



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS PARA
EL CULTIVO DE LA CEBOLLA COLORADA (*Allium cepa* L.) var.
Burguesa EN BASE AL CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO, EN
MACAJÍ, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.**

TRABAJO DE TITULACIÓN
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA TITULACIÓN DE GRADO

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO EN INGENIERO AGRÓNOMO**

PAGUAY CUJI SEGUNDO CESAR

RIOBAMBA – ECUADOR

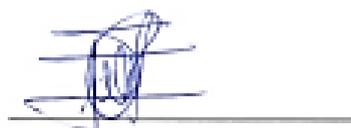
2017

HOJA DE CERTIFICACIÓN

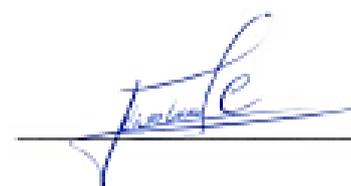
El suscrito **TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**, CERTIFICA QUE: el trabajo de investigación titulado: **DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS PARA EL CULTIVO DE LA CEBOLLA COLORADA (*Allium cepa* L.) var. Burguesa EN BASE AL CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO, EN MACAJÍ, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, de responsabilidad del Sr. Egresado Segundo César Paguay Cuji ha sido prolijamente revisada quedando autorizada su presentación.

TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Juan Eduardo León Ruiz Ph. D.

**DIRECTOR**

Ing. Víctor Alonso Lindao Córdoba Ph. D.

**MIEMBRO**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

RIOBAMBA – ECUADOR

2017

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Segundo César Paguay Cuji declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes y el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados. Como autor, asumo la responsabilidad legal y académico de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 05 de octubre de 2017



Segundo César Paguay Cuji

060414911-2

DEDICATORIA

Dedico primeramente mi trabajo a Dios, por darme la oportunidad de vivir y ser mi fortaleza en los momentos más difíciles de mi vida, a mis papas Esteban Paguay y Justa Cuji por ser mi fuente eterna de apoyo, fomentando en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

A mi hijo Jordan Paguay ya que tu afecto y tu cariño incondicional son los detonantes primordiales de mi felicidad, de mi esfuerzo, de mis ganas de buscar lo mejor para ti cada día.

A mi esposa Delia Cuji, por su paciencia, confianza y lealtad que demostró durante el proceso de mi formación universitaria.

A mis hermanos Nelson y Rosa por sus múltiples ayudas prestadas durante mis estudios, a toda mi familia en general y a mis amigos por su contribución a la culminación de esta profesión.

A todos, muchas gracias.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la ESPOCH y de manera especial a la Escuela de Ingeniería Agronómica por acogerme en sus aulas y darme la oportunidad de superación para ser un profesional útil para la sociedad.

Mi agradecimiento eterno al Ing. Juan León Ruiz PhD director de tesis, por su apoyo, amistad y ayuda incondicional para llevar a feliz término el presente trabajo de investigación y por transmitir sus conocimientos y crear en mí el deseo de superación a nivel académico y personal.

De igual manera un agradecimiento especial al Ing. Víctor Lindao PhD asesor de tesis, por su valioso tiempo, dedicación ya que con su apoyo constante fue factible la realización y culminación de esta investigación.

Así mismo al equipo de trabajo del Centro Experimental de Riego (CER) Ing. Paul Benalcázar, Ing. Jorge Ceballos, Ing. Jorge Segovia por ser un gran apoyo para esta investigación.

Además manifiesto mi especial gratitud a todas las personas con quienes compartí el ámbito estudiantil universitario, bajo el cual se cristalizó una de las satisfacciones personales, como es el de poder servir profesionalmente a la sociedad ecuatoriana.

Finalmente quiero dejar constancia de mi agradecimiento a mis queridos padres Esteban Paguay y Justa Cuji por su apoyo incondicional y por inculcarme valores humanos que me han servido a lo largo de mi vida; a mis hermanos, a mi esposa, a mi hijo y a toda mi familia que me apoyaron en mi formación personal y profesional.

Gracias a todos aquellos que hicieron posible este sueño mío, de ser un profesional.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|------------------|-----|
| LISTA DE TABLAS | ii |
| LISTA DE CUADROS | iii |
| LISTA DE FIGURAS | vi |
| LISTA DE ANEXOS. | x |

CONTENIDO

| CAP. | CAPÍTULOS | PÁGINAS |
|-------|-------------------------------|---------|
| I. | TITULO..... | 1 |
| II. | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| III. | REVISIÓN DE LITERATURA..... | 6 |
| IV. | MATERIALES Y MÉTODOS..... | 35 |
| V. | RESULTADOS Y DISCUSIONES..... | 53 |
| VI. | CONCLUSIONES..... | 100 |
| VII. | RECOMENDACIONES..... | 101 |
| VIII. | SUMMARY..... | 102 |
| IX. | ABSTRACT..... | 103 |
| X. | BIBLIOGRAFÍA..... | 104 |
| XI. | ANEXOS..... | 113 |

LISTA DE TABLAS

| Nº | DESCRIPCIÓN | PÁG. |
|----------------|--|-------------|
| Tabla 1 | Porcentaje de humedad para los diferentes tipos de suelo..... | 10 |
| Tabla 2 | Interpretación de las lecturas de los tensiómetros..... | 11 |
| Tabla 3 | Referencia de tensión de la humedad en el suelo marcada en tensiómetros..... | 12 |
| Tabla 4 | Coefficientes del tanque evaporímetro (Kp) para el tanque Clase A situado en una superficie cultivada para diversas localidades y ambientes con varios valores de velocidad media de viento y de humedad relativa..... | 21 |

LISTA DE CUADROS

| N° | DESCRIPCIÓN | PÁG. |
|-----|--|------|
| 1. | Análisis de varianza (ADEVA)..... | 42 |
| 2. | Tratamiento en estudio del riego..... | 46 |
| 3. | Categoría de la cebolla según su peso..... | 52 |
| 4. | Duración de la etapa inicial del cultivo de cebolla colorada (<i>Allium cepa</i> L.) var. Burguesa..... | 53 |
| 5. | Duración de la etapa de desarrollo del cultivo de cebolla colorada (<i>Allium cepa</i> L.) var. Burguesa. | 54 |
| 6. | Duración de la etapa media del cultivo de cebolla colorada (<i>Allium cepa</i> L.) var. Burguesa. | 55 |
| 7. | Duración de la etapa final del cultivo de cebolla colorada (<i>Allium cepa</i> L.) var. Burguesa. | 57 |
| 8. | Duración del ciclo total del cultivo de cebolla colorada (<i>Allium cepa</i> L.) var. Burguesa. | 58 |
| 9. | Lámina total de agua aplicada (L/m ²) en el ciclo del cultivo de cebolla colorada (<i>Allium cepa</i> L.) var. Burguesa, en Macaji Cantón Riobamba..... | 68 |
| 10. | Análisis de varianza para porcentaje de prendimiento 15 DDT..... | 70 |

| | | |
|-----|--|----|
| 11. | Análisis de varianza para altura de la planta a los 30 DDT..... | 71 |
| 12. | Análisis de varianza para altura de la planta a los 60 DDT. | 71 |
| 13. | Análisis de varianza para altura de la planta a los 90 DDT..... | 72 |
| 14. | Prueba de Tukey al 5% para altura de planta a los 90 DDT..... | 72 |
| 15. | Análisis de varianza para número de hojas a los 30 DDT..... | 74 |
| 16. | Análisis de varianza para número de hojas a los 60 DDT..... | 75 |
| 17. | Análisis de varianza para número de hojas a los 90 DDT..... | 75 |
| 18. | Análisis de varianza para diámetro del pseudotallo a los 30 DDT..... | 76 |
| 19. | Análisis de varianza para diámetro del pseudotallo a los 60 DDT..... | 77 |
| 20. | Análisis de varianza para diámetro del pseudotallo a los 90 DDT..... | 77 |
| 21. | Prueba de Tukey al 5% para el diámetro del pseudotallo a los 90 DDT..... | 78 |
| 22. | Análisis de varianza para el peso total de plantas (g) los 145ddt..... | 79 |
| 23. | Prueba de Tukey al 5% para el peso total de plantas..... | 80 |
| 24. | Análisis de varianza para el peso del bulbo a los 145ddt..... | 81 |
| 25. | Prueba de Tukey al 5% para el peso del bulbo a los 145ddt..... | 81 |
| 26. | Análisis de varianza para el diámetro polar a los 145ddt..... | 83 |

| | | |
|-----|--|----|
| 27. | Prueba de Tukey al 5% para el diámetro polar a los 145ddt..... | 83 |
| 28. | Análisis de varianza para el diámetro ecuatorial a los 145ddt..... | 84 |
| 29. | Prueba de Tukey al 5% para el diámetro ecuatorial a los 145ddt..... | 85 |
| 30. | Análisis de varianza para el rendimiento del bulbo categoría grande por parcela neta..... | 86 |
| 31. | Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento del bulbo categoría grande por parcela neta..... | 87 |
| 32. | Análisis de varianza para el rendimiento del bulbo categoría mediana por parcela neta..... | 88 |
| 33. | Análisis de varianza para el rendimiento del bulbo categoría pequeña por parcela neta..... | 89 |
| 34. | Análisis de varianza para el rendimiento total (kg/ha)..... | 89 |
| 35. | Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento total (kg/ha)..... | 90 |
| 36. | Análisis de varianza para el contenido de clorofila en hojas (spad)..... | 91 |
| 37. | Análisis de varianza para el contenido relativo de agua parte superior (%)..... | 92 |
| 38. | Análisis de varianza para el contenido relativo de agua parte medio (%)..... | 93 |

| | |
|---|----|
| 39. Análisis de varianza para el contenido relativo de agua parte inferior (%)..... | 93 |
| 40. Prueba de Tukey al 5% para el contenido relativo de agua, parte inferior..... | 94 |
| 41. Análisis de varianza para porcentaje de materia seca a los 115ddt..... | 95 |
| 42. Análisis de varianza para porcentaje de materia seca a los 145ddt..... | 96 |
| 43. Análisis de varianza para la huella hídrica a los 150 ddt..... | 97 |
| 44. Prueba de Tukey al 5% para la huella hídrica (m^3/Tn) | 97 |
| 45. Rentabilidad de los tratamientos..... | 99 |

LISTA DE FIGURAS

| N° | DESCRIPCIÓN | PÁG. |
|----|---|------|
| 1. | Duración de la etapa de desarrollo en el ciclo del cultivo de cebolla colorada (<i>Allium cepa</i> L.) var. Burguesa, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017..... | 54 |
| 2. | Duración de la etapa intermedia en el ciclo del cultivo de cebolla colorada (<i>Allium cepa</i> L.) var. Burguesa, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017.... | 56 |
| 3. | Duración de la etapa final en el ciclo del cultivo de cebolla colorada (<i>Allium cepa</i> L.) var. Burguesa, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017..... | 57 |
| 4. | Duración del total del ciclo del cultivo de cebolla colorada (<i>Allium cepa</i> L.) var. Burguesa, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017..... | 58 |
| 5. | Coeficiente del cultivo (kc) ajustado de cebolla colorada (<i>Allium cepa</i> L.) var. Burguesa, mediante la metodología de lisimetría, con un abatimiento de la humedad del suelo del 25%, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017..... | 59 |
| 6. | Coeficiente del cultivo (kc) por etapa fenológica del ciclo del cultivo de cebolla colorada (<i>Allium cepa</i> L.) var. Burguesa determinada por el método de lisimetría, con un abatimiento de la humedad del suelo del 25%, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017..... | 60 |
| 7. | Coeficiente del cultivo (kc) ajustado de cebolla colorada (<i>Allium cepa</i> L.) var. Burguesa, mediante la metodología de lisimetría, con un abatimiento de la humedad del suelo del 50%, en Macají, Provincia de Chimborazo, | |

| | |
|--|----|
| 2017..... | 61 |
| 8. Coeficiente del cultivo (kc) por etapa fenológica del ciclo del cultivo de cebolla colorada (<i>Allium cepa</i> L.) var. Burguesa determinada por el método de lisimetría, con un abatimiento de la humedad del suelo del 50%, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017..... | 62 |
| 9. Coeficiente del cultivo (kc) ajustado de cebolla colorada (<i>Allium cepa</i> L.) var. Burguesa, mediante la metodología de lisimetría, , con un abatimiento de la humedad del suelo del 75%, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017..... | 63 |
| 10. Coeficiente del cultivo (kc) por etapa fenológica del ciclo del cultivo de cebolla colorada (<i>Allium cepa</i> L.) var. Burguesa determinada por el método de lisimetría, con un abatimiento de la humedad del suelo del 50%, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017..... | 64 |
| 11. Coeficiente del cultivo (kc) por etapa fenológica del ciclo del cultivo de cebolla colorada (<i>Allium cepa</i> L.) var. Burguesa determinada por el método de lisimetría, con un abatimiento de la humedad del suelo del 25, 50 y 75%, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017..... | 65 |
| 12. Lámina (mm) de riego aplicada en el ciclo del cultivo cebolla colorada (<i>Allium cepa</i> L.) Var. Burguesa, en Macaji Cantón Riobamba..... | 69 |
| 13. Altura de planta a los 90 DDT..... | 73 |
| 14. Diámetro del Pseudotallo a los 90 DDT..... | 78 |
| 15. Peso total de plantas (g)..... | 80 |
| 16. Peso del bulbo (g)..... | 82 |

| | | |
|-----|---|----|
| 17. | Diámetro polar de bulbo (cm)..... | 84 |
| 18. | Diámetro ecuatorial de bulbo (cm)..... | 85 |
| 19. | Rendimiento del bulbo categoría grande, en parcela neta (kg)..... | 87 |
| 20. | Rendimiento total (kg/ha)..... | 90 |
| 21. | Contenido relativo de agua (WRC) %..... | 94 |
| 22. | Huella hídrica (L/kg)..... | 98 |

LISTA DE ANEXOS

| N° | DESCRIPCIÓN | PÁG |
|------------------|--|------------|
| Anexo 1. | Ubicación del ensayo..... | 113 |
| Anexo 2. | Porcentaje de prendimiento a los 15 DDT..... | 113 |
| Anexo 3. | Altura de la planta a los 30 días después de trasplante..... | 114 |
| Anexo 4. | Altura de la planta a los 60 días después del trasplante..... | 114 |
| Anexo 5. | Altura de la planta a los 90 días después del trasplante..... | 114 |
| Anexo 6. | Diámetro del pseudotallo a los 30 días después del trasplante..... | 115 |
| Anexo 7. | Diámetro del pseudotallo a los 60 días después del trasplante..... | 115 |
| Anexo 8. | Diámetro del pseudotallo a los 90 días después del trasplante..... | 115 |
| Anexo 9. | Número de hojas a los 30 días después del trasplante..... | 116 |
| Anexo 10. | Número de hojas a los 60 días después del trasplante..... | 116 |
| Anexo 11. | Número de hojas a los 90 días después del trasplante..... | 116 |
| Anexo 12. | Peso de la planta total (g)..... | 117 |
| Anexo 13. | Peso del bulbo (g)..... | 117 |
| Anexo 14. | Diámetro polar de la cebolla colorada..... | 117 |

| | | |
|------------------|---|-----|
| Anexo 15. | Diámetro ecuatorial de la cebolla colorada..... | 118 |
| Anexo 16. | Días a la cosecha..... | 118 |
| Anexo 17. | Rendimiento categoría grande (kg/ha)..... | 118 |
| Anexo 18. | Rendimiento categoría mediana (kg/ha)..... | 119 |
| Anexo 19. | Rendimiento categoría pequeña (kg/ha)..... | 119 |
| Anexo 20. | Rendimiento parcela neta (kg)..... | 119 |
| Anexo 21. | Rendimiento total (kg/ha)..... | 120 |
| Anexo 22. | Porcentaje de materia seca..... | 120 |
| Anexo 23. | Huella hídrica. | 120 |
| Anexo 24. | Calibración de los tensiómetros para el Tratamiento 1 (T1)..... | 121 |
| Anexo 25. | Calibración de los tensiómetros para el Tratamiento 2 (T2)..... | 122 |
| Anexo 26. | Calibración de los tensiómetros para el Tratamiento 3 (T3)..... | 123 |
| Anexo 27. | Comportamiento climático durante el ciclo del cultivo..... | 124 |
| Anexo 28. | Esquema de distribución del ensayo..... | 124 |

| | | |
|------------------|---|-----|
| Anexo 29. | Costo del ensayo para la determinación de los requerimientos hídricos para el cultivo de la cebolla colorada (<i>Allium cepa</i> L.) var. Burguesa en base al contenido de agua en el suelo, en Macají, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo. | 125 |
|------------------|---|-----|

I. DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS PARA EL CULTIVO DE LA CEBOLLA COLORADA (*Allium cepa* L.) var. Burguesa EN BASE AL CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO, EN MACAJÍ, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.

II. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso que puede crear tensiones y conflictos entre países que lo comparten. Este recurso está sometido a la presión de una demanda cada vez más exigente en cantidad y calidad en los sectores: agrícola, industrial y de abastecimiento urbano. La agricultura es el uso que mayor demanda de agua tiene a nivel mundial. El riego de tierras agrícolas utiliza un 70% del consumo a nivel mundial (Roldán et al. 2009).

El Ecuador es uno de los países con mayores reservas de agua en América del Sur, sin embargo existen problemas graves con la distribución de este elemento, pues la mayor parte del recurso está concentrado en manos de unos pocos: exportaciones agrícolas y grandes haciendas (Górnes, 2010).

Esto se debe a que para poder competir en el mercado internacional, el gobierno destina más agua a cosechas con fines de exportación. Sin embargo, la producción de alimentos destinados al consumo nacional a la que se dedican pequeños agricultores, cuenta con una cantidad mucho más baja con la que se debe utilizar para regar sus parcelas (Górnes, 2010).

En el país el 85 % del agua utilizada se destina al riego agrícola y las empresas transnacionales que producen para la exportación reciben la mayoría de esta agua. El sistema de investigación de la problemática agraria en el Ecuador (SIPAE) realizó en 2008 una investigación en la que se comprobó cómo el estado destina más agua de riego en función de la rentabilidad de los productos.

El agua para el riego ha tenido y tiene una importancia económica-social, desde los inicios de la civilización asegurando y diversificando la producción agrícola, y

permitiendo en muchos casos, la permanencia de la población rural en sus propios sectores.

El riego en los cultivos es un medio eficaz para mejorar la producción y la productividad agrícola. Durante la última década, el aumento de la producción de alimentos ha sido atribuido principalmente a la expansión de las zonas bajo riego. Se estima que a pesar de que sólo un 20% de las tierras agrícolas del mundo se encuentran bajo riego, esto representa el 40% de la producción agrícola mundial (Ambast et al. 2002).

El agua desempeña varios papeles importantes en el desarrollo de las plantas, llevando nutrientes esenciales del suelo a través de las raíces, que luego son distribuidos, por medio del agua, a la planta donde ésta los utiliza para su crecimiento y desarrollo, (Calvache, 1993).

La insuficiencia generalizada de agua para la producción agrícola ha llevado a una frecuente necesidad de crear estrategias orientadas a optimizar la eficiencia de su uso. Como consecuencia de esto se originó el riego localizado y algunas estrategias de manejo como la del riego deficitario, que es una herramienta fundamentada en reducir el agua aplicada con el mínimo impacto sobre la producción.

Hargreaves y Samani (1984), Señalan que los riegos deficitarios pueden proporcionar retornos económicos por unidad de superficie, iguales o superiores que los riegos para máxima producción, lo que evidentemente indica eficiencias de uso de aguas también iguales o superiores.

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).

Nuestro país es privilegiado en cuanto a la disponibilidad de agua. Sin embargo, hay problemas de escasez en algunas regiones y sectores. El aprovechamiento del agua en el Ecuador se caracteriza por un continuo incremento en la utilización de los recursos hídricos para mantener el desarrollo socio-económico, un uso irracional del agua que en las últimas décadas a ocasionando serios conflictos entre los usuarios.

A. JUSTIFICACIÓN

Según la FAO (2012), la agricultura es el mayor consumidor de agua a nivel mundial, con el 70 % de consumo para cultivos, mientras que en países en vías de desarrollo representa el 95 %, por ello es necesario analizar la demanda, suministro y consumo del agua para riego dentro de la unidad territorial para poder evaluar el gasto de agua de la presa.

La falta de información sobre el uso del agua de riego para los diversos cultivos, conduce a desperdicios de la misma, provocando adicionalmente un deterioro del suelo, y consecuentemente baja productividad agrícola y la disminución en la calidad de las tierras (Lipinski et al., 2002).

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

Para evaluar la eficiencia en el uso del agua para riego, es necesario conocer el volumen de agua que consumen las plantas en el proceso evapotranspirativo y la cantidad de precipitación o de agua proveniente de un riego que puede ser aprovechada en dicho proceso. Estimar estos componentes es muy difícil, debido a la cantidad de factores del clima, del suelo y de las plantas que influyen (Allen, 2006).

El suministro de agua en el suelo, ya sea por riego, lluvia o flujos internos es indispensable para la emergencia, crecimiento, desarrollo y producción de las plantas. El agua desempeña varios papeles importantes en el desarrollo de las plantas (Calvache, 1993).

Los antecedentes relacionados con el riego de cebolla, establecen que este cultivo es muy sensible a la humedad del suelo y que responde positivamente a umbrales altos de humedad, (Lipinski 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 producción. 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 cebolla colorada (*Allium cepa* L.) que le permita incrementar sus características como su rendimiento. Para determinar la cantidad óptima de agua a aplicar durante el riego se deben conocer los requerimientos hídricos del cultivo, 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., Hagan, 1973 & Varas, 1991).

Por lo que con esta investigación se pretende que los agricultores utilicen de la mejor manera el recurso agua, y así obtengan mayor producción de bulbos de la cebolla colorada, y como consecuencia se incremente el rendimiento/ha, rentabilidad; para el desarrollo económico y social de los mismos.

B. OBJETIVOS:

1. Objetivo General.

Determinar los Requerimientos Hídricos para el cultivo de la cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa en base al contenido de agua en el suelo, en Macají, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.

2. Objetivo Específico.

- a. Determinar y ajustar el coeficiente del cultivo (kc).
- b. Correlacionar la cantidad de agua aplicada comparada con información de parámetros biométricos.
- c. Analizar el efecto de tres láminas de riego en el rendimiento de bulbos de la cebolla colorada (T/ha).
- d. Indicar la huella hídrica.
- e. Realizar el análisis económico utilizando la relación Beneficio/Costo.

C. HIPÓTESIS:

1. Hipótesis nula.

Las láminas de riego no influyen en el rendimiento de bulbos de la cebolla colorada.

2. Hipótesis alternativa.

Al menos una lámina de riego influye en el rendimiento de bulbos de la cebolla colorada.

III. REVISIÓN DE LITERATURA.

A. RECURSO HÍDRICO

1. Generalidades.

El Ecuador posee una población que crece aceleradamente y por lo tanto, la agricultura tendrá que ser cada día más intensa para poder alimentar a más personas, el riego es un factor de eficiencia que nos permitirá mejorar los rendimientos. Es decir, la producción agropecuaria depende más que antes de la irrigación, debido al cambio climático global (Galarraga, 2010).

El agua usada para regadío proviene de fuentes naturales y alternativas. Las fuentes naturales incluyen agua de lluvia y la superficial (lagos y ríos), recursos que deben ser usados de manera sostenible.

Según Sevillano (2005), a lo largo del tiempo los recursos naturales en el Ecuador han sido manejados sin restricción y planificación alguna. Los pueblos precolombinos mostraron ser más técnicos que los de nuestros días en el manejo de los recursos naturales.

2. Importancia del agua.

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

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

INIA (2013) & Ekanayake (1994), comentan que la cantidad aprovechable de este elemento por el cultivo será variable y dependerá de los factores meteorológicos y del suelo.

3. Requerimiento de agua en el cultivo.

Urbano (2003), menciona que los requerimientos de agua en un cultivo corresponden al agua que utiliza la planta para llevar a cabo sus funciones fisiológicas, incluyendo la que expulsa la planta a través de las hojas (transpiración), la que se pierde del suelo donde está el cultivo (evaporación) y el agua interceptada por el follaje.

Además Urbano (2003), dice que la determinación de las necesidades de agua de los cultivos es el paso previo para establecer los volúmenes de agua que será necesario aportar con el riego. Entre los métodos investigados para predeterminar estas necesidades, quizás sean los más utilizados los que se basan en la evapotranspiración. El consumo de agua no solo depende del cultivo, sino de los restantes factores climáticos, como se explica en la Evapotranspiración.

Bajo condiciones prácticas, la cantidad de agua disipada por evaporación y transpiración es causada por un efecto combinado, ya que ambos no son entre sí interdependientes (evapotranspiración). La transpiración puede ser influenciada por la evaporación del suelo y la evaporación del suelo es influenciada por el grado de cobertura existente del cultivo y la disponibilidad de humedad en el suelo cerca de su superficie (García & Briones, 1997).

Según Castañón (2000), dichas necesidades, que generalmente se denominan evapotranspiración del cultivo (ETc), dependen de los parámetros climáticos, de la disponibilidad de agua, del tipo y variedad de cultivo, de la densidad de siembra y del estado de su desarrollo.

B. CONCEPTOS PRELIMINARES PARA EL RIEGO.

Según García & Briones (1997), programar los riegos es un procedimiento usado para predecir las necesidades de agua de la planta a futuro, basándose en las mediciones del estatus de humedad actual en el suelo y en los datos climatológicos registrados históricamente. Los datos actuales de la humedad en el suelo, permiten establecer las condiciones iniciales y los datos climatológicos disponibles permiten extrapolar hacia el futuro dicha humedad en el suelo. Programar los riegos tiene como objetivo mejorar el manejo del agua, de tal manera que solo sea aplicada en el tiempo y en la cantidad necesaria.

1. Saturación (S).

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

2. Capacidad de campo (CC).

Es un concepto muy útil para realizar cálculos prácticos de las cantidades aprovechables de agua. Es el nivel de humedad que el suelo retiene contra la gravedad, se consigue dejando drenar el agua del suelo saturado (Calvache, 2012).

