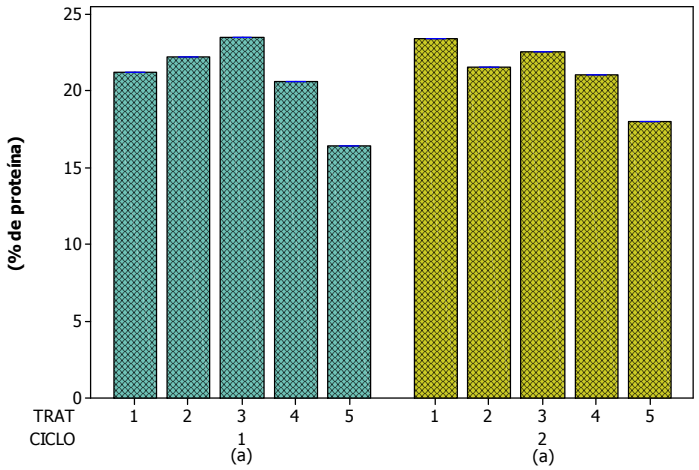


Figura 27. Contenido de proteínas del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo.

El contenido de proteínas promedio en el ciclo 2 (21.82%) fue mayor que en el ciclo 1 (20.76%).

- **Extracto etéreo.** El contenido de proteínas en el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo se muestra en la figura 28. El ANDEVA mostró diferencias significativas entre ciclos más no entre tratamientos.

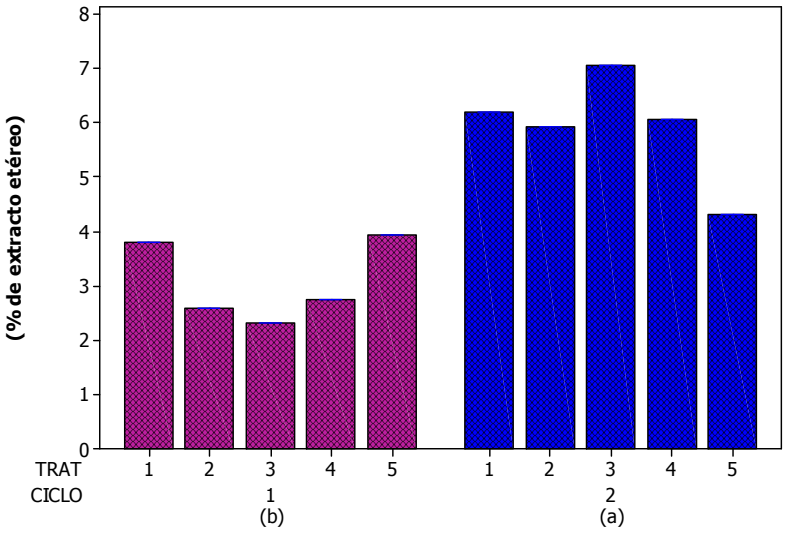


Figura 28. Extracto etéreo del cilantro en su ciclo productivo de follaje para el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo.

El porcentaje promedio de extracto etéreo fue mayor en el ciclo 2 (5.91%) que en el ciclo 1 (3.08%).

➢ **Carbohidratos.** El contenido de carbohidratos en el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo se muestra en la figura 29. El ANDEVA no reveló diferencias significativas entre ciclos de siembra del cultivo del cilantro y si entre tratamientos.

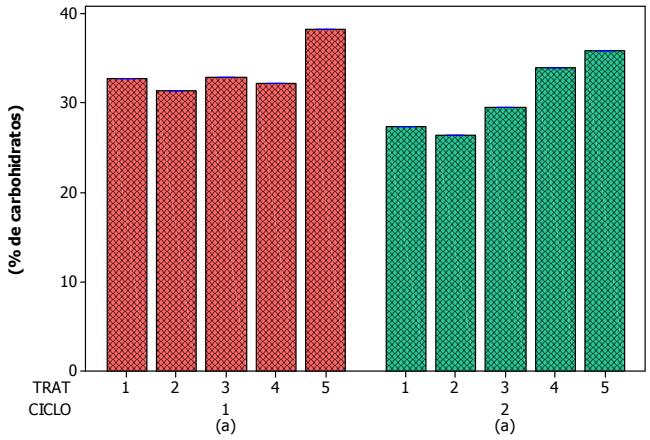


Figura 29. Contenido de carbohidratos del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo.

El contenido promedio por ciclos fue mayor en el 1 (33.43%) que en el 2 (30.53%).

➢ **Fibra detergente neutra.** El porcentaje de fibra detergente neutra en el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo se muestra en la figura 30. El ANDEVA no mostró diferencias significativas entre ciclos de siembra del cilantro y entre tratamientos.

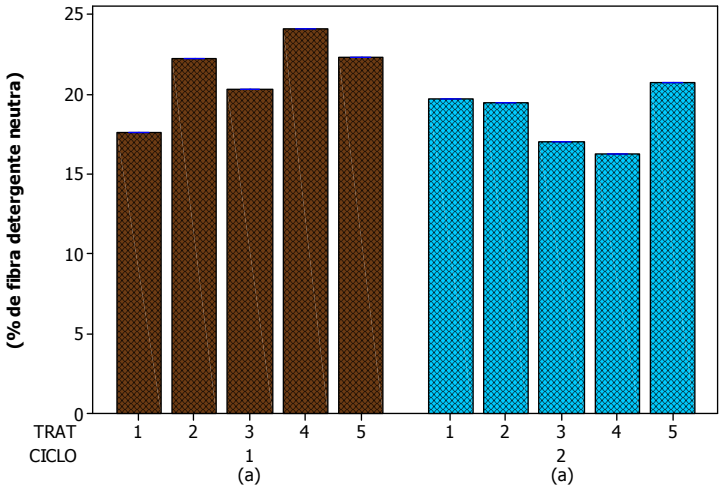


Figura 30. Porcentaje de fibra detergente neutra del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para el ciclo 1 y 2 de siembra del cultivo.

El porcentaje de fibra detergente neutra promedio fue mayor en el ciclo 1 (21.32%) comparado con el ciclo 2 (18.65%).

7.7.2.2 Contenidos nutricionales promedio para dos ciclos de siembra del cultivo en el año

➢ **Materia seca analítica.** Según la figura 31 y el ANDEVA (Anexo XI) el porcentaje de materia seca analítica en dos ciclos del cilantro no presenta diferencias significativas entre tratamientos, es decir que la aplicación de diferentes láminas de riego no incide sensiblemente en ésta variable.

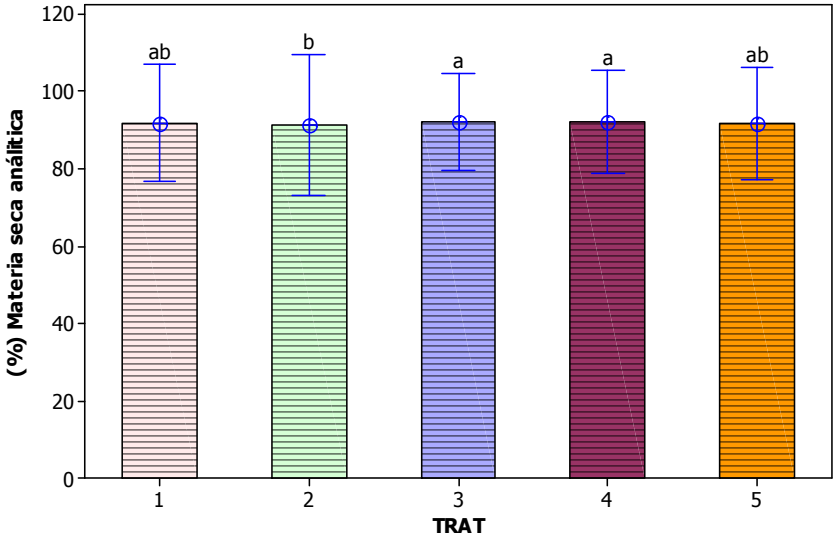


Figura 31. Porcentaje de materia seca analítica del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para dos ciclos de siembra en el año.

En orden descendente por tratamientos el porcentaje de materia seca analítica fue según el siguiente orden: T3 (92.02%); T4 (91.92%); T1 (91.68%); T5 (91.62%); T2 (91.10%). Lo que muestra que esta variable no presenta una tendencia con respecto a la cantidad de agua aplicada.

➢ **Cenizas** Según la figura 32 y el ANDEVA (Anexo XI) el porcentaje de cenizas no presenta diferencias significativas teniendo en cuenta los dos ciclos de siembra en el año del cultivo. Teniendo en cuenta el indicador de medias los tratamientos 3, 4 y 5 presentaron pocas variaciones entre ciclos comparados con los tratamientos 1 y 2.

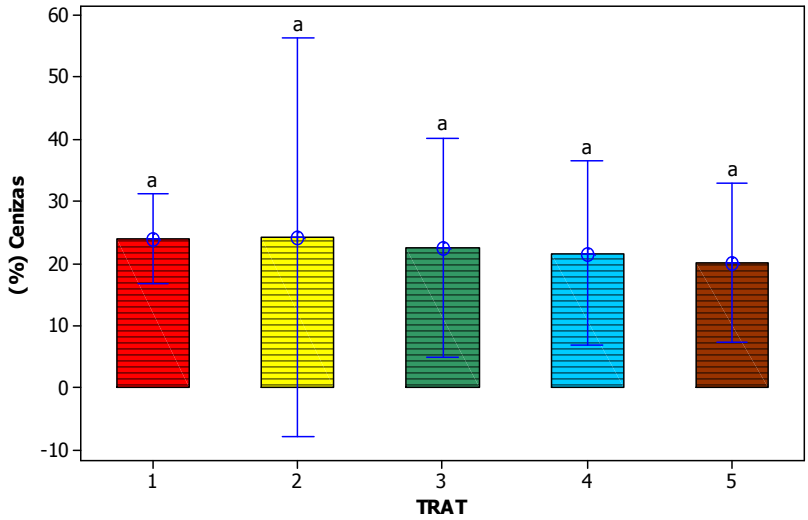


Figura 32. Porcentaje de cenizas del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para dos ciclos de siembra en el año.

Según la figura 32 no observa una relación apreciable entre el contenido de agua aplicado y el porcentaje de cenizas.

➢ **Proteína.** Según la figura 33 y el ANDEVA (Anexo XI) el porcentaje de cenizas no muestra diferencias significativas entre los tratamientos 1, 2, 3 y 4 y estos a su vez si presentan diferencias con el tratamiento 5.

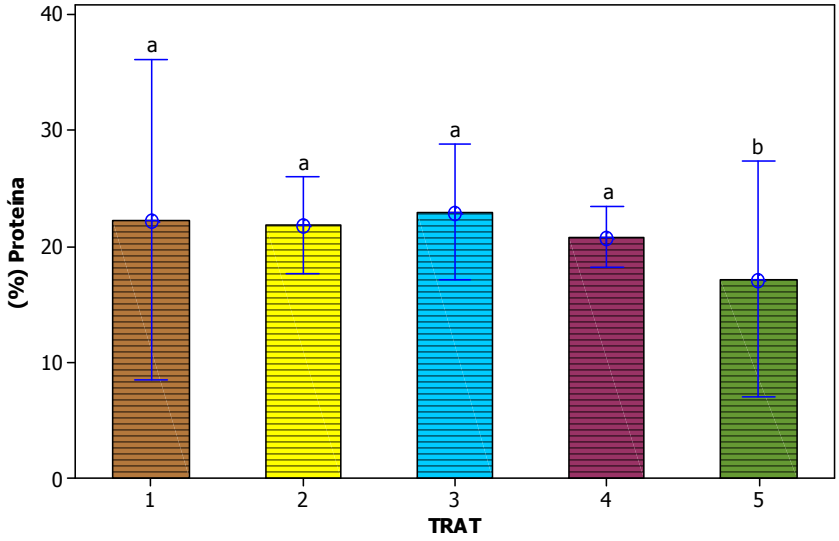


Figura 33. Porcentaje de proteína del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para dos ciclos de siembra en el año.

El tratamiento 5, al cual se le aplicó la mayor cantidad de agua (280 mm), fue aquel que presentó el menor porcentaje de proteína promedio. Según la figura 34 no se nota un efecto que produzca la cantidad de agua aplicada con relación al porcentaje de proteína.

➢ **Extracto etéreo.** Según la figura 34 y el ANDEVA (Anexo XI) el porcentaje de extracto etéreo no presentan diferencias significativas entre tratamientos en los dos ciclos de desarrollo del cultivo. Según el indicador de promedios los tratamientos 2 y 4 fueron los más homogéneos en los dos ciclos.

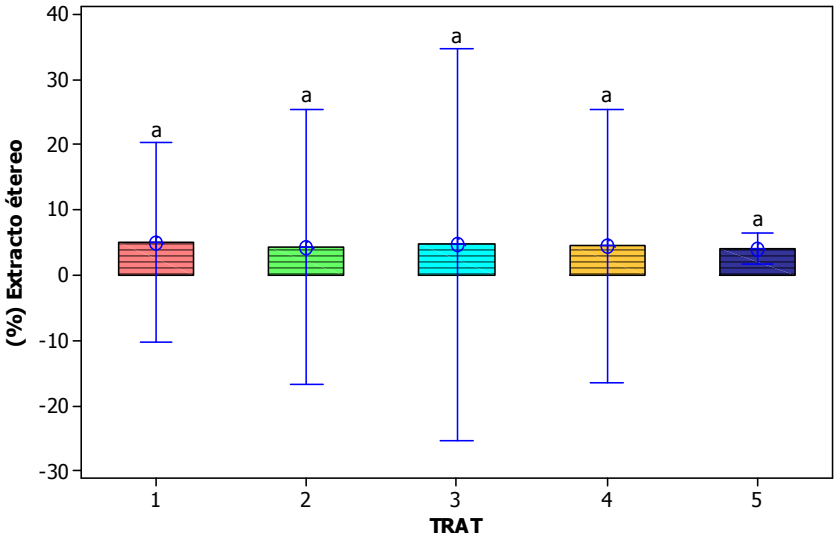


Figura 34. Porcentaje extracto etéreo del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para dos ciclos de siembra en el año.

No se observa relación entre la cantidad de agua aplicada y el porcentaje de extracto.

- **Carbohidratos.** Según la figura 35 y el ANDEVA (Anexo XI) el porcentaje de carbohidratos en el cilantro en dos ciclos del cultivo, no presentaron diferencias significativas los tratamientos 1, 2, 3 y 4 al igual que los 4 y 5. En otras palabras la aplicación de diferentes láminas de riego en el cilantro, no incide apreciablemente sobre la producción de carbohidratos.

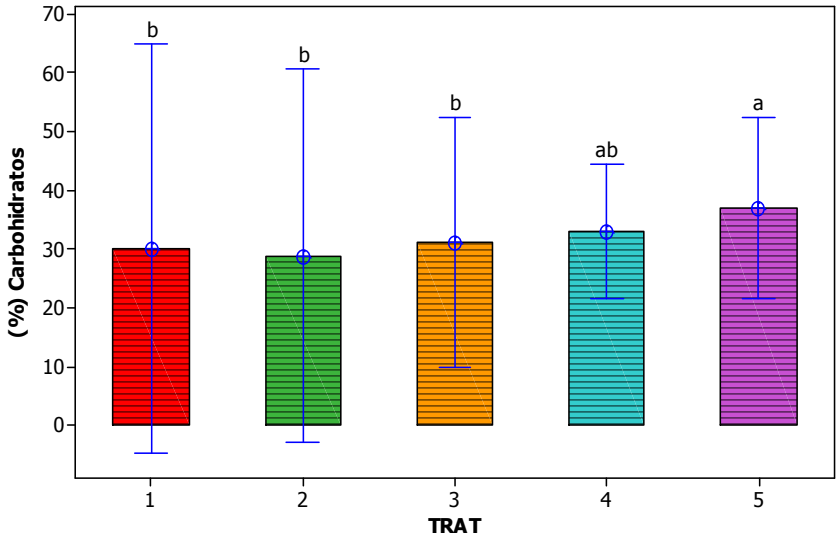


Figura 35. Porcentaje de carbohidratos del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para dos ciclos de siembra en el año.