Según Leitón (1985), es la cantidad máxima de humedad que un suelo puede retener contra el efecto gravitacional. Cuando el suelo está en capacidad de campo, la tensión a que esta retenida la humedad varía entre 0.1 y 0.7 atmosferas.

3. Punto de marchites permanente (PMP).

Es el contenido de humedad del suelo al cual las plantas presentan marchitez se correlaciona adecuadamente con el contenido de agua retenido a -15 bares de potencial matricial. Este contenido de humedad se considera como el límite inferior de disponibilidad de agua para las plantas (Millar, 1993).

4. Agua útil o agua aprovechable.

Cualitativamente se define como la parte de agua del suelo que puede ser absorbida a un ritmo adecuado para permitir el aireamiento normal de las plantas que viven en el suelo. Cuantitativamente se define como la cantidad de agua retenida en un suelo entre las humedades correspondientes a los puntos de la Capacidad de campo y el Punto de marchitez permanente (Calvache. 2011).

Según León (2012), el cálculo del agua útil se basará en la siguiente ecuación:

$$AU = (CC - PMP) * Da * Z$$

Dónde: AU = agua útil o lámina total de agua, disponible para las plantas, en raíces (mm), CC = Capacidad de campo, PMP = Punto de marchitez permanente, Da = Densidad aparente del suelo (g/cm^3), Z = profundidad radicular (mm).

5. Agua en el suelo.

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

-Contenido gravimétrico de agua en el suelo.

-Potencial mátrico del suelo.

a. Contenido gravimétrico de agua en el suelo.

Enciso (2005), afirma que para determinar el contenido gravimétrico de agua en el suelo se debe tomar muestras de suelo a diferentes profundidades empleando un tubo de extracción de muestras de suelo. Por lo general se toman muestras de los siguientes perfiles: 15 cm, 30 cm, 45 cm y 60 cm. En algunos suelos puede ser deseable tomar muestras a profundidades de 90 cm, en función del grado de pérdidas por percolación profunda y escorrentía, y de las características del perfil del suelo.

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

$$\text{Contenido de agua en el suelo} = \frac{(PF - PS)}{PS} \times 100$$

Tabla 1. Porcentaje de humedad para los diferentes tipos de suelo

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

Fuente: Giardini, (2004) CC = Capacidad de campo, PMP = Punto de marchitez permanente, HD = Humedad disponible

b. Potencial mátrico del suelo

Puede medirse empleando varios instrumentos, destacando:

b.1. Tensiómetros

Ekanayake (1994), señala que el suelo ejerce una fuerza de succión contra el agua contenida en el recipiente. Mientras más seco esté el suelo, mayor será la fuerza. La

fuerza de succión o potencial mátrico del suelo puede leerse directamente en el tensiómetro en unidades de presión (bares o pascales).

Los tensiómetros se colocan a diferentes profundidades en el perfil de suelo, preferible adyacentes unos con otros (Ekanayake, 1994).

Tabla 2. Interpretación de las lecturas de los tensiómetros.

| Lectura centibares | Estado | Explicación / Acción |
|---------------------------|---------------------------|---|
| 0 | Saturado | Estado de saturación para cualquier tipo de suelo, si la lectura persiste indica problemas de drenaje fuerte y aireación pobre. |
| 5-10 | Exceso | Exceso de humedad para el desarrollo de la planta, es indicador de que el drenaje continúa. |
| 10-20 | Capacidad de Campo | Indica capacidad de campo para la mayoría de los suelos, aportaciones extra de agua se perderán por percolación con el consiguiente lavado de nutrientes. |
| 20-30 | Rango de inicio del riego | Buen nivel de agua disponible y aireación en suelos de textura fina y media, no se requiere riego. |
| 30-40 | | Indica el riego para suelos de arena fina, y para la mayoría de los suelos bajo régimen de riego por goteo. |
| 40-60 | | Indica el inicio del riego para la mayoría de los suelos. Suelos francos inician entre 40-50 cbars. |
| 70 | Seco | Inicia el rango de estrés, pero es probable que aún no sufra daño el cultivo. |
| 80 | | Lecturas mayores son posibles pero la columna de agua del aparato puede romper entre los 80-85 cbars, dependiendo de la altura del instrumento con respecto al nivel del mar. |

Fuente: (FAO, 2006).

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

| Tipo de suelo | Abatimiento % | Lectura tensiómetro (Centibares) |
|-----------------------|----------------------|---|
| Franco | 20 | 40 |
| | 25 | 50 |
| | 35 | 60 |
| | 50 | 90 – 100 |
| | 20 | 40 |
| Franco Arenoso | 20 | 30 – 35 |
| | 35 | 40 – 45 |
| | 40 | 50 |
| | 50 | 70 – 80 |
| Arenoso Franco | 25 | 20 – 25 |
| | 50 | 30 – 35 |
| | 75 | 50 |

Fuente: (León, 2012).

6. Coeficiente de cultivo (Kc)

Según la FAO (2006), un importante parámetro para el manejo del riego es el Coeficiente de cultivo (kc), que integra en un solo valor la influencia real de la evaporación del suelo y la transpiración de un cultivo (ETc), en una relación con la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo), constituyendo una excelente herramienta para la planificación del riego y la programación de calendarios básicos de riego en períodos mayores a un día.

Cely (2010), indica que el coeficiente de cultivo describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la cosecha, por ser dependiente de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de la planta. El kc varía con el período de crecimiento de la planta y con el clima; igualmente, depende de la capacidad de la planta para extraer agua del suelo, según su estado de desarrollo vegetativo.

a. Cálculo del coeficiente de cultivo

El Coeficiente de Cultivo (k_c) es el resultado de la relación entre la evapotranspiración de un cultivo (E_{tc}), durante una etapa definida, con la evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{to}). Su fórmula es:

$$Kc = \frac{E_{tc}}{E_{to}}$$

Según la FAO (2006), las diferencias en la anatomía de las hojas, características de los estomas, las propiedades aerodinámicas, e incluso el albedo, ocasionan que la evapotranspiración del cultivo difiera de la evapotranspiración del cultivo de referencia bajo las mismas condiciones climáticas. Debido a variaciones en las características del cultivo, durante los diferentes períodos de crecimiento, para un determinado cultivo.

b. Propósitos del cálculo del coeficiente de cultivo

Según Cely (2010), los propósitos del k_c son:

- Diseño y planificación del riego
- Manejo del riego
- Calendarios básicos de riego
- Calendarios de riego en tiempo real para aplicaciones no frecuentes de agua

Según la FAO (2006), debido a las variaciones en las características propias del cultivo durante las diferentes etapas de crecimiento, el k_c cambia desde la siembra hasta la cosecha.

La curva generalizada del k_c , representa los cambios del coeficiente del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento; la forma de la curva representa los cambios en la vegetación y el grado de cobertura del suelo durante el desarrollo de la planta y la maduración, los cuales afectan el cociente entre ET_c y ET_o . A partir de esta curva se puede derivar el valor del coeficiente k_c y en consecuencia el valor de ET_c , para cualquier período de la temporada de crecimiento. Cely (2010), indica que generalmente, los valores máximos de k_c se alcanzan en la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente decrece durante la fase de maduración; entonces, el k_c depende del clima, del tipo de cultivo y del estado de desarrollo del mismo, representado en la absorción de la luz, la impedancia de su follaje, su fisiología y el nivel de humedad de su superficie.

Según Cely (2010), la aplicación del coeficiente de cultivo en el proceso de planificación y programación del riego cumple con un objetivo importante, hace más eficiente la utilización del recurso hídrico, por relacionar dentro de un valor numérico el fenómeno natural de la evapotranspiración, en condiciones reales y óptimas, a la vez que tiene en cuenta las fases de desarrollo del cultivo, evidenciando de este modo los niveles de agua que consume el cultivo a lo largo su ciclo de desarrollo.

7. Evaporación

Según Castañón (2000), la evaporación representa el paso del agua, del estado líquido al estado de vapor, sea cual fuere la superficie en la que se produzca y necesita calor, prácticamente 600 calorías por gramo que, por lo general, es aportado por la energía radiante del sol.

La evaporación del agua depende del poder evaporante en cada punto en que se produce; pero también de:

- ✓ Cantidad de agua en la superficie evaporante.

- ✓ Estado de dicha agua; es decir, de las fuerzas de retención a que puede estar sujeta.

- ✓ Características de dicha superficie, tamaño, naturaleza, entre otros.

Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales. La transpiración, igual que la evaporación directa, depende del aporte de energía, del gradiente de presión del vapor y de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento también deben ser considerados en su determinación (FAO, 2006).

8. Transpiración

Para García & Briones (1997), la transpiración es la evaporación del agua de la superficie de la planta hacia la atmósfera o dentro de los espacios intercelulares y después por difusión a través de las estomas hacia la atmósfera.

Castañón (2000), acota que la transpiración foliar depende de la demanda evaporativa de la atmósfera, que está en función de la humedad relativa del aire, la temperatura ambiente y el viento. Cuando dicha demanda es superior a la capacidad de transpiración de la planta, se corre el riesgo de deshidratación por pérdida de agua de constitución de las células. El único medio que dispone la planta para conservar el agua interior de sus células es cerrar sus estomas.

9. Evapotranspiración

Perrier (1984) define el concepto de evapotranspiración (ET) como: “La pérdida total de agua de una cubierta vegetal bajo forma de vapor a través de la evaporación y transpiración durante un intervalo de tiempo dado”. Según lo señalado, la evapotranspiración es la suma de los términos evaporación y transpiración.

a. Factores que afectan la evapotranspiración

Martinez (2004), El clima, las características del cultivo, el manejo y el medio de desarrollo son factores que afectan la evaporación y la transpiración.

Los factores meteorológicos que determinan la evapotranspiración son los componentes del tiempo que proporcionan energía para la vaporización y extraen vapor de agua de una superficie evaporante (Fernández et al., 2010).

1. Variables climáticas

Los principales parámetros climáticos que afectan la evapotranspiración son la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento. Se han desarrollado varios procedimientos para determinar la evaporación a partir de estos parámetros. La fuerza evaporativa de la atmósfera puede ser expresada por la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) (FAO, 2006).

2. Factores de cultivo

El tipo de cultivo, la variedad y la etapa de desarrollo deben ser considerados cuando se evalúa la evapotranspiración de cultivos que se desarrollan en áreas grandes y bien manejadas. Las diferencias en resistencia a la transpiración, la altura del cultivo, la rugosidad del cultivo, el reflejo, la cobertura del suelo y las características radiculares del cultivo dan lugar a diferentes niveles de ET en diversos tipos de cultivos aunque se encuentren bajo condiciones ambientales idénticas. La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c) se refiere a la demanda evaporativa de la atmósfera sobre cultivos que crecen en áreas grandes bajo condiciones óptimas de agua en el suelo, con características adecuadas tanto de manejo como ambientales, y que alcanzan la producción potencial bajo las condiciones climáticas dadas (FAO, 2006).

3. Manejo y condiciones ambientales

Los factores tales como salinidad o baja fertilidad del suelo, uso limitado de fertilizantes, presencia de horizontes duros o impenetrables en el suelo, ausencia de control de enfermedades y de parásitos y el mal manejo del suelo pueden limitar el desarrollo del cultivo y reducir la evapotranspiración. Otros factores que se deben considerar al evaluar la ET son la cubierta del suelo, la densidad del cultivo y el contenido de agua del suelo. El efecto del contenido en agua en el suelo sobre la ET está determinado primeramente por la magnitud del déficit hídrico y por el tipo de suelo. Por otra parte, demasiada agua en el suelo dará lugar a la saturación de este lo cual puede dañar el sistema radicular de la planta y reducir su capacidad de extraer agua del suelo por la inhibición de la respiración (FAO, 2006).

Cuando se evalúa la tasa de ET, se debe considerar adicionalmente la gama de prácticas locales de manejo que actúan sobre los factores climáticos y de cultivo afectando el proceso de ET. Las prácticas del cultivo y el método de riego pueden alterar el microclima, afectar las características del cultivo o afectar la capacidad de absorción de agua del suelo y la superficie de cultivo. Una barrera rompevientos reduce la velocidad del viento y disminuye la tasa de ET de la zona situada directamente después de la barrera. El efecto puede ser significativo especialmente en condiciones ventosas, calientes y secas aunque la evapotranspiración de los mismos árboles podría compensar cualquier reducción en el campo (FAO, 2006).

b. Evapotranspiración de referencia (Eto)

Se la denomina como la evapotranspiración que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas (Sánchez, 2001).

La cantidad de agua que las plantas transpiran es mucho mayor que la que usan para su crecimiento y fotosíntesis. La transpiración puede considerarse, por tanto, como el consumo de agua de la planta. Además, se debe tener en cuenta que hay pérdidas por evaporación del agua desde la superficie del suelo (Calvache, 2012).

Por lo tanto, se considera que las necesidades de agua de los cultivos están dadas por la suma de la evaporación directa desde el suelo más la transpiración de la plantas, que es lo que comúnmente se conoce como evapotranspiración y es una cantidad que varía según el clima y el cultivo (Calvache, 2012). Siendo la siguiente formula:

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

Dónde:

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

E_v = Evaporación acumulada (mm)

K_p = datos climáticos: humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s), barlovento.

c. Evapotranspiración del Cultivo bajo condiciones estándar (Etc)

Cuando la evapotranspiración se produce sin ninguna restricción de agua en el suelo se conoce como evapotranspiración del cultivo (ETc) y corresponde a la cantidad de agua que debe ser aportada al suelo estacionalmente mediante lluvia y/o riego (Calvache, 2012).

La evapotranspiración es baja en los primeros estadios de la etapa de crecimiento de la planta; se incrementa a medida que la planta crece en altura y en área foliar, hasta alcanzar un máximo en la etapa de bulbificación y luego disminuye progresivamente hasta la etapa de cosecha. Por lo tanto, la evapotranspiración del cultivo (ETc) varía fundamentalmente según el estado fenológico del cultivo y el clima (FAO, 2006).

La evapotranspiración del cultivo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$E_{tc} = E_{to} * K_c$$

Dónde:

ETc=Evapotranspiración del cultivo en mm/día

ETo= Evapotranspiración de referencia en mm/día

Kc= Coeficiente de cultivo (adimensional)

d. Medición de la evapotranspiración

Villaman., Tijerina., Quevedo., & Crespo (2001), señalan que existen una gran cantidad de métodos para estimar la evapotranspiración en los cultivos, clasificándolos en métodos directos e indirectos. Los directos proporcionan información directa del total de agua requerida por los cultivos mediante la utilización de instrumentos que proporcionan valores muy cercanos a la realidad y que a la vez sirven para ajustar métodos empíricos; entre ellos se encuentran el método gravimétrico y lisimétrico. Los métodos indirectos proporcionan una estimación del requerimiento de agua mediante el uso de fórmulas empíricas clasificándolos como climatológicos y micrometeorológicos.

Fernández et al., (2010) afirman lo dicho anteriormente indicando que los métodos directos proporcionan directamente el valor del consumo total del agua requerida por las plantas, para lo que se utilizan aparatos e instrumentos en su determinación y que; los métodos indirectos proporcionan un valor estimado del agua requerida a través de todo el ciclo vegetativo, mediante la aplicación de fórmulas empíricas basadas en datos climáticos.

1. Lisimetría

Un lisímetro es un gran recipiente que encierra una determinada porción de suelo con superficie desnuda o con una cubierta vegetal, ubicado en campo para presentar condiciones naturales y que se utiliza para determinar la evapotranspiración de un cultivo en crecimiento, de una cubierta vegetal de referencia, o la evaporación de un suelo desnudo (Aboukhaled, et al., 1986 citado por Bochetti, 2010).

Según la FAO (2006) los lisímetros son tanques aislados llenados con suelo disturbado o no disturbado en los que el cultivo crece y se desarrolla. En lisímetros de pesaje de precisión, la evapotranspiración se puede obtener con una exactitud de centésimos de milímetro, donde la pérdida de agua es medida directamente por el cambio de masa y períodos pequeños tales como una hora pueden ser considerados. En lisímetros de drenaje, la evapotranspiración es medida por un período dado, restando la cantidad de agua de drenaje, recogida en el fondo de los lisímetros, de la cantidad total de agua ingresada. Un requerimiento de los lisímetros es que la vegetación dentro e inmediatamente fuera del lisímetro sea idéntica (la misma altura e índice de área foliar).

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

2. Método del Tanque evaporímetro tipo A

La evapotranspiración potencial del cultivo (E_{to}) se puede medir empleando el tanque de evapotranspiración clase "A" en el que se anotan periódicamente las diferencias de nivel de agua. La tasa evaporativa de los tanques de evaporación llenos de agua puede ser fácilmente obtenida. En ausencia de lluvia, la cantidad de agua evaporada durante un período (mm/día) corresponde a la disminución de la altura de agua en el tanque en ese período (FAO, 2008).

Según la FAO (2006), los tanques proporcionan una medida del efecto integrado de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso evaporativo de una superficie abierta de agua. Aunque el tanque evaporímetro responde de una manera similar a los mismos factores climáticos que afectan la transpiración del cultivo, varios factores producen diferencias significativas en la pérdida de agua de una superficie libre evaporante y de una superficie cultivada. La reflexión de la radiación solar del agua en el tanque puede ser diferente del 23% asumido para el cultivo de referencia. El almacenaje de calor dentro del tanque puede ser apreciable y puede causar una

significativa evaporación durante la noche mientras que la mayoría de los cultivos transpiran solamente durante el día. También se distinguen diferencias en la turbulencia, temperatura y humedad del aire que se encuentran inmediatamente sobre estas dos superficies. La transferencia de calor a través de las paredes del tanque también afecta el balance energético.

A pesar de la diferencia en los procesos ligados a la evaporación del tanque y la evapotranspiración de superficies cultivadas, el uso de la evaporación del tanque para predecir la ETo para períodos de 10 días puede ser considerado confiable si se usa correctamente (FAO, 2006).

La evaporación del tanque está relacionada con la evapotranspiración de referencia por un coeficiente empírico derivado del mismo tanque:

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

Dónde:

ETo: evapotranspiración de referencia (mm/día),

Kp: coeficiente del tanque evaporímetro (adimensional),

Evap: evaporación del tanque evaporímetro (mm/día) (FAO. 2006).

Tabla 4. Coeficientes del tanque evaporímetro (kp) para el tanque Clase A situado en una superficie cultivada para diversas localidades y ambientes con varios valores de velocidad media de viento y de humedad relativa.

| Tanque Clase A | Caso A: Tanque situado en un suelo cultivada | | | | Caso B: Tanque situado en suelo desnudo | | | |
|------------------------|--|--------------|--------------------|--------------|---|--------------|--------------------|--------------|
| | | Baja < 40 | Media 40– 70 | Alta > 70 | | Baja < 40 | Media 40– 70 | Alta > 70 |
| HR media | | | | | | | | |
| Velocidad viento (m/s) | Distancia del cultivo a barlovento (m) | | | | Distancia del cultivo a barlovento (m) | | | |

| | | | | | | | | |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Baja <2 | 1 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 1 | 0,7 | 0,8 | 0,85 |
| | 10 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 10 | 0,6 | 0,7 | 0,8 |
| | 100 | 0,7 | 0,8 | 0,85 | 100 | 0,55 | 0,65 | 0,75 |
| | 1000 | 0,75 | 0,85 | 0,85 | 1000 | 0,5 | 0,6 | 0,7 |
| Moderada 2 – 5 | 1 | 1 | 0,5 | 0,6 | 1 | 0,65 | 0,75 | 0,8 |
| | 10 | 10 | 0,6 | 0,7 | 10 | 0,55 | 0,65 | 0,7 |
| | 100 | 100 | 0,65 | 0,75 | 100 | 0,5 | 0,6 | 0,65 |
| | 1000 | 1000 | 0,7 | 0,8 | 1000 | 0,45 | 0,55 | 0,6 |
| Alta 5 – 8 | 1 | 0,45 | 0,5 | 0,6 | 1 | 0,6 | 0,65 | 0,7 |
| | 10 | 0,55 | 0,6 | 0,65 | 10 | 0,5 | 0,55 | 0,65 |
| | 100 | 0,6 | 0,65 | 0,7 | 100 | 0,45 | 0,5 | 0,6 |
| | 1000 | 0,65 | 0,7 | 0,75 | 1000 | 0,4 | 0,45 | 0,55 |
| Muy alta >8 | 1 | 0,4 | 0,45 | 0,5 | 1 | 0,5 | 0,6 | 0,65 |
| | 10 | 0,45 | 0,55 | 0,6 | 10 | 0,45 | 0,5 | 0,55 |
| | 100 | 0,5 | 0,6 | 0,65 | 100 | 0,4 | 0,45 | 0,5 |
| | 1000 | 0,55 | 0,6 | 0,65 | 1000 | 0,35 | 0,4 | 0,45 |

Fuente: (FAO, 2006).

10. Lámina de riego

Se refiere a una determinada cantidad de agua que se debe aplicar al suelo para que satisfaga las necesidades del cultivo; depende de la capacidad de almacenamiento de agua y del peso específico aparente del suelo, así como de la profundidad de raíces o zona de absorción, se expresa en milímetros o centímetros (mm o cm) (Valverde, 2007).

a. Lámina neta de riego (In).

La lámina neta de riego corresponde a la humedad de déficit. Es la cantidad de agua que debe quedar en la zona de raíces de las plantas, para llevar el suelo a capacidad de campo después de un riego, y que a su vez, corresponderá a la cantidad de agua que puede consumir el cultivo entre dos riegos consecutivos. Para determinar la lámina neta de riego, es necesario conocer la humedad aprovechable del suelo, el umbral de riego y

la profundidad de raíces que se van a mojar (Callejas, 2002). La fórmula de cálculo es la siguiente:

$$Ln = UR (\%) * AU$$

Dónde: UR = Umbral de riego (50%), AU = agua útil o lámina total de agua, disponible para las plantas, en raíces (mm).

El umbral depende de la sensibilidad del cultivo a la reducción de agua disponible en el suelo, factores climáticos y factores económicos. Para cultivos delicados y valor económico importante como hortalizas y flores los valores se ubican entre 0,3 y 0,4 (30 % - 40 %). En cultivos menos delicados los valores se reducen al 50 % (León, 2012).

b. Lámina bruta de riego (Lb).

La lámina de riego a aplicar se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$Lb = (Etc * Fr) / Ef$$

Dónde: Lb= Lámina bruta de riego (mm), Etc = evapotranspiración del cultivo (mm/día), Fr = frecuencia de riego (días), Ef = Eficiencia de aplicación de agua (León, 2012).

c. Volumen de riego

El volumen de riego a aplicar se determina como:

$$V = Lb * Area$$

V= Volumen de riego a aplicar (litros), Lb= Lámina bruta de riego (mm), Área cultivada (metros²) (León, 2012).

d. Tiempo de riego

El tiempo de riego se determina con la siguiente formula:

$$Tr = Vr/Q$$

T= Tiempo de riego (horas), Vr= Volumen de riego (Litros), Q = caudal (L/hora/gotero) (León, 2012).

C. RIEGO POR GOTEO.

Según Gómez (1979), el riego por goteo se ha concebido así, como una manera de entregar agua a las plantas en cantidad suficiente pero la estrictamente necesaria para que tengan un desarrollo óptimo; así también, García & Briones (1997), indican que el objetivo óptimo de un apropiado manejo de la irrigación es el de maximizar las eficiencias y minimizar los requerimientos de mano de obra y capital para un sistema de riego, tanto como sea posible y, al mismo tiempo mantener un ambiente favorable para el crecimiento de la planta, a fin de maximizar el rendimiento del cultivo.

1. Eficiencia del sistema de riego por goteo

Las investigaciones realizadas por García & Briones (1997), indicaron que la eficiencia en el uso del agua podría ser aumentada en un 50 % o más usando un riego por goteo en lugar de un riego por superficie.

Debido a que solamente la zona radicular de la planta es suplida con agua, bajo un apropiado manejo sólo una pequeña cantidad de agua se pierde por percolación profunda, consumo por plantas no beneficiosas, o evaporación desde la superficie del suelo (García & Briones, 1997).

2. Ventajas

- a. Permite un ahorro considerable de agua, debido a la reducción de la evapotranspiración y de las pérdidas de agua en las conducciones y durante la aplicación.
- b. Uniformidad de riego, todas las plantas crecen uniformemente, ya que reciben volúmenes iguales de agua.
- c. Posibilidad de medir y controlar la cantidad de agua aportada.
- d. Es posible mantener el nivel de humedad en el suelo más o menos constante y elevado, sin que lleguen a producirse encharcamientos que provoquen la asfixia de la raíz o faciliten el desarrollo de enfermedades. Facilita el control de malezas, ya que éstas se localizan tan sólo en el área húmeda (Romero, 2005).

3. Desventajas

- a. Taponamiento de los goteros
- b. Riesgo de salinización del suelo

D. RIEGO EN LA CEBOLLA

De la Torre (1999), indica que el cultivo de cebolla colorada, se ha concentrado principalmente en aquellas zonas que disponen riego y de la tecnología apropiada para producir esta hortaliza. Además, señala que el sistema de irrigación más utilizado en el cultivo de la cebolla es por gravedad mediante surcos, pero se está promocionando el uso de riego por goteo, a un costo inicial mayor, aunque con las ventajas que este sistema proporciona podría ser una buena inversión. Algunas hortícolas, incluso, aplican riego por aspersión, pero solo hasta aproximadamente 45 días después del trasplante

para no propiciar el ataque de patógenos en el suelo y en el follaje, resultante del humedecimiento intenso.

Los antecedentes relacionados con el riego de cebolla indican, en general, que este cultivo es muy sensible a la humedad del suelo, y que responde positivamente a umbrales altos de humedad, (Lipinski et al., 2002)

Rázuri et al. (2005), reportan que la cebolla es un cultivo que responde bien al riego en todo su ciclo vegetativo, presentando estadios de mayor sensibilidad al déficit de humedad. En el período de formación y crecimiento de los bulbos, una baja disponibilidad de agua en el suelo causa una reducción acentuada en la productividad del cultivo. Además, señalan que en trabajos de evaluación del cultivo de la cebolla, para diferentes niveles de humedad se ha demostrado que los más altos niveles de agua en el suelo, han dado como resultado mayores rendimientos.

Ramos (1999), indica que el sistema radicular de la cebolla es superficial, por lo que el área de exploración de las raíces es muy reducida. En consecuencia, los riegos deben ser frecuentes y si la textura es gruesa, el tiempo de aplicación debe ser reducido para evitar pérdidas de agua y nutrientes por percolación. Por otra parte, el agua por encima de los bulbos, podría favorecer la proliferación de enfermedades fungosas y el amarillamiento de las hojas.

El cultivo de la cebolla debe recibir el agua que requiere, evitando el exceso, tanto para reducir las posibilidades de ataques de hongos y bacterias en condiciones de alta humedad, como para evitar el desperdicio y por ende disminuir el costo. La cebolla no tolera sequías muy prolongadas en especial durante las primeras etapas de crecimiento y cuando los bulbos se encuentran en plena formación (De la Torre, 1999).

Según Pizarro (1987), otro tópico acerca de los riegos es el aumento que se consigue en la producción debido a la alta frecuencia. Según esa teoría, al mantenerse constantemente en el suelo una humedad elevada, la absorción de agua por las raíces exige un esfuerzo menor a la planta y la producción se desarrolla en mejores condiciones, aumentando los rendimientos.

Numerosas experiencias han demostrado que existe un valor umbral de humedad en el suelo que depende de varios factores, fundamentalmente del tipo de cultivo y que se caracteriza porque mientras la humedad se mantenga por encima de ese valor, la producción del cultivo en cuestión no se resiente. Es decir, el que los cultivos obtengan altos rendimientos no depende del sistema de riego sino del régimen de humedad, (Pizarro, 1987).

Según Villafañe & Hernández (2000), el cultivo de la cebolla es altamente sensible a los déficits hídricos, de allí que para lograr rendimientos económicamente aceptables, es necesario suplir agua al suelo cuando en los primeros 20 cm se agota el 40 % del agua útil. Con un manejo adecuado del riego y de la fertilización, los rendimientos pueden superar las 40 t/ ha.

Lipinski & Gaviola (2008), mencionan que el cultivo de cebolla responde en forma lineal y positiva al incremento del riego, no encontrándose efectos negativos en cuanto a deformaciones y podredumbres.

Estrella & León (2000), explican que los requerimientos hídricos de la cebolla son del orden de 650- 700 mm de agua por cosecha.

E. CULTIVO DE LA CEBOLLA.

1. Generalidades

La cebolla es un cultivo bianual, su origen primario se localiza en Asia central, y como centro secundario el Mediterráneo, pertenece a la familia Liliaceae, su nombre científico es *Allium cepa* L., hoy se cultiva ampliamente en todo el mundo, como especie anual, para el consumo de sus bulbos frescos, en conserva o deshidratados (Infoagro, 2002).

2. Clasificación botánica

Chicaiza (2001), manifiesta que la cebolla se describe taxonómicamente de la siguiente manera:

| | |
|--------------------|-----------------------|
| Reino: | Vegetal |
| División: | Angiospermas |
| Orden: | Liliflorae |
| Familia: | Liliaceae |
| Género: | <i>Allium</i> |
| Especie: | <i>cepa</i> |
| Nombre científico: | <i>Allium cepa</i> L. |

3. Características botánicas

Según Suquilanda (2003), la cebolla perla es una planta bienal, a veces vivaz, de tallo reducido a una plataforma que da lugar por debajo a numerosas raíces y encima a hojas, cuya base carnosa e hinchada constituye el bulbo. Las características de esta planta son las siguientes:

a. Sistema radicular

Las raíces son blancas, espesas y simples.

b. Bulbo

El bulbo está formado por numerosas capas gruesas y carnosas al interior, que realizan funciones de reserva de sustancias nutritivas necesarias para la alimentación de los brotes, y están recubiertas de membranas secas, delgadas y transparentes, que son la base de las hojas. La sección longitudinal muestra un eje caulinar llamado cormo, cónico, provisto en la base de raíces fasciculadas.

c. Pseudotallo

Hessayon (2006), menciona que el tallo es muy rudimentario y pequeño, ya que alcanza solo unos milímetros de longitud, realmente se llama falso tallo al conjunto de hojas que forman el punto apical.

El tallo de la planta está reducido a un disco basal, desde el cual salen las hojas para formar el bulbo, en el cual las hojas más antiguas rodean a las más nuevas y forman una cubierta protectora del color característico de la variedad (Alvarado, 2008)

d. Hojas

La planta de cebolla está constituida por hojas de forma cilíndrica, huecas y mostrando fibras longitudinales; las cuales en la parte inferior forman un bulbo que es el resultado de la acumulación de elementos alimenticios. Las hojas van en número de cuatro a siete con un largo de 45 –70 cm. (Casseres, 2001).

e. Flores

Son pequeñas, verdosas, blancas o violáceas, que se agrupan en umbelas y se encuentran al final de un escapo largo y hueco.

f. Semilla

La semilla es de color negro, anguloso, aplastado y rugoso. Un gramo contiene entre 250- 300 semillas y la densidad de ésta es de 0.5 g/cm³, (Suquilanda, 2003).

4. Etapas fenológicas

Según Jaramillo (1997), de acuerdo con la secuencia de fenómenos que comprenden el crecimiento y desarrollo de la cebolla de bulbo, se puede decir que presenta las siguientes fases fenológicas básicas:

a. Emergencia

Ocurre cuando la raíz principal crece hacia abajo y el cotiledón se elonga.

b. Primera hoja verdadera

Esta hoja crece dentro del cotiledón y emerge a través de él; simultáneamente se presenta el crecimiento de las raíces adventicias en la base del tallo.

c. Plántula

Esta fenofase se caracteriza por la formación de nuevas hojas y raíces adventicias y la diferenciación del pseudotallo.

d. Iniciación de la formación del bulbo

En las plantas de cebolla, algunas hojas modifican sus vainas envolventes para recibir fotosintetizados y así aumenta el diámetro del pseudotallo. En esta fenofase comienza la translocación intensa de carbono asimilado, el cual se utiliza para almacenamiento y crecimiento del bulbo, pues éste empieza a ser el principal sitio de recepción y utilización de los compuestos asimilados (Jaramillo, 1997).

e. Máximo desarrollo vegetativo

Esta fenofase comprende desde la iniciación hasta la terminación del llenado del bulbo; durante esta fase fenológica, las plantas logran la mayor expresión de los parámetros área foliar y peso seco de las hojas (Jaramillo, 1997).

f. Terminación del llenado del bulbo

En esta fenofase las hojas de la planta entran en senescencia.

5. Características del cultivar burguesa.

Cebolla híbrida de día corto que produce bulbos de forma semiachatado, siendo su característica principal el centro único. Tiene tolerancia a raíz rosada y Fusarium. Apta para climas fríos como cálidos. Ideal para la exportación por su capacidad de almacenaje (Alaska, 2014).

a. Tipo

Híbrido cebolla roja para días cortos, muy precoz (Alaska, 2014).

b. Período vegetativo

Siembra – Trasplante 40 – 45 días

Trasplante – Cosecha 95 – 105 días (Alaska, 2014).

c. Bulbos

Color: rojo

Forma: globo achatada

Tamaño: 75 – 95mm diámetro

Pungencia: media (Alaska, 2014).

e. Tolerancias resistencias

Tolerancia a raíz rosada y buena media a Fusarium. Esta posee un excelente color rojo intenso exterior y su color interior es bien definido. Muy buena adaptabilidad tanto en climas fríos como en climas cálidos (Alaska, 2014).

6. Requerimientos del cultivo.

a. Suelo

De preferencia, suelos francos bien drenados, pero puede sembrarse en cualquier tipo de suelo, siempre y cuando se le den las condiciones para no sufrir de encharcamiento, que es su mayor problema (Lardizabal, 2014).

b. Clima

Se desarrolla mejor en temperaturas frescas que van desde los 13 a los 24 grados centígrados, y a una altura de 500 a 1,800 metros sobre el nivel del mar (Lardizabal, 2014).

c. Precipitación

No tolera excesos de agua; se produce en zonas con una precipitación que va entre los 500 y 1,200 mm/año (Lardizabal, 2014).

La cebolla es una planta tolerante a la acidez, prospera bien en suelos con un pH que varía entre 5.5. y 6.8, prefiriendo suelos sueltos, profundos, fértiles y rico en humus, debiendo tener un buen drenaje (Ecuarural. 2001).

La cebolla se adapta a diferentes tipos de temperatura; desarrolla bien en climas cálidos, templados y fríos, comprendidos entre los 50 y 300 m. de altura; produciéndose mejor en altitudes arriba de los 900 msnm., con ambiente seco y luminoso; temperatura ambiental entre los 18 y los 25°C. Las condiciones ideales para el cultivo de la cebolla son temperaturas frescas se dan durante la etapa inicial del cultivo (11-22°C) y temperaturas cálidas durante la madures (13-24°C) Por lo tanto las temperaturas optimas fluctúan entre las 12-24°C (Suquilanda, 2003).

d. Fertilización

Lo primero que se debe hacer, es realizar muestreo de suelo, y enviarlo al laboratorio para su respectivo análisis, y así obtener datos confiables del estado en general de ese suelo (disponibilidad de los elementos, pH, salinidad, materia orgánica, conductividad eléctrica, C.I.C., etc.). En base a los resultados del análisis del suelo y los requerimientos del cultivo, podremos calcular la cantidad de fertilizantes a aplicar por unidad de área (Figuroa, 1988).

d.1. Requerimientos nutricionales

Una producción de 35 t/ha de cebolla extrae aproximadamente: 128 kg/ha de N, 24 kg/ha de P, 99 kg/ha de K, 28 kg/ha de Ca y 6,3 kg/ha de Mg. Un desbalance en cualquiera de los nutrientes repercute en la calidad y no en el rendimiento total, por esta razón los nutrientes no deben faltar en un plan de fertilización (Figuroa, 1988).

El requerimiento nutricional en el cultivo de la cebolla es: nitrógeno (N) 170 kg/ha, fósforo (P₂O₅) 85 kg/ha, potasio (K₂O) 177 kg/ha, magnesio (Mg O) 35 kg/ha, azufre (S) 30 kg/ha y zinc (Zn) 3.6 kg/ha (Medina, 2008).

e. Riego

Esta hortaliza es uno de los cultivos exigentes en riegos debido primordialmente al abundante y superficial de sus sistema radicular, por eso cuando la provisión de agua es escasa los bulbos disminuyen de tamaño, es así que se ha llegado a determinar que los rendimientos de cebolla están en relación directa con el riego proporcionado al cultivo (Infoagro. 2002).

El riego inmediato después del trasplante es básico, sin embargo unos 20 días antes de la cosecha se debe suspender. El exceso de riego también puede ocasionar una reducción de la producción. La frecuencia de riego depende de la edad de cultivo, y estación, en verano, así los 8 primeros días se debe dar riegos diarios y luego pasando

un día hasta que la sexta semana se habrá de dosificar 2 veces por semana (Infoagro. 2002).

f. Deshierbas

La cebolla colorada al ser un cultivo de lento crecimiento y presentar raíces superficial, poco follaje es muy sensible en lo que se refiere a la competencia por agua, luz y nutrientes, por esto es necesario mantener limpia la plantación de malezas; además con esta medida se reduce la incidencia de enfermedades (IICA. 2008).

7. Plagas y enfermedades del cultivo

a. Plagas

Existen varios tipos de insectos plaga que inciden en los problemas de producción de la cebolla.

b. Enfermedades

Las enfermedades presentadas comúnmente en el cultivo de cebolla colorada son causadas en su mayoría por hongos.

8. Rendimiento

Según el III Censo Nacional Agropecuario (2000), en el Ecuador, se cultivan 5875 hectáreas de cebolla colorada, obteniéndose así una producción de 41184 toneladas métricas al año, que arroja un rendimiento nacional promedio de 7 t/ha.

Según Freire (2012), el rendimiento del cultivo de cebolla colorada variedad burguesa alcanza los 43304,73 kg/ha.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR

1. Localización.

La presente investigación se llevó a cabo en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales en el centro experimental del Riego (CER).

2. Ubicación geográfica.¹

- Latitud: 1°39'18,82" S
- Longitud: 78°40'39.99" O
- Altitud: 2.821 m.s.n.m.

3. Características climáticas.²

- Precipitaciones: media anual 510 mm/año
- Temperatura: media anual 13.5 °C.
- Humedad relativa: media anual 62.06 %

4. Clasificación ecológica.

Según Holdrige (1982), la localidad se encuentra en el rango de estepa espinosa Montano Bajo (EEMB).

¹ Datos tomados con el GPS

² Estación meteorológica, ESPOCH 2016

B. EQUIPOS Y MATERIALES.

1. Material biológica de investigación.

Plántulas de cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa.

2. Materiales y equipos de campo.

Cinta métrica, piolas, estacas, azadón, azada, rastrillo, nivel, sistema de riego por goteo (cintas de riego auto-compensada, distancias entre gotero de 0,30cm, $Q = 1 \text{ L/h/gotero}$), Lisímetro (forma cilíndrica, diámetro = 0,58 m, largo = 0,8 m, volumen = $0,26\text{m}^3$), sistema de drenaje para lisímetros, recipiente plástico de 20lt utilizado para sobredosificar el riego, botas, guantes, mascarilla, bomba de mochila, rótulos de identificación, fertilizantes, fungicidas, insecticidas, estación meteorológica portátil, cámara fotográfica, libreta de campo, balanza eléctrica, calibrador, tanque evaporímetro tipo A, tensiómetros de 15 y 30 cm de profundidad, barreno, cajas metálicas, estufa.

3. Materiales de oficina.

Cuaderno, lápiz, borrador, regla, calculadora, computadora, flash memory, impresora, hojas de impresión.

4. Formulas aplicados.

a. Agua útil (AU)

$$AU = (CC - PMP) * Da * Z$$

Dónde:

AU = agua útil o lámina total de agua, disponible para las plantas, en raíces (mm),

CC = Capacidad de campo, PMP = Punto de marchitez permanente,

Da = Densidad aparente del suelo (gr/cm^3),

Z = profundidad radicular (mm).

b. Porcentaje de humedad del suelo

$$\%HS = \frac{(P.S.H - P.S.S)}{P.S.S} \times 100$$

Dónde:

%HS = Porcentaje de humedad por peso

PSH = Peso de la muestra húmeda, pesado inmediatamente tomado la muestra del suelo

PSS = Peso de la muestra seca, muestra de suelo pesado después de colocar en la estufa (105°C) durante 24 horas.

c. Porcentaje de humedad por volumen

$$HV\% = \%HS * DAp$$

Dónde:

%HV = Porcentaje de humedad por volumen

%HS = Porcentaje de humedad del suelo.

DAp = Densidad aparente del suelo

d. Evapotranspiración de referencia (Eto)

$$Eto = Ev * Kp$$

Dónde:

Eto = evapotranspiración de cultivo de referencia (mm/día)

Ev = Evaporación acumulada (mm)

Kp = datos climáticos: humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s), barlovento.

e. Evapotranspiración del cultivo utilizando datos meteorológicos (Etc)

$$\text{Etc} = \text{Eto} * \text{Kc}$$

f. Evapotranspiración del cultivo utilizando el lisímetro (Etc)

$$\text{Etc} = \text{R} - \text{D}$$

Dónde:

Etc = Evapotranspiración del cultivo mm día

R = Agua agregada por riegos o precipitaciones (mm)

D = Agua drenada durante el periodo de análisis.

g. Operación del Lisímetro

$$\text{Va} = (\text{Eto} \times \text{ND} \times \text{Al}) \text{ c}$$

Dónde:

Va = Volumen a aplicar

Eto = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

ND = Número de días de un riego a otro

Al = Área del lisímetro (m²)

c = Coeficiente de seguridad para efectuar drenaje

h. Lamina de riego (Lr)

$$\text{Lr} = \text{Etc} / \text{Efr}$$

Dónde:

Etc = Evapotranspiración del cultivo

Efr = Eficiencia de riego

i. Volumen de riego (Vr)

$$Vr = Lr * A$$

Dónde:

Lr = Lamina de riego

A = Área a regar

j. Tiempo de riego (Tr)

$$Tr = Vr * Q$$

Dónde:

Vr = Volumen de riego

Q = Caudal requerida

k. Coeficiente del cultivo (Kc).

$$Kc = \frac{Etc}{Eto}$$

Dónde:

Kc Coeficiente del cultivo (adimensional)

Etc Evapotranspiración del cultivo (mm día)

Eto Evapotranspiración de referencia (mm día)

1. Contenido de materia seca en planta y bulbo.

$$PST = \frac{(PFT \times PSM)}{PFM} \times 100$$

Dónde:

PST = Peso seco total

PFT = Peso fresco total

PSM = Peso seco de la muestra

PFM = Peso fresco de la muestra

Para la valoración de la materia seca de la planta.

$$\% \text{ de materia seca} = \frac{\text{Peso de materia seca}}{\text{Peso de materia húmeda}} \times 100$$

m. Contenido relativa de agua (WRC)

$$WRC (\%) = \frac{Pf - Ps}{PT - Ps} \times 100$$

C. CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL

- Número de tratamientos: 3
- Número de repeticiones: 3
- Número de unidades experimentales: 9

1. Parcela.

| | |
|--|---------------------|
| - Forma: | Rectangular |
| - Longitud: | 38 m |
| - Ancho: | 36 m |
| - Número de camas por tratamiento: | 10 |
| - Distancia de plantación: | |
| - Entre hilera. | 0,20 m |
| - Entre planta. | 0,1 0 m |
| - Número de plantas por parcela: | 2220 |
| - Número de plantas evaluadas por parcela: | 10 |
| - Área neta del ensayo: | 900 m ² |
| - Área total del ensayo: | 1244 m ² |

2. Tratamiento

| | |
|---|--------------------|
| - Ancho de la parcela: | 10 m |
| - Longitud de la parcela: | 10 m |
| - Área de cada parcela: | 100 m ² |
| - Área de la parcela neta | 4.5 m ² |
| - Distancia entre parcela: | 3 m |
| - Número de plantas por cama: | 220 |
| - Número de plantas/parcela: | 2200 |
| - Numero de hileras/parcela neta: | 4 |
| - Número de plantas/hileras/parcela neta: | 33 |
| - Número de plantas parcela neta: | 132 |
| - Número de plantas a evaluar: | 10 |

D. DISEÑO EXPERIMENTAL

1. Características del diseño

Se realizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con tres tratamientos y tres repeticiones.

2. Esquema de análisis de varianza.

CUADRO: 1. ANÁLISIS DE VARIANZA (ADEVA)

| Fuente. de Variación | Formula | GL |
|----------------------|------------|----|
| Bloques | B-1 | 2 |
| Tratamiento | T-1 | 2 |
| Error | (B-1)(T-1) | 4 |
| Total | (B*T)-1 | 8 |

Fuente: Paguay, S. 2017.

3. Análisis funcional.

- a. Se realizó la prueba de TUKEY al 5% cuando presentó diferencia significativa entre los tratamientos.
- b. Se realizó el análisis económico Beneficio/Costo.

E. METODOLOGÍA

Las láminas de riego fueron aplicadas en base al balance hídrico del lisímetro de drenaje (método de lisimetría), las frecuencias de riego fueron realizadas en función del monitoreo del contenido de agua en el suelo, mediante la utilización de tensiómetros ubicados a 15 y 30 cm de profundidad de la misma. A la siembra el riego se realizó llevándolo al suelo a capacidad de campo (CC), posteriormente realizando los riegos cuando el 25%(T1), 50%(T2) y 75%(T3) del agua útil fue consumida de la zona radicular.

1. Medición del agua en el suelo

a. Contenido gravimétrico de agua en el suelo “Porcentaje de humedad”.

Se determinó el porcentaje de humedad que contiene el suelo, tomando una muestra representativa de cada uno de los tratamientos, a una profundidad de 15 y 30cm en forma diaria y luego aplicando la fórmula citada por (Ekanayake, 1994 & Enciso, 2005):

$$\%HS = \frac{(P.S.H - P.S.S)}{P.S.S} \times 100$$

Dónde:

%HS = Porcentaje de humedad por peso

PSH = Peso de la muestra húmeda, pesado inmediatamente tomado la muestra del suelo

PSS = Peso de la muestra seca, muestra de suelo pesado después de colocar en la estufa (105°C) durante 24 horas.

Mediante la fórmula señalada por (García et al., 2015) se obtuvo la humedad en volumen.

$$HV\% = \%H * DAp$$

Dónde:

%H = Porcentaje de humedad por peso

DAp = Densidad aparente del suelo

PSS = Peso de la muestra seca

2. Potencial mátrico del suelo

a. Tensiómetros.

Los tensiómetros se colocaron en cada uno de los tratamientos, junto con los lisímetros de drenaje, a profundidades de 15 y 30 cm, la lectura se la realizó en la mañana ya que el movimiento de agua en el suelo hacia la planta es insignificante existiendo un estado de equilibrio.

3. Evapotranspiración de referencia (Eto)

La Eto es una cantidad que depende exclusivamente de las condiciones del medio ambiente, el cual se la determinó con la siguiente formula.

$$Eto = Ev * Kp$$

Dónde:

Eto = evapotranspiración de cultivo de referencia (mm/día)

Ev = Evaporación acumulada (mm)

Kp = datos climáticos: humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s), barlovento.

Para obtener kp fue determinado con la estación meteorológica portátil, donde se pudo obtener datos de: Humedad Relativa (HR), velocidad del viento y barlovento, interpolando estos tres datos se obtiene el valor de kp. (León & Trezza, 1998).

4. Evapotranspiración del cultivo (Etc)

La evapotranspiración del cultivo (Etc) se determinó de forma lisimétrica mediante la ecuación dada por (Garay, 2009).

$$Etc = R - D$$

Dónde:

Etc = Evapotranspiración del cultivo mm día

R = Agua agregada por riegos o precipitaciones (mm)

D = Agua drenada durante el periodo de análisis.

5. Coeficiente del cultivo (kc).

Para la obtención de kc se utilizó la siguiente ecuación (Garay, 2009).

$$Kc = \frac{Etc}{Eto}$$

Dónde:

kc Coeficiente del cultivo (adimensional)

Etc Evapotranspiración del cultivo (mm día)

Eto Evapotranspiración de referencia (mm día)

F. FACTORES EN ESTUDIO

a. Materiales de experimentación

Se utilizó: material vegetativo (plántulas de cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa, láminas de riego.

b. Reposición de agua de riego por método directo.

LD = Lisímetros de drenaje.

c. Tratamiento en estudio.

CUADRO: 2. TRATAMIENTOS EN ESTUDIO DEL RIEGO

| TRATAMIENTO | MÉTODO | DESCRIPCIÓN |
|--------------------|---------------|---|
| T1 | Lisimetría | Reposición de lámina de riego al abatir 25% de agua útil del suelo. |
| T2 | Lisimetría | Reposición de lámina de riego al abatir 50% de agua útil del suelo. |
| T3 | Lisimetría | Reposición de lámina de riego al abatir 75% de agua útil del suelo. |

Fuente: Paguay, S. 2017.

G. VARIABLES Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN

1. Porcentaje de prendimiento.

Se evaluó el número de plantas prendidas de todo el ensayo a los 15 días después del trasplante, cuyo resultado se expresará en porcentaje.

2. Altura de la planta.

La altura de la planta se midió a los 30, 60 y 90 días después del trasplante de las 10 plantas tomadas al azar. Cuyo resultado se expresó en cm.

3. Numero de hojas

El conteo de número de hojas se lo realizó a los 30, 60 y 90, días después del trasplante, de las 10 plantas tomadas al azar.

4. Diámetro del pseudotallo

Se determinó el diámetro del pseudotallo con la ayuda de un calibrador a los 30, 60 y 90 días después del trasplante de las 10 plantas tomadas al azar. Cuyo resultado se expresó en cm.

5. Días a la cosecha

Se realizó la cosecha cuando existió el 75% de los pseudotallos doblados en la parcela neta.

6. Diámetro polar y ecuatorial del bulbo de la cebolla.

La medición del diámetro polar y ecuatorial de las 10 plantas tomadas al azar, se realizó luego de la cosecha, para lo cual se utilizó un calibrador manual.

7. Peso del bulbo.

Con la ayuda de una balanza eléctrica se pesó los bulbos de las 10 plantas tomadas al azar al momento de la cosecha, cuyo resultado se expresó en (kg).

8. Rendimiento en kg/ha.

El peso en kilogramos de bulbos que conformaron la parcela neta fueron consideradas para relacionarlos en kg/ha para cada tratamiento y repetición.

9. Contenido de clorofila.

El contenido de clorofila se midió en las diferentes hojas de la planta representativas de cada tratamiento, con la ayuda de un medidor MINOLTA SPAD-502, a los 122 días DDT en la etapa de maduración del bulbo.

10. Contenido relativo de agua (WRC).

La respuesta de las plantas al estrés por agua puede cuantificarse midiendo el contenido relativo de agua de una muestra de plantas, el WRC foliar mide el contenido relativo de agua respecto al de turgencia total.

$$\text{WRC}(\%) = \frac{(Pf \times Ps)}{(PT - Ps)} \times 100$$

Donde:

Pf = Peso fresco de la muestra de la hoja

Ps = Peso seco de la muestra de la hoja

PT = Peso turgente de la muestra de la hoja

Para determinar el contenido relativo de agua (WRC) se procedió a la toma de muestras de hojas de plantas representativo de cada tratamiento, una hoja de la parte superior, otra de la parte intermedia, otra de la parte inferior, inmediatamente, después se cortó de cada hoja 10 discos de 1 cm² de cada una de las partes obteniendo, así el peso fresco (Pf). Los discos extraídos (10 discos) se sometió a una inmersión aproximado de 12 horas en agua destilada, cada disco por separado, obteniendo así el peso turgente (PT). Se colocó la muestra en la estufa durante un tiempo de 48 horas a 75°C, obteniendo así el peso seco (Ps), luego se aplicó la fórmula señalada anteriormente.

11. Contenido de materia seca en planta y bulbo.

Se determinó la materia seca de las 10 plantas tomadas al azar.