El mayor porcentaje de carbohidratos en dos ciclos de siembra del cultivo lo obtuvo el tratamiento 5 (37.00%), seguido de los tratamientos 4 (32.99%); 3 (31.09%); 1 (30.00%) y 2 (28.82%). De acuerdo al orden anterior se colige que los tratamientos de mayor contenido de agua aplicado generaron mayor porcentaje de carbohidratos y aquellos de menores láminas de riego produjeron menor porcentaje de carbohidratos.

➢ **Fibra detergente neutra.** Según la figura 36 y el ANDEVA (Anexo XI) el porcentaje de fibra detergente neutra en los dos ciclos de siembra del cultivo de cilantro, variedad Unapal precoso, no mostró diferencias significativas entre los tratamientos. Al igual que en los contenidos nutricionales anteriores, las diferentes láminas de riego no producen un efecto significativo en el porcentaje de FDN.

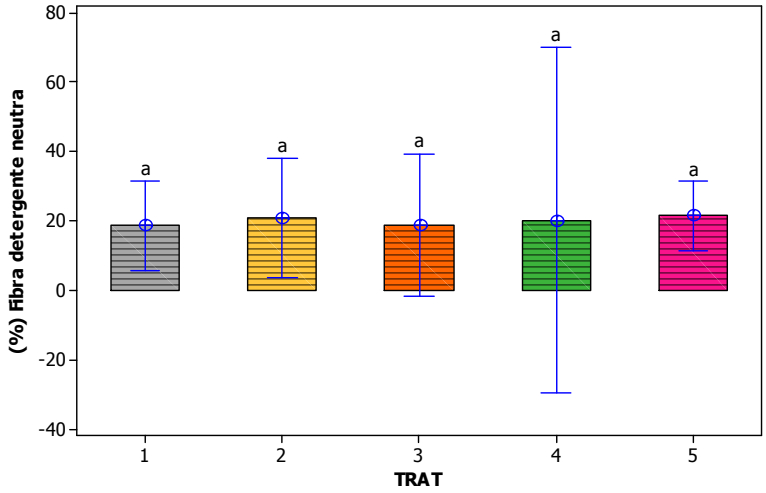


Figura 36. Porcentaje de fibra detergente neutra del cilantro en su ciclo productivo de follaje, para dos ciclos de siembra en el año.

En la figura no se observa una tendencia apreciable entre tratamientos y porcentaje de fibra detergente neutra.

7.7.3. Deterioro fisiológico

7.7.3.1 Pérdida de peso del cilantro después de cosecha para el ciclo 1 de siembra del cultivo. Según la figura 37 se observa el peso del cilantro después de cosecha por tratamiento a través del tiempo en el ciclo 1 de siembra del cultivo, en la cual se exponen pendientes negativas para cada línea que representa un tratamiento.

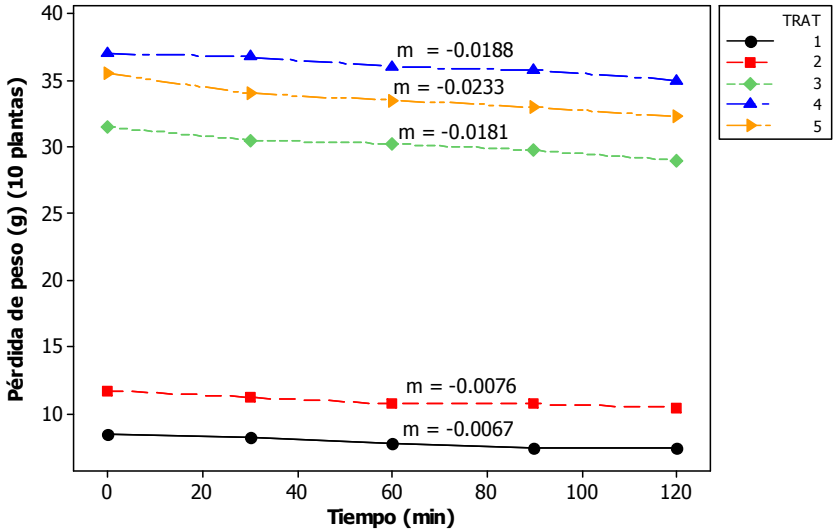


Figura 37. Pérdida de peso del cilantro en su ciclo productivo para el ciclo 1.

De acuerdo con la figura 37 el peso del cilantro por tratamiento decrece con el tiempo, notándose, de acuerdo con la pendiente, que la velocidad con que disipa agua el cilantro, disminuye con la cantidad de agua aplicada en el ciclo del cultivo. Es decir, que los tratamientos de poca agua aplicada, 1 y 2, en su ciclo vegetativo, pierden rápidamente agua después de la cosecha, a diferencia de los tratamientos 3, 4 y 5 de media y alta agua aplicada. Lo anterior se explica porque las plantas a las cuales se les aplicó escasa agua, tienen disponible insuficiente agua en sus tejidos para transpirar y rápidamente la pierden, mientras las plantas a las cuales se les aplicó cuantiosa agua en el riego tienen disponible considerable agua en sus tejidos, lo que hace que el proceso para transpirarla sea mucho más lento. Bajo este punto de vista no se tiene en cuenta la abertura de los estomas, sino, la cantidad de agua acumulada en sus tejidos.

Según la ANDEVA anexo IX la pérdida de peso en el cilantro o deterioro fisiológico a los 120 minutos después de cosecha en la época seca mostró diferencias significativas entre tratamientos. La pérdida de peso promedio se presentó directamente proporcional a la cantidad de agua aplica. Los tratamientos 1 y 2 no presentan diferencias significativas entre si al igual que los tratamientos 2 y 4, 3 y 4, y 3 y 5.

7.7.3.2 Pérdida de peso del cilantro después de cosecha para el ciclo 2 de siembra del cultivo. La figura 38 representa la disminución de peso que manifiesta el cilantro, después de la cosecha a través del tiempo, por tratamiento, en el ciclo 2 del desarrollo del cultivo.

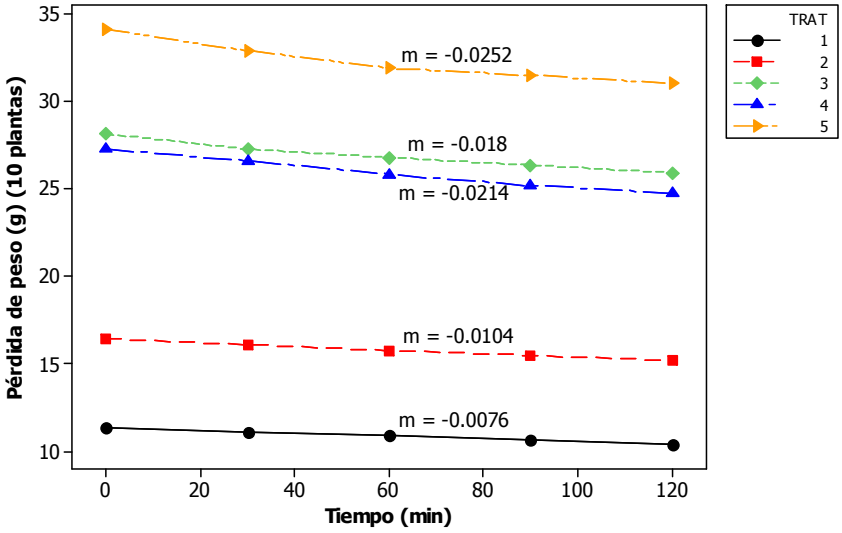


Figura 38. Pérdida de peso del cilantro en su ciclo productivo para un periodo húmedo del año.

*Diferencias altamente significativas entre tratamientos

De acuerdo con ella, se observan pendientes negativas en cada línea que representa un tratamiento, lo que indica, al igual que en la época seca, el cilantro se deshidrata después de ser cosechado a través del tiempo. La velocidad con que pierden agua es más rápida en aquellos tratamientos, a los cuales se les aplicó poca agua en el periodo para cosecha de follaje, ya que las pendientes fueron mayores en estos tratamientos.

Según la ANDEVA anexo X la pérdida de peso en el cilantro a los 120 minutos después de cosecha, en el ciclo 2, mostró diferencias significativas entre tratamientos, con tendencia creciente a medida que aumentan las láminas de riego. No se presentan diferencias significativas entre los tratamientos 1 y 2 al igual que entre los tratamientos 3 y 4, y 4 y 5. Teniendo en cuenta estos resultados hay una diferencia entre los tratamientos de poca agua aplicada 1 y 2 y los tratamientos de mucha más cantidad de agua aplicada.

7.7.3.3 Pérdida de peso en el cilantro en dos ciclos de siembra del cultivo. De acuerdo con la tabla 10 se observa una marcada tendencia, entre la cantidad de agua aplicada y la pérdida de peso en el cultivo de cilantro, a las dos horas de cosecha, en las dos épocas de siembra. Esta tendencia indica que a medida que aumenta la cantidad de agua aplicada, crece la pérdida de peso en el cilantro después de ser cosechado. Teniendo en cuenta la cantidad de plantas que se pueden sembrar en una hectárea, conforme a la densidad de siembra experimental, el tratamiento 5 estuvo cerca de llegar a perder casi una tonelada de materia fresca después de dos horas de cosecha en las dos épocas de siembra.

		Pérdida de peso		
		(g) (120 min ddc*)		(Kg) (120 min ddc*)
Ciclo	Tratamientos	10 Plantas	2.500.000 Plantas**	2.500.000 Plantas**
1	140 mm	1.00	250000	250
	160 mm	1.25	312500	312.5
	200 mm***	2.50	625000	625
	240 mm	2.00	500000	500
	280 mm	3.25	812500	812.5
2	140 mm	0.93	232500	232.5
	160 mm	1.26	315000	315
	200 mm***	2.24	560000	560
	240 mm	2.51	627500	627.5
	280 mm	3.08	770000	770

Cuadro 1. Pérdida de peso después de 2 horas de cosecha del cilantro en un periodo seco (1) y húmedo (2) del año.

* Días después de cosecha.

** Número de plantas en una hectárea para la densidad utilizada en el experimento.

*** Testigo.

El tratamiento de 140 mm de lámina riego fue aquel que representó la menor cantidad de agua aplicada en el experimento y fue aquel que perdió la menor cantidad de agua. De acuerdo con estos resultados hay una estrecha relación entre el volumen de agua que se aplique durante el ciclo productivo del cilantro y su deterioro fisiológico. Lo recomendable buscar disminuir la cantidad de riego la última semana antes de cosecha y así generar un transitorio estrés hídrico, que haga que la planta cierre sus estomas y economice el agua, no perdiéndola por transpiración después de cosecha. Evitar exponer los conjuntos de plantas de cilantro, de entre 1 y 3 kg conocidos como atados o manojos, al sol, ya que éste factor acelera su deshidratación. Mantener el follaje seco después de cosechado, ya que algunos agricultores evitando el deterioro fisiológico humedecen los manojos, pero no se dan cuenta que esto puede acelerar el deterioro por fermentación ó pudrición. Según Vallejo et al 2004 el almacenamiento del cilantro, variedad Unapal precoso, después de cosecha, debe ser bajo sombra pero en

condiciones de luz, ya que la oscuridad acelera la pérdida del color verde brillante del follaje, tornándose pálido, dándole una mala presentación.

Según la ANDEVA la pérdida de peso del cilantro después de 120 minutos después de ser cosechado y teniendo en cuenta los dos ciclos de siembra indicó diferencias altamente significativas entre tratamientos y no mostró diferencias significativas entre ciclos. Los tratamientos 1 y 2 no presentan diferencias significativas entre sí al igual que los tratamientos 3 y 4. El tratamiento 5 fue aquel que perdió mayor cantidad de agua a los 120 minutos después de ser cosechado. Los demás tratamientos pierden peso proporcional a como se les aplica agua.

7.8 CORRELACIONES ENTRE PRODUCCIÓN, DESARROLLO Y CALIDAD DEL CULTIVO DE CILANTRO EN DOS ÉPOCAS DEL AÑO.

Según la cuadro 2 los resultados experimentales permitieron entregar valores cuantitativos y cualitativos, para decidir cuál es la respuesta óptima que presenta el cultivo de cilantro, cuando se encuentra en unos rangos de rendimiento, materia seca, desarrollo y apariencia al momento de la cosecha.

Valoración	Rendimiento (g/ 10 plantas) Semilla (2.5g/m^2)	Materia seca (g/ 10 plantas) Semilla (2.5g/m^2)	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)	No. Hojas basales	Tejido	Estado Fitosanitario
Excelente	≥40.42	≥ 4.16	≥ 28.94	≥ 0.34	≥ 6	Completamente desarrollado, sin partes cloróticas.	Sin plagas, ni enfermedades
Bueno	[32.42 – 40.42)	[3.47 – 4.16)	[25.18 – 28.94)	[0.30 – 0.34)	[5 – 6)	Buen desarrollo, sin partes cloróticas.	Libre de plagas y enfermedades
Aceptable	[24.42 – 32.42)	[2.77 – 3.47)	[21.42 – 25.18)	[0.27 – 0.30)	[4 – 5)	Poco desarrollo, puntos cloróticos	Leve ataque de plagas
Regular	[16.42 – 24.42)	[2.08 – 2.77)	[17.66 – 21.42)	[0.23 – 0.27)	[3 – 4)	Bajo desarrollo, partes cloróticas	Ataque de plagas poco severo
Malo	< 16.42	< 2.08	< 17.66	< 0.23	< 3	Muy pobre desarrollo, tejido muerto	Severo ataque de plagas y enfermedades

Cuadro 2. Valoración de la calidad* del cultivo de cilantro teniendo en cuenta producción de follaje, materia seca, desarrollo fisiológico y apariencia.

*****Organización de los datos teniendo en cuenta la regla de sturges citado por Ceballos (1997).

7.9 ANÁLISIS DE COSTOS

Según el anexo XXVI los mayores costos para el establecimiento de una hectárea de cilantro en el Valle del Cauca, se deben en primer lugar a los insumos, posteriormente las labores y finalmente los costos por variables no tenidas en cuenta en los anteriores ítems. Con la densidad de siembra utilizada experimentalmente, se pueden obtener en una hectárea alrededor de 2.500.000 plantas y utilizando el rendimiento del tratamiento más eficiente (3), de un peso promedio de 3.1 g por planta, se puede lograr un rendimiento de alrededor de 7.8 toneladas en una hectárea. El valor comercial del cilantro promedio es de $950 por Kilogramo, de acuerdo con ello se pueden obtener ingresos de $7.410.000 y teniendo en cuenta los costos de producción de $ 4.731.200 (anexo XXVI) , se pueden obtener utilidades de $2.678.800 por hectárea.

Teniendo en cuenta el anexo XXVII el consumo de agua y el precio por ella, no genera diferencias significativas entre un tratamiento y otro. Su efecto se evidencia posiblemente en el sistema la captación del agua, la distribución de ella y los jornales gastados en ello. También se evidencian costos ambientales por el gasto de agua y la erosión por arrastre del suelo.

8. CONCLUSIONES

- El tratamiento de 200 mm de lámina de riego es aquel que le brinda al cilantro mejor respuesta fisiológica y permite un ahorro en el consumo de agua.
- Los ciclos se siembra del cultivo no generan diferencias significativas en casi todas variables de respuesta, posiblemente el cilantro tiene mecanismos de adaptación a diversas situaciones ambientales.
- La calidad del cilantro en cuanto a apariencia se ve afectada drásticamente por los cambios de las láminas de riego.

9. RECOMENDACIONES

- Validar los resultados obtenidos en invernadero, en el campo.

- Realizar estudios fisiológicos en el cilantro para determinar los mecanismos que le permiten ahorrar agua cuando se encuentre con carencia de ella.