Se procedió a la separación del bulbo y del resto de la planta registrando su peso fresco total (PFT), posterior a eso se colocó en bolsas de papel con sus respectivas etiquetas colocando en la estufa a 85°C durante 24 horas, obteniendo así el peso seco de la muestra, (PSM).

Para estimar el peso seco total de cada órgano (PST), se usó la fórmula (Bonierbale et al., 2010).

$$PMS = \frac{(PFT \times PSM)}{PFM}$$

Dónde:

PST = Peso seco total

PFT = Peso fresco total

PSM = Peso seco de la muestra

PFM = Peso fresco de la muestra

Para la valoración de la materia seca de la planta total se aplicó la ecuación citada por (Bonierbale et al., 2010).

$$\% \text{ de materia seca} = \frac{\text{Peso de materia seca}}{\text{Peso de materia humeda}} \times 100$$

12. Huella Hídrica

Para obtener la huella hídrica se realizó la suma de los aportes de cada riego y precipitación efectiva para cada tratamiento y se correlacionó con parámetros de rendimiento de cada uno de los tratamientos.

H. MANEJO DEL ENSAYO

1. Operación del Lisímetro

Para determinar el volumen de agua a aplicar se empleó la siguiente relación matemática dada por (Garay, 2009).

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

Dónde:

V_a = Volumen a aplicar

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

ND = Número de días de un riego a otro

A_l = Área del lisímetro (m^2)

c = Coeficiente de seguridad para efectuar drenaje

2. Operación del Tanque de Evaporación Clase A

Los datos se tomaron diariamente del tanque evaporímetro tipo A y el dato del pluviómetro en (mm/día).

3. Operación de la Estación Meteorológica Automatizada

Los datos de Humedad Relativa (HR), velocidad del viento y barlovento, interpolados permitió la obtención del k_p y posteriormente el cálculo de la E_{to} , estos datos fueron registrados diariamente y de forma automática en periodos de 1 hora.

4. Labores pre-culturales.

a. Preparación del suelo.

Se realizó de forma mecanizada con el implemento rastra, además se incluyó con la intervención de mano de obra, con el propósito de dejar desmenuzado el suelo.

b. Distribución de la parcela.

Se realizó la delimitación de las 9 parcelas las cuales constituyeron el respectivo ensayo, quedando distribuidas en 3 unidades experimentales cada uno con 3 repeticiones, según las especificaciones del campo experimental (Anexo 28).

c. Formación de camas.

Se realizó de forma manual con la ayuda del azadón, palas, piolas y flexómetro, cuyas dimensiones fueron: ancho de 0,60 m y de longitud 10 m, con un área de 60 m².

d. Fertilización.

Esta labor se procedió con una fertilización edáfica de acuerdo a los requerimientos del cultivo, cuyas fertilizaciones se realizaron de forma fraccionada basándose en la fenología de la planta.

e. Producción de plántulas.

Las plántulas se obtuvieron en el departamento de horticultura de la ESPOCH, según los parámetros requeridos para la presente investigación.

5. Labores culturales.**a. Trasplante.**

El trasplante se realizó a una distancia de 0.10 m entre plantas y 0.25 m entre hileras. Cuyo transplante se efectuó cuando las plántulas tenían un tiempo de 45 días.

b. Riegos.

Se añadió agua al cultivo mediante el sistema de riego a goteo, esto de acuerdo a los tratamientos establecidos y comportamiento climático, para tal efecto se determinó las ofertas y demandas del cultivo en tiempo real.

c. Control de malezas.

Se realizó de forma química y manual de acuerdo a la incidencia de los mismos.

d. Control fitosanitario.

Se realizó un control integrado de acuerdo a la incidencia en el cultivo.

e. Cosecha.

Se realizó la cosecha cuando existieron el 75% de los pseudotallos doblados en la parcela neta.

e.1. Categoría de la cebolla colorada según su peso.

CUADRO 3. Categoría de la cebolla según su peso (g).

| Tipo (tamaño) | Peso (g) | |
|---------------|----------|------------|
| | Mínimo | Máximo |
| I (Grande) | 250 | ≥ 300 |
| II (Mediano) | 190 | 249 |
| III (Pequeño) | 120 | 189 |

Fuente: León J. & Paguay S. 2017.

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. IDENTIFICACIÓN DE LAS ETAPAS FENOLÓGICAS DEL CICLO DEL CULTIVO DE CEBOLLA COLORADA (*Allium cepa* L.) var. Burguesa, EN MACAJÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO, 2017.

Durante el ciclo de cultivo de la cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa se determinaron cuatro estados fenológicos: formación de nuevas hojas, crecimiento y desarrollo vegetativo, bulbificación y maduración. En cada etapa se evidenciaron cambios en las variables estudiadas desde el momento del trasplante hasta la cosecha.

Las etapas fenológicas del ciclo del cultivo de la cebolla fueron identificadas, mediante una visualización directa al cultivo en estudio, en base al desarrollo y crecimiento del mismo. Etapas que fueron identificadas según lo indicado por (León, 2016).

1. Etapa inicial

Esta etapa se inició desde el día del trasplante hasta cuando el 30% de las plantas de la parcela neta emitieron nuevas hojas, teniendo esta etapa una duración de 17 días en los tres tratamientos. Tal como se expresan en el Cuadro 4.

CUADRO 4. DURACIÓN DE LA ETAPA INICIAL DEL CULTIVO DE CEBOLLA COLORADA (*Allium cepa* L.) var. Burguesa.

| Tratamientos | Duración de la etapa (días) |
|--------------|-----------------------------|
| T1 | 17 |
| T2 | 17 |
| T3 | 17 |

Fuente: Paguay, S. 2017

La primera etapa del ciclo del cultivo de cebolla colorada (*Allium Cepa* L.) var. Burguesa tuvo una duración de 17 DDT para los tres tratamientos, resultados que se acercan a lo señalado por la FAO (2006) en la que manifiesta que la etapa inicial tiene

una duración de 16 días, al respecto Sánchez (2013) menciona que durante la Etapa I el área foliar es pequeña y la ETP ocurre solo como evaporación, concordando con los resultados señalados en esta investigación en la que no existió diferencias entre tratamientos en estudio.

2. Etapa de desarrollo.

Esta etapa inició cuando culminó la etapa inicial hasta cuando el 30% de la de plantas de la parcela neta iniciaron a formar bulbos. Tal como se expresan en el Cuadro 5

CUADRO 5. DURACIÓN DE LA ETAPA DE DESARROLLO DEL CULTIVO DE CEBOLLA COLORADA (*Allium cepa* L.) var. Burguesa.

| Tratamientos | Duración de la etapa (días) |
|--------------|-----------------------------|
| T1 | 46 |
| T2 | 45 |
| T3 | 44 |

Fuente: Paguay, S. 2017

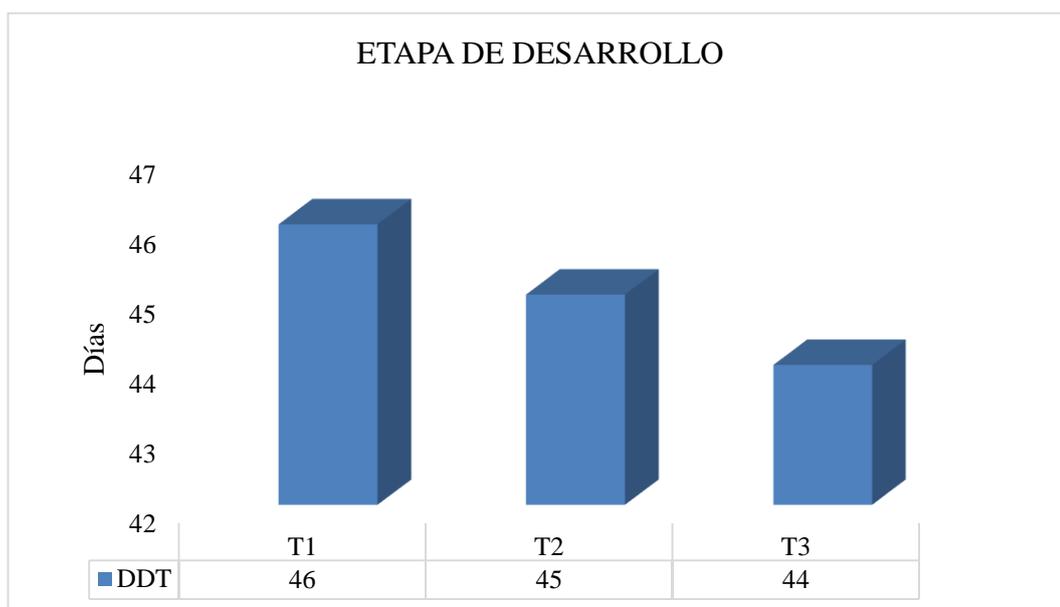


Figura 1. Duración de la etapa de desarrollo en el ciclo del cultivo de cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017.

Fuente: Paguay, S. 2017

En el Cuadro 5, Figura 1 se puede apreciar que la segunda etapa del ciclo del cultivo de cebolla colorada (*Allium Cepa* L.) var. Burguesa presentó una duración de 46, 45 y 44 días para T1, T2 y T3 respectivamente, resultados que se acerca con lo expuesto por FAO 56 (2006) en la que menciona que la etapa de desarrollo tiene una duración aproximada de 35 días, posible diferencia con la presente investigación son por los parámetros eafoclimáticos de la zona en estudio.

Existe poca diferencia entre tratamientos por lo que la en esta etapa del cultivo todavía existe mayor evaporación que el proceso de transpiración.

3. Etapa intermedia.

Esta etapa inició cuando culminó la etapa de desarrollo hasta cuando el 30% de las plantas de la parcela neta comenzaron a desarrollar los bulbos. Tal como se expresa en el Cuadro 6.

CUADRO 6. DURACIÓN DE LA ETAPA MEDIA DEL CULTIVO DE CEBOLLA COLORADA (*Allium cepa* L.) var. Burguesa.

| Tratamientos | Duración de la etapa (días) |
|--------------|-----------------------------|
| T1 | 52 |
| T2 | 49 |
| T3 | 46 |

Fuente: Paguay, S. 2017

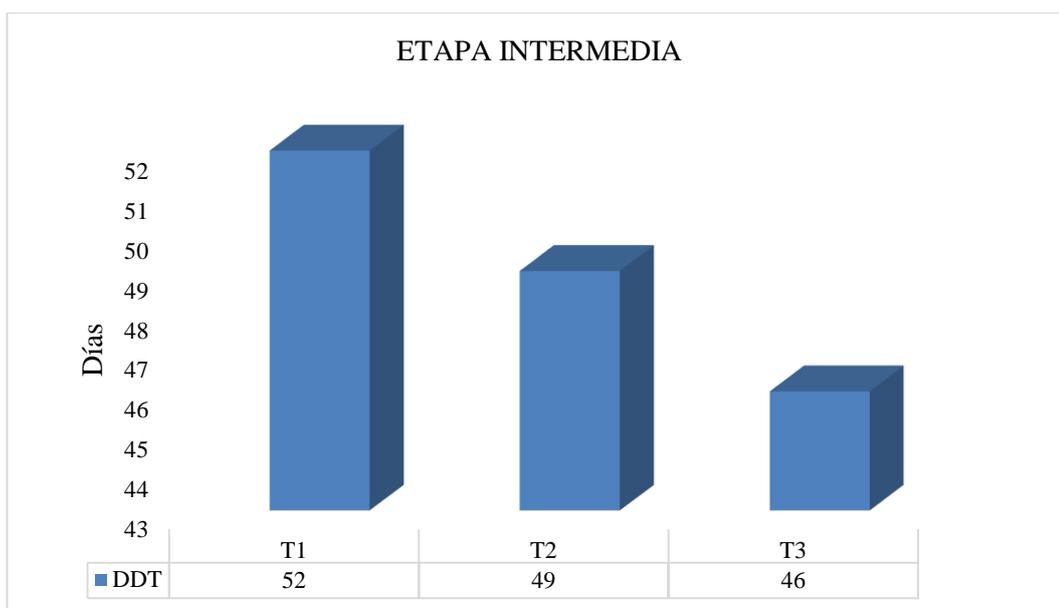


Figura 2. Duración de la etapa intermedia en el ciclo del cultivo de cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017.

Fuente: Paguay, S. 2017

Como se puede ver en la Cuadro 6, Figura 2 la tercera etapa (intermedia) del ciclo del cultivo de cebolla colorada (*Allium Cepa* L.) var. Burguesa tuvo una duración de 52, 49 y 46 días para T1, T2 y T3 respectivamente, así mismo Cely, (2010) afirma que esta etapa del cultivo tiene una duración de 49 días; al respecto Castro et al. (2014) manifiesta que una restricción hídrica moderada en el cultivo de cebolla, adelantaría el inicio de la bulbificación y por ende el ciclo de cultivo, resultados que concuerdan con la presente investigación por las diferencias que existen entre tratamientos.

4. Etapa final.

Esta etapa inició cuando culminó la etapa intermedia hasta cuando las plantas de la parcela neta presentaron el 75% de los pseudotallos doblados. Tal como se expresa en el Cuadro 7.

CUADRO 7. DURACIÓN DE LA ETAPA FINAL DEL CULTIVO DE CEBOLLA COLORADA (*Allium cepa* L.) var. Burguesa.

| Tratamientos | Duración de la etapa (días) |
|--------------|-----------------------------|
| T1 | 35 |
| T2 | 32 |
| T3 | 28 |

Fuente: Paguay, S. 2017

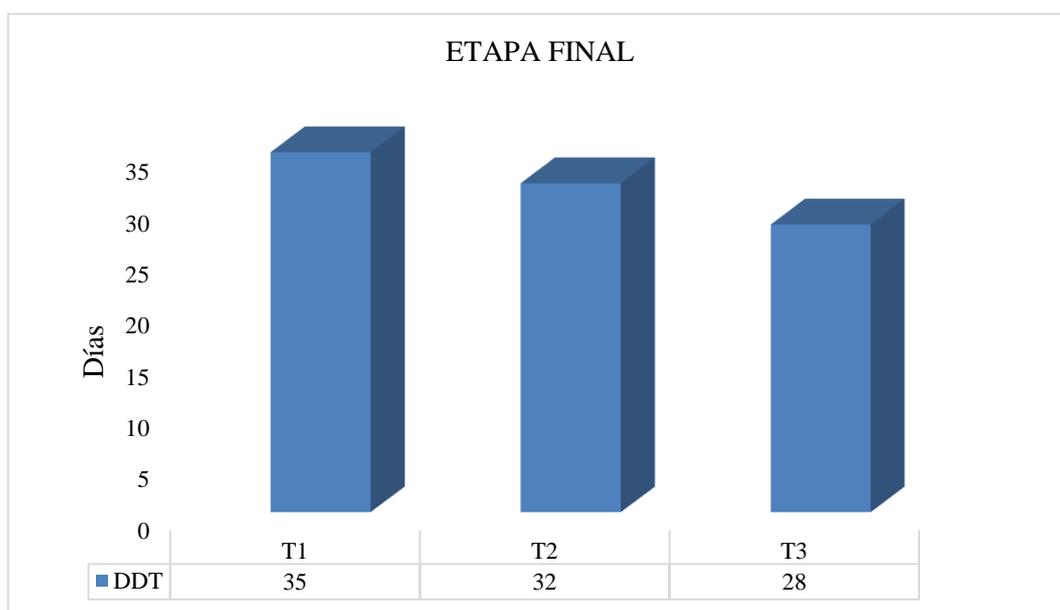


Figura 3. Duración de la etapa final en el ciclo del cultivo de cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017.

Fuente: Paguay, S. 2017

En la Cuadro 7, Figura 3 se puede observar la etapa final del ciclo del cultivo de cebolla colorada (*Allium Cepa* L.) var. Burguesa, el cual tuvo una duración de 35, 32 y 28 días para T1, T2 y T3 respectivamente, al respecto Vásquez (2008), menciona en su trabajo realizado, la duración de esta etapa del cultivo de cebolla es de aproximadamente de 34 días, comportamiento similar al señalado en esta investigación y por Cely (2010), en la que afirma que la duración de esta etapa final fue de 35 días.

Las diferencias entre tratamientos se debe a las diferentes láminas de riegos aplicados en cada uno de los tratamiento, al respecto la FAO (2006) afirma que el clima, la

genética y su manejo presenta una incidencia directa en la duración en las etapas fenológicas del cultivo los cuales son propias de cada localidad.

5. Duración total del ciclo del cultivo

En el Cuadro 8 se puede apreciar la duración total del ciclo del cultivo de la cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017.

CUADRO 8. DURACIÓN DEL CICLO TOTAL DEL CULTIVO DE CEBOLLA COLORADA (*Allium cepa* L.) var. Burguesa.

| Tratamientos | Duración del ciclo (días) |
|--------------|---------------------------|
| T1 | 150 |
| T2 | 143 |
| T3 | 135 |

Fuente: Paguay, S. 2017

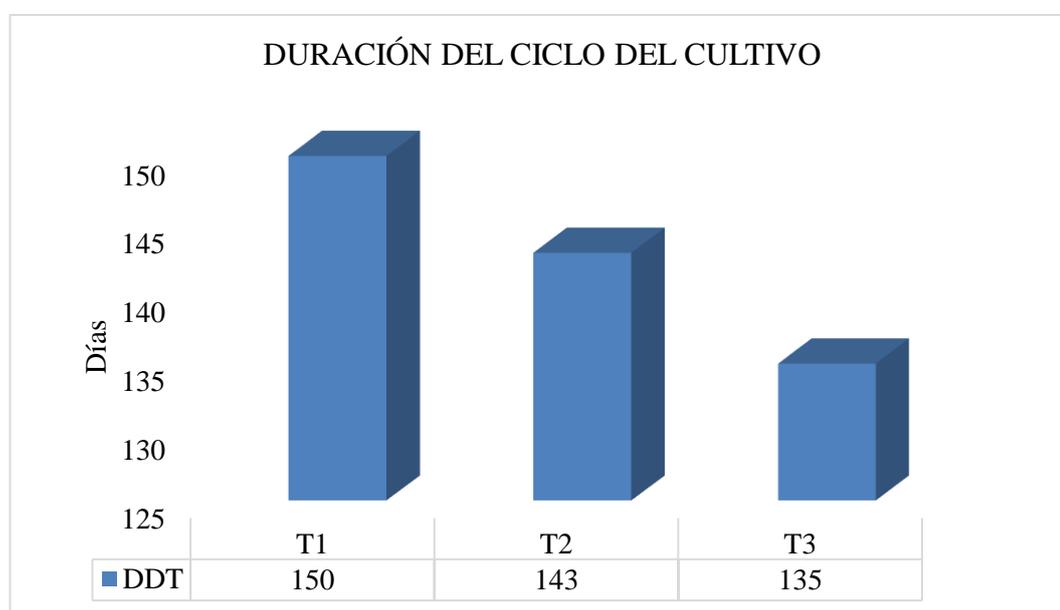


Figura 4. Duración del total del ciclo del cultivo de cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017.

Fuente: Paguay, S. 2017

En la Cuadro 8, Figura 4 se puede observar el ciclo total del cultivo de la cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa teniendo una duración para el Tratamiento 1 de 150 ddt, 143 y 135 ddt, para Tratamiento 2 y Tratamiento 3 respectivamente.

Al respecto Cely (2010), obtiene un comportamiento similar con la presente investigación, en la cual menciona que el ciclo del cultivo obtenido en su ensayo tuvo una duración de 147 días, también manifiesta que las diferencias en el ciclo del cultivo se deben a los diferentes volúmenes y frecuencias de riego aplicados al cultivo, así mismo Allen (2006), menciona que dentro de un mismo cultivo existe diferencias en el consumo de agua, por aspectos de tamaño, aerodinámica, como su parte anatómica, como consecuencia, variaciones en el crecimiento, desarrollo y por ende variación en la culminación de la etapa fenológica del cultivo.

B. COEFICIENTE DEL CULTIVO (kc) AJUSTADO PARA CEBOLLA COLORADA (*Allium cepa* L.) var. Burguesa, EN MACAJÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO, 2017.

1. Coeficiente del cultivo (kc) ajustado para cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa mediante la metodología de lisimetría, con un abatimiento de la humedad aprovechable del suelo del 25%.

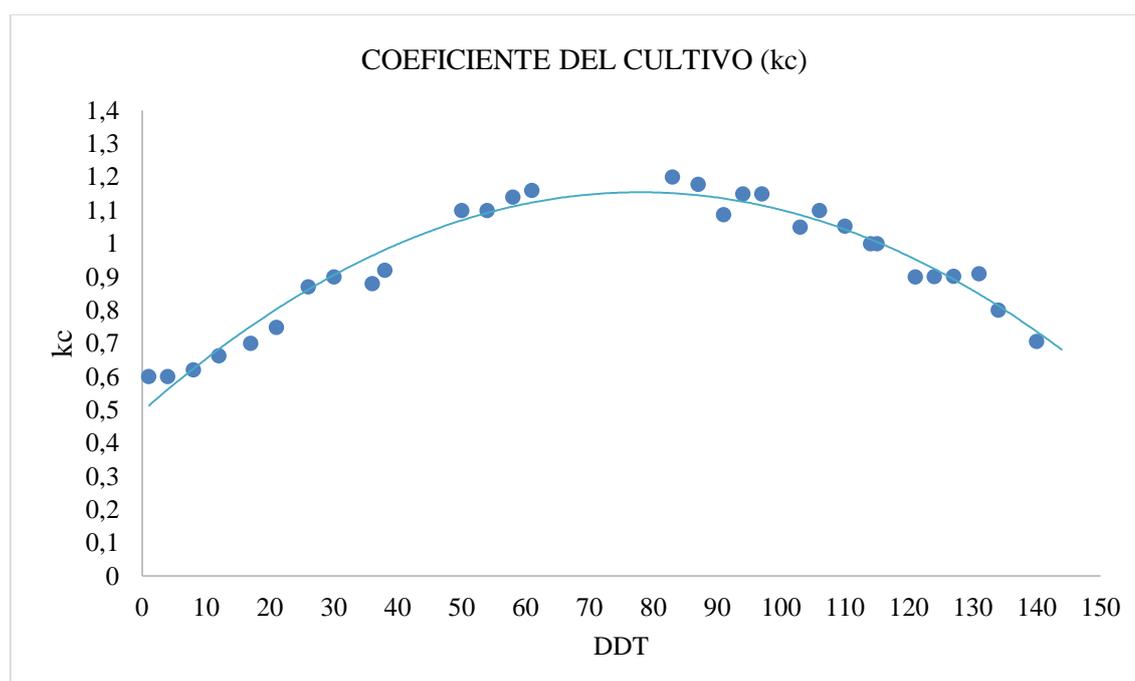


Figura 5. Coeficiente del cultivo (k_c) ajustado de cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa, mediante la metodología de lisimetría, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017.

Fuente: Paguay, S. 2017

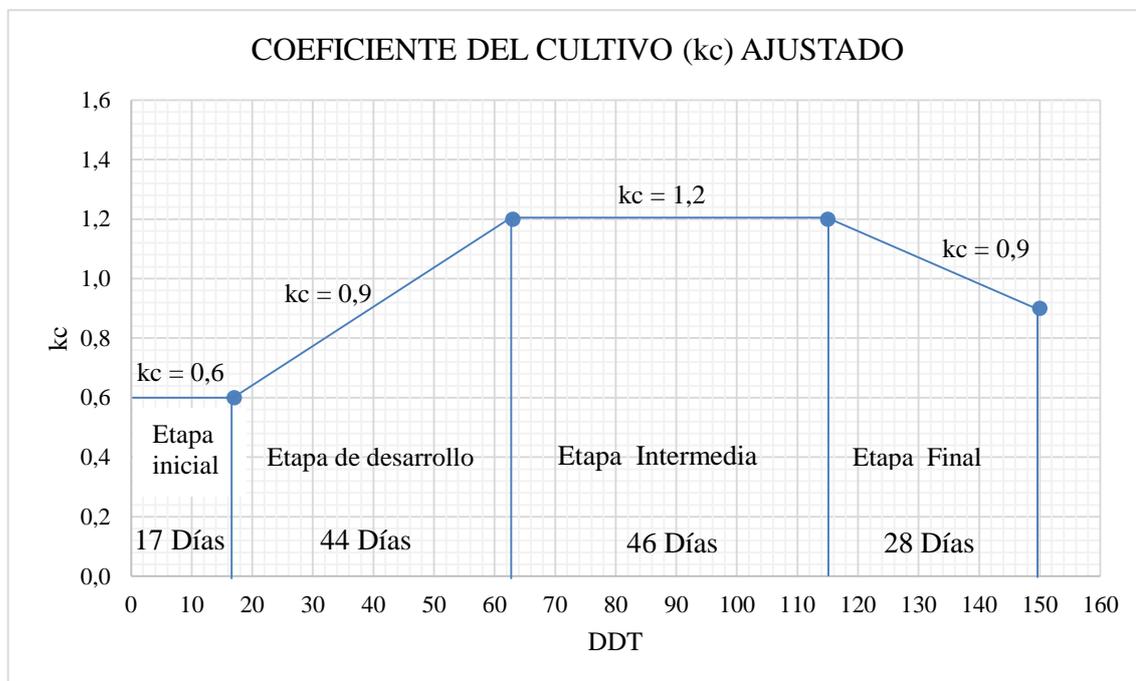


Figura 6. Coeficiente del cultivo (k_c) por etapa fenológica del ciclo del cultivo de cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa determinada por el método de lisimetría, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017.

Fuente: Paguay, S. 2017

En la Figura 5 podemos apreciar un modelo polinómica del coeficiente del cultivo (k_c) ajustado para el cultivo de la cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa determinada por el método lisimétrica con un abatimiento de la humedad del suelo del 25%. Así mismo en la Figura 6 se puede ver el coeficiente del cultivo (k_c) ajustado por etapa fenológica del ciclo del cultivo, en la que los valores obtenidos fueron: 0,6; 0,9; 1,2 y 0,9 con una duración de 17, 46, 52 y 35 días para la etapa inicial, desarrollo, media y final respectivamente, en la que se aplicó una lámina de riego de 591,3mm en todo el ciclo del cultivo, ésta teniendo una duración de 150ddt. Al respecto Cely (2010), manifiesta que los valores de coeficiente de cultivo obtenidos en el cultivo de cebolla colorada mediante riego por aspersión fueron de: 0.5, 0,72 y 0.48 para la etapa inicial, de intermedia y etapa final respectivamente. Resultados que varían con la presente investigación por las variaciones edafoclimáticas del lugar en estudio.