BIBLIOGRAFÍA

ACUÑA, R.J. 1988. Guía para la producción de hortalizas de hoja para la industria. Perejil (**PETROSELINUM HORTENSE** *Hoffm*) y cilantro (**CORIANDRUM SATIVUM** *l*). Cali Colombia. 50 p.

AMÉZQUITA E. 1999. Requerimientos de agua y nutrición de cultivos de flores. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 23 p.

ARCOS, A.L., ESTRADA, E.I., MUÑOZ, J. 2002. Estabilidad de cinco cultivares de cilantro (**CORIANDRUM SATIVUM** L) en cinco niveles de nitrógeno y dos épocas de siembra. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 150 p.

BESOAIN, E. 1985. Mineralogía de arcillas de suelos. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 1205 p.

CASTRO, R., ROCHA, R., DELGADILLO, O. 2004. Guía para la determinación de la humedad en el suelo. Centro Andino para la gestión y uso del agua. Cochabamba. 114 p.

CAICEDO, R. 1993. Horticultura. Universidad Nacional de Colombia. 539 p.

CAMACHO, E. 2008. Una manera diferente de Cultivar. 33 p.

CHANG, J.H. 1968. Climate and agriculture. An ecological survey. Aldine Publishing Company. Chicago, USA.

CHAVARRI, E. 2004. Evapotranspiración. Curso de hidrologia aplicada. Universidad Agraria La Molina. 10 p.

CEBALLOS, A. 1997. Estadística descriptiva y probabilidad básica. Universidad del Valle. 189 p.

CIREN 111. 1996. Manual de obras menores de riego. Chile.

CRUZ, Y. 2004. Evaluación del comportamiento agronómico del cultivar de cilantro Unapal precoso, *Coriandrum sativum L*. y de lechuga Simpson *Lactuca sativa L*. bajo três formas de abonamiento en un Andosol en el departamento del Valle del Cauca. Tesis de grado. 44 p.

DENMEAD, O.T., Shaw R.H. 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. Agron. J. 54. pp 385-390.

DOORERENBOS, J., PRUITT, W. 1979. Las necesidades de aguas de los cultivos. Universidad Nacional Agraria “La Molina”. Roma, 1979.

DOORENBOS, J.,Kassam A.H. 1986. Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje No. 33. Roma, Italia.

FAO. Guía de estudio y drenaje No. 56.

FASSBENDER, H.W. 1982. Química de suelos con énfasis en suelos de América latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José. Costa Rica. 398 p.

GARCÍA, B. J. 1979. Estructura metodológica para la caracterización agroecológica de áreas por procedimientos cuantitativos de análisis y su posterior zonificación. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC). 1980. Estudio semidetallado de suelos del Valle geográfico del rio Cauca. Bogotá. 582 p.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA (IICA). 2007. Guía práctica para la exportación de cilantro a los Estados Unidos. Nicaragua. 11p.

JARAMILLO, D.F., PARRA, L.N., GONZÁLEZ L.H. 1994. La ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 303-341p.

JARA, J., VALENZUELA, A. 1998. Necesidades de agua de los cultivos.

LINACRE, E.T. 1977. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. Agric. Meteorol. 18. pp 409-242.

LIRA S., R.H. 1986. Desarrollo de la investigación sobre evapotranspiración. *In:* R.H. Lira S. y L.F. Flores L. (eds). Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos – Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias - Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste - PRONAPA. Gómez Palacio, Dgo.

LOPÉZ, Y. 2000. Relaciones hídricas en el continuo agua-suelo-planta-atmosfera. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 88 p.

MADERO, E., ACOSTA, J., ARAGON, M., LLANOS Y. 1999. Cartografía ultradetallada de suelos y evaluación de tierras del centro experimental de la Universidad Nacional de Colombia (CEUNP) Sede Palmira. pp 19-22.

MENESES, M. 2006. Sistema agua-suelo. 6 p.

MEJIA, S., ESTRADA, E., FIGUEROA O. 2008. Respuesta fisiológica del cilantro a diferentes niveles de potasio y nitrógeno. Acta agronómica. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 4 p.

MEJÍA. 2009. Comunicación Personal.

MICUCCI F.G, COSENTINO D y TABOADA M.A . 2002. Impacto de las labranzas sobre los flujos de agua y los tamaños de poros en dos suelos de la pampa ondulada. XVIII CNCS, Puerto Madryn, Argentina. 7 p.

MOJARRO, D. F., E., PALACIOS V. 1979. Ajuste de las funciones de Jensen-Haise, Horton y Norero para la estimación de la evapotranspiración. Agrociencia 38. p 77-87.

MONTENEGRO, H., MALAGÓN, D. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Bogotá.

MORALES, J. 1995. Cultivo de cilantro, cilantro ancho y perejil. Fundación de Desarrollo Agropecuario, Inc. República Dominicana.

MOTTA et al, B. 1990. Métodos analíticos del laboratorio de suelos IGAC, Bogotá pp 4-6.

NEFFATI, M., MARZOUK, B. 2008. Changes in essential oil and fatty acid composition in coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves under saline conditions. 142 p.

NORERO S. 1976. Evaporación y transpiración. Serie suelos y clima No. SC-13. CIDIAT. Mérida, Venezuela.

OLALLA, M., VALERO, J.A. 1993. Agronomía del riego. Madrid. 732 pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. 2005. (www.fao.org)

ORTIZ S., C.A. 1987. Elementos de agrometeorología cuantitativa. Con aplicaciones en la república mexicana. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

PEREIRA, R.A., NOVA, V.N.A., SEDIYAMA C.G. 1997. Evapotranspiraçao. Fundação de Estudos Luiz de Queiroz, Piracicaba, Brasil. 183 p

ROJAS, H. 2000. Generar y validar un instrumento para la estimación de las necesidades de riego en cultivos de hortalizas. Proyecto semilla 99CG5110. Informe parcial. CINDEC.

Rojas. 2009. Comunicación personal.

ROSENBERG, N.J. 1983. Microclimate. The biological environment. 2a ed. John Wiley & Sons, Inc. USA.

SALAZAR, G. 2008. El cilantro (*Coriandrum sativum*) como planta medicinal emergente. UDLA, Puebla. 7 p.

SELLES, G., FEREYRA, R. 2003. Criterios para controlar el riego en uva de mesa. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chile. 27 p.

SNYDER, R., Pruitt W.O. 1992. Evapotranspiration data management in California. Irrigation and drainage Session Porcedings/water forum'92. Baltimore.August, 1992. pp 128-133.

SOIL SURVEY DIVISION STAFF (SSDS). 1993. Soil survey manual. Handbook No. 18. USDA. Washington D.C. 437 p.

STEWART, I., HAGAN R. 1973. Functions to predict effects of crop water deficits. J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Eng. 23:421-439.

TAFUR, H. 2005. Conceptos básicos para el riego de los cultivos. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 36 p.

TERZAGHI, K., PECK R. B. 1967. Mecánica de suelos en la ingeniería práctica. Segunda edición. Ed. El ateneo S. A.

TIJERINA CH. L. 1986. Determinación de la evapotranspiración de cultivos anuales en el Valle de México. *In:* R.H. Lira S. y L.F. Flores L. (eds). Lisimetría. Estudios de evapotranspiración. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias -Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste - PRONAPA. Gómez Palacio, Dgo.

USMAN, D.C., USMAN, R., BONILLA, C.R., SANCHEZ, M. 2003. Efecto de la fertilización orgánica sobre la producción de follaje y rendimiento de semilla de cilantro *Coriandrum sativum* L. Variedad Unapal Precoso. Acta agronómica (Palmira) 52 (1/4): pp 59-63.

VALLEJO, F.A. y Estrada, E.I. 2004. Producción de hortalizas de clima cálido. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 346 p.

VAN GENUCHTEN, M. Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 44. pp 892-898.

VARAS, E. 1991. Efectos del déficit de agua sobre los cultivos: Tomate. Tecnologías de riego. Boletín Técnico N°168. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Quilamapu, Chillán, Chile. p. 74-75.

WALKLEY, A., BLACK I.A.1934. An examination of the Degtareff method for determining soil organic mather and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.

ANEXOS

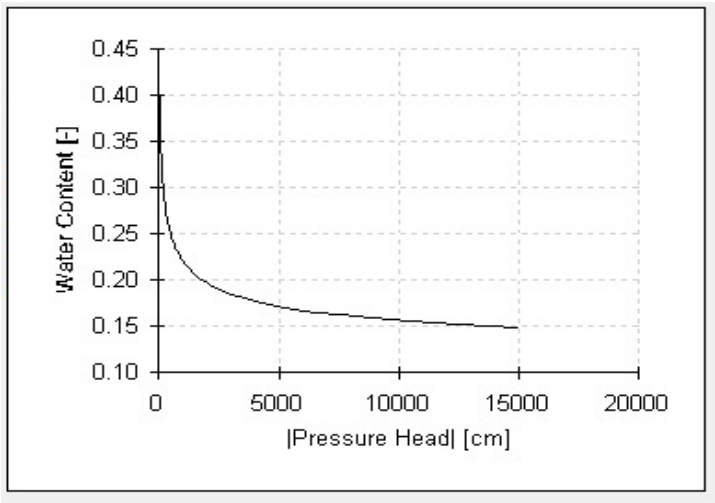
Anexo I. Descripción de las pruebas físicas del suelo utilizado en el experimento.

Parámetro	Unidad	Profundidad (0-25 cm)
Humedad inicial	% ($m.m^{-1}$)	2.67
Textura	%	Far
Arena	%	32.24
Limo	%	28.00
Arcilla	%	39.76
Densidad aparente	$g.cm^{-3}$	1.22
Densidad real	$g.cm^{-3}$	2.65*
Porosidad	%	53.96
Capacidad de campo	% ($m.m^{-1}$)	27.35
Punto de marchitez permanente	% ($m.m^{-1}$)	14.86
Agua aprovechable	% ($m.m^{-1}$)	12.49
Conductividad Hidráulica Saturada	$cm.día^{-1}$	33.34

* Valor característico para suelos minerales (Tafur, 2005).

De acuerdo con el análisis de las propiedades físicas del suelo se puede inferir que el suelo es de textura pesada, ya que por sus altos contenidos de arcilla el laboreo de maquinas e implementos agrícolas se hace algo difícil en este tipo de suelos. El contenido de arcilla de casi el 40% le permite almacenar grandes cantidades de agua pero a su vez hace que el movimiento de agua hacia y dentro en el perfil sea muy lento. Por poseer casi un 32% de arena y un 28% de limos le permiten tener una buena gradación al suelo, lo que redunda en una buena aireación y facilidad en el movimiento del agua. La densidad aparente se encuentra en un rango característico de los suelos franco-arcillosos (Tafur, 2005), lo que indica que en el suelo no se presenta problemas de compactación. El suelo presenta una alta porosidad, más del 50%, lo que indica que del volumen total del suelo, el 54% son espacios porosos. Por el contenido de arcillas presenta una dominancia de microporos.

La capacidad de campo y el punto de marchitez se encuentran en rangos característicos de los suelos franco-arcillosos (Ciren, 1996), la CC se logra con una alta humedad (27.35 %) y el PMP se encuentra en rangos de CC para suelos arenosos.



Curva de retención de humedad del suelo experimental.

Según la curva de retención de humedad (figura 39), la capacidad de campo del suelo se encuentra en un rango de humedad comprendido entre 25 y 30%, a una presión de succión de 0.3 cm y el punto de marchitez permanente se halla con un contenido de humedad del 15% a una presión de succión de 15000 cm. Estos datos confirman los valores hallados en el laboratorio, lo que demuestra que utilizar el software RETC con el modelo Van Genutchten-Mualen (1980) es una buena alternativa para predecir la curva de retención de humedad. Esta curva es muy similar a la encontrada por Jara y Valenzuela (1998) para suelos de textura Franco.

La conductividad hidráulica saturada según Terzaghi y Peck (1967) se encuentra en un rango bajo de permeabilidad, lo que se debe al gran contenido de arcilla.

Anexo II. Descripción de las pruebas químicas del suelo utilizado en el experimento.

Descripción de elementos mayores.

Parámetro	Unidad	Profundidad (0-25 cm)
pH (Relación 1:1)	-	7.4
Materia orgánica	(%)	1.8
Calcio Intercambiable	(meq.100g^{-1})	8.1
Magnesio Intercambiable	(meq.100g^{-1})	3.1
Potasio Intercambiable	(meq.100g^{-1})	0.59
Sodio Intercambiable	(meq.100g^{-1})	0.29
CIC	(meq.100g^{-1})	10.8
Aluminio Intercambiable	(meq.100g^{-1})	-
Fosforo Asimilable	ppm	140
Textura al tacto	-	FArA
CO_3	-	-

Descripción de elementos menores.

Parámetro	Unidad	Profundidad (0-25 cm)
Cobre	ppm	6.0
Hierro	Ppm	60.5
Manganeso	Ppm	25.9
Zinc	Ppm	1.8
Boro	Ppm	0.26

De acuerdo con el análisis químico el pH indica que el suelo según SSDS (1993) y Fassbender (1982) es ligeramente alcalino. Lo que muestra que el suelo reacciona con el agua y produce iones hidroxilo y está constituido por bases, es decir, por los cationes Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} y Na^{+}. También se puede indicar que suelo pudo haberse formado a partir de rocas de naturaleza básica como la Calcita, la Albita o la Ortoclasa y bajo unas condiciones climáticas en las cuales la evapotranspiración sea mayor que la precipitación (Jaramillo, 1994). En este tipo de suelo puede existir problemas de asimilación debido fundamentalmente a la presencia de carbonato de calcio que bloquea la absorción de fosforo. Si la alcalinidad es debida al sodio entonces aparecen problemas de tipo físico (Impermeabilidad, compactación entre otros) lo que resulta desfavorable para la asimilación de

nutrientes. Según Besoain (1985) el contenido de materia orgánica para el clima del CEUNP (cálido) es bajo. La capacidad de intercambio catiónico se encuentra en término medio y es debida básicamente al contenido de arcilla, ya que la materia orgánica se encuentra baja. En términos generales en suelos con este pH existe baja solubilidad del P y de micro nutrientes a excepción del Mo.

El contenido de calcio intercambiable (8.1 meq/100g) se encuentra en un rango alto al igual que el magnesio intercambiable (3.1 meq/100g) y el potasio intercambiable (0.59 meq/100g). El contenido de sodio intercambiable (0.29 meq/100g) se encuentra en un rango aceptable lo que indica que este elemento no ocasionaría problemas en este suelo (Besoain, 1985).

Según los resultados del análisis de elementos menores, el fosforo se encuentra en un rango muy alto, el cobre, el hierro y el manganeso se encuentran en un rango de evaluación alto, mientras el zinc y el boro se encuentran en término medio (Laboratorio química de suelos, Unal Palmira, 2009).

En resumen, según los resultados del análisis químico, el suelo experimental tiene buena disponibilidad, tanto de elementos mayores como menores, no hay problemas con el Na, el contenido de materia orgánica es aceptable y la CIC se encuentra en un rango intermedio, lo que demuestra que este suelo es apto para la agricultura.

Anexo III. Descripción de la unidad de suelo utilizado en el experimento.

Según el estudio de cartografía ultradetallado realizado por madero (1999) este suelo abarca un 20 % del terreno y corresponde a la consociación 4, con dominancia de arcillas expandibles y posee una unidad cartográfica Haplustert típico francoso fino isohipertérmico 1%. Las características del suelo a diferentes profundidades son las siguientes:

00-40 cm A_p	Color gris muy oscuro (10 YR 3/1); textura franco arcillosa; consistencia en húmedo firme, en mojado plástico; pH 6.7.
40-75 cm Bw_1	Color pardo amarillento (10 YR 5/6); textura arcillosa con presencia de arena muy fina; consistencia en húmedo firme y en mojado plástica ligeramente pegajosa; pH 6.8.
75-116 cm Bw_{2g}	Color pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2); con presencia de moteados color rojo amarillento (5 YR 4/6) ; textura arcillo arenoso fino ; consistencia en húmedo firme y en mojado plástica ligeramente pegajosa ; pH 7.0.
116-176 cm Cb	Color oliva (5 Y 5/4); textura arcillo arenosa gruesa con presencia de piedras blancas, moteados de color pardo intenso (7.5 YR 4/6); en un horizonte enterrado; consistencia en húmedo firme y en mojado ligeramente plástica, ligeramente pegajosa; pH 7.4.