2. Coeficiente del cultivo (kc) ajustado de cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa mediante la metodología de lisimetría, con un abatimiento de la humedad aprovechable del 50%.

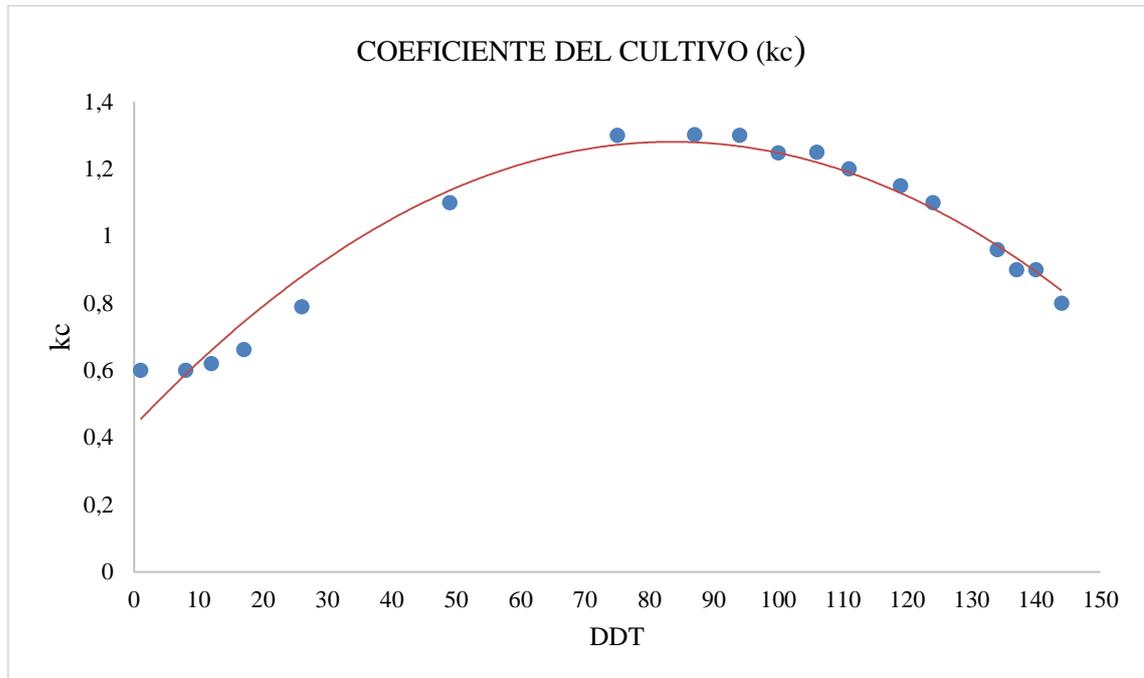


Figura 7. Coeficiente del cultivo (kc) ajustado de cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa, mediante la metodología de lisimetría, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017.

Fuente: Paguay, S. 2017

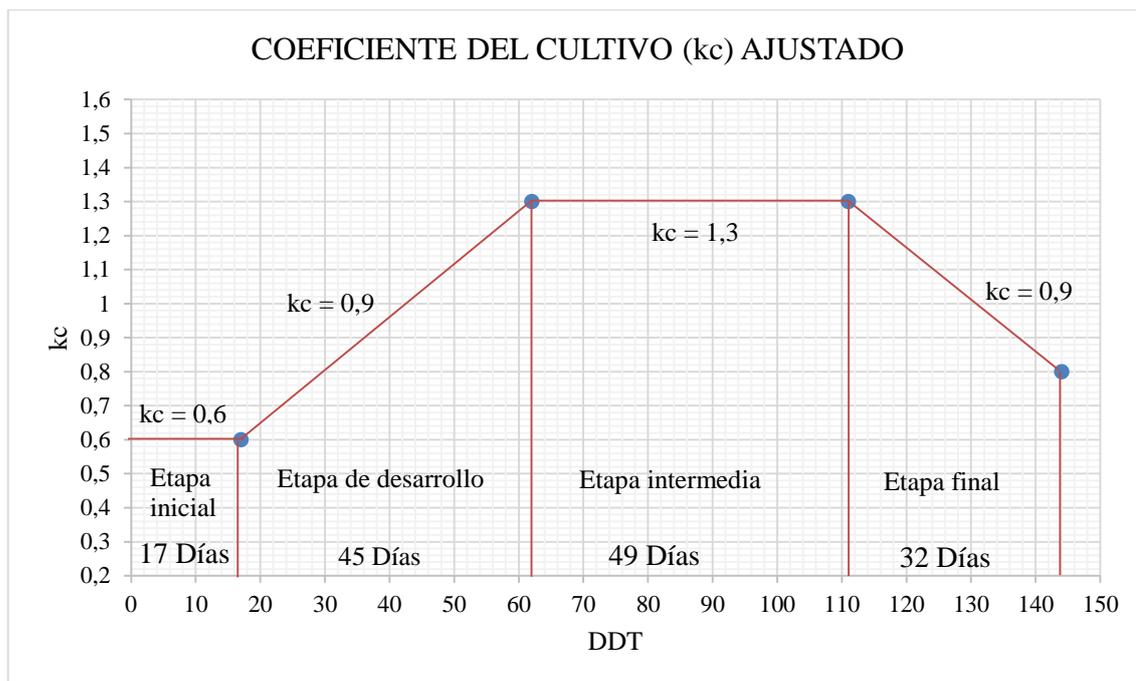


Figura 8. Coeficiente del cultivo (kc) por etapa fenológica del ciclo del cultivo de cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa determinada por el método de lisimetría, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017.

Fuente: Paguay, S. 2017

Se puede observar en la Figura 7 un modelo polinómica del coeficiente del cultivo (kc) ajustado para el cultivo de la cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa determinada por el método lisimétrica con un abatimiento de la humedad del suelo del 50%, mientras que en la Figura 8 se puede apreciar el coeficiente del cultivo (kc) ajustado por etapa fenológica del ciclo del cultivo, así los valores de kc obtenidos para la etapa inicial fue de 0,6 con una duración de 17 días, etapa de desarrollo de 0,9 con una duración de 45 días para la etapa media 1,3 y una duración de 49 días y de 0,9 para la etapa final con una duración de 32 días respectivamente, concluyendo el ciclo del cultivo con una duración total de 143ddt, en la que se aplicó una lámina de 550,7mm. Resultados que se aproximan por lo afirmado por Urrea et al., (2005) en la que manifiesta los valores del coeficiente del cultivo (kc) para la cebolla colorada a partir de las medidas lisimétricas: kc inicial 0,65; medio 1,2 y kc final 0,75.

3. Coeficiente del cultivo (kc) ajustado de cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa mediante la metodología de lisimetría, con un abatimiento de la humedad aprovechable del suelo del 75%.

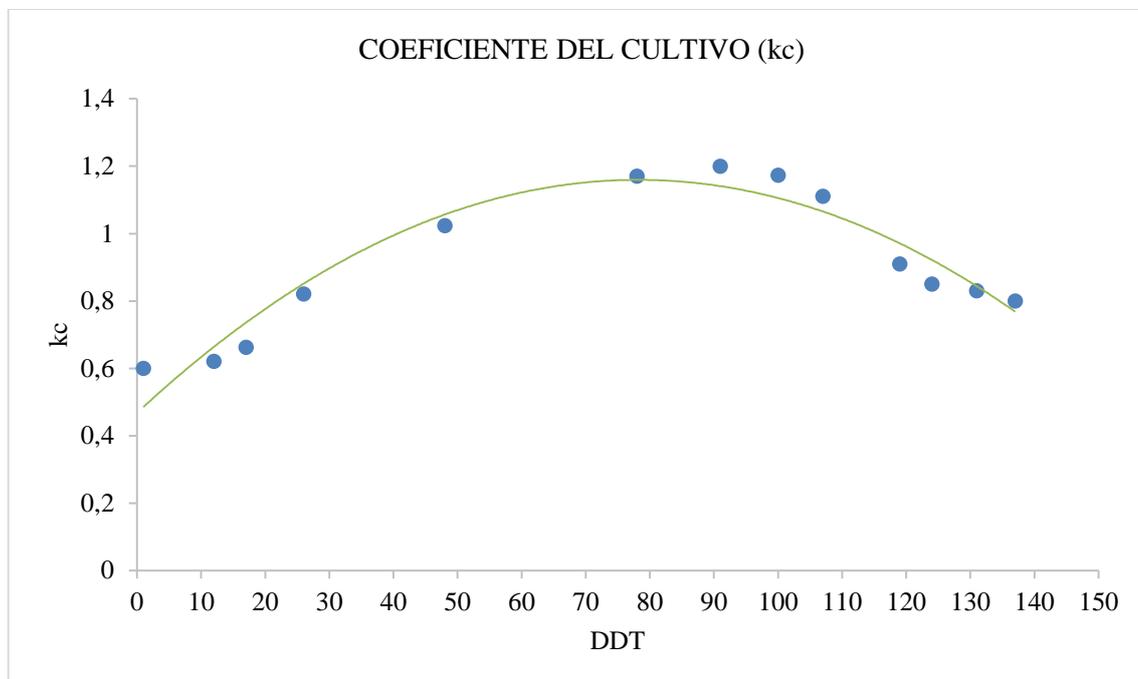


Figura 9. Coeficiente del cultivo (kc) ajustado de cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa, mediante la metodología de lisimetría, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017.

Fuente: Paguay, S. 2017

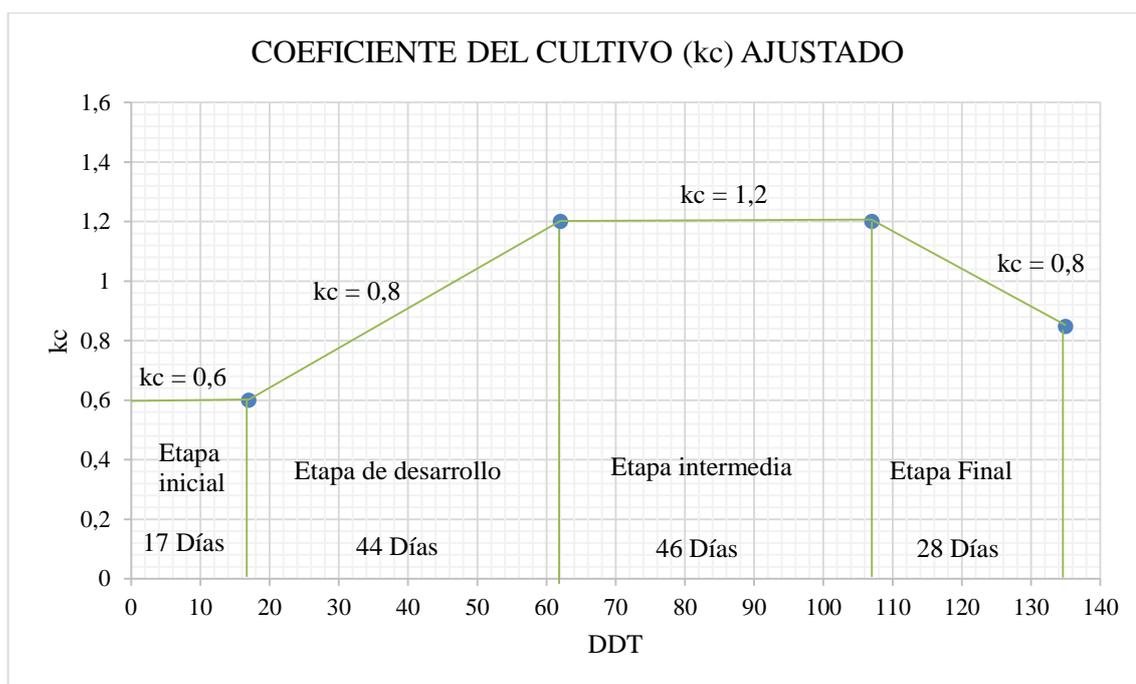


Figura 10. Coeficiente del cultivo (kc) ajustado de cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa, mediante la metodología de lisimetría, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017.

Fuente: Paguay, S. 2017

En la Figura 9 podemos observar un modelo polinómica del coeficiente del cultivo ajustado para el cultivo de la cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa obtenida por el método lisimétrica con un abatimiento de la humedad del suelo del 75%, además en la Figura 10 se puede apreciar el coeficiente del cultivo (kc) ajustado por etapa fenológica del ciclo del cultivo. Siendo los valores obtenidos de: 0,6; 0,8; 1,2 y 0,8 y una duración de 17, 44, 46 y 28 días para la etapa inicial, desarrollo, media y final respectivamente, en la que se aplicó una lámina de riego de 529,2mm en todo el ciclo del cultivo el cual tuvo una duración de 135ddt. A esto Valverde (2007) reporta valores de kc por etapa del cultivo de cebolla, así: etapa inicial 0,50, etapa de desarrollo 0,75, etapa media 1,03 y en la etapa final registra un kc de 0,6, los cuales muestran cercanía a los encontrados en la presente investigación.

4. Coeficiente del cultivo (kc) ajustado de cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa mediante la metodología de lisimetría, con un abatimiento de la humedad aprovechable del suelo del 25, 50 y 75%.

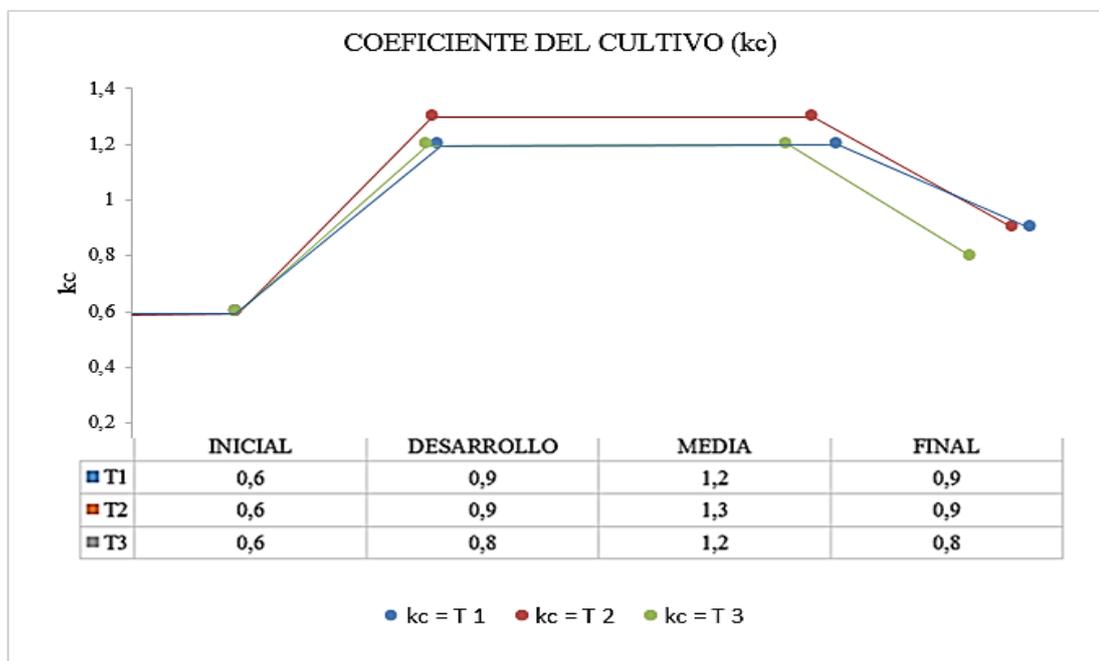


Figura 11. Coeficiente del cultivo (kc) por etapa fenológica del ciclo del cultivo de cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa, en Macají, Provincia de Chimborazo, 2017.

Fuente: Paguay, S. 2017

Los resultados presentados en la Figura 11 nos permiten apreciar cada uno de los coeficientes de los cultivos (kc) para los tres tratamientos, por etapa fenológica del ciclo del cultivo de cebolla colorada determinada mediante el método de Lisimetría, con abatimiento del agua aprovechable del suelo del 25, 50 y 75%, para T1, T2 y T3 respectivamente.

a. Etapa inicial

En la Figura 11 podemos apreciar los valores de kc de 0,6 correspondientes a T1, T2 y T3 respectivamente, los cuales no presentan diferencias, resultado obtenido muy cercanos a lo mencionado por Urrea et al., (2005), en su trabajo realizado con lisímetros de pesada, donde manifiesta que obtuvo un valor de kc de 0,65, para la etapa inicial en el cultivo de cebolla colorada.

Se puede observar que no existen diferencias entre los tratamientos debido a que en esta etapa no influyó la cantidad de agua aplicada al cultivo, concordando con respecto a lo reportado por Allen et al., (2006) donde menciona que los coeficientes de los cultivos en la etapa inicial son parecidos o iguales, debido a la similitud de la altura de las plantas, área foliar y grado de cobertura del suelo.

Además la FAO (2006), ratifica que durante el período inicial el área foliar es pequeña y la evapotranspiración ocurre principalmente como evaporación en el suelo.

b. Etapa de desarrollo

En la Figura 11 se puede ver los diferentes valores de coeficientes de cultivos (kc): 0,9 para tratamientos 1 y 2, 0,8 para tratamiento 3 respectivamente, valores que se asemejan con los resultados obtenidos por Sánchez (2013), en su investigación un kc de 0,71 en la etapa de desarrollo, existiendo un incremento en el proceso de evapotranspiración por ende mayor consumo del agua, en esta etapa hay importantes avances en términos de altura, número y tamaño de hojas como aumento del diámetro del pseudotallo.

Existe diferencias en valores de kc entre los tratamientos, el cual se debe a las diferentes láminas y frecuencias de riegos aplicados en cada uno de los mismos, concordando con la FAO (2006) en la que menciona que dentro de un mismo cultivo existe diferencias en el consumo de agua, por aspectos de tamaño, aerodinámica, como su parte anatómica.

c. Etapa intermedia

Se puede apreciar en la Figura 11 los promedios de los coeficientes de cultivos (kc) 1,2 para Tratamientos 1 y Tratamiento 3; 1,3 para Tratamiento 2 respectivamente, existiendo mayor consumo de agua en el Tratamiento 2. Resultado que es ratificado por Urrea et al., (2005), en la que manifiesta que el kc en esta etapa del cultivo de cebolla colorada es de 1,2. Además la FAO 56 (2006), menciona que en la etapa de mediados de temporada, el coeficiente del cultivo (kc) alcanza su valor máximo, siendo el valor de kc en esta etapa (kc med) relativamente constante para la mayoría de los cultivos.

Por otro lado Muñoz (2005), recalca lo expuesto en la Figura 11 que los valores máximos de k_c alcanzan en la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente decrece durante la fase de maduración; por ende el k_c depende del clima, del tipo de cultivo y del estado de desarrollo del mismo, representado en la absorción de la luz, la impedancia de su follaje, su fisiología y el nivel de humedad de su superficie.

d. Etapa final

En el Figura 11 se puede ver los promedios de coeficientes de cultivos k_c 0,9 para Tratamiento 1 y Tratamiento 2; 0,8 para el Tratamiento 3 respectivamente, resultados obtenidos por Urrea et al., (2005), se asemejan en esta etapa del ciclo del cultivo de cebolla colorada con un k_c es de 0,85. Además valores obtenidos por Allen (2006), un k_c de 0.75, etapa final, acercándose con los k_c obtenidos en la presente investigación.

En esta etapa del cultivo se puede apreciar (Figura 11) que los valores de coeficientes de cultivos son menores que en las etapas de desarrollo y etapa intermedia, con excepción de la etapa inicial, en la que López & Dennett, (2007), mencionan que para la etapa final los valores de evapotranspiración muestran una disminución como resultado de la senescencia de las plantas y la reducción en el número de riegos.

Los valores de coeficiente de cultivo (k_c) obtenidos Figura 11 a partir de las medidas lisimétricas fueron: k_c inicial: 0,6 para T1, T2 y T3, k_c de desarrollo: 0.9 para T1, T2 y 0,8 para T3, k_c medio: 1,2 para T1, T3 y 1,3 para T2 y k_c final: 0,9 para T1, T2 y 0,8 para T3 respectivamente, al respecto la FAO (2006), manifiesta que las diferencias en la anatomía de las hojas, características de estomas, las propiedades aerodinámicas, e incluso el albedo, ocasionan que la evapotranspiración del cultivo difiera de la evapotranspiración de referencia bajo las mismas condiciones climáticas.

Además Valverde (2007), menciona que el k_c varía con el período de crecimiento de la planta y con el clima; igualmente, depende de la capacidad de la planta para extraer agua del suelo, según su estado de desarrollo vegetativo

Es necesario señalar que los datos que aportan las literaturas de kc recoge todo el ciclo del cultivo, comenzando desde la siembra, y la presente investigación inició en el momento del trasplante; por otra parte, las etapas del cultivo no son iguales en todas las latitudes, como lo reseña FAO (2006), los kc y escalas de fenología que sugieren son útiles como una guía general y para propósitos comparativos, por lo que debe buscarse información local.

Por otro lado Urrea et al., (2005), reporta valores de kc por etapa del cultivo, así: etapa inicial 0.65, etapa media 1,2 y en la etapa final registra un kc de 0.75, los cuales muestran cercanía a los encontrados en la investigación realizada.

CUADRO 9. LÁMINA TOTAL DE AGUA APLICADA (L/m²) EN EL CICLO DEL CULTIVO DE CEBOLLA COLORADA (*Allium cepa* L.) Var. Burguesa, EN MACAJI CANTÓN RIOBAMBA.

| Tratamientos | Lámina de riego (mm) | Abatimiento de la humedad aprovechable del suelo (%) |
|---------------------|-----------------------------|---|
| T1 | 591,3 | 25 |
| T2 | 550,7 | 50 |
| T3 | 529,2 | 75 |

Fuente: Paguay, S. 2017

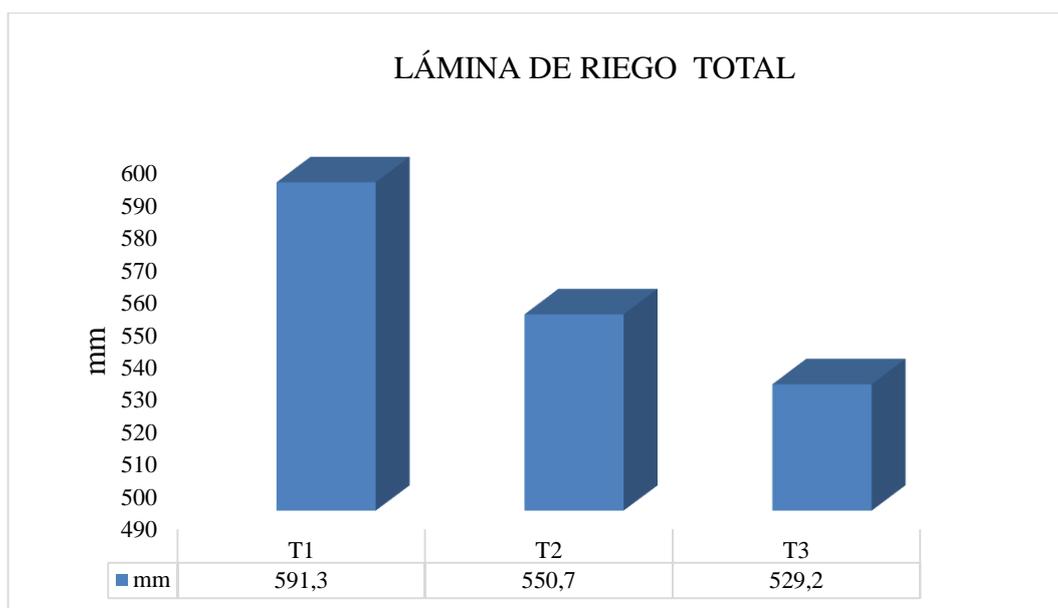


Figura 12. Lámina de riego aplicada en el ciclo del cultivo cebolla colorada (*Allium cepa* L). var. Burguesa, en Macaji Cantón Riobamba.

Fuente: Paguay, S. 2017

Los resultados que se pueden observar en el Cuadro 9, Figura 12 nos indican los diferentes láminas de agua aplicado en el ciclo total del cultivo de cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa. Para Tratamiento 1 una lámina total de 591,3 mm, Tratamiento 2 de 550,7 mm y el Tratamiento 3 de 529,2mm, al analizar los resultados se deduce que la mayor lámina de agua aplicado en la presente investigación fue al Tratamiento 1 una lámina de 591,3mm, mientras que la lámina menor fue aplicado en el Tratamiento 3 de una lámina de 529,2mm. Los resultados obtenidos en la presente investigación para T1, T2 y T3 en Macaji, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo se requiere láminas de riego inferiores en comparación a los resultados obtenidos por Estrella & León (2000), en la que manifiesta que el valor total de uso del agua para la cebolla colorada es alrededor de 650-700mm por ciclo del cultivo, posibles diferencias son el resultado de diferentes condiciones edafoclimáticas del lugar en estudio.

C. PRENDIMIENTO.

1. Porcentaje de prendimiento a los 15 DDT.

En el análisis de varianza para prendimiento a los 15 DDT (Cuadro 10), no presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 98,27% y un coeficiente de variación de 0,15%.

CUADRO 10. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA PORCENTAJE DE PRENDIMIENTO 15 DDT.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|----------------------|
| Tratamientos | 2 | 0,11 | 0,05 | 2,58 | 0,1908 | ns |
| Repeticiones | 2 | 0,06 | 0,03 | 1,47 | 0,3315 | ns |
| Error | 4 | 0,08 | 0,02 | | | |
| Total | 8 | 0,26 | | | | |
| cv | 0,15 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

ns: No significativo

D. ALTURA DE LA PLANTA.

1. Altura de la planta a los 30 DDT.

En el análisis de varianza para la altura de la planta a los 30 DDT (Cuadro 11), no presento diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento. El promedio general fue de 15,68cm y un coeficiente de variación de 2,52%.