176-196 cm Bw_b	Color oliva pálido (5 Y 6/4); textura arcillo limosa; consistencia en húmedo firme en húmedo firme y en mojado plástico, ligeramente adherente; pH 7.5.

Observaciones: Nivel freático se halló a 180 cm y características vérticas bien definidas en los primeros dos horizontes.

Anexo IV. Descripción de la unidad de suelo utilizado en el experimento.

Determinación del contenido de materia seca analítica.

Caso de un alimento seco

Se va a utilizar una pequeña muestra (±3 g), no destinada al análisis. Se le coloca a 105 ℃ hasta peso constante (24 horas), se determ ina el peso antes y después de la desecación y se calcula el porcentaje de materia seca, es un método gravimétrico.

Observaciones

En la práctica se debe secar el frasco que va a contener la muestra antes de pesarlo porque no es completamente seco. De otro lado, no se puede pesar el frasco o la muestra a la salida de la estufa. En efecto, la balanza analítica está compuesta de un compartimiento cerrado, para impedir que la turbulencia del aire cause variaciones en el peso. Sin embargo, si se coloca una muestra caliente en este compartimiento, eso va a causar un cambio de volumen del aire que va también a alterar la medida. Entonces, se debe esperar que la temperatura de la muestra disminuya. Pero en este caso, la muestra toma agua (y peso) rápidamente. Para impedir eso, es colocada en desecador, es decir un frasco en vidrio, compuesto del frasco y de una tapa con grifo y que contiene una materia muy higroscópica que va a captar toda el agua presente en el aire. De esta manera, la muestra se enfría sin tomar agua. Sin embargo, como la temperatura del aire contenida en el desecador baja también, su volumen disminuye, lo que tiene como consecuencias que no se puede abrir la tapa. Para evitar eso, se abre

el grifo para equilibrar la presión del aire con el exterior y, luego, se pesan las muestras lo más rápido posible.

Si el protocolo prevé la desecación de 2g de materia con una precisión de 0.0001g, no significa que se debe pesar exactamente 2.0000 g porque es casi imposible hacerlo. Se debe medir con precisión una cantidad cercana de 2g (ejemplo 1.9962 ó 2.094).

Material necesario

- Estufa ventilada (temperatura máxima >105℃).
- Balanza analítica (precisión: 0.0001g).
- Crisoles en porcelana (ø 3-4 cm).
- Desecador con silica gel.
- Espátula, pinza, lapicero, formulario.

Procedimiento

- Desecar crisoles a 105 ℃ durante 30 minutos.
- Colocarlos en un desecador durante 10 minutos.
- Pesar un crisol, anotar su número y peso (T= Tara).
- Colocar rápidamente ± 3 a 5g de materia en el crisol con una espátula y anotar el peso (T + MF= Tara + materia fresca).
- Colocar los crisoles a 105 ℃ durante 24 horas.
- Sacar los crisoles con una pinza de la estufa colocarlos en un desecador y esperar 10 minutos.

- Abrir el desecador, pesar rápidamente los crisoles y anotar el peso (T+MS=Tara+ materia seca).

Calcular el porcentaje de materia seca

Ejemplo:

$$\%Peso\ húm\ ofresco_{muestra}(g) = [(Peso\ crisol_{vacio} + MF) - Peso\ crisol_{vacio}]$$

$$\%Peso\ seco_{muestra}(g) = [(Peso\ crisol_{vacio} + MS) - Peso\ crisol_{vacio}]$$

$$\%Hum.muestra = \frac{(Peso\ húmedo_{muestra} - Peso\ seco_{muestra})}{Peso\ húmedo_{muestra}} x100$$

Referencia

AOAC (1990) Official Methods of Anaysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th ed., Arlington. Virginia. USA. METODO número 934.01

Anexo V. Determinación del contenido de ceniza.

Las cenizas presentan la porción mineral, es decir inorgánica, del alimento. Es la parte que queda después de la eliminación del agua y de los componentes orgánicos por combustión, aunque parte de las cenizas sean de origen orgánico (S y P provenientes de proteínas). Además, parte de algunos minerales se pierden por volatilización (Na, Cl, K, P, S). Es también un método gravimétrico.

El ideal es realizar la determinación directamente después de la determinación del contenido en materia seca pues, se necesita también de secar las muestras en crisoles de porcelana antes de quemarlas en la mufla.

Cuando un alimento ha sido contaminado por tierra, como es el caso de las raíces (yuca), o de forrajes (heno), las cenizas presentes en las muestras incluyen la de la tierra. Las cenizas que vienen solamente del alimento son solubles en ácido clorhídrico 1 N. Entonces, se va a determinar esta fracción para conocer las cenizas de origen alimenticio

Material necesario

- Mufla (hasta 600 ℃).
- Balanza analítica.
- Desecador.
- Crisoles en porcelana.
- Formulario, lapicero.
- Estufa ventilada.

Procedimiento (para muestras ya desecadas)

- Colocar los crisoles con la materia seca, (es decir después de la desecación a 105℃), en una mufla a 550-600℃ durante un mínim o de 6h.
- Apagar la mufla, abrir la puerta y esperar 10 minutos.
- Colocar los crisoles con una pinza en un desecador. Dejar el grifo abierto 2 minutos.
- Dejar enfriar durante al menos 1 h.
- Abrir con precaución el grifo hasta el equilibrio de aire, pesar los crisoles y anotar el peso (T + CT).

Calcular el contenido en cenizas totales

$$\%Cenizas\ totales = \frac{\lfloor (Peso_{crisol} + cenizas) - Peso\ crisol_{vacio} \rfloor}{Peso\ muestra\ seca} x\ 100$$

Referencia

AOAC (1990) Official Methods of Anaysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th ed., Arlington, Virginia, USA. METODO número 942.05.

Anexo VI. Determinación del contenido en grasa

El análisis de la composición de la grasa en los diferentes ácidos grasos no es determinante para la alimentación animal, con algunas excepciones (influencia sobre la calidad de la grasa de la leche. de la carne de pollo, etc.) Generalmente, el conocimiento de la cantidad total de grasa es suficiente.

Su determinación se basa en la propiedad de los lípidos de ser solubles en disolventes orgánicos apolares como el éter. Es un método GRAVIMETRICO que consiste en el aislamiento de la gras por disolución en el disolvente. El último es eliminado por evaporación. Se extrae también todos los otros componentes solubles en disolventes apolares como los fosfolípidos, los esteroles, los pigmentos, algunas vitaminas, etc. Sin embargo, la grasa representa generalmente 99% de la materia soluble, de tal manera que se puede considerar que el extracto etéreo es un muy buen estimativo de la cantidad total de grasa presente en un alimento.

Para extraer la grasa en continuo, se utiliza un aparato en vidrio llamado aparato de SOXHLET (ver Figura). En este caso el extracto se realiza en frio. Se puede también trabajar con equipos especiales que permiten trabajar con disolventes calientes (Ej. Soxtec, Büchi).

Aparato de extracción de Soxhlet

El método Soxhlet permite extraer la grasa libre pero no la ligada a proteínas. Para liberar la grasa ligada, se necesita realizar una hidrólisis ácida antes de extraer la grasa.

Extracción en continuo de la grasa: Método de Soxhlet

El aparato de Soxhlet de compone de tres partes en vidrio (ver figura 1)

- 1 balón de 125 a 250 ml
- 1 extractor Soxhlet compuesto de una cámara y un sifón
- 1 refrigerante

Se coloca el disolvente en el balón y en el dedal, conteniendo la muestra a analizar, en el extractor Soxhlet. Se calienta el balón hasta obtener ebullición del disolvente. El último, en forma de gas, pasa por el sifón, alcanza el refrigerante, se condensa y se acumula en la cámara con la muestra. Cuando el nivel de disolvente, cargado de grasa, llega a la cima del sifón, todo esta sifoneado y regresa al balón. Se hierve el disolvente otra vez pero la grasa se queda en el balón. La extracción en continuo toma ±4-6 h.

Extracción de grasa libre

Material necesario

- Aparatos de Soxhlet completos.
- Placas de calefacción.
- Balanza analítica.
- Estufa a 105 ℃.
- Éter de petróleo o éter di etílico.
- Cartuchos de cartón.
- Espátula, formulario, lapicero.

Procedimiento

- Pesar precisamente ±5g de alimento (AL) en un cartucho de cartón.
- Colocar el cartucho en el extractor y verificar que la parte superior del cartucho sobrepasa la parte superior del sifón.

- Colocar ±160 ml de éter en el balón de 250 ml previamente tarados a 105 ℃ (T) y montar el aparato.
- Abrir el grifo de agua del refrigerante y encender las placas de calefacción.
- Hacer la extracción durante 6 a 8 h en función del tipo de alimento y la cantidad de grasa.
- Apagar las placas y desmontar el aparato cuando una cantidad máxima de éter se encuentra en el extractor. Quitar el cartucho y colocar el éter en la botella.
- Montar de nuevo el aparato, encender las placas hasta que la casi totalidad del éter se encuentra en el extractor (no esperar hasta que todo el éter se ha ido para evitar una explosión). Colocar el éter en la botella.
- Colocar el balón en una estufa a 105℃ durante 1h o una noche (dejar la puerta abierta durante 15 minutos eliminar los vapores de éter).
- Pesar el balón (T+EE) cuando esta frío (colocar un tapón para evitar la rehidratación).

Calcular el contenido en grasa o extracto etéreo.

Formula:

% extracto etéreo (EE) en base seca

$$\%\ Grasa\ bruta = \frac{(peso_{balón+grasa} - Peso_{balón})}{Peso_{mustra}\ x\ MS}\ x\ 100$$

Referencia

AOAC (1990) Official Methods of Anaysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th ed., Arlington. Virginia. USA. METODO número 920.39

Anexo VII. Determinación del contenido de proteína bruta

Las proteínas son polímeros de aminoácidos. Es el único macro nutriente que contiene Nitrógeno, lo que distingue de la grasa y los carbohidratos. La presencia de nitrógeno en las proteínas es muchas veces utilizado para estimar la cantidad de proteína bruta en un alimento. Como se considera que las proteínas contienen, en promedio 16g N/100 g, se determina el contenido en nitrógeno y se multiplica el resultado por 6.25 (100/16).

El método todavía más utilizado en el mundo es el método de Kjeldahl, del nombre del jefe de laboratorio de cervecería Carlsberg (Copenhagen, Dinamarca) que publicó el protocolo de un método POR TITULACIÓN en 1883.

Referencia

Kjeldahl J (1883) Neue Methode zür Bestimmung der Stickstoffs in organischen Köpern. Z Anal Chem 22. 366-382.

Principio del método

- Hidrólisis ácida: Para convertir el nitrógeno primero en sulfato amónico (V. ecuación). La muestra sufre un tratamiento con ácido sulfúrico concentrado (96-98%) durante una hora a 450℃. El rendimiento se m ejora en presencia de un catalizador. El tratamiento necesita un sistema de recuperación del vapor ácido para no alterar los equipos y contaminar el ambiente.

$$Materia\ orgánica + H_2SO_4 \xrightarrow[\text{catalizador}]{450℃} CO_2 + H_2O + (NH_4)_2SO_4$$

- Liberación del amoniaco por alcalinización y destilación al vapor: Se va a convertir el sulfato de amonio en amoniaco en forma gaseosa (NH_3) por calentamiento. en presencia de hidróxido de sodio y de vapor de agua. para recuperar el amoniaco

$$(NH_4)_2 + 2\ NaOH \longrightarrow 2NH_4OH + Na_2SO_4$$

$$NH_4OH <---------> NH_3 + H_2O \quad (Con\ variación\ del\ PH).\ es\ decir:$$

$$(NH_4)_2SO_4 + 2\ NaOH \text{ ----------} > Na_2SO_4 + 2\ H_2O + 2\ NH_3$$

El amoniaco producido se recupera en una solución que contiene un exceso de ácido bórico:

$$NH_3 + H_3BO_3 \text{----------} > NH_4H_2BO_3$$

Y es luego estimada por titulación del borato de amonio producido con un ácido, por Ej. HCl, H_2SO_4.

Titulación del amoniaco

$$NH_4H_2BO_3 + 2\ HCl\text{----------}> NH_4Cl + H_3BO_3$$

Se puede resumir las dos últimas ecuaciones de la manera siguiente:

$$NH_3 + HCl\text{----------}> NH_4Cl$$

A una mol de HCl corresponde 1 mol de N. es decir 14g N

o: 1ml HCl 1N= 0.014g N=14mg N

o: 1ml H_2SO_4 1N= 0.028g N=28mg N

Observaciones

- El método de Kjeldhl es todavía, el más utilizado en el mundo, aunque en disminución por razón de contaminación ambiental (catalizadores, ácidos concentrados). Se utiliza cada vez más el método por combustión, o método de Dumas, del nombre del investigador francés que le desarrolló en 1831. [Dumas J. (1831) Ann, Chim, Phys, (Paris) 47. 198]. Olvidado por más de un siglo, este método fue mejorado en los últimos años, gracias a la utilización de equipos modernos. El principio es el de calcinar la muestra y medir la producción de N_2, producto final de la combustión.

- El coeficiente de conversión N/proteínas 6.25 corresponde al contenido en nitrógeno de la proteína de carne. En realidad, la mayoría de los alimentos

tienen un contenido distinto y se debería utilizar un coeficiente diferente para cada uno de ellos, especialmente para los productos vegetales. En muchos casos, el coeficiente 6.25 es causa de una sobreestimación del contenido real en proteína de los alimentos, Ejemplos:

Coeficiente de conversión para los alimentos.

Alimento	%N	Coeficiente de conversión
Carne	16.00	6.25
Leche	15.66	6.38
Maíz	17.70	5.65
Trigo	18.76	5.33
Arroz	19.34	5.17

Materias nitrogenadas totales o proteína bruta

Materiales y equipos

- Balanza de precisión
- Destilador
- Digestor Buchi
- Extractor de gases Büchi
- Bureta
- Probeta de 30-50 ml
- Erlenmeyer 250 ml
- Tubos Büchi
- Pipetas
- Agua destilada

Reactivos

- Ácido sulfúrico H_2SO_4 (96-98%)
- Hidróxido de sodio NaOH (32%)
- Carbonato de sodio ($NaCO_3$)
- Acido bórico H_3BO_3 (2%)
- Azul de timol
- Indicador mixto: se prepara con rojo de metilo y verde de bromocresol
- Catalizador
- Ácido clorhídrico HCl ó H_2SO_4 O.1 N

Nota

a. La presencia del NaOH es:
- NaOH al 32% de pureza en forma líquida. ó
- NaOH granulado (99% de pureza) en este caso. se prepara 1 litro de NaOH al 32% de pureza=320 g de NaOH. se disuelven en agua destilada y se completa 1 litro.

b. H_3BO_3 al (99% de pureza) en este caso. se prepara 1 litro de H_3BO_3 al 2% de pureza=20g de $H_3B\ O_3$ se disuelven en agua destilada y se completa 1 litro

c. Indicador mixto:

- Verde de bromocresol 0.60 g
- Rojo de metileno 0.40g

Disolución en etanol por separado, luego mezclar. Llevar a volumen de 1000 ml (1L).

d. Catalizador presentación

- Tabletas Kjeldahl
- En polvo: 0.05g de oxido de selenio SeO + 2.5 g de sulfato de sodio Na_2S0_4, se revuelven hasta homogenizar (valor dado por muestra)

Procedimiento

Preparación de las soluciones: El ácido a utilizar es del 96-98% de pureza

a. Digestión:

Se enciende el digestor 10 minutos antes de comenzar la digestión. colocando el regulador de potencia en posición 9.

Se pesa 0.5 g de muestra. Se envuelven en papel toalla y se introduce en el tubo de digestión, se le agregan 10ml de H_2SO_4 (96-98%) + 1 tableta Kjeldahl y se coloca en digestión por 30 a 45 minutos. permitiendo temperaturas de hasta 450℃.

Se retiran los tubos a una gradilla y se dejan enfriar media hora aproximadamente.

Encender el destilador de nitrógeno 15 minutos después de haber comenzado la digestión. Colocar en un tubo de digestión con 100 ml de agua destilada, simulando una destilación durante 5 minutos (precalentamiento).

La digestión produce gases prejudiciales. Estos se pueden eliminar ya sea disipándolos en la atmosfera, o eliminándolos por cañería, absorbidos en agua. En nuestro caso los gases tóxicos provocados por la digestión son recuperados por el extractor de gases que los convierte en CO_2 y H_2O que son eliminados con la ayuda de una cámara de extracción, por cañería (alcantarilla). En el extractor de gases hay una solución de carbonato de sodio.

b. Destilación:

- Colocar el tubo con la muestra en el destilador
- En un erlenmeyer se miden 30 ml de ácido bórico al 2% al cual ya se le ha adicionado el indicador mixto.
- Se lleva el erlenmeyer al destilador de nitrógeno por debajo del tubo de salida del destilador. Asegurándose que la punta del condensador está totalmente sumergido dentro del ácido bórico.
- Se programa el destilador para que adicione a la muestra NaOH al 325 (70 ml) y agua destilada (50 ml) durante 5 minutos.

En la digestión del sulfato ácido de amonio por medio de un exceso de álcali fuerte se liberara amoniaco, el cual se recoge por destilación sobre ácido bórico que está en el erlenmeyer.

c. Titulación

- Se lleva el erlenmeyer con la muestra para la titulación con la bureta.

Titulación del borato de amonio formado con la solución de HCl o H_2SO_4 o.1 N. usando como indicador rojo de metilo-verde bromocresol. La solución para de un

color verde a un color original que tenía el ácido bórico con su respectivo indicador.

Cálculo

N_2 expresado en materia seca, titulando con H_2SO_4

a. %N= ml H_2SO_4 corregidos gastados en el proceso sw titulación X Normalidad del ácido X m-equivalente de Nitrógeno X100/(peso de la muestra X% de materia seca)
b. m- equivalentes de N para H_2SO_4= $Peso_{molecular}$/1000=14/1000=0.014
c. Muestra blanco se gastó en la titulación 0.2 ml de H_2SO_4
d. Mililitros de H_2SO_4-0.02= mililitros de H_2SO_4 corregidos gastados en el proceso de titulación ó.
e. % de proteína=% de Nitrógeno X 6.25% para forrajes y concentrados.

Ejemplo materia prima torta de soya, titulando con Ácido sulfúrico:

ml gastados en la titulación= 26.5- 0.2 = 26.3 ml

% de Nitrógeno expresado en materia seca=26.3x0.1x0.014x100/0.5x0.93=8.08%

Anexo VIII. Determinación del contenido en fibra

Las fibras son los componentes de las paredes celulares de los vegetales. Se componen de dos clases de componentes: los carbohidratos y la lignina. Los primeros son polímeros de azúcares, moléculas de 5 a 6 átomos de carbono, en forma de anilina, que forman cadenas lineales o ramificaciones, de tamaño variable. La proporción de H y O en comparación con el C es de (C/H/O): 1/2/1 (C/H_2O: Carbo-hidratos). La lignina es una asociación tridimensional de polímeros que tienen como unidades alcoholes con núcleos fenil-propanos.

Existen dos métodos de laboratorio, por los cuales se puede determinar el contenido en fibras de un material:

- Fibra bruta o fibra de Weende (Determinación con Breakers y Crisoles)
- Fibra cruda o método de Van Soest (Determinación con equipo Ankom)

Para los dos métodos se realiza el mismo procedimiento:

- Con el H_2SO_4 0.255 N se hidrolizan o se solubilizan los carbohidratos (almidones, azucares, peptínas y vitaminas hidrosolubles)
- Con el NaOH 0.313 N. se hidrolizan las proteínas y se rompen los enlaces peptídico. quedando completamente la pared celular y todo el material liposoluble.
- Con el alcohol se leda un enjuague ácido y rápido con el fin de sacar algunos pigmentos (clorofilas. colorantes. etc.)

Preparación de soluciones

a. Para preparar 1 litro de H_2SO_4 (96%) 0.255 N: se requieren 7 ml de H_2SO_4(96%) 0.255 N + agua destilada hasta completar 1 litro de solución
b. Para preparar 1 litro de NaOH (99%) 0313 N: Se requieren 12.52 g de NaOH 0.313 N + agua destilada hasta completar 1 litro de la solución.

Nota para los dos métodos se preparan las mismas soluciones respecto a concentración, respecto a volúmenes difieren solamente en la cantidad de muestras a analizar.

Fibra bruta o fibra de Weende

Este método fue desarrollado por el Instituto de investigación Weende, en Alemania, cuando se propuso el sistema de análisis proximal en 1860. En este método se trabaja con Beakers y Crisoles. El principio es el de tratar una muestra en una solución de ácido diluido, y luego en una solución alcalina. Los residuos, después de la filtración corresponden a la fracción fibrosa o fibra bruta.

Aunque mucho se utilizó esta técnica; actualmente, se utiliza poco, ya que no permite una buena caracterización de la fracción fibrosa. Por ejemplo, el tratamiento permite el aislamiento de 30 a 100% de la celulosa, según el alimento estudiado, de 14 a 20 % de las hemicelulosas y de 16 a 100% de la lignina.

Material y equipo

- Digestor.
- Beaker de 600 ml.
- Bomba de vacio.
- Crisoles con filtro vidrio para fibra.
- Embudo de porcelana.
- Mufla.
- Desecador.
- Balanza analítica.
- Espátulas.
- Erlenmeyer con desprendimiento lateral.

Reactivos

- Acido sulfúrico (H_2SO_4) (98%).
- Hidróxido de sodio.
- Etanol o alcohol etílico (95%).
- Papel filtro 150 ø mm.

Procedimiento

- Use una muestra libre de grasa. El residuo después del extracto con éter es ideal.
- Calentar las hornillas, estas deben estar calientes cuando los beaker se coloquen con ellas.
- Coloque las muestras en los beakers y agregue 250 ml 0.255 N de H_2SO_4. Las muestras deben hervir 30 minutos.

- Filtrar la solución caliente en un embudo de boca ancha con el frasco de solución de la bomba de vacío. Lavar con agua caliente hasta que el agua en que se lava no tenga reacción acida (300 ml es suficiente). Filtre en la bomba de vacío.
- Regrese el residuo del al beaker original. utilizando el frasco lavador conteniendo una solución de NaOH (0.313) hasta completar 250 ml. Hervir 30 minutos en el digestor de fibra.
- Filtrar como se hizo anteriormente.
- Se coloca el residuo en un beaker y se remueve las partículas con etanol y posteriormente se pasa el residuo a un crisol con filtro de vidrio y se filtra en la bomba de vacío.
- Seque el crisol y el residuo durante 8 horas a 102℃.
- Enfríelo y péselo (**peso inicial o peso seco de muestra + crisol**).
- Queme la muestra en la mufla entre 500 a 600 ℃ ha sta que el contenido tome un color blanco (aproximadamente una hora). Colocar en un desecador, enfriar y pesar (peso final o peso crisol + ceniza).

Cálculos

$$\%\ Fibra\ cruda = \frac{\left[(Peso_{fibra} + Peso_{crisol}) - (Peso_{crisol+ceniza})\right]}{Peso_{mustra}\ x\ \%MS}\ x\ 100$$

Anexo IX. ANDEVA realizado para el primer ciclo del cultivo (26 de agosto al 29 de septiembre de 2009)

EVAPOTRANSPIRACIÓN

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	41	3214287.440	78397.255	37.93	<.0001	0.702666	24.54180
Error	658	1360130.150	2067.067				
Total correcto	699	4574417.589					

EVAPOTRANSPIRACIÓN

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Tratamiento	4	1606431.539	401607.885	194.29	<.0001
Repetición	3	530.487	176.829	0.09	0.9679
Día	34	1607325.414	47274.277	22.87	<.0001

Kc

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	43	155.0152235	3.6050052	77.76	<.0001	0.835989	19.53082
Error	656	30.4120480	0.0463598				
Total correcto	699	185.4272714					

Kc

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Etapa	2	21.77567290	10.88783645	234.85	<.0001
Día	34	75.22187143	2.21240798	47.72	<.0001
Tratamiento	4	58.00197000	14.50049250	312.78	<.0001
Repetición	3	0.01570914	0.00523638	0.11	0.9525

ALTURA DE PLANTA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	9	3906.254055	434.028228	41.96	<.0001	0.883088	21.03485
Error	50	517.149803	10.342996				
Total correcto	59	4423.403858					

ALTURA DE PLANTA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Tratamiento	4	831.625500	207.906375	20.10	<.0001
Repetición	3	11.203472	3.734491	0.36	0.7814
Días después de siembra	2	3063.425083	1531.712542	148.09	<.0001

DIÁMETRO DE TALLO

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	9	0.58656500	0.06517389	40.71	<.0001	0.878067	19.11367
Error	50	0.08145333	0.00162907				
Total correcto	59	0.66801833					

DIÁMETRO DE TALLO

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Tratamiento	4	0.12964333	0.03241083	19.90	<.0001
Repetición	3	0.00061833	0.0020611	0.13	0.9440
Días después de siembra	2	0.45630333	0.22815167	140.05	<.0001

No. HOJAS BASALES

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	9	199.1386667	22.1265185	144.15	<.0001	0.962891	9.254699
Error	50	7.6746667	0.1534933				
Total correcto	59	206.8133333					

NÚMERO DE HOJAS BASALES

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Tratamiento	4	7.3600000	1.8400000	11.99	<.0001
Repetición	3	0.1413333	0.0471111	0.31	0.8203
Días después de siembra	2	191.6373333	95.8186667	624.25	<.0001

RENDIMIENTO

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	7	442677.6000	63239.6571	14.00	<.0001	0.890916	22.53761
Error	12	54201.6000	4516.8000				
Total correcto	19	496879.2000					

RENDIMIENTO

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Tratamiento	4	428659.2000	107164.8000	23.73	<.0001
Repetición	3	14018.4000	4672.8000	1.03	0.4122

MATERIA SECA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	7	5589.072320	855.581760	13.16	<.0001	0.884760	21.80746
Error	12	780.076800	65.006400				
Total correcto	19	6769.149120					

MATERIA SECA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Tratamiento	4	5781.841920	1445.460480	22.24	<.0001
Repetición	3	207.230400	69.076800	1.06	0.4012

VALORACIÓN VISUAL DE LA APARIENCIA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	7	15.300000	2.18571429	10.49	0.0003	0.859551	11.70347
Error	12	2.500000	0.20833333				
Total correcto	19	17.800000					

VALORACIÓN VISUAL DE LA APARIENCIA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Tratamiento	4	14.300000	3.57500000	17.16	<.0001
Repetición	3	1.000000	0.3333333	1.60	0.2411

DETERIORO FISIOLOGICO (120 minutos después de cosecha)

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	7	19.900000	2.55714286	7.48	0.0014	0.813636	29.22613
Error	12	4.100000	0.34166667				
Total correcto	19	22.00000					

DETERIORO FISIOLOGICO (120 minutos después de cosecha)

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Tratamiento	4	13.500000	3.37500000	9.88	0.0009
Repetición	3	4.400000	1.46666667	4.29	0.0283

Anexo X. ANDEVA realizado para el segundo ciclo del cultivo (07 de octubre al 10 de noviembre de 2009)

EVAPOTRANSPIRACIÓN

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	41	3309597.979	80721.902	60.61	<.0001	0.790646	19.0646
Error	658	876343.701	1331.829				
Total correcto	699	4185941.679					

EVAPOTRANSPIRACIÓN

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Tratamiento	4	1246908.511	311727.128	234.06	<.0001
Repetición	3	426.326	142.109	0.11	0.9562
Día	34	2062263.142	60654.798	45.54	<.0001

Kc

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	43	193.9333900	4.5100788	167.39	<.0001	0.916474	13.37677
Error	656	17.6748648	0.0269434				
Total correcto	699	211.6082549					

Kc

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Etapa	2	32.99034145	16.49517073	612.22	<.0001
Día	34	99.28436486	2.92012838	108.38	<.0001
Tratamiento	4	61.64755343	15.41188836	572.01	<.0001
Repetición	3	0.1113029	0.00371010	0.14	0.9375

ALTURA DE PLANTA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	9	2927.998667	325.333185	29.58	<.0001	0.84188	19.081222
Error	50	549.897333	10.997947				
Total correcto	59	3477.896000					

ALTURA DE PLANTA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Tratamiento	4	381.869333	95.467333	8.68	<.0001
Repetición	3	30.733333	10.244444	0.93	0.4325
Días después de siembra	2	2515.396000	1257.698000	114.36	<.0001

DIÁMETRO DE TALLO

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	9	1.0332333	0.11459148	72.30	<.0001	0.928640	15.27317
Error	50	0.07925000	0.00158500				
Total correcto	59	1.11057333					

DIÁMETRO DE TALLO

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Tratamiento	4	0.08457333	0.02114333	13.34	<.0001
Repetición	3	0.00270667	0.00090222	0.57	0.6379
Días después de siembra	2	0.94404333	0.47202167	297.81	<.0001

No. HOJAS BASALES

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	9	154.5166667	17.1685185	82.02	<.0001	0.936559	10.936559
Error	50	10.4666667	0.2093333				
Total correcto	59	164.9833333					

No. HOJAS BASALES

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Tratamiento	4	5.9000000	1.4750000	7.05	0.0001
Repetición	3	0.1833333	0.0611111	0.29	0.8310
Días después de siembra	2	148.4333333	74.2166667	354.54	<.0001

RENDIMIENTO

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	7	215774.2807	30824.8972	13.72	<.0001	0.888941	16.85650
Error	12	26957.4552	2246.4546				
Total correcto	19	242731.7359					

RENDIMIENTO

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Tratamiento	4	199268.8027	49817.2007	22.18	<.0001
Repetición	3	16505.4780	5501.8260	2.45	0.1139

MATERIA SECA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	7	2336.256000	333.750857	10.62	0.0003	0.861055	15.67393
Error	12	376.992000	31.416000				
Total correcto	19	2713.248000					

MATERIA SECA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Tratamiento	4	2194.848000	548.712000	17.47	<.0001
Repetición	3	141.408000	47.136000	1.50	0.2645

VALORACIÓN VISUAL DE LA APARIENCIA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	7	15.4000000	2.2000000	33.00	<.0001	0.950617	7.824209
Error	12	0.8000000	0.0666666				
Total correcto	19	16.200000’					

VALORACIÓN VISUAL DE LA APARIENCIA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Tratamiento	4	15.200000	3.80000000	57.00	<.0001
Repetición	3	0.200000	0.06666667	1.00	0.4262

DETERIORO FISIOLOGICO (120 minutos después de cosecha)

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	7	13.26234500	1.89462071	9.37	0.0005	0.845340	22.45540
Error	12	2.42643000	0.20220250				
Total correcto	19	15.68877500					

DETERIORO FISIOLOGICO (120 minutos después de cosecha)

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Tratamiento	4	12.76945000	3.19236250	15.79	0.0001
Repetición	3	0.49289500	0.16429833	0.81	0.5112

Anexo XI. ANDEVA realizado para los dos ciclos del cultivo

EVAPOTRANSPIRACIÓN

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	42	5631172.869	134075.544	58.10	<.0001	0.642615	26.12205
Error	1357	3131736.456	2307.838				
Total correcto	1399	8762909.325					

EVAPOTRANSPIRACIÓN

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Día	34	2786580.318	81958.245	35.51	<.0001
Ciclo	1	2550.056	2550.056	1.10	0.2934
Tratamiento	4	2841401.979	710350.495	307.80	<.0001
Repetición	3	640.516	213.505	0.09	0.9642

Coeficientes de correlación Pearson, N = 1400

Prob > |r| suponiendo H0: Rho=0, para la Evapotranspiración

	Evapotranspiración (EVPT)	Temperatura (Temp)	Humedad Relativa (HR)	Radiación Ultravioleta (Uv)	Radiación Solar (Sun)	Velocidad Viento (Wind)
EVPT	1.00000	0.14844 <.0001	0.00149 0.9557	0.29383 <.0001	0.26558 <.0001	0.08144 0.0023
Temp	0.14844 <.0001	1.00000	-0.71181 <.0001	0.17660 <.0001	0.28662 <.0001	0.16989 <.0001
HR	0.00149 0.9557	-0.71181 <.0001	1.00000	-0.14864 <.0001	-0.08159 0.0022	0.10695 <.0001
Uv	0.29383 <.0001	0.17660 <.0001	-0.14864 <.0001	1.00000	0.51052 <.0001	0.13880 <.0001
Sun	0.26558	0.28662	-0.08159	0.51052	1.00000	0.04182
Wind	0.08144 0.0023	0.16989 <.0001	-0.10695 <.0001	0.13880 <.0001	0.04182 0.1178	1.00000

Kc

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	44	285.0858105	6.4792230	74.79	<.0001	0.708333	25.27015
Error	1355	117.3885070	0.0866336				
Total correcto	1399	402.4743174					

Kc

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Ciclo	1	5.4387911	5.4387911	62.78	<.0001
Etapa	2	46.6690659	23.3345329	269.35	<.0001
Día	34	113.3452924	3.3336851	38.48	<.0001
Tratamiento	4	119.6157910	29.9039477	345.18	<.0001
Repetición	3	0.0168700	0.0056233	0.06	0.9784

Coeficientes de correlación Pearson, N = 1400

Prob > |r| suponiendo H0: Rho=0, para el Kc.