CUADRO 11. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ALTURA DE LA PLANTA A LOS 30 DDT.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|----------------------|
| Tratamientos | 2 | 0,95 | 0,47 | 3,05 | 0,1571 | ns |
| Repeticiones | 2 | 0,21 | 0,11 | 0,69 | 0,5538 | ns |
| Error | 4 | 0,62 | 0,16 | | | |
| Total | 8 | 1,79 | | | | |
| CV | 2,52 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

ns: No significativo

2. Altura de la planta a los 60 DDT.

En el análisis de varianza para altura de la planta a los 60 DDT (Cuadro 12), no presento diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento. El promedio general fue de 24,96 cm y un coeficiente de variación de 10,65%.

CUADRO 12. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ALTURA DE LA PLANTA A LOS 60 DDT.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|----------------------|
| Tratamientos | 2 | 8,16 | 6,08 | 0,58 | 0,6019 | ns |
| Repeticiones | 2 | 16,91 | 8,45 | 1,20 | 0,3913 | ns |
| Error | 4 | 28,24 | 7,06 | | | |
| Total | 8 | 53,31 | | | | |
| CV | 10,65 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

ns: No significativo

3. Altura de la planta a los 90 DDT.

En el análisis de varianza para la altura de la planta a los 90 DDT (Cuadro 13), Presento diferencias estadísticas significativas entre los tratamiento. El promedio general fue de 52,82 cm y un coeficiente de variación de 2,87%.

CUADRO 13. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ALTURA DE LA PLANTA A LOS 90 DDT.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|----------------------|
| Tratamientos | 2 | 38,67 | 19,33 | 8,42 | 0,0368 | * |
| Repeticiones | 2 | 4,20 | 2,10 | 0,92 | 0,4707 | ns |
| Error | 4 | 9,18 | 2,30 | | | |
| Total | 8 | 52,06 | | | | |
| CV | 2,87 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

* Significativo

ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para la altura de planta a los 90 DDT (Cuadro 14) presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 55,70 cm, y en el rango “C” se ubicó el Tratamiento 1 con una media de 50,90 cm.

CUADRO 14. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA ALTURA E PLANTA A LOS 90 DDT

| Tratamientos | Medias (cm) | Rango |
|---------------------|--------------------|--------------|
| T2 | 55,70 | A |
| T3 | 51,87 | A B |
| T1 | 50,90 | C |

Fuente: Paguay, S. 2017

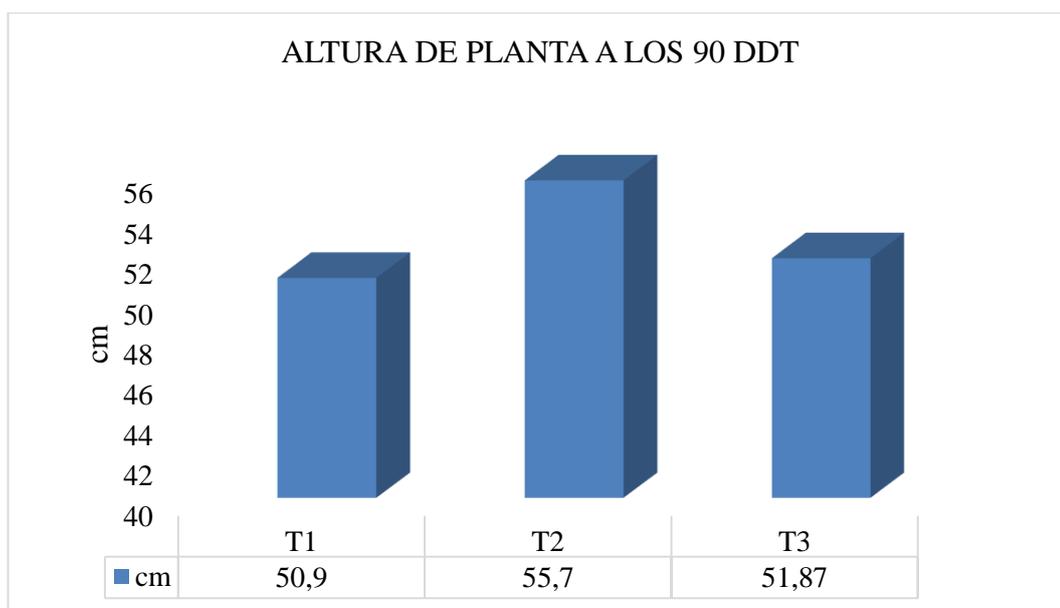


Figura 13. Altura de planta a los 90 DDT

Fuente: Paguay, S. 2017

Los resultados presentados en la (Cuadro 14, Figura 13) sobre altura de la planta a los 90 DDT, muestran que existen diferencias entre tratamientos, en la que el Tratamiento 2 sobresale con una media de 55,7cm, seguido del Tratamiento 3 con una media de 51,87 y con menor altura el Tratamiento 1 con una media de 50,9 respectivamente.

Las diferentes alturas que se muestran en la Figura 16, se deben a las diferentes láminas aplicados en cada uno de los tratamientos hasta los 90ddt, Tratamiento 1 una lámina de riego de 228,99mm, Tratamiento 2 con lamina de riego de 193,17mm y Tratamiento 3 lamian de 180,33mm, al respecto Beyazgul (citado por Navejas et al, 2011) menciona que la cantidad adecuada de agua a los 85 ddt del cultivo es de un promedio de 198mm, lamina que favorece a un crecimiento y desarrollo adecuado de plantas de cebolla, resultado obtenido en la presente investigación presentan cercanías con lo mencionado por el autor.

E. NÚMERO DE HOJAS

1. Número de hojas a los 30 DDT.

En el análisis de varianza para el número de hojas a los 30 DDT (Cuadro 15), no presento diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento. El promedio general fue de 4 y un coeficiente de variación de 4,47%.

CUADRO 15. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA NÚMERO DE HOJAS A LOS 30 DDT.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|------|------|------|------|---------|---------------|
| Tratamientos | 2 | 0,12 | 0,06 | 1,86 | 0,2689 | ns |
| Repeticiones | 2 | 0,06 | 0,03 | 0,89 | 0,4780 | ns |
| Error | 4 | 0,12 | 0,03 | | | |
| Total | 8 | 0,30 | | | | |
| CV | 4,67 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

ns: No significativo

2. Número de hojas a los 60 DDT.

En el análisis de varianza para el número de hojas a los 60 DDT (Cuadro 16), no presento diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento. El promedio general fue de 5 y un coeficiente de variación de 3,19%.

CUADRO 16. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA NÚMERO DE HOJAS A LOS 60 DDT.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|----------------------|
| Tratamientos | 2 | 0,04 | 0,02 | 0,56 | 0,6109 | ns |
| Repeticiones | 2 | 0,11 | 0,05 | 1,44 | 0,3378 | ns |
| Error | 4 | 0,15 | 0,04 | | | |
| Total | 8 | 0,30 | | | | |
| CV | 3,19 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

ns: No significativo

c. Número de hojas a los 90 DDT.

En el análisis de varianza para el número de hojas a los 90 DDT (Cuadro 17), no presento diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento. El promedio general fue de 10 y un coeficiente de variación de 3, 23%.

CUADRO 17. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA NÚMERO DE HOJAS A LOS 90 DDT.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|----------------------|
| Tratamientos | 2 | 0,42 | 0,21 | 2,68 | 0,1826 | ns |
| Repeticiones | 2 | 0,17 | 0,08 | 1,06 | 0,4261 | ns |
| Error | 4 | 0,31 | 0,08 | | | |
| Total | 8 | 0,90 | | | | |
| CV | 3,23 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

ns: No significativo

F. DIÁMETRO DEL PSEUDOTALLO

1. Diámetro del pseudotallo a los 30 DDT.

En el análisis de varianza para diámetro del pseudotallo 30 DDT (Cuadro 18), no presento diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento. El promedio general fue de 0,47cm y un coeficiente de variación de 6,19%.

CUADRO 18. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA DIÁMETRO DEL PSEUDOTALLO (cm) A LOS 30 DDT.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|------|---------|----------|------|---------|---------------|
| Tratamientos | 2 | 2,7E-04 | 1,3E-0,4 | 0,16 | 0,8573 | ns |
| Repeticiones | 2 | 6,0E-04 | 3,0E-0,4 | 0,36 | 0,7182 | ns |
| Error | 4 | 3,3E-04 | 8,3E-0,4 | | | |
| Total | 8 | 4,2E-04 | | | | |
| CV | 6,19 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

ns: No significativo

2. Diámetro del pseudotallo a los 60 DDT.

En el análisis de varianza para diámetro del pseudotallo 60 DDT (Cuadro 19), no presento diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento. El promedio general fue de 0,85cm y un coeficiente de variación de 4,97%.

CUADRO 19. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA DIÁMETRO DEL PSEUDOTALLO (cm) A LOS 60 DDT.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|----------------------|
| Tratamientos | 2 | 0,01 | 0,01 | 3,39 | 0,1375 | ns |
| Repeticiones | 2 | 0,01 | 3,3E-03 | 1,85 | 0,2703 | ns |
| Error | 4 | 0,01 | 1,8E-03 | | | |
| Total | 8 | 0,03 | | | | |
| CV | 4,97 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

ns: No significativo

3. Diámetro del pseudotallo a los 90 DDT.

En el análisis de varianza para diámetro del pseudotallo a los 90 DDT (Cuadro 20), presento diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 1,69 cm y un coeficiente de variación de 4,04%.

CUADRO 20. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA DIÁMETRO DEL PSEUDOTALLO (cm) A LOS 90 DDT.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|----------------------|
| Tratamientos | 2 | 0,08 | 0,04 | 8,28 | 0,0379 | * |
| Repeticiones | 2 | 0,02 | 0,01 | 1,8 | 0,2773 | ns |
| Error | 4 | 0,02 | 4,7 E-03 | | | |
| Total | 8 | 0,11 | | | | |
| CV | 4,04 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

* Significativo

ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el diámetro del pseudotallo a los 90 DDT (Cuadro 21; Figura 14); presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 1,81cm, y en el rango “C” se ubicó el tratamiento 1 con una media de 1,58 cm.

CUADRO 21. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL DIÁMETRO DEL PSEUDOTALLO A LOS 90 DDT.

| Tratamientos | Medias (cm) | Rango |
|--------------|-------------|-------|
| T2 | 1,81 | A |
| T3 | 1,68 | A B |
| T1 | 1,58 | C |

Elaborado por: Paguay, S. 2017

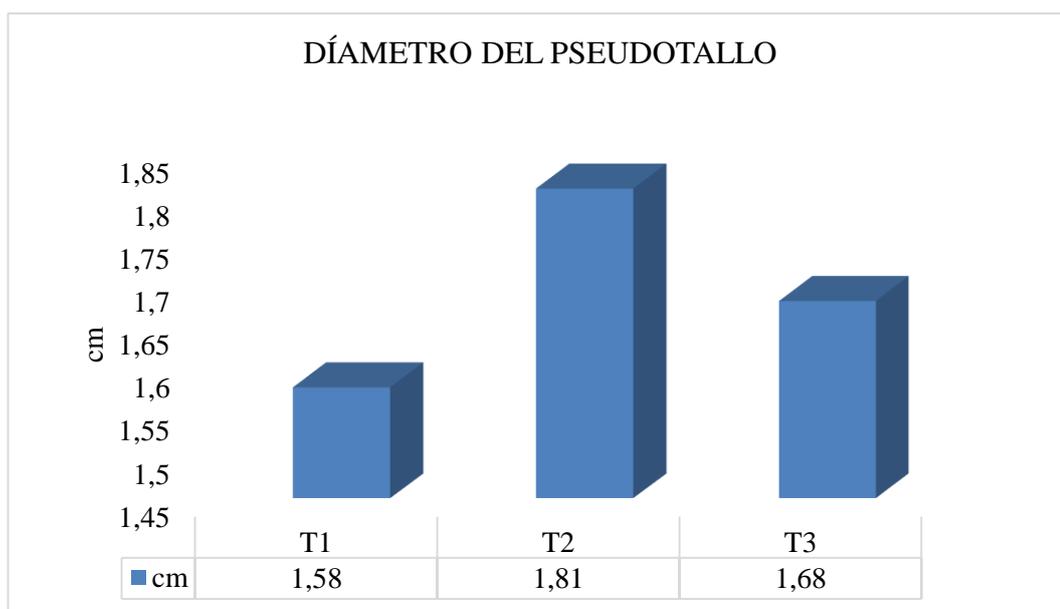


Figura 14. Diámetro del Pseudotallo a los 90 DDT

Fuente: Paguay, S. 2017

Los resultados que se muestran en la (Cuadro 21, Figura 14) indican las diferencias en los diámetros que presentan las plantas del cultivo de la cebolla colorada en los diferentes tratamientos, presentando el mayor tamaño el Tratamiento 2 con una media de 1,81cm, seguido del Tratamiento 3 con una media de 1,60 cm, con un diámetro menor el Tratamiento 1 con una media de 1,58 cm respectivamente. Los resultados

presentados indican que efectivamente, los volúmenes de agua de riego aplicados a las plantas de cebolla influenciaron en el desarrollo del diámetro del pseudotallo, a esto añade Fomaris, 2001 (citado por Salinas 2013) en la que manifiesta que una planta de cebolla creciendo en óptimas condiciones puede llegar a crecer y desarrollarse en forma apropiada, parámetros que además pueden ser influenciados, entre otros factores como cantidad de agua, por la variedad, la temperatura y la época de siembra.

F. PESO TOTAL DE PLANTA

En el análisis de varianza para el peso total de la planta (Cuadro 22), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 296,9 g y un coeficiente de variación de 4,33%.

CUADRO 22. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO TOTAL DE PLANTAS (g) A LOS 145 DDT.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|----------------------|
| Tratamientos | 2 | 15033,14 | 7516,57 | 45,51 | 0,0018 | * |
| Repeticiones | 2 | 1200,51 | 600,25 | 3,63 | 0,1260 | ns |
| Error | 4 | 660,63 | 165,16 | | | |
| Total | 8 | 16894,28 | | | | |
| CV | 4,33 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

* Altamente Significativo

ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el peso total de plantas a los 140 DDT (Cuadro 23; Figura 15); presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 346,53 g, y en el rango “C” se ubicó el tratamiento 1 con una media de 246,43 g.

CUADRO 23. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL PESO TOTAL DE PLANTA A LOS 145 DDT.

| Tratamientos | Medias (g) | Rango |
|--------------|------------|-------|
| T2 | 346,53 | A |
| T3 | 297,73 | B |
| T1 | 246,43 | C |

Fuente: Paguay, S. 2017

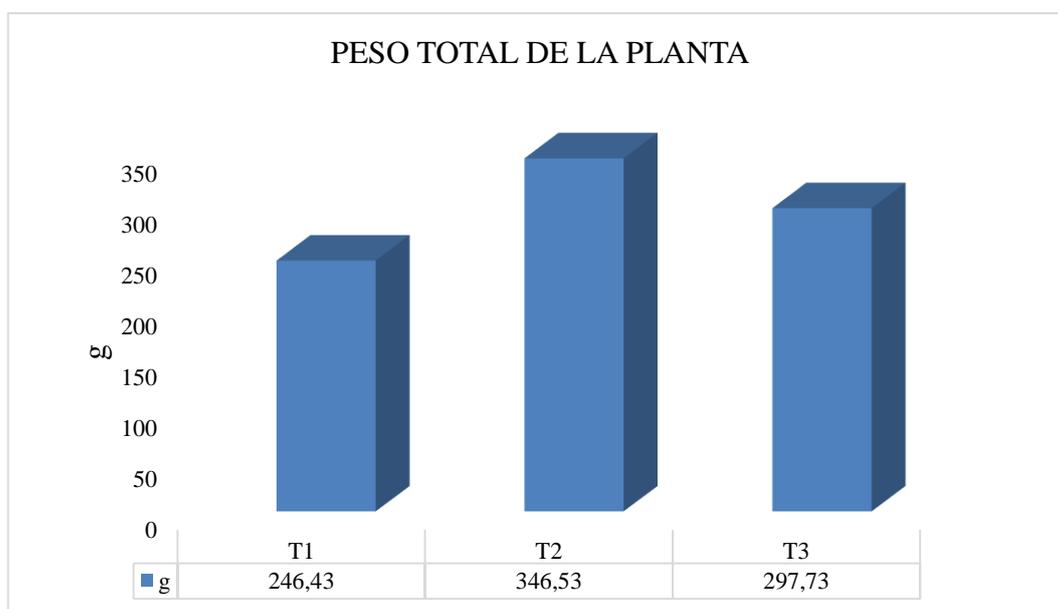


Figura 15. Peso total de plantas (g).

Fuente: Paguay, S. 2017

Los resultados que se observan en la (Cuadro 23, Figura 15) indican los diferentes pesos totales de la planta del cultivo de la cebolla colorada en cada uno de los tratamientos, sobresaliendo el Tratamiento 2 con una media de 346,53 g, seguido del Tratamiento 3 con una media de 297,73 g, el Tratamiento 1 con una media de 246,43 g el cual presenta menor peso de la planta en comparación con los tratamientos anteriores, a esto resultados corrobora Gómez & Suquilanda (2005), en la que menciona que cuando hay mayor crecimiento y desarrollo de la planta existe mayor acumulación de sustancias fotosintéticas y carbohidratos que van desde las hojas hasta el bulbo.

G. PESO DEL BULBO

En el análisis de varianza para el peso del bulbo (Cuadro 24), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 242,61g y un coeficiente de variación de 8,44%.

CUADRO 24. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO DEL BULBO (g) A LOS 145 DDT.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|------|----------|---------|------|---------|---------------|
| Tratamientos | 2 | 7964,24 | 3982,12 | 9,51 | 0,0302 | * |
| Repeticiones | 2 | 1497,82 | 748,91 | 1,79 | 0,2788 | ns |
| Error | 4 | 1675,69 | 418,92 | | | |
| Total | 8 | 11137,75 | | | | |
| CV | 8,44 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

* Significativo

ns no significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el peso del bulbo (Cuadro 25, Figura 16); presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 280,80 g, y en el rango “C” se ubicó el tratamiento 1 con una media de 208,23 g.

CUADRO 25. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL PESO DEL BULBO A LOS 145 DDT.

| Tratamientos | Medias (g) | Rango |
|--------------|------------|-------|
| T2 | 280,80 | A |
| T3 | 238,80 | A B |
| T1 | 208,23 | C |

Fuente: Paguay, S. 2017

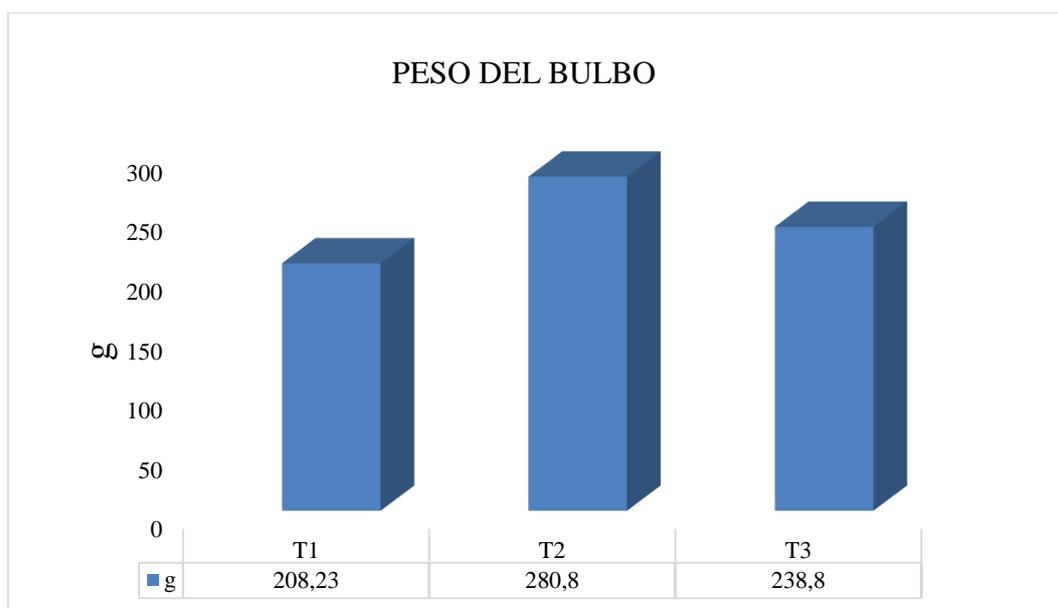


Figura 16. Peso del bulbo (g)

Fuente: Paguay, S. 2017

En la (Cuadro 25, Figura 16) se puede observar que los resultados obtenidos del peso del bulbo presentan diferencias significativas entre los Tratamientos, sobresaliendo el Tratamiento 2 con una media de 280,8 g, seguido del Tratamiento 3 con una media de 238 g, el Tratamiento 1 con una media de 208,23 g el cual presenta menor peso del bulbo, así mismo Chanalata & Margoth (2013), afirman que cuando el área foliar es mayor, los bulbos se desarrollan mucho más debido a la producción de sustancias fotosintéticas y carbohidratos que van desde las hojas hasta el bulbo, generando mayor peso del mismo, resultados que se corroboran con la presente investigación.

H. DIÁMETRO DEL BULBO

1. Diámetro polar

En el análisis de varianza para el diámetro polar (Cuadro 26), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 7,13 cm y un coeficiente de variación de 2,87%.

CUADRO 26. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL DIÁMETRO POLAR (cm) A LOS 145 DDT.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|----------------------|
| Tratamientos | 2 | 0,64 | 0,32 | 7,59 | 0,0435 | * |
| Repeticiones | 2 | 0,33 | 0,17 | 3,96 | 0,1125 | ns |
| Error | 4 | 0,17 | 0,04 | | | |
| Total | 8 | 1,14 | | | | |
| CV | 2,87 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

* Significativo

ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el diámetro polar (Cuadro 27, Figura 17); presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 7,43 cm, y en el rango “C” se ubicó el tratamiento 1 con una media de 6,79 cm.

CUADRO 27. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL DIÁMETRO POLAR A LOS 145 DDT.

| Tratamientos | Medias (cm) | Rango |
|---------------------|--------------------|--------------|
| T2 | 7,43 | A |
| T3 | 7,16 | A B |
| T1 | 6,79 | C |

Fuente: Paguay, S. 2017

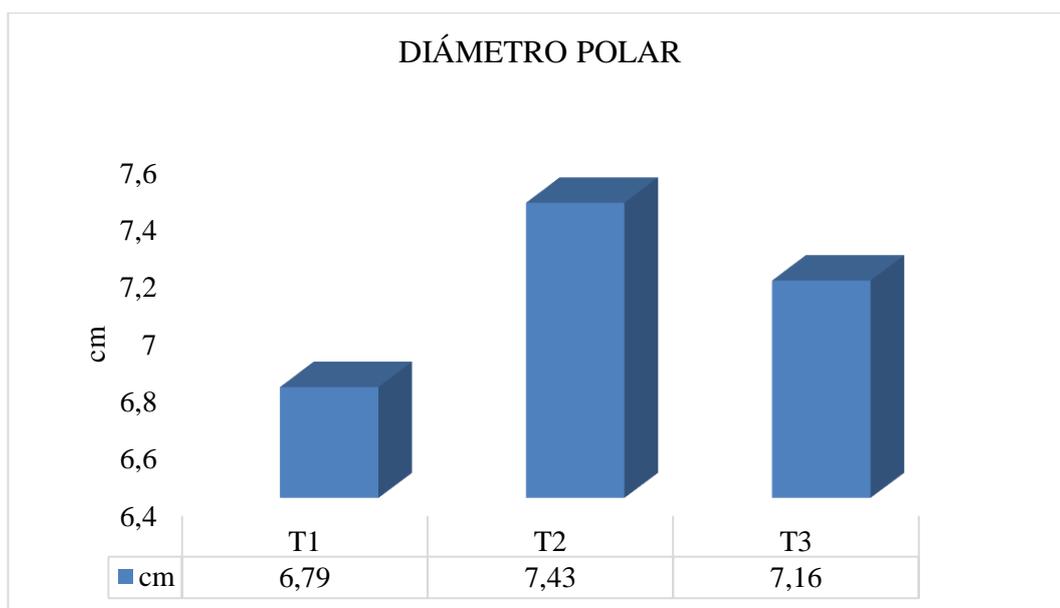


Figura 17. Diámetro polar (cm)

Fuente: Paguay, S. 2017

2. Diámetro ecuatorial

En el análisis de varianza para el diámetro ecuatorial (Cuadro 28), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 8,1cm y un coeficiente de variación de 2,65%.

CUADRO 28. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL DIÁMETRO ECUATORIAL (cm) A LOS 145 DDT.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|------|------|------|-------|---------|---------------|
| Tratamientos | 2 | 1,31 | 0,65 | 14,31 | 0,0150 | * |
| Repeticiones | 2 | 0,12 | 0,06 | 1,33 | 0,3601 | ns |
| Error | 4 | 0,18 | 0,05 | | | |
| Total | 8 | 1,61 | | | | |
| CV | 2,65 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

* Significativo

ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el diámetro ecuatorial (Cuadro 29, Figura 18); presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 8,51cm, y en el rango “C” se ubicó el tratamiento 1 con una media de 7,58 cm.