	Evapotranspiración (EVPT)	Temperatura (Temp)	Humedad Relativa (HR)	Radiación Ultravioleta (Uv)	Radiación Solar (Sun)	Velocidad Viento (Wind)
Kc	1.00000	-0.06032	0.15729	0.23538	0.14887	0.00436
		0.0240	<.0001	<.0001	<.0001	0.8707
Temp	-0.06032	1.00000	-0.71181	0.17660	0.28662	0.16989
	0.0240		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Hum	0.15729	-0.71181	1.00000	-0.14864	-0.08159	-0.10695
	<.0001	<.0001		<.0001	0.0022	<.0001
Uv	0.23538	0.17660	-0.14864	1.00000	0.51052	0.13880
	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001
Sun	0.14887	0.28662	-0.08159	0.51052	1.00000	0.04182
	<.0001	<.0001	0.0022	<.0001		0.1178
Wind	0.00436	0.16989	-0.10695	0.13880	0.04182	1.00000
	0.8707	<.0001	<.0001	<.0001	0.1178	

ALTURA DE PLANTA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	10	6872.722948	687.72295	64.60	<.0001	0.855620	19.96899
Error	109	1159.724431	10.639674				
Total correcto	119	8032.447379					

ALTURA DE PLANTA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Ciclo	1	131.147521	131.147521	12.33	0.0007
Tratamiento	4	1165.943250	291.485812	27.40	<.0001
Repetición	3	31.645136	10.548379	0.99	0.3997
Días después de siembra	2	5543.987042	2771.993521	260.53	<.0001

DIÁMETRO DE TALLO

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	10	1.59149667	0.15914967	66.57	<.0001	0.859293	20.72609
Error	109	0.26060250	0.00239085				
Total correcto	119	1.85209917					

DIÁMETRO DE TALLO

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Ciclo	1	0.07350750	0.07350750	30.75	<.0001
Tratamiento	4	0.21104500	0.05276125	22.07	<.0001
Repetición	3	0.00158250	0.00052750	0.22	0.8819
Días después de siembra	2	1.30536167	0.65268083	272.99	<.0001

No. HOJAS BASALES

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	10	351.5726667	35.1572667	188.78	<.0001	0.945414	10.25449
Error	109	20.2990000	0.1862294				
Total correcto	119						

No. HOJAS BASALES

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Ciclo	1	0.0750000	0.0750000	0.40	0.5270
Tratamiento	4	13.0800000	3.2700000	17.56	<.0001
Repetición	3	0.2090000	0.0696667	0.37	0.7719
Días después de siembra	2	338.2086667	169.1043333	908.04	<.0001

RENDIMIENTO

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	8	605604.9132	75700.6142	17.42	<.0001	0.815620	22.94005
Error	31	136903.5076	4416.2422				
Total correcto	39	742508.4208					

RENDIMIENTO

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Ciclo	1	2897.4848	2897.4848	0.66	0.4241
Tratamiento	4	591052.3294	147763.0823	33.46	<.0001
Repetición	3	11655.0990	3885.0330	0.88	0.4623

MATERIA SECA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	8	7446.664800	930.833100	14.07	<.0001	0.784100	22.36378
Error	31	2050.421760	66.142637				
Total correcto	39	9497.086560					

MATERIA SECA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Ciclo	1	14.689440	14.689440	0.22	0.6408
Tratamiento	4	7289.710560	1822.427640	27.55	<.0001
Repetición	3	142.264800	47.421600	0.72	0.5494

VALORACIÓN VISUAL DE LA APARIENCIA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	8	33.5500000	4.19375000	32.10	<.0001	0.892287	10.04024
Error	31	4.05000000	0.13064516				
Total correcto	39	37.6000000					

VALORACIÓN VISUAL DE LA APARIENCIA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Ciclo	1	3.600000000	3.60000000	27.56	<.0001
Tratamiento	4	29.3500000	7.33750000	56.16	<.0001
Repetición	3	0.60000000	0.20000000	1.53	0.2261

DETERIORO FISIOLOGICO (120 minutos después de cosecha)

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	8	28.01773500	3.50221687	11.23	<.0001	0.743396	27.90974
Error	31	9.67110250	0.31197105				
Total correcto	39	37.68883750					

DETERIORO FISIOLOGICO (120 minutos después de cosecha)

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Ciclo	1	0.00006250	0.00006250	0.00	0.9888
Tratamiento	4	25.53722500	6.38430625	20.46	<.0001
Repetición	3	2.48044750	0.82681583	2.65	0.0661

MATERIA SECA ANÁLITICA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	5	14.41759000	2.88351800	46.05	0.0013	0.982925	0.272925
Error	4	0.25046000	0.06261500				
Total correcto	9	14.66805000					

MATERIA SECA ANÁLITICA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Ciclo	1	13.38649000	13.38649000	213.79	0.0001
Tratamiento	4	1.03110000	0.25777500	4.12	0.0997

CENIZAS

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	5	35.25833000	7.05166600	2.84	0.1669	0.780209	6.997638
Error	4	9.93256000	2.48314000				
Total correcto	9	45.19089000					

CENIZAS

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Ciclo	1	12.25449000	12.25449000	4.94	0.0905
Tratamiento	4	23.00384000	5.75096000	2.32	0.2180

PROTEINAS

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	5	42.64063000	8.52812600	9.22	0.0257	0.920175	4.575132
Error	4	3.69906000	0.92476500				
Total correcto	9	46.33969000					

PROTEINAS

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Ciclo	1	0.69169000	0.69169000	0.75	0.4359
Tratamiento	4	41.94894000	10.48723500	11.34	0.0186

EXTRACTO ÉTERO

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	5	21.03249000	4.20649800	3.27	0.1370	0.803488	25.20603
Error	4	5.14400000	1.28600000				
Total correcto	9	26.17649000					

EXTRACTO ÉTERO

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Ciclo	1	20.02225000	20.02225000	15.57	0.0169
Tratamiento	4	1.01024000	0.25256000	0.20	0.9280

CARBOHIDRATOS

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	5	102.7807400	20.5561480	4.88	0.0749	0.859178	6.417128
Error	4	16.8460600	4.2115150				
Total correcto	9	119.6268000					

CARBOHIDRATOS

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Ciclo	1	20.96704000	20.96704000	4.98	0.0895
Tratamiento	4	81.81370000	20.45342500	4.86	0.0775

FIBRA DETERGENTE NEUTRA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coeficiente de variación
Modelo	5	31.09895000	6.21979000	0.98	0.5221	0.550714	12.60319
Error	4	25.37126000	6.34281500				
Total correcto	9	56.47021000					

FIBRA DETERGENTE NEUTRA

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Ciclo	1	17.87569000	17.87569000	2.82	0.1685
Tratamiento	4	13.22326000	3.30581500	0.52	0.7283

Anexo XII. Contenidos nutricionales obtenidos después de la cosecha para las dos épocas del desarrollo del cultivo

Ciclo 1

Tratamientos	1	2	3	4	5
Láminas (mm)	**140**	**160**	**200**	**240**	**280**
Materia seca (%)	95.20	91.36	94.41	95.27	94.80
Cenizas (%)	22.47	24.40	22.77	21.41	20.67
Proteína (%)	21.76	22.12	21.13	19.74	17.31
Extracto Etéreo (%)	6.88	6.13	7.11	6.20	4.47
FDN (%)	21.64	21.03	19.58	18.76	21.76
Carbohidratos (%)	27.25	26.32	29.41	33.89	35.79

Ciclo 2

Tratamientos	1	2	3	4	5
Láminas (mm)	**140**	**160**	**200**	**240**	**280**
Materia seca (%)	90.48	89.66	91.04	90.88	90.48
Cenizas (%)	23.45	26.76	23.94	22.81	21.17
Proteína (%)	23.39	21.51	22.52	21.01	17.98
Extracto Etéreo (%)	6.21	5.92	7.07	6.06	4.31
FDN (%)	19.70	19.49	17.06	16.23	20.75
Carbohidratos (%)	27.25	26.32	29.41	33.89	35.79

Anexo XIII. Datos climatológicos promedios obtenidos por la estación meteorológica dentro del invernadero del 26 de agosto al 29 de septiembre de 2009 (Ciclo 1)

Día	Temperatura (℃)	Humedad relativa (%)	Radiación Ultravioleta (MEDs)	Radiación solar (W.m-2)	Presión atmosférica (mm)	Velocidad del viento (km.h-1)
1	29.33	45.67	0.37	176.67	676.17	3.33
2	29.00	49.33	0.33	119.00	677.03	0.67
3	29.67	47.00	0.37	283.00	676.70	0.67
4	28.67	50.33	0.33	155.00	676.27	1.67
5	27.33	53.33	0.30	106.33	677.40	1.67
6	28.67	48.67	0.30	71.43	675.97	0.00
7	35.00	40.00	0.37	163.33	677.43	1.00
8	35.67	29.00	0.37	215.33	677.57	2.33
9	33.67	33.67	0.33	211.33	676.20	1.67
10	32.33	37.33	0.33	195.00	676.47	1.67
11	29.33	45.67	0.30	90.33	677.30	0.00
12	34.67	26.67	0.33	174.33	676.83	0.00
13	30.67	37.33	0.37	192.33	677.27	1.67
14	29.67	42.00	0.33	136.00	676.77	0.00
15	30.67	41.33	0.33	140.67	676.03	1.00
16	29.67	42.33	0.33	230.67	676.80	1.00
17	29.67	42.00	0.33	170.00	677.40	1.33
18	27.33	43.67	0.40	103.00	678.57	1.00
19	28.67	44.33	0.33	130.00	678.20	0.67
20	31.33	34.33	0.37	166.00	678.23	1.33
21	31.00	37.67	0.33	187.67	677.70	0.67
22	27.67	42.33	0.33	171.33	678.83	1.67
23	29.33	49.67	0.33	160.67	678.37	1.67
24	28.33	50.00	0.37	206.67	678.27	1.00
25	28.33	54.67	0.37	167.33	677.23	0.67
26	30.00	45.33	0.33	100.67	677.00	1.67
27	29.67	43.67	0.37	134.33	676.90	1.67
28	29.67	45.67	0.37	185.00	675.97	1.67
29	27.67	46.67	0.37	107.67	676.23	1.67
30	31.00	41.33	0.40	283.67	675.00	1.00
31	30.67	41.67	0.40	281.67	675.17	1.67
32	29.50	43.00	0.40	368.00	677.00	0.00
33	29.33	41.00	0.40	163.67	676.30	1.00
34	29.67	40.00	0.37	195.33	676.23	0.67
35	29.00	42.67	0.37	235.33	676.53	0.67
Media	30.05	42.84	0.35	176.54	676.95	1.14

Anexo XIV. Datos climatológicos promedios obtenidos por la estación meteorológica dentro del invernadero del 07 de octubre al 10 de noviembre de 2009 (Ciclo 2)

Día	Temperatura (℃)	Humedad relativa (%)	Radiación Ultravioleta (MEDs)	Radiación solar (W.m-2)	Presión atmosférica (mm)	Velocidad del viento (km.h-1)
1	29.67	39.33	0.30	152.00	676.43	1.00
2	28.33	48.33	0.30	196.33	677.33	0.67
3	29.00	48.67	0.30	270.67	677.10	1.00
4	32.67	30.67	0.37	167.67	676.40	1.00
5	29.33	38.00	0.30	111.00	677.20	1.00
6	25.67	45.67	0.33	114.00	676.90	0.67
7	25.00	49.67	0.30	53.00	677.23	0.67
8	27.00	58.33	0.33	142.67	677.97	0.00
9	24.00	58.00	0.30	16.33	677.60	2.00
10	26.67	60.00	0.33	185.67	677.43	0.67
11	29.33	46.00	0.37	215.00	675.87	2.00
12	27.33	55.33	0.33	179.00	676.87	2.00
13	29.00	51.67	0.33	176.00	677.20	0.67
14	27.33	55.33	0.37	287.67	677.00	0.00
15	27.67	60.67	0.37	263.33	677.23	1.33
16	28.33	47.00	0.37	268.00	676.43	1.67
17	30.00	46.33	0.37	190.67	677.57	1.67
18	30.67	39.33	0.37	282.00	675.83	3.33
19	27.00	58.00	0.33	163.67	677.03	0.33
20	27.00	52.67	0.37	131.33	676.67	2.33
21	29.67	62.67	0.37	296.00	676.80	0.67
22	31.33	48.00	0.37	254.00	676.57	2.33
23	28.33	44.67	0.37	219.00	675.73	0.67
24	29.33	43.67	0.33	212.33	675.90	1.00
25	29.00	44.67	0.37	281.33	677.27	1.67
26	28.33	47.67	0.33	183.67	677.20	0.00
27	27.33	52.33	0.30	88.67	679.17	0.67
28	27.67	41.00	0.40	199.00	678.47	0.67
29	28.67	45.33	0.33	230.00	678.17	0.67
30	30.00	46.00	0.30	184.67	677.07	1.00
31	28.33	48.00	0.37	197.00	678.67	0.00
32	29.33	55.00	0.37	117.67	680.43	1.33
33	27.33	43.00	0.40	269.00	677.60	0.67
34	28.33	44.67	0.40	145.67	678.70	0.00
35	29.00	52.67	0.37	249.00	677.87	0.67
Media	28.37	48.81	0.35	191.23	677.28	1.03

Anexo XV. Datos de la evaporación dados por el microevaporimetro entre el 26 de agosto al 29 de septiembre de 2009 (Ciclo 1)

Día	Volumen evaporado* (cm3.día-1)	Lámina evaporada* (mm.día-1)	Volumen evaporado** (corregida) (cm3.día-1)	Lámina evaporada** (Corregida) (m.día-1)
1	400.00	3.47	384.62	3.34
2	250.00	2.17	240.38	2.09
3	235.00	2.04	225.96	1.96
4	245.00	2.13	235.58	2.05
5	185.00	1.61	177.88	1.54
6	210.00	1.82	201.92	1.75
7	295.00	2.56	283.65	2.46
8	298.00	2.59	286.54	2.49
9	332.50	2.89	319.71	2.78
10	320.00	2.78	307.69	2.67
11	310.00	2.69	298.08	2.59
12	300.00	2.60	288.46	2.50
13	380.00	3.30	365.38	3.17
14	340.00	2.95	326.92	2.84
15	285.00	2.47	274.04	2.38
16	245.00	2.13	235.58	2.05
17	247.50	2.15	237.98	2.07
18	245.00	2.13	235.58	2.05
19	180.00	1.56	173.08	1.50
20	250.00	2.17	240.38	2.09
21	350.00	3.04	336.54	2.92
22	287.50	2.50	276.44	2.40
23	195.00	1.69	187.50	1.63
24	215.00	1.87	206.73	1.80
25	265.00	2.30	254.81	2.21
26	235.00	2.04	225.96	1.96
27	290.00	2.52	278.85	2.42
28	280.00	2.43	269.23	2.34
29	215.00	1.87	206.73	1.80
30	290.00	2.52	278.85	2.42
31	275.00	2.39	264.42	2.30
32	320.00	2.78	307.69	2.67
33	310.00	2.69	298.08	2.59
34	180.00	1.56	173.08	1.50
35	240.00	2.08	230.77	2.00
Media	271.44	2.36	261.00	2.27

* Datos obtenidos por el tanque microevaporimetro, **Datos ajustados por una constante de 1.04 para calibrarlo con el tanque clase A.

Anexo XVI. Datos de la evaporación dados por el microevaporimetro entre 07 de octubre al 10 de noviembre de 2009 (Ciclo 2)

Día	Evaporación* (cm3.día-1)	Lámina evaporada* (m.día-1)	Evaporación** (corregida) (cm3.día-1)	Lámina evaporada** (Corregida) (mm.día-1)
1	350.00	2.86	336.54	2.75
2	275.00	2.25	264.42	2.16
3	225.00	1.84	216.35	1.77
4	335.00	2.74	322.12	2.63
5	305.00	2.49	293.27	2.40
6	160.00	1.31	153.85	1.26
7	155.00	1.27	149.04	1.22
8	225.00	1.84	216.35	1.77
9	200.00	1.63	192.31	1.57
10	115.00	0.94	110.58	0.90
11	275.00	2.25	264.42	2.16
12	305.00	2.49	293.27	2.40
13	215.00	1.76	206.73	1.69
14	190.00	1.55	182.69	1.49
15	180.00	1.47	173.08	1.41
16	235.00	1.92	225.96	1.85
17	230.00	1.88	221.15	1.81
18	255.00	2.08	245.19	2.00
19	210.00	1.72	201.92	1.65
20	210.00	1.72	201.92	1.65
21	275.00	2.25	264.42	2.16
22	230.00	1.88	221.15	1.81
23	220.00	1.80	211.54	1.73
24	245.00	2.00	235.58	1.93
25	290.00	2.37	278.85	2.28
26	195.00	1.59	187.50	1.53
27	185.00	1.51	177.88	1.45
28	210.00	1.72	201.92	1.65
29	295.00	2.41	283.65	2.32
30	245.00	2.00	235.58	1.93
31	200.00	1.63	192.31	1.57
32	170.00	1.39	163.46	1.34
33	205.00	1.68	197.12	1.61
34	210.00	1.72	201.92	1.65
35	260.00	2.12	250.00	2.04
Media	231.00	1.89	222.12	1.82

* Datos obtenidos por el tanque microevaporimetro.

**Datos ajustados por una constante de 1.04 para calibrarlo con el tanque clase A.

Anexo XVII. Datos de evapotranspiración de referencia entre el 26 de agosto al 29 de septiembre de 2009 (Ciclo 1)

Día	Evaporación (cm3.día-1)	F (m)	U(Km.día-1)	HR (%)	Kp	Eto
1	384.62	1.00	80.00	45.67	0.66	252.85
2	240.38	1.00	16.00	49.33	0.70	167.78
3	225.96	1.00	16.00	47.00	0.69	155.34
4	235.58	1.00	40.00	50.33	0.69	163.36
5	177.88	1.00	40.00	53.33	0.71	125.76
6	201.92	1.00	0.00	48.67	0.70	141.55
7	283.65	1.00	24.00	40.00	0.65	185.22
8	286.54	1.00	56.00	29.00	0.59	169.47
9	319.71	1.00	40.00	33.67	0.62	197.73
10	307.69	1.00	40.00	37.33	0.63	195.37
11	298.08	1.00	0.00	45.67	0.69	204.93
12	288.46	1.00	0.00	26.67	0.60	173.65
13	365.38	1.00	40.00	37.33	0.63	232.00
14	326.92	1.00	0.00	42.00	0.67	219.37
15	274.04	1.00	24.00	41.33	0.66	180.58
16	235.58	1.00	24.00	42.33	0.66	156.30
17	237.98	1.00	32.00	42.00	0.66	156.82
18	235.58	1.00	24.00	43.67	0.67	157.71
19	173.08	1.00	16.00	44.33	0.68	116.91
20	240.38	1.00	32.00	34.33	0.62	150.11
21	336.54	1.00	16.00	37.67	0.65	217.23
22	276.44	1.00	40.00	42.33	0.66	181.75
23	187.50	1.00	40.00	49.67	0.69	129.46
24	206.73	1.00	24.00	50.00	0.70	144.29
25	254.81	1.00	16.00	54.67	0.72	183.97
26	225.96	1.00	40.00	45.33	0.67	151.61
27	278.85	1.00	40.00	43.67	0.66	185.00
28	269.23	1.00	40.00	45.67	0.67	181.05
29	206.73	1.00	40.00	46.67	0.68	139.95
30	278.85	1.00	24.00	41.33	0.66	183.75
31	264.42	1.00	40.00	41.67	0.65	173.05
32	307.69	1.00	0.00	43.00	0.68	207.85
33	298.08	1.00	24.00	41.00	0.66	195.98
34	173.08	1.00	16.00	40.00	0.66	113.54
35	230.77	1.00	16.00	42.67	0.67	154.15

Anexo XVIII. Datos de evapotranspiración de referencia entre el entre 07 de octubre al 10 de noviembre de 2009. (Ciclo 2)

Día	Evaporación (cm3.día-1)	F (m)	U(Km.día-1)	HR (%)	Kp	Eto
1	336.54	1.00	24.00	39.33	0.65	218.74
2	264.42	1.00	16.00	48.33	0.69	183.37
3	216.35	1.00	24.00	48.67	0.69	149.71
4	322.12	1.00	24.00	30.67	0.61	196.80
5	293.27	1.00	24.00	38.00	0.64	188.86
6	153.85	1.00	16.00	45.67	0.68	104.84
7	149.04	1.00	16.00	49.67	0.70	104.25
8	216.35	1.00	0.00	58.33	0.74	161.07
9	192.31	1.00	48.00	58.00	0.72	139.41
10	110.58	1.00	16.00	60.00	0.75	82.49
11	264.42	1.00	48.00	46.00	0.67	177.42
12	293.27	1.00	48.00	55.33	0.71	209.09
13	206.73	1.00	16.00	51.67	0.71	146.47
14	182.69	1.00	0.00	55.33	0.73	133.55
15	173.08	1.00	32.00	60.67	0.74	128.59
16	225.96	1.00	40.00	47.00	0.68	153.31
17	221.15	1.00	40.00	46.33	0.68	149.38
18	245.19	1.00	80.00	39.33	0.63	154.21
19	201.92	1.00	8.00	58.00	0.74	149.42
20	201.92	1.00	56.00	52.67	0.70	140.93
21	264.42	1.00	16.00	62.67	0.76	200.43
22	221.15	1.00	56.00	48.00	0.68	149.71
23	211.54	1.00	16.00	44.67	0.68	143.21
24	235.58	1.00	24.00	43.67	0.67	157.71
25	278.85	1.00	40.00	44.67	0.67	186.26
26	187.50	1.00	0.00	47.67	0.70	130.59
27	177.88	1.00	16.00	52.33	0.71	126.56
28	201.92	1.00	16.00	41.00	0.66	133.37
29	283.65	1.00	16.00	45.33	0.68	192.88
30	235.58	1.00	24.00	46.00	0.68	160.19
31	192.31	1.00	0.00	48.00	0.70	134.23
32	163.46	1.00	32.00	55.00	0.72	117.28
33	197.12	1.00	16.00	43.00	0.67	131.97
34	201.92	1.00	0.00	44.67	0.68	137.91
35	250.00	1.00	16.00	52.67	0.71	178.25

Anexo XIX. Datos de evapotranspiración real entre el 26 de agosto al 29 de septiembre de 2009 (Ciclo 1)

Evapotranspiración real ($cm^3.día^{-1}$)										
Día	T1	T1 (Acumulada)	T2	T2 (Acumulada)	T3	T3 (Acumulada)	T4	T4 (Acumulada)	T5	T5 (Acumulada)
1	108.70	108.70	159.27	159.27	175.61	175.61	167.96	167.96	222.49	222.49
2	136.07	244.77	144.09	303.36	132.11	307.72	147.63	315.58	144.26	366.75
3	159.53	404.29	155.00	458.36	148.80	456.52	144.66	460.24	147.47	514.22
4	145.67	549.96	139.76	598.12	139.80	596.32	142.07	602.31	141.16	655.38
5	112.68	662.64	122.63	720.75	114.78	711.10	116.38	718.69	118.35	773.73
6	141.19	803.83	148.03	868.78	139.24	850.34	151.99	870.68	147.26	920.99
7	175.35	979.18	182.59	1051.38	168.63	1018.97	168.15	1038.84	156.21	1077.19
8	153.43	1132.61	140.63	1192.00	142.32	1161.29	153.72	1192.56	158.13	1235.32
9	174.88	1307.49	180.75	1372.75	191.49	1352.78	205.02	1397.58	203.13	1438.45
10	153.60	1461.09	166.62	1539.37	169.12	1521.90	183.50	1581.08	184.93	1623.38
11	104.56	1565.65	114.20	1653.57	114.73	1636.63	126.28	1707.36	119.35	1742.73
12	167.15	1732.80	182.52	1836.09	202.34	1838.97	220.44	1927.80	233.42	1976.15
13	146.81	1879.60	165.55	2001.64	201.71	2040.67	218.40	2146.19	263.66	2239.81
14	105.22	1984.82	123.87	2125.51	137.12	2177.79	147.15	2293.34	203.18	2442.99
15	124.00	2108.82	143.87	2269.38	155.94	2333.73	169.10	2462.44	286.71	2729.70
16	100.46	2209.28	113.79	2383.18	134.21	2467.95	149.85	2612.29	233.44	2963.14
17	111.43	2320.72	138.42	2521.60	167.70	2635.64	208.09	2820.38	309.51	3272.66
18	112.65	2433.37	137.62	2659.22	150.17	2785.82	161.17	2981.55	186.36	3459.02
19	98.95	2532.32	125.44	2784.66	147.13	2932.95	168.31	3149.85	269.74	3728.76
20	149.71	2682.03	197.64	2982.29	241.08	3174.03	293.12	3442.97	332.71	4061.47
21	133.38	2815.41	167.46	3149.75	233.53	3407.56	280.53	3723.50	291.15	4352.62
22	99.36	2914.77	131.65	3281.41	162.16	3569.71	200.79	3924.29	235.40	4588.01

Anexo XIX. Datos de evapotranspiración real entre el 26 de agosto al 29 de septiembre de 2009 (Ciclo 1) (Continuación)

Evapotranspiración real (cm3.día-1)										
Día	T1	T1 (Acumulada)	T2	T2 (Acumulada)	T3	T3 (Acumulada)	T4	T4 (Acumulada)	T5	T5 (Acumulada)
23	98.65	3013.42	126.55	3407.96	146.45	3716.17	180.30	4104.59	260.86	4848.87
24	129.62	3143.04	158.14	3566.10	195.21	3911.37	257.07	4361.66	336.40	5185.27
25	112.42	3255.45	131.19	3697.29	174.96	4086.33	229.07	4590.73	270.41	5455.67
26	132.85	3388.30	161.32	3858.61	246.44	4332.77	308.80	4899.54	328.00	5783.67
27	136.05	3524.35	173.96	4032.57	283.08	4615.85	342.10	5241.64	355.95	6139.62
28	126.39	3650.74	167.80	4200.37	280.92	4896.76	335.64	5577.28	416.15	6555.78
29	70.95	3721.69	78.92	4279.30	177.12	5073.88	255.16	5832.43	261.63	6817.41
30	153.16	3874.85	165.68	4444.97	291.31	5365.19	344.93	6177.36	504.12	7321.53
31	94.27	3969.11	123.28	4568.26	158.55	5523.74	229.43	6406.79	263.68	7585.22
32	108.06	4077.18	147.40	4715.66	197.49	5721.22	235.43	6642.22	344.01	7929.22
33	72.02	4149.19	80.28	4795.94	141.15	5862.37	234.95	6877.17	305.73	8234.96
34	98.07	4247.27	129.23	4925.17	173.62	6036.00	182.46	7059.64	234.07	8469.03
35	130.91	4378.18	175.27	5100.44	292.00	6328.00	525.81	7585.44	558.60	9027.63

Anexo XX. Datos de evapotranspiración real entre el entre 07 de octubre al 10 de noviembre de 2009 (Ciclo 2)

Evapotranspiración real (cm3.día-1)										
Día	T1	T1 (Acumulada)	T2	T2 (Acumulada)	T3	T3 (Acumulada)	T4	T4 (Acumulada)	T5	T5 (Acumulada)
1	115.98	115.98	116.59	116.59	120.49	120.49	130.51	130.51	116.14	116.14
2	147.53	263.52	146.29	262.89	141.20	261.69	140.93	271.43	146.39	262.53
3	123.39	386.91	127.64	390.53	120.40	382.09	127.70	399.13	134.41	396.94
4	166.71	553.62	163.97	554.49	161.02	543.11	164.73	563.86	161.32	558.26
5	147.83	701.44	168.18	722.68	152.98	696.09	156.47	720.33	155.39	713.65
6	78.70	780.14	77.58	800.26	66.57	762.66	77.20	797.53	76.31	789.96
7	123.36	903.50	118.21	918.47	118.36	881.02	131.77	929.30	129.62	919.58
8	136.68	1040.18	132.94	1051.41	114.89	995.91	131.38	1060.67	153.83	1073.40
9	63.66	1103.84	84.87	1136.27	83.52	1079.43	121.53	1182.21	213.01	1286.41
10	102.77	1206.61	105.88	1242.15	160.30	1239.73	171.34	1353.55	330.34	1616.74
11	184.68	1391.29	184.84	1426.99	242.41	1482.14	265.50	1619.04	257.19	1873.94
12	161.55	1552.84	178.48	1605.46	206.61	1688.74	192.23	1811.27	233.49	2107.43
13	139.03	1691.86	160.84	1766.30	174.22	1862.97	223.85	2035.12	271.05	2378.48
14	106.52	1798.39	114.82	1881.12	136.47	1999.44	207.11	2242.23	260.44	2638.91
15	114.93	1913.31	121.00	2002.12	180.86	2180.30	251.07	2493.30	334.54	2973.45
16	166.87	2080.18	192.98	2195.09	237.57	2417.87	326.14	2819.44	377.90	3351.35
17	140.52	2220.70	164.75	2359.85	182.63	2600.51	247.50	3066.94	311.18	3662.53
18	167.77	2388.46	188.84	2548.69	183.23	2783.74	200.23	3267.17	196.21	3858.74
19	103.37	2491.83	135.02	2683.71	126.86	2910.59	117.12	3384.29	132.21	3990.95
20	156.23	2648.06	213.70	2897.40	220.11	3130.70	228.18	3612.47	271.21	4262.15
21	230.57	2878.63	262.75	3160.16	364.16	3494.86	424.98	4037.45	466.87	4729.02
22	102.65	2981.28	114.37	3274.53	223.07	3717.93	266.94	4304.39	330.62	5059.64