CUADRO 29. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL DIÁMETRO ECUATORIAL A LOS 145 DDT.

| Tratamientos | Medias (cm) | Rango |
|--------------|-------------|-------|
| T2 | 8,51 | A |
| T3 | 8,06 | A B |
| T1 | 7,58 | C |

Fuente: Paguay, S. 2017

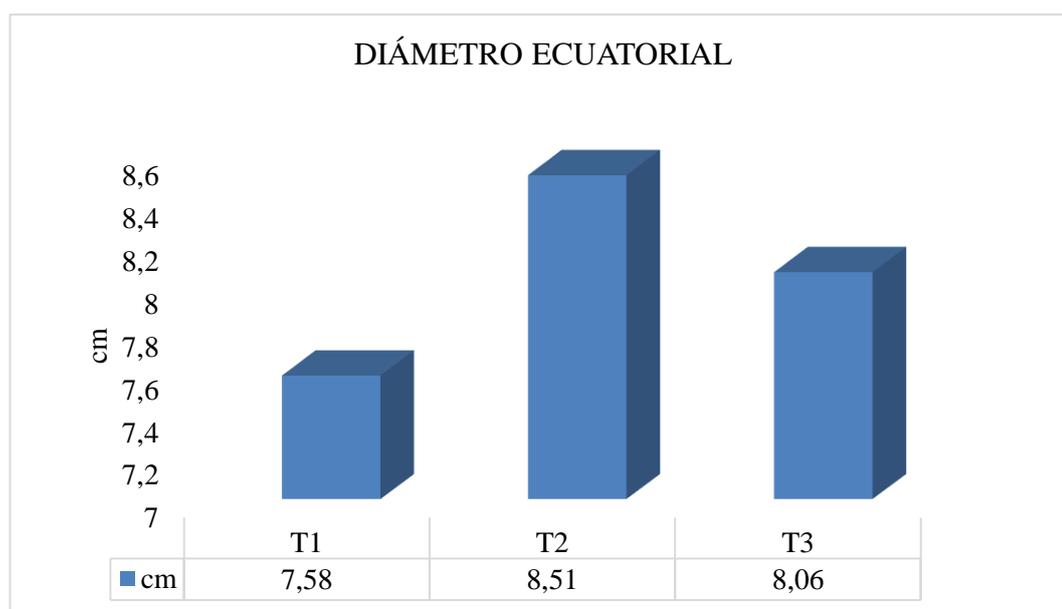


Figura 18. Diámetro ecuatorial (cm).

Fuente: Paguay, S. 2017

Las diferentes láminas de riego aplicados: Tratamiento 1 de 591,3 mm, Tratamiento 2 de 550,7 mm y Tratamiento 3 con 529,2 mm respectivamente influenciaron de forma directa en el desarrollo de bulbos de cebolla colorada. Al respecto del diámetro polar Cuadro 30, Figura 20 presentan diferencias significativas entre tratamientos, donde el Tratamiento 2 supera con una media de 7,43 cm, seguido del Tratamiento 3 con una media de 7,16 cm, y con un diámetro inferior el Tratamiento 1 con una media de 6,79 cm. Analizando el diámetro ecuatorial Cuadro 32, Figura 21 podemos observar que el

Tratamiento 2 sigue presentando un diámetro superior con una media de 8,51 cm, en la parte intermedia el Tratamiento 3 con una media de 8,08 cm y con una media de 7,58 cm el Tratamiento 1 presentando menor diámetro del resto de los tratamientos, resultados obtenidos por Ramos (1999), afirma que el mayor diámetro de bulbos de cebolla colorada se obtienen con una lámina de 545 mm, resultado cercanos con lo obtenido en la presente investigación, que con una lámina de 550,7 mm (T2) se obtuvo bulbos de mayor tamaño.

3. RENDIMIENTO POR CATEGORÍA

1. Rendimiento por categoría de la parcela neta.

En la presente investigación se determinó que existe la presencia de tres categorías que son: Grande, Mediana y Pequeña, el cual se basó mediante una tabla señalada por León J. y Paguay S. (2017).

a. Categoría grande.

En el análisis de varianza para el rendimiento del bulbo categoría grande, en la parcela neta (Cuadro 30), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 10,6 kg y un coeficiente de variación de 12,02%.

CUADRO 30. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL RENDIMIENTO DEL BULBO (kg) CATEGORIA GRANDE POR PARCELA NETA.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|-------|--------|-------|-------|---------|---------------|
| Tratamientos | 2 | 85,78 | 42,89 | 26,25 | 0,0050 | * |
| Repeticiones | 2 | 18,84 | 9,42 | 5,76 | 0,664 | ns |
| Error | 4 | 6,54 | 1,63 | | | |
| Total | 8 | 111,15 | | | | |
| CV | 12,02 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

* Significativo

ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el rendimiento del bulbo categoría grande, en parcela neta (Cuadro 31, Figura 19); presentó dos rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 14,97 kg, y en el rango “C” se ubicó el tratamiento 1 con una media de 8,01 kg.

CUADRO 31. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL RENDIMIENTO DEL BULBO CATEGORIA GRANDE POR PARCELA NETA.

| Tratamientos | Medias (kg) | Rango |
|--------------|-------------|-------|
| T2 | 14,97 | A |
| T3 | 8,92 | B |
| T1 | 8,01 | B |

Fuente: Paguay, S. 2017

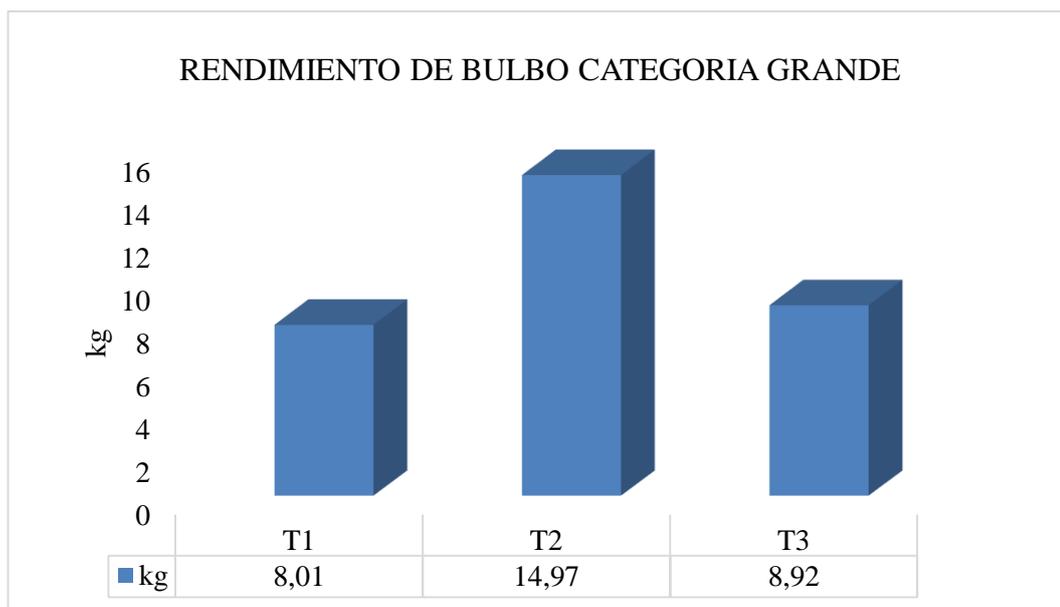


Figura 19. Rendimiento del bulbo categoría grande, en parcela neta (kg)

Fuente: Paguay, S. 2017

En la Tabla 31 Figura 19 se puede observar que el rendimiento del bulbo categoría grande en la parcela neta presentó diferencias entre tratamientos, en la que el Tratamiento 2 sobresale con un media de 14,97 kg, seguido del Tratamiento 3 con una media de 8,92 kg, presentando el menor rendimiento el Tratamiento 1 con una media de 8,01kg.

Las diferencias entre tratamientos se debe a las diferentes láminas aplicadas en los tratamientos, (591,3; 550,7 y 529,2mm para T1, T2 y T3) diferencias en parámetros como: altura de la planta, diámetro del pseudotallo por ende el tamaño del bulbo, comportamiento afirmado por Marcial & Suquilanda (2003), en la que mencionan el mejor uso del agua, buena fertilización y un adecuado manejo del cultivo, se obtiene mayor altura promedio por planta y por lo tanto al tener una mayor área foliar se desarrollan de mejor manera los bulbos.

b. Categoría mediana.

En el análisis de varianza para el rendimiento del bulbo categoría mediana, en parcela neta (Cuadro 32), no presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 6,9 kg y un coeficiente de variación de 22,22%.

CUADRO 32. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL RENDIMIENTO DEL BULBO (kg) CATEGORIA MEDIANA POR PARCELA NETA.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|----------------------|
| Tratamientos | 2 | 13,76 | 6,88 | 2,92 | 0,1651 | ns |
| Repeticiones | 2 | 0,18 | 0,09 | 0,04 | 0,9623 | ns |
| Error | 4 | 9,42 | 2,35 | | | |
| Total | 8 | 23,36 | | | | |
| CV | 22,22 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

ns: No significativo

c. Categoría pequeña.

En el análisis de varianza para el rendimiento del bulbo categoría mediana, en parcela neta (Cuadro 33), no presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 1,5kg y un coeficiente de variación de 41,38%.

CUADRO 33. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL RENDIMIENTO DEL BULBO (kg) CATEGORIA PEQUEÑA POR PARCELA NETA.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|-------|------|------|------|---------|---------------|
| Tratamientos | 2 | 3,06 | 1,53 | 4,19 | 0,1045 | ns |
| Repeticiones | 2 | 3,61 | 1,81 | 4,94 | 0,0832 | ns |
| Error | 4 | 1,46 | 0,37 | | | |
| Total | 8 | 8,14 | | | | |
| CV | 41,38 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

ns: No significativo

4. RENDIMIENTO TOTAL

En el análisis de varianza para el rendimiento total (Cuadro 34), presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 42223 kg/ha y un coeficiente de variación de 3,85%.

CUADRO 34. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL RENDIMIENTO TOTAL (kg/ha)

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|------|--------------|--------------|--------|---------|---------------|
| Tratamientos | 2 | 286078464,00 | 143039232,00 | 315,73 | <0,0001 | ** |
| Repeticiones | 2 | 3786794,67 | 1893397,33 | 4,18 | 0,1048 | ns |
| Error | 4 | 1812181,33 | 453045,33 | | | |
| Total | 8 | 291677440,00 | | | | |
| CV | 1,59 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

* Altamente Significativo

ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el rendimiento total (Cuadro 35, Figura 20); presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 49391 kg/ha, y en el rango “C” se ubicó el tratamiento 1 con una media de 35615 kg/ha.

CUADRO 35. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL RENDIMIENTO TOTAL.

| Tratamientos | Medias (kg/ha) | Rango |
|--------------|----------------|-------|
| T2 | 49391 | A |
| T3 | 41663 | B |
| T1 | 35615 | C |

Fuente: Paguay, S. 2017

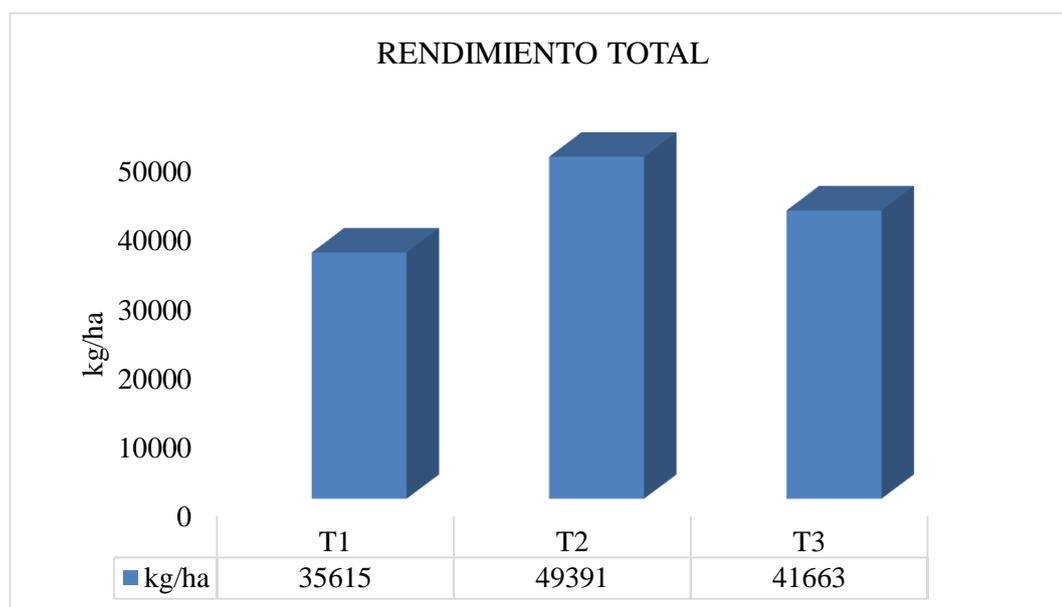


Figura 20. Rendimiento total (kg/ha).

Fuente: Paguay, S. 2017

En la Cuadro 335, Figura 20 se puede apreciar los diferentes rendimientos obtenidos en la presente investigación, donde el Tratamiento 2 presenta un mayor rendimiento con 49391 kg/ha, seguido del Tratamiento 3 con 41463 kg/ha, obteniendo un rendimiento bajo con el Tratamiento 1 con 35615 kg/ha respectivamente, al respecto Freire (2012), menciona que el rendimiento del cultivo de cebolla colorada variedad burguesa alcanza los 43304,73 kg/ha, dicho rendimiento es superado en la presente investigación por el

Tratamiento 2 sobrepasa, mientras que los tratamientos 1 y 3 presentan un rendimiento inferior.

A si mismo Villafañe & Hernández (2000), corrobora que para lograr rendimientos económicamente aceptables, es necesario suplir agua al suelo cuando en los primeros 20 cm se agota el 50% del agua útil, complementando con un manejo adecuado de la fertilización, los rendimientos superan las 40 t/ha. Así mismo Cuenca-Adame (2003), afirma que el más alto rendimiento de bulbo en el cultivo de cebolla puede obtenerse regando el suelo cuando tiene una tensión de humedad de 0.60%.

Además Mermoud et al., (2005), También afirmó que las cebollas colorada prefiere intervalos más largos entre los riegos pero más profundos de riego, la aplicación frecuente de riego hacen que el agua de riego permanezca en la superficie del suelo donde se evapora posteriormente, además frecuencias cortas hacen que exista lixiviación de los fertilizantes provocando déficit de nutrientes, como consecuencia rendimientos limitados, resultados que son corroborados en la presente investigación.

G. CONTENIDO DE CLOROFILA

En el análisis de varianza para el contenido de clorofila en hojas a los 122 ddt (Cuadro 36), no presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general en fue de 30,08 spad y un coeficiente de variación de 3,85%.

CUADRO 36. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL CONTENIDO DE CLOROFILA (spad) EN HOJAS.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|----------------------|
| Tratamientos | 2 | 2,82 | 1,41 | 0,39 | 0,6910 | ns |
| Error | 6 | 21,49 | 3,58 | | | |
| Total | 8 | 24,31 | | | | |
| CV | 3,85 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

ns: No significativo

I. CONTENIDO RELATIVO DE AGUA EN HOJAS (WRC)

1. WRC de hojas ubicadas en diferentes partes de la planta

a. Parte superior

En el análisis de varianza para el contenido relativo de agua en hojas de la parte superior de la planta los 115 DDT, (Cuadro 37), no presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 80,6% y un coeficiente de variación de 9,26%.

CUADRO 37. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL CONTENIDO RELATIVO DE AGUA (%), PARTE SUPERIOR.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------|------|---------|-------|------|---------|---------------|
| Tratamientos | 2 | 37,24 | 18,62 | 0,33 | 0,7205 | ns |
| N° de plantas | 9 | 425,39 | 47,27 | 0,35 | 0,5847 | ns |
| Error | 18 | 1004,08 | 55,78 | | | |
| Total | 29 | 1466,71 | | | | |
| CV | 9,26 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

ns: No significativo

b. Parte media

En el análisis de varianza para el contenido relativo de agua en hojas de la parte media de la planta a los 115 DDT, (Cuadro 38), no presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio fue de 75,5% y un coeficiente de variación de 16,09%.

CUADRO 38. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL CONTENIDO RELATIVO DE AGUA (%), PARTE MEDIA.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|----------------------|
| Tratamientos | 2 | 27,91 | 13,95 | 0,09 | 0,9106 | ns |
| N° de plantas | 9 | 1556,69 | 172,97 | 1,17 | 0,3708 | ns |
| Error | 18 | 2667,32 | 148,18 | | | |
| Total | 29 | 4251,91 | | | | |
| CV | 16,09 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

ns: No significativo

c. Parte inferior

En el análisis de varianza para el contenido relativo de agua en hojas de la parte inferior de la planta a los 115 DDT, (Cuadro 39), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 71,9 % y un coeficiente de variación de 10,73%.

CUADRO 39. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL CONTENIDO RELATIVO DE AGUA (%), PARTE INFERIOR.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|----------------------|
| Tratamientos | 2 | 1159,57 | 579,78 | 6,72 | 0,0066 | * |
| N° de plantas | 9 | 861,63 | 85,75 | 1,11 | 0,4039 | ns |
| Error | 18 | 1552,47 | 76,25 | | | |
| Total | 29 | 3573,76 | | | | |
| CV | 10,73 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

* Significativo

ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el contenido relativo de agua (WRC) parte inferior de la hoja (Cuadro 40, Figura 21); presentó dos rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 76,15%, y en el rango “B” se ubicó el tratamiento 1 y 3 con una media de 67,72 y 71,72% respectivamente.

CUADRO 40. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL CONTENIDO RELATIVO DE AGUA, PARTE INFERIOR.

| Tratamientos | Medias (%) | Rango |
|--------------|------------|-------|
| T1 | 76,15 | A |
| T2 | 71,72 | B |
| T3 | 67,72 | B |

Fuente: Paguay, S. 2017

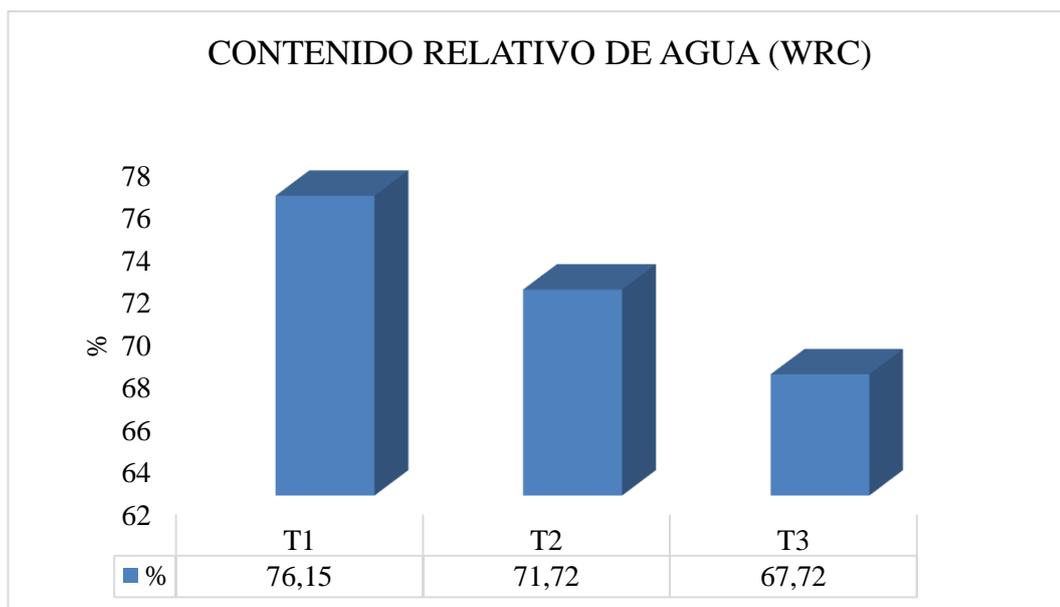


Figura 21. Contenido relativo de agua (WRC) %.

Fuente: Paguay, S. 2017

La valoración del contenido relativo de agua en la parte foliar de la planta, en la localidad Riobamba en el campus ESPOCH – Macají, se realizó a los 115 DDT.

Si observamos los Cuadro 37 y 38 podemos ver que no presentan diferencias entre tratamientos ante el contenido relativo de agua (WRC), tanto en las hojas de la parte

superior de la planta (Cuadro 37), como en las hojas de la parte media (Cuadro 38), pero si observamos el Cuadro 39, 40, Figura 21, la que hace referencia a las hojas de la parte inferior de la planta, existe diferencias significativas entre tratamientos, donde el tratamiento 1 presenta una media de 85,15 %, seguido del tratamiento 2 con un valor de 81,72 %, y con un contenido relativo de agua menor el tratamiento 3 con una media de 77,72 % respectivamente, posiblemente esta diferencia se deba a los diferentes láminas de riegos que fueron aplicados en cada uno de los tratamientos. Al respecto Hsiao (1973), añade que cuando el déficit hídrico es severo, se acelera la senescencia de hojas maduras (bajeras) además la fotosíntesis y la transpiración se abaten debido a la reducción de la turgencia, al cierre estomático y al bloqueo a la difusión de CO₂ hacia el mesófilo, donde el cierre de estomas se ha asociado con una rápida síntesis de ácido abscísico, acelerando el ciclo del vida en las plantas.

J. PORCENTAJE DE MATERIA SECA

1. Porcentaje de materia seca a los días 115 DDT.

En el análisis de varianza para porcentaje de materia seca (Cuadro 41), no presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 15,5% y un coeficiente de variación de 11,28%.

CUADRO 41. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA PORCENTAJE DE MATERIA SECA.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|----------------------|
| Tratamientos | 2 | 24,78 | 12,39 | 4,07 | 0,1087 | ns |
| Repeticiones | 2 | 1,34 | 0,67 | 0,22 | 0,8112 | ns |
| Error | 4 | 12,19 | 3,05 | | | |
| Total | 8 | 38,31 | | | | |
| CV | 11,28 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

ns: No significativo

2. Porcentaje de materia seca a los días 145 DDT.

En el análisis de varianza para porcentaje de materia seca (Cuadro 42), no presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 28,2% y un coeficiente de variación de 25,44%.

CUADRO 42. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA PORCENTAJE DE MATERIA SECA.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|----------------------|
| Tratamientos | 2 | 145,49 | 72,75 | 1,41 | 0,3437 | ns |
| Repeticiones | 2 | 23,33 | 11,66 | 0,23 | 0,8070 | ns |
| Error | 4 | 206,14 | 51,53 | | | |
| Total | 8 | 374,95 | | | | |
| CV | 25,44 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

ns: No significativo

K. HUELLA HÍDRICA

En el análisis de varianza para la huella hídrica a los 150 ddt (Cuadro 43), presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 73,7 Lit/kg y un coeficiente de variación de 1,57%.

CUADRO 43. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA HUELLA HÍDRICA (L/kg) A LOS 150 DDT.

| FV | GL | SC | CM | F | p-valor | Significancia |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|----------------------|
| Tratamientos | 2 | 4732,27 | 2366,16 | 525,42 | <0,0001 | ** |
| Repeticiones | 2 | 34,84 | 17,42 | 3,87 | 0,1161 | ns |
| Error | 4 | 18,01 | 4,50 | | | |
| Total | 8 | 4785,13 | | | | |
| CV | 1,57 | | | | | |

Fuente: Paguay, S. 2017

** Altamente Significativo

ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para huella hídrica a los 150 ddt (Cuadro 44, Figura 222); presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 1 con una media de 166,05 (L/kg), y en el rango “C” se ubicó el tratamiento 3 con una media de 111,53 L/kg.

CUADRO 44. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA LA HUELLA HÍDRICA A LOS 150DDT. (L//kg)

| Tratamientos | Medias (L/kg) | Rango |
|---------------------|----------------------|--------------|
| T1 | 166,05 | A |
| T3 | 127,08 | B |
| T2 | 111,53 | C |

Elaborado por: Paguay, S. 2017

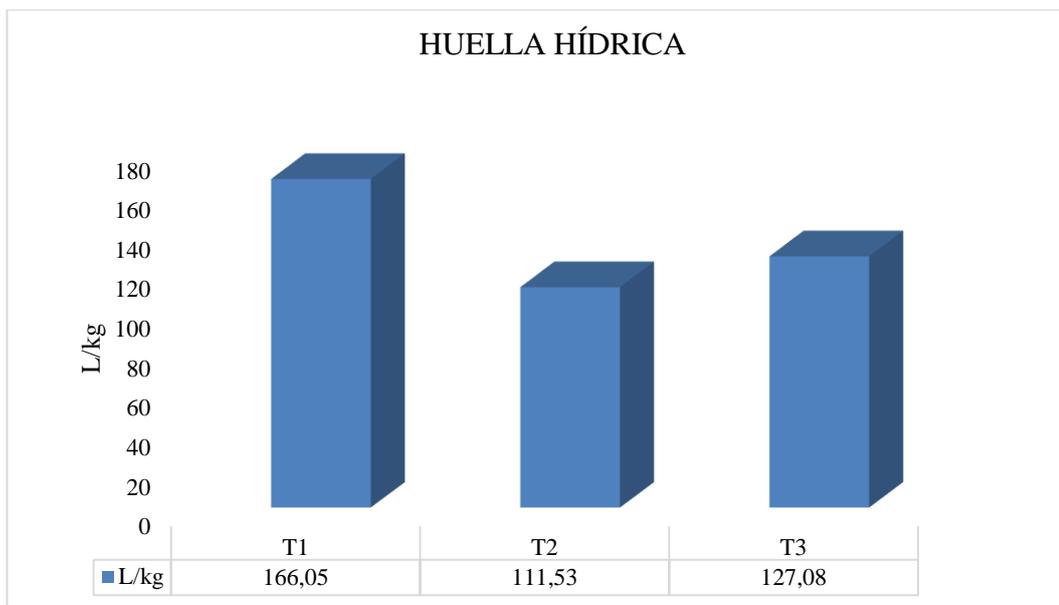


Figura 22. Huella hídrica (L/Kg).

Fuente: Paguay, S. 2017

Si observamos el Cuadro 44, Figura 22 se puede ver que existen diferencias entre los tres tratamientos, donde el Tratamiento 1 presenta una huella hídrica de 166,05 L/kg, Tratamiento 2 de 111,53 L/kg y el Tratamiento 3 de 127,08 L/kg respectivamente, si analizamos en la cantidad de agua aplicadas entre los tratamientos para producir un kg de cebolla colorada, se puede ver que el Tratamiento 3 requiere de menor cantidad de agua, seguido del Tratamiento 2, mientras que el Tratamiento 1 requiere del 35% más que el Tratamiento 3 y del 29,1% con respecto al Tratamiento 2.