Anexo XX. Datos de evapotranspiración real entre el entre 07 de octubre al 10 de noviembre de 2009 (Ciclo 2). (Continuación)

Evapotranspiración real ($cm^3.día^{-1}$)										
Día	T1	T1 (Acumulada)	T2	T2 (Acumulada)	T3	T3 (Acumulada)	T4	T4 (Acumulada)	T5	T5 (Acumulada)
23	124.99	3106.26	157.57	3432.10	191.48	3909.42	247.24	4551.63	252.50	5312.14
24	126.03	3232.29	142.79	3574.89	195.99	4105.40	213.86	4765.49	239.36	5551.50
25	114.04	3346.34	144.10	3718.99	168.00	4273.41	154.31	4919.80	246.46	5797.96
26	109.98	3456.31	136.55	3855.54	158.78	4432.19	192.96	5112.76	218.58	6016.54
27	118.51	3574.82	151.41	4006.95	191.87	4624.06	220.06	5332.82	260.08	6276.62
28	142.85	3717.67	180.30	4187.24	269.29	4893.35	270.92	5603.74	304.23	6580.85
29	56.90	3774.57	99.31	4286.56	162.43	5055.77	209.99	5813.74	196.97	6777.82
30	108.13	3882.70	155.52	4442.07	257.69	5313.47	258.34	6072.08	349.93	7127.75
31	74.46	3957.16	85.28	4527.35	134.20	5447.67	166.33	6238.41	182.74	7310.50
32	104.71	4061.87	144.10	4671.45	181.48	5629.15	298.40	6536.81	308.09	7618.58
33	107.64	4169.51	111.34	4782.79	190.10	5819.25	255.17	6791.98	283.03	7901.61
34	128.54	4298.05	108.61	4891.40	189.91	6009.16	253.03	7045.01	217.51	8119.12
35	196.36	4494.40	274.25	5165.65	301.59	6310.75	350.39	7395.40	462.01	8581.12

Anexo XXI. Datos de evapotranspiración en dos ciclos del cultivo

Evapotranspiración real ($cm^3.día^{-1}$)										
Día	T1	T1 (Acumulada)	T2	T2 (Acumulada)	T3	T3 (Acumulada)	T4	T4 (Acumulada)	T5	T5 (Acumulada)
1	112.34	112.34	137.93	137.93	148.05	148.05	149.23	149.23	169.32	169.32
2	141.80	254.14	145.19	283.12	136.65	284.71	144.28	293.51	145.33	314.64
3	141.46	395.60	141.32	424.44	134.60	419.31	136.18	429.69	140.94	455.58
4	156.19	551.79	151.86	576.31	150.41	569.71	153.40	583.08	151.24	606.82
5	130.25	682.04	145.41	721.71	133.88	703.59	136.43	719.51	136.87	743.69
6	109.95	791.99	112.81	834.52	102.91	806.50	114.60	834.10	111.78	855.47
7	149.35	941.34	150.40	984.92	143.49	949.99	149.96	984.07	142.91	998.38
8	145.05	1086.39	136.78	1121.70	128.60	1078.60	142.55	1126.62	155.98	1154.36
9	119.27	1205.66	132.81	1254.51	137.50	1216.10	163.28	1289.89	208.07	1362.43
10	128.19	1333.85	136.25	1390.76	164.71	1380.81	177.42	1467.31	257.63	1620.06
11	144.62	1478.47	149.52	1540.28	178.57	1559.38	195.89	1663.20	188.27	1808.33
12	164.35	1642.82	180.50	1720.78	204.47	1763.85	206.34	1869.54	233.46	2041.79
13	142.92	1785.73	163.20	1883.97	187.96	1951.82	221.12	2090.66	267.36	2309.14
14	105.87	1891.60	119.35	2003.32	136.80	2088.61	177.13	2267.79	231.81	2540.95
15	119.46	2011.07	132.43	2135.75	168.40	2257.02	210.08	2477.87	310.63	2851.58
16	133.67	2144.73	153.39	2289.13	185.89	2442.91	237.99	2715.87	305.67	3157.25
17	125.98	2270.71	151.59	2440.72	175.17	2618.08	227.79	2943.66	310.35	3467.59
18	140.21	2410.92	163.23	2603.95	166.70	2784.78	180.70	3124.36	191.29	3658.88
19	101.16	2512.07	130.23	2734.18	136.99	2921.77	142.71	3267.07	200.97	3859.85
20	152.97	2665.04	205.67	2939.85	230.59	3152.36	260.65	3527.72	301.96	4161.81

Anexo XXI. Datos de evapotranspiración en dos ciclos del cultivo. (Continuación)

Evapotranspiración real ($cm^3.día^{-1}$)										
Día	T1	T1 (Acumulada)	T2	T2 (Acumulada)	T3	T3 (Acumulada)	T4	T4 (Acumulada)	T5	T5 (Acumulada)
21	181.97	2847.02	215.11	3154.96	298.85	3451.21	352.76	3880.48	379.01	4540.82
22	101.00	2948.02	123.01	3277.97	192.61	3643.82	233.86	4114.34	283.01	4823.83
23	111.82	3059.84	142.06	3420.03	168.97	3812.79	213.77	4328.11	256.68	5080.51
24	127.83	3187.67	150.47	3570.50	195.60	4008.39	235.46	4563.57	287.88	5368.38
25	113.23	3300.89	137.64	3708.14	171.48	4179.87	191.69	4755.27	258.43	5626.82
26	121.41	3422.31	148.93	3857.07	202.61	4382.48	250.88	5006.15	273.29	5900.11
27	127.28	3549.59	162.69	4019.76	237.48	4619.95	281.08	5287.23	308.02	6208.12
28	134.62	3684.20	174.05	4193.81	275.10	4895.06	303.28	5590.51	360.19	6568.31
29	63.93	3748.13	89.12	4282.93	169.77	5064.83	232.58	5823.09	229.30	6797.61
30	130.64	3878.77	160.60	4443.52	274.50	5339.33	301.63	6124.72	427.03	7224.64
31	84.36	3963.14	104.28	4547.80	146.37	5485.70	197.88	6322.60	223.21	7447.86
32	106.39	4069.53	145.75	4693.55	189.48	5675.19	266.92	6589.52	326.05	7773.90
33	89.83	4159.35	95.81	4789.37	165.63	5840.81	245.06	6834.58	294.38	8068.28
34	113.30	4272.66	118.92	4908.28	181.77	6022.58	217.75	7052.32	225.79	8294.07
35	163.64	4436.29	224.76	5133.05	296.80	6319.38	438.10	7490.42	510.31	8804.38

Anexo XXII. Datos de Kc entre el 26 de agosto al 29 de septiembre de 2009

(Ciclo 1)

	Kc				
Día	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**
1	0.43	0.63	0.69	0.66	0.88
2	0.81	0.86	0.79	0.88	0.86
3	1.03	1.00	0.96	0.93	0.95
4	0.89	0.86	0.86	0.87	0.86
5	0.90	0.98	0.91	0.93	0.94
6	1.00	1.05	0.98	1.07	1.04
7	0.95	0.99	0.91	0.91	0.84
8	0.91	0.83	0.84	0.91	0.93
9	0.88	0.91	0.97	1.04	1.03
10	0.79	0.85	0.87	0.94	0.95
11	0.51	0.56	0.56	0.62	0.58
12	0.96	1.05	1.17	1.27	1.34
13	0.63	0.71	0.87	0.94	1.14
14	0.48	0.56	0.63	0.67	0.93
15	0.69	0.80	0.86	0.94	1.59
16	0.64	0.73	0.86	0.96	1.49
17	0.71	0.88	1.07	1.33	1.97
18	0.71	0.87	0.95	1.02	1.18
19	0.85	1.07	1.26	1.44	2.31
20	1.00	1.32	1.61	1.95	2.22
21	0.61	0.77	1.08	1.29	1.34
22	0.55	0.72	0.89	1.10	1.30
23	0.76	0.98	1.13	1.39	2.01
24	0.90	1.10	1.35	1.78	2.33
25	0.61	0.71	0.95	1.25	1.47
26	0.88	1.06	1.63	2.04	2.16
27	0.74	0.94	1.53	1.85	1.92
28	0.70	0.93	1.55	1.85	2.30
29	0.51	0.56	1.27	1.82	1.87
30	0.83	0.90	1.59	1.88	2.74
31	0.54	0.71	0.92	1.33	1.52
32	0.52	0.71	0.95	1.13	1.66
33	0.37	0.41	0.72	1.20	1.56
34	0.86	1.14	1.53	1.61	2.06
35	0.85	1.14	1.89	3.41	3.62

Anexo XXIII. Datos de Kc promedio por etapa del cultivo, entre el 26 de agosto al 29 de septiembre de 2009 (ciclo 1)

		Kc				
Día	Etapa	T1	T2	T3	T4	T5
1	GERMINACIÓN	0.89	0.87	0.89	0.92	0.92
2						
3						
4						
5						
6						
7	ESTABLECIMIENTO Y CRECIMIENTO ACELERADO	0.74	0.86	0.99	1.14	1.42
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26	FORMACION DE TALLO FLORAL Y COSECHA	0.68	0.85	1.36	1.81	2.14
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						

Anexo XXIV. Datos de Kc entre el 07 de octubre al 10 de noviembre de 2009 (Ciclo 2)

	Kc				
Día	T1	T2	T3	T4	T5
1	0.53	0.53	0.55	0.60	0.53
2	0.80	0.80	0.77	0.77	0.80
3	0.82	0.85	0.80	0.85	0.90
4	0.85	0.83	0.82	0.84	0.82
5	0.78	0.89	0.81	0.83	0.82
6	0.75	0.74	0.63	0.74	0.73
7	1.18	1.13	1.14	1.26	1.24
8	0.85	0.83	0.71	0.82	0.96
9	0.46	0.61	0.60	0.87	1.53
10	1.25	1.28	1.94	2.08	4.00
11	1.04	1.04	1.37	1.50	1.45
12	0.77	0.85	0.99	0.92	1.12
13	0.95	1.10	1.19	1.53	1.85
14	0.80	0.86	1.02	1.55	1.95
15	0.89	0.94	1.41	1.95	2.60
16	1.09	1.26	1.55	2.13	2.46
17	0.94	1.10	1.22	1.66	2.08
18	1.09	1.22	1.19	1.30	1.27
19	0.69	0.90	0.85	0.78	0.88
20	1.11	1.52	1.56	1.62	1.92
21	1.15	1.31	1.82	2.12	2.33
22	0.69	0.76	1.49	1.78	2.21
23	0.87	1.10	1.34	1.73	1.76
24	0.80	0.91	1.24	1.36	1.52
25	0.61	0.77	0.90	0.83	1.32
26	0.84	1.05	1.22	1.48	1.67
27	0.94	1.20	1.52	1.74	2.05
28	1.07	1.35	2.02	2.03	2.28
29	0.30	0.51	0.84	1.09	1.02
30	0.68	0.97	1.61	1.61	2.18
31	0.55	0.64	1.00	1.24	1.36
32	0.89	1.23	1.55	2.54	2.63
33	0.82	0.84	1.44	1.93	2.14
34	0.93	0.79	1.38	1.83	1.58
35	1.10	1.54	1.69	1.97	2.59

Anexo XXV. Datos de Kc promedio por etapa del cultivo, entre el 07 de octubre al 10 de noviembre de 2009 (Ciclo 2)

		Kc				
Día	Etapa	T1	T2	T3	T4	T5
1	GERMINACIÓN	0.77	0.73	0.77	0.77	0.77
2						
3						
4						
5						
6						
7	ESTABLECIMIENTO Y CRECIMIENTO ACELERADO	0.91	1.03	1.24	1.46	1.81
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26	FORMACION DE TALLO FLORAL Y COSECHA	0.81	1.01	1.43	1.75	1.95
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						

Anexo XXVI. Estructura de costos para el establecimiento de una hectárea de cilantro en el Valle del Cauca, para Mayo de 2010

ESTRUCTURA DE COSTOS					
DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA					
CULTIVO : CILANTRO (Coriandrum sativum L.)					
ACTIVIDADES	**PRODUCTO UTILIZADO**	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**PRECIO UNITARIO ($/UNIDAD)**	**VALOR TOTAL**
1. LABORES					
1.1 PREPARACIÓN SEMILLERO					
Almácigos - siembra - sostenimiento - trazado y aplicación de correctivos Otros					
1.2 ÁREA DE CULTIVO					
Arada					
Rastrillada					
Rastreada					
Nivelada					
Caballonada					
Limpia Manual		Jornal	2.0	17200	34400
Construcción de Drenajes					
Construcción de Eras		Jornal	14.0	17200	240800
Trazado		Jornal	4.0	17200	68800
Fertilización					
Otras Labores de Adecuación					
1.3 SIEMBRA					
Siembra y Tapada		Jornal	3.0	17200	51600
Trasplante					
Aplicación de Pre - emergentes					
Otros					
1.4 LABORES CULTURALES					
Aporques					
Cultivada					
Podas					
Raleos		Jornal	5.0	17200	86000
Amarres					
Aplicación Riego		Jornal	8.0	17200	137600
Control Sanitario		Jornal	6.0	17200	103200
Aplicación de Fungicidas					
Control Biológico					
Aplicación de Insecticidas					
Control de Malezas					
Aplicación de Herbicidas		Jornal	1.0	17200	17200
Desyerbas		Jornal	20.0	17200	344000
Despalille					
Fertilización		Jornal	10.0	17200	172000
Fertilizantes Simples					
Fertilizantes Compuestos					
Fertilizantes Foliares					
Mantenimiento de Canales					
Vigilancia					
Pajareo					
Otros					

Anexo XXVI. Estructura de costos para el establecimiento de una hectárea de cilantro en el Valle del Cauca, para Mayo de 2010. (Continuación)

1.5 COSECHA Y BENEFICIO					
Recolección		Jornal	40.0	17200	688000
Manipuleo					
Transporte Interno					
Desgrane					
Trilla					
Limpieza y Secamiento					
Engavillada					
Desmote					
Otros					
SUBTOTAL LABORES					**1771600**
2. INSUMOS					
Semillas	Unapal precoso	Kilo	25	21000	525000
Fertilización					
Abono Orgánico					
Simples	Urea	Kilo	140	960	134400
Simples	Sulfato de Potasio	Kilo	260	3010	782600
Simples	Sulfato de Magnesio	Kilo	280	3100	868000
Foliares					
Otros					
Control Sanitario					
Herbicida 1	Fluazifop-p-butil	Litro	2.0	125000	250000
Herbicida 2	Glifosato	Litro	3.0	10600	31800
Insecticida 1	Roxion 40 EC	Litro	2.0	38400	76800
Insecticida 2					
Fungicida 1	Mancozeb	Kilo / Litro	5.0	13600	68000
Fungicida 2					
Control Biológico					
Otros					
Agua					
Empaques					
Cabuya - Hilazas					
Estacas					
Estacones					
Alambre					
Otros					
SUBTOTAL INSUMOS					**2736600**
3. OTROS COSTOS					
Administración					
Asistencia Técnica					
Arrendamiento		Mes	1.0	223000	223000
Intereses					
Otros					
SUBTOTAL OTROS COSTOS					**223000**
COSTO TOTAL POR HECTAREA (LABORES, INSUMOS, OTROS)					**4731200**

Anexo XXVII. Análisis de la estructura de costos para el establecimiento de una hectárea de cilantro en el Valle del Cauca, para Mayo de 2010, teniendo en cuenta el consumo de agua por tratamiento

	Tratamientos				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
Consumo de agua (m^3/ha)	1400	1600	2000	2400	2800
Precio ($/$m^3$)*	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Costo agua ($)	938	1072	1340	1608	1876
Costo establecimiento una hectárea de cilantro ($)	4731200	4731200	4731200	4731200	4731200
Costo establecimiento + Costo agua ($)	**4732133**	**4732272**	**4732540**	**4732808**	**4733076**

* Datos suministrados por la C.V.C.