Dicha diferencia entre tratamientos se debe a las distintas láminas aplicadas en los tratamientos en todo su ciclo, Tratamiento 1 de 591,3 mm, Tratamiento 2 de 550,7 mm y Tratamiento 3 con 529,2 mm respectivamente, por otro lado Chanalata & Margoth, (2013) afirma que para producir 1 kg de bulbos de cebolla colorada se requiere de 300 litros de agua, posiblemente dicha diferencia con la presente investigación, podrían ser por la variación de factores como el clima, suelo, y factores propias del mismo cultivo, así como la metodología utilizada para determinar el requerimiento hídrico.

L. ANÁLISIS ECONÓMICO

1. Beneficio/Costo (B/C).

CUADRO 45. RENTABILIDAD DE LOS TRATAMIENTOS.

| TRATAMIENTOS | INGRESO TOTAL | COSTO TOTAL | B/C | RENTABILIDAD (%) |
|---------------------|--------------------------|------------------------|------------|-----------------------------|
| T1 | 21764,99 | 15730,055 | 1,38 | 38 |
| T2 | 30183,52 | 15730,055 | 1,92 | 92 |
| T3 | 25460,93 | 15730,055 | 1,62 | 62 |

Fuente: Paguay, S. 2017

En la presente investigación el Tratamiento 2 presentó mayor beneficio/costo de 1,92 con una rentabilidad del 92% lo que quiere decir que por cada dólar invertido se recupera el dólar y adicionalmente se gana 0,92 dólares. A diferencia del Tratamiento 1 que presentó el menor beneficio/costo de 1,38 con una rentabilidad del 38%, así mismo por cada dólar invertido se recupera el dólar y adicionalmente se gana 0,38 dólares.

VI. CONCLUSIONES

- A.** El coeficiente de cultivo (kc) ajustado para la cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa, bajo las condiciones edafoclimáticas del Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo, presentan valores de 0.6, 0.9, 1,3 y 0.9 para la etapa inicial, de desarrollo, media y final respectivamente, resultado de la reposición del agua de riego al existir el consumo del 50% de agua útil del suelo (T2).
- B.** Al correlacionar la cantidad de agua aplicada con parámetros biométricos (altura, número de hojas, diámetro del pseudotallo), el Tratamiento 2 con una reposición del agua de riego al existir el 50% de abatimiento del agua útil del suelo tubo el mejor desempeño, se encontró que existe influencia directa para los parámetros biométricos estudiados.
- C.** El más alto rendimiento se obtuvo con el Tratamiento 2, cuando los riegos se realizaron al consumir el 50% del agua útil del suelo y con un volumen de 550,7mm, obteniendo así rendimiento de 49,39 t/ha.
- D.** El tratamiento que presenta menor huella hídrica es T2 (abatimiento de la humedad del suelo 50%) con la aplicación de 111,53 litros de agua por cada kg de rendimiento.
- E.** Se determinó que con el Tratamiento (T2) correspondiente a la reposición de agua de riego al abatir el 50% de la humedad aprovechable del suelo, se obtiene mayor relación beneficio/costo de 1,92 con una rentabilidad del 92%.

VII. RECOMENDACIONES

- A.** Hacer uso del volumen de agua aplicado en el Tratamiento 2, el cual fue de 550,7mm, con valores de kc 0.6, 0.9, 1,3 y 0.9 para la etapa inicial, de desarrollo, media y final respectivamente.

- B.** Validar la información arrojada del kc ajustado para el Tratamiento 2 en otras zonas hortícolas productoras de cebolla colorada.

VIII. RESUMEN

La presente investigación propone: determinar los requerimientos hídricos para el cultivo de cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa en base al contenido de agua en el suelo, en Macají, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo; mediante la aplicación de lisímetros de drenaje. El experimento se realizó en un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) y se adaptó a condiciones de riego por goteo. Se incluyeron 3 tratamientos y 3 repeticiones de riego, según el abatimiento de la humedad aprovechable del suelo (T1 25, T2 50 y T3 75%). Los resultados mostraron que las diferentes láminas de riego afectaron significativamente en el rendimiento de la cebolla colorada. El rendimiento más alto de 49,39 t/ha se obtuvieron del tratamiento T2. Las variables evaluadas fueron: altura de la planta, número de hojas, diámetro del pseudotallo, contenido relativo de agua, contenido de clorofila, días a la cosecha, peso del bulbo, diámetro ecuatorial, diámetro polar, rendimiento total, porcentaje de materia seca, y correlación entre el agua utilizada y rendimiento (huella hídrica). Se establecieron 4 estadios fenológicos para el cultivo desde el trasplante hasta la cosecha: formación de nuevas hojas, desarrollo vegetativo, bulbificación y maduración. Se determinó y se ajustó el kc para cada uno de las etapas fenológicas. Los valores de kc con la que se obtuvo mejores rendimientos (T2) 49,39 t/ha fueron: 0,6; 0,9; 1,3 y 0,9 para la etapa inicial, desarrollo, media y final, en la que se aplicó una lámina de riego de 550,7 mm en todo su ciclo del cultivo.

Palabras Clave: HIDROLOGÍA - LISÍMETRO DE DRENAJE - LÁMINAS DE RIEGO - EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA - COEFICIENTE DEL CULTIVO.

Por: Segundo Paguay



IX. SUMMARY

The present research proposed: to determine the water requirements for the cultivation of bourgeois red onion (*Allium cepa*) based on water content in the ground, in Macaji, Riobamba canton, Chimborazo province; Through the application of lysimeters drainage. The experiment was performed in a randomized complete block design (DBCA) and adapted to drip irrigation conditions. Three treatments and three replications of irrigation were included, according to the abatement of the available soil moisture (T1 25, T2 50 and T3 75%). The results showed that the different irrigation plates affected significantly the yield of the red onion. The highest yield of 49,39 t/ha was obtained from the T2 treatment. The variables evaluated were: plant height, number of leaves, diameter of pseudotallo, relative water content, chlorophyll content, harvest days, bulb weight, equatorial diameter, total yield, percentage of matter Dryness and correlation between the water used and yield (water footprint). Four phenological stages were established for the cultivation from transplant to harvest: formation of new leaves, vegetative development, bulbification and maturation. The kc was determined and adjusted for each of the phenological stages. The kc values with the best yields (T2) 49,39 t/ha were: 0,6; 0,9; 1,3 y 0,9 for the initial, development, medium and final stages, in which an irrigation sheet of 550,7 mm was applied throughout its crop cycle.

Keywords: HYDROLOGY – DRAIN LISIMETER – IRRIGATION PLATES – REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION – CROP COEFFICIENT



X. BIBLIOGRAFÍA:

1. Agro-Bio. (2009). *Agro-Bio. Cultivos tolerantes a la sequía, el desarrollo Biotecnológico de las próximas décadas.* Consultado el 05/10/2016. Recuperado [http://www.agrobio.org/bfiles/agro-biofile - 7.pdf](http://www.agrobio.org/bfiles/agro-biofile-7.pdf)
2. Alaska. (2014). *Características del cultivar burguesa.* Consultado el 01/10/2016. Disponible. En: [www.imporalaska.com/alaska_semillas/cat _product.asp?id_p=5&id_c8](http://www.imporalaska.com/alaska_semillas/cat_product.asp?id_p=5&id_c8)
3. Allen, R. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.* Food & Agriculture Org. Consultado 11 May 2017. Available from: https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=YJgytETfEnAC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Evapotranspiraci%C3%B3n+del+cultivo+Gu%C3%ADas+para+la+determinaci%C3%B3n+de+los+requerimientos+de+agua+de+los+cultivos&ots=u5wsoaNpDb&sig=ygdfH_-hj4rVyJJyJg0lA8RZnGg
4. Ambast, S.K., Keshari, K., & Gosain, A. (2002). *Satellite remote sensing to support management of Irrigation systems: concepts and approache.* *Irrigation and drainage.* 51:25 39.
5. Bochetti, M. (2010). *Análisis comparativo de la evapotranspiración obtenida mediante distintas ecuaciones empíricas aplicadas a la zona agrícola de Chillan.* Universidad Católica de la Santísima Concepción. Concepción – Chile.
6. Bonierbale, M., De Haan, S., & Forbes, A. (2007). *Procedures for standard evaluation trials of advanced potato clones.* An International Cooperators' Guide. International Potato Center, Lima – Perú: CIP.

7. Callejas, M. (2002). *Descubriendo la Ciencia por medio de la relación Suelo – Agua –Planta*. Consultado el 10/10/2016. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/51617656/imp-riego-1>
8. Castro., Hugo E., Reyes., Germán E., Cely & Dallos, Yazmín Santos, (2014). Determinación de los requerimientos hídricos del ajo y su relación con estados fenológicos. *Cultura Científica*. 2014. Vol. 12, no. 12, p. 56–64
9. Casseres, E. (2001). *Producción de hortalizas*. (3a ed.) San José - Costa Rica: IICA. pp. 238 - 255.
10. Castañón, G. (2000). *Ingeniería del Riego utilización racional del agua*. Madrid – España: Paraninfo. pp. 24,140.
11. Calvache, M. (1993). *Requerimientos hídricos de cultivos agrícolas en la zona de Tumbaco- Pichincha*. Quito. pp. 41-48
12. Cely, G. (2010). *Determinación de parámetros de riego para el cultivo cebolla de bulbo en el Distrito de riego del Alto Chicamocha*. Bogotá – Colombia. Consultado el 10/10/2016. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/2743/1/790551.2010.pdf>
13. Censo Nacional Agropecuario. (2000). *Producción de cebolla colorada en toneladas por hectárea*. Consultado el 10/10/2016. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec>.
14. Chanalata, Cargua, & Margoth, Y. (2013). Respuesta de la cebolla perla (*Allium cepa* L.) a cuatro densidades de siembra y dos láminas de riego. Ascázubi, Pichincha. (Tesis de grado). 2013. 11 May 2017. Available from: <http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/handle/25000/1100>
15. Chicaiza, M., Suquilandia, M. (2001). *Respuesta de cinco genotipos de cebolla perla (Allium cepa L.) a tres distancias de siembra bajo manejo orgánico*. (Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo). Universidad

Central del Ecuador Tumbaco. Pichincha. Rumipamba 15(1): 85-86

16. De la Torre, F. (1999). Algunos apuntes sobre el cultivo de la cebolla blanca de cabeza. *Cultivos Controlados*. 1(2): 11-12
17. Ecuarural. (2001). Diagnóstico participativo: validación, transferencia de tecnología y capacitación para el mejoramiento de la producción, productividad y calidad de la cebolla perla en Manabí. Portoviejo Ecuador.
18. Enciso, (2005). *Sensores de humedad del riego para eficientizar el riego*. Cooperativa de Texas. pp 2-6.
19. Ekanayake, I. (1994). *CIP Research 30, studying drought stress and irrigation requirements of potatoes*. Lima: CIP.
20. Estrella, J., León, J. (2000). *Respuesta de la cebolla perla (Allium cepa) a la fertilización química complementaria con calcio y azufre*. Yaruquí – Pichincha.
21. FAO. (2006). Libro 56 Guía para la determinación de los requerimientos de agua en los cultivos. Recuperado de <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>
22. Fernández, D., Martínez, M., Tavarez, C., Castillo, R., & Salas, R. (2010). SAGARPA. *Estimación de las Demandas de consumo de Agua*. Consultado el 10/10/2016. Recuperado de http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/INSTRUCTIVO_DEMANDAS%20DE%20AGUA.pdf
23. Figueroa, G. (1988). Guía para productores de cebolla perla ecuatorianos. Guayaquil - Ecuador. p. 36.

24. Freire, C. (2012). Aclimatación y rendimiento de 14 cultivares de cebolla colorada (*Allium cepa*) a campo abierto, en Macají, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo. (Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
25. Galarraga, R. (2010). Agua de riego en Ecuador. Guayas, Ecuador. Consultado el 20/10/2016. Disponible en : <http://www.buenastareas.com/ensayos/Agua-De-Riego-En-Ecuador/1289834.html>
26. Garay, O. (2009). *Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos*. Perú. pp. 3-19.
27. García, I., & Briones, G. (1997). *Sistemas de riego: por aspersión y goteo*. México DF- México: Trillas. p. 264.
28. García, M., Puppo, L., Hayashi, R., & Morales, P. (2015). *Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo*. Consultado el 05/10/2016. Recuperado de <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Metodologia%20para%20determin%20los%20parametros%20hidricos%20de%20un%20suelo%20a%20campo.pdf>
29. García, Y. (2002). *Determinación del requerimiento Hídrico de la cebolla (Allium cepa L.) en condiciones edafoclimáticas del valle de Quibor, Edo. Lara*. (Tesis de grado). Universidad de los Andes. Merida - Venezuela.
30. Giardini. (2004). *Humedad en el suelo*. Consultado el 11/11/2014. Recuperado de www.visionlearning.com
31. Gómez, M., Suquilanda, M. (2005). *Respuesta de dos híbridos de cebolla colorada (Allium cepa L.) a ocho fertilizaciones órgano-minerales y dos láminas de agua*. Tumbaco. Pichincha. Rumipamba 19(1): 107-108

32. Gómez, P. (1979). *Riegos a presión, aspersión y goteo*. (2a. Ed). Barcelona - España: Aedos.
33. Górnés, A. (2010). Problemática de agua en el Ecuador. Quito -Ecuador. Consultado 30 jun 2014 Disponible en:[http://laruta.nu/es/articulos/problemática – del – agua – en Ecuador](http://laruta.nu/es/articulos/problemática-del-agua-en-Ecuador).
34. Hargreaves G. H., & Samani Z. A. (1984). *Economic considerations of de - ficit irrigation*. J. Irrig. Drain. Eng. 100: pp 343-358.
35. Hessayon & Sonnenberg. (2006). *Manual de horticultura*. Barcelona: Blume. p. 55
36. Infoagro, (2002). *La cebolla de bulbo*. Consultado el 20/09/2016. Disponible en: [www.infoagro.com/Cebolla de bulbo. asp](http://www.infoagro.com/Cebolla%20de%20bulbo.asp).
37. Instituto Nacional de Investigación Agropecuario, (2013). *La importancia del agua en el cultivo de papa*. Consultado el 20/09/2016. Disponible <http://innovagro.wordpress.com>
38. Instituto Interamericano de Corporación para la Agricultura. IICA. (2008). *Manejo cosecha y postcosecha de cebolla colorada*. Consultado el 20/10/2016. Disponible en: [www. IICA.com.gov.ec/Cebolla de bulbo](http://www.IICA.com.gov.ec/Cebolla%20de%20bulbo).
39. Jaramillo, S. (1997). *Estudio fenológico de tres tipos de cebolla de bulbo Allium cepa L*. Acta Agronómica 47(3): 16-25.
40. Lardizabal, R. (2014). *Manual de producción del cultivo de cebolla*. Consultado el 27/10/2016. Disponible en: [.gamis.zamorano.edu/gamis/es/Docs/ hortalizas/cebolla.pdf](http://gamis.zamorano.edu/gamis/es/Docs/hortalizas/cebolla.pdf)

41. Leitón, S. (1985). *Riego y drenaje*. Costa Rica: EUNED.
42. León, J. (2012). *Riegos y drenajes*. Riobamba: E – COPYCENTER. pp 13 –57.
43. León J., & Trezza R. (1998). *Determinación de evapotranspiración del cultivo y Kc*. Centro Internacional de Riegos. Utah. pp. 3 – 18.
44. Lipinski, V., Gaviola, S., Gaviola, J. (2002). *Efecto de la densidad de plantación sobre el rendimiento de cebolla cv. Cobriza INTA con riego por goteo*. Agricultura técnica 62 (4): 574-582
45. López, J., & Dennett, M. (2007). Estimación del uso del agua en el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) En las condiciones de Quíbor, estado Lara, Venezuela. Bioagro. 2007. Vol. 19, no. 3, p. 127–132.
46. Marcial, E., & Suquilanda, M. (2003). Respuesta de dos híbridos de cebolla colorada (*Allium cepa* L.) a ocho fertilizaciones órgano-minerales y dos láminas de riego. Salcedo. Cotapaxi. 2002. Rumipamba 17(1): 71-72
47. Medina, J. (2008). Cebolla: guía técnica. Santo Domingo: Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF)., p. 64.
48. Michelakis, N., Vouyoucalu, E., & Clapaki, G. (1994). Plant growth and yield respoce of the olive tree cv Kalamon, to different levels of soil wáter potencial and methods of irrigation. Acta-Horticulture 356: 205-210
49. Micucci, F. G, Cosentino, D., & 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. p. 7.
50. Millar, A. (1993). *Manejo De Agua y Produccion Agrícola*. Santiago de Chile: Composición del propio Autor.

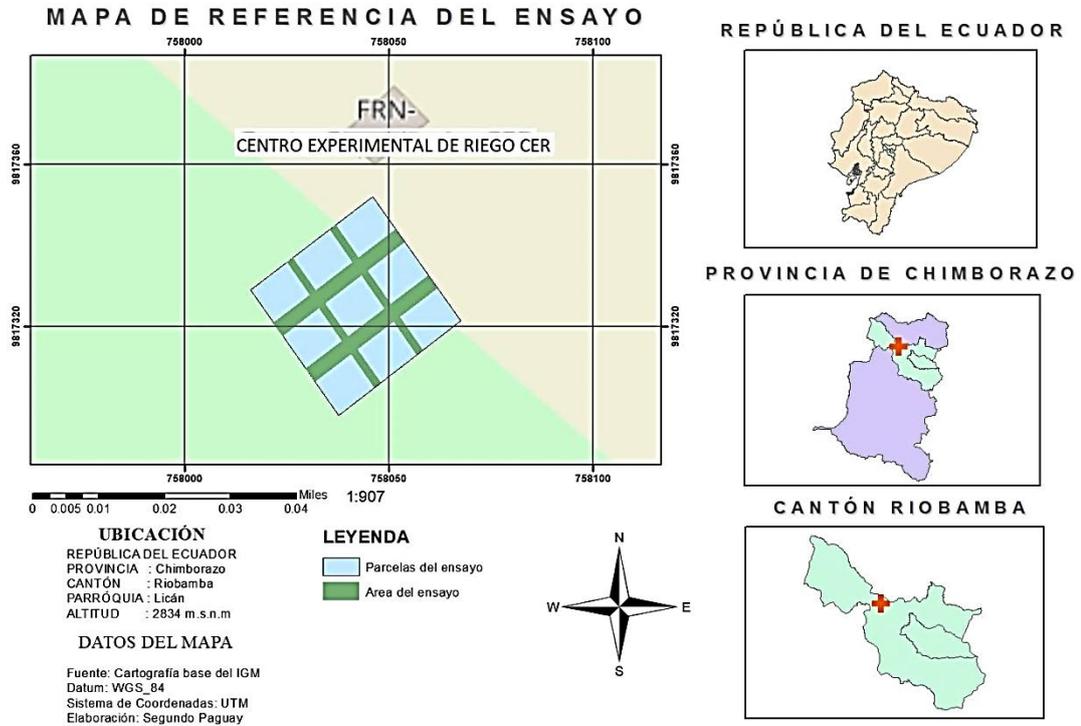
51. Muñoz, G. (2005). El uso de la información climática para la planeación y el manejo sostenible de la agricultura de secano y bajo riego. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas FAO Roma. Curso de Agroclimatología Tropical. C.I. Tibaitatá, Bogotá.
52. Navejas, J., Nieto, A., Fraga, H., Rueda, E., & Ávila, N. (2011). Comparación de métodos para estimar la evapotranspiración en una zona árida citrícola del noroeste de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(2), 147 - 155. Recuperado de <http://www.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/425/533#>
53. O'meara L. (2012). *La importancia del agua para las plantas*. Consultado el 05/10/2016. Disponible en <http://www.ehowenespanol.com>
54. Pizarro, F. (1987). *Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación*. Madrid, España: Mundi-Prensa. pp. 141-287.
55. Ramos, G. (1999). *Determinación de funciones de producción y comportamiento del cultivo de la cebolla bajo diferentes láminas de riego y dosis de fertilización fosforada en San Juan de Lagunillas*. *Revista de la Facultad de Agronomía* 16: 38-51
56. Rázuri, L., Romero, C., & Galindo, A. (2005). *Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento de la siembra, variedad americana con riego por goteo en el valle de Quíbor*. *Agricultura Andina* 10: 9-22
57. Roldán Cañas, J., M. Días Jiménez, M., Pérez Arellano, R., & Moreno Pérez, M. (2009). *Mejora de la gestión del agua de riego mediante el uso de indicadores de riego*. *Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo* 42(1):107-124.
58. Romero, L. (2005). *Riego por goteo*. Consultado el 05/09/2014 Disponible en: http://www.predes.org.pe/predes/cartilla_riegoteo.pdf

59. Salinas, López, & Cusi, C. (2013). Respuesta agromorfológica y fisiológica de la cebolla (*Allium cepa* L.) al estrés hídrico controlado. 2013. June 2017. Available from: <http://181.65.181.124/handle/UNH/142>
60. Salisbury, F. (2000). *Fisiología de las plantas. Células: agua, soluciones y superficies*. Madrid: Paraninfo.
61. Sánchez, Ramón, M. (2013). Estimación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos en el valle bonaerense del río Colorado.
62. Sevillano, G. (2005). Estudio de Distribución técnica del agua, para 198 usuarios, con 78 hectáreas, del ramal San Blas, del sistema de riego. Tumbaco, Pichincha. Tesis Ing. Agr. Quito: Universidad Central del Ecuador., Facultad de Ciencias Agrícolas. p. 23,45, 67
63. Stewart, I., & Hagan R. (1973). *Functions to predict effects of crop water deficits*. *J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Eng.* 23:421-439.
64. Suquilanda, M. (2003). *Agricultura Orgánica*. Quito - Ecuador: UPS p. 7.
65. Urbano, P. (2003). *Tratado de fitotecnia general*. Madrid: Mundi-Prensa. ... p 865.
66. Urrea, R., López, S., Martín, F., Montoro, A., & Fuster, P. (2005). Determinación de los coeficientes de cultivo único y dual de la cebolla mediante un lisímetro de pesada. disponible en: <http://www.sech.info/>
67. Valverde, J. C. (2007). *Riego y Drenaje*. San José - Costa Rica: EUNED.
68. Villafañe, R., & Hernández, R. (2000). *Relación entre la orientación de los surcos y la distribución de la humedad y la salinidad en la capa superficial del suelo*. *Agronomía tropical* 50(4): 665-673

69. Villaman, R., Tijerina, L., Quevedo, A., & Crespo, G. (2001). *Comparación de algunos métodos micrometeorológicos para estimar la evapotranspiración, en el área de Montecillo, México.* *Terra, 19* (3), 281-291. Consultado el 05/11/2016. Recuperado de <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/19/3/art281-291.pdf>
70. Valverde, J. 2007. Riego y drenaje. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia (EUNED), Costa Rica. 224 p.
71. Vásquez, S. (2008). Determinación del kc durante los estadios fenológicos de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) en el distrito de riego del alto Chicamocha. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Boyacá, Colombia. .

XI. ANEXOS

Anexo 1. Ubicación del ensayo



Fuente: Lema D. & Paguay, S. 2017

Anexo 2. Porcentaje de prendimiento a los 15 DDT

| % DE PRENDIMIENTO DIA 15 DDT | | | | | |
|------------------------------|--------------|------|------|-----------|--------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 98,1 | 97,9 | 97,6 | 294 | 98 |
| T2 | 97,7 | 97,0 | 97,3 | 292 | 97 |
| T3 | 96,3 | 96,9 | 98,7 | 292 | 97 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 3. Altura de la planta (cm) a los 30 días después de trasplante

| ALTURA A LOS 30 DIAS | | | | | |
|----------------------|--------------|-------|-------|-----------|--------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 15,47 | 12,90 | 16,80 | 45,17 | 15,06 |
| T2 | 16,10 | 15,54 | 18,10 | 49,74 | 16,58 |
| T3 | 14,90 | 12,90 | 17,75 | 45,55 | 15,18 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 4. Altura de la planta (cm) a los 60 días después del trasplante

| ALTURA A LOS 60 DIAS | | | | | |
|----------------------|--------------|-------|-------|-----------|--------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 25,85 | 22,90 | 22,20 | 70,95 | 23,65 |
| T2 | 27,35 | 28,70 | 21,60 | 77,65 | 25,88 |
| T3 | 26,90 | 22,90 | 26,25 | 76,05 | 25,35 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 5. Altura de la planta (cm) a los 90 días después del trasplante

| ALTURA A LOS 90 DIAS | | | | | |
|----------------------|--------------|-------|-------|-----------|--------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 53,80 | 50,30 | 43,60 | 147,70 | 49,23 |
| T2 | 58,50 | 55,40 | 50,60 | 164,50 | 54,83 |
| T3 | 56,10 | 50,30 | 47,90 | 154,30 | 51,43 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 6. Diámetro del pseudotallo (cm) a los 30 días después del trasplante

| DIAMETRO A LOS 30 DIAS | | | | | |
|------------------------|--------------|------|------|-----------|--------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 0,45 | 0,50 | 0,47 | 1,42 | 0,47 |
| T2 | 0,47 | 0,44 | 0,49 | 1,40 | 0,47 |
| T3 | 0,45 | 0,49 | 0,44 | 1,38 | 0,46 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 7. Diámetro del pseudotallo (cm) a los 60 días después del trasplante

| DIAMETRO A LOS 60 DIAS | | | | | |
|------------------------|--------------|------|------|-----------|--------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 0,89 | 0,76 | 0,76 | 2,41 | 0,80 |
| T2 | 0,88 | 0,91 | 0,86 | 2,65 | 0,88 |
| T3 | 0,91 | 0,86 | 0,87 | 2,64 | 0,88 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 8. Diámetro del pseudotallo (cm) a los 90 días después del trasplante.

| DIAMETRO A LOS 90 DIAS | | | | | |
|------------------------|--------------|------|------|-----------|--------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 1,84 | 1,78 | 1,44 | 5,06 | 1,69 |
| T2 | 1,87 | 1,81 | 1,75 | 5,43 | 1,81 |
| T3 | 1,76 | 1,75 | 1,72 | 5,23 | 1,74 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 9. Número de hojas a los 30 días después del trasplante.

| N° DE HOJAS A LOS 30 DIAS | | | | | |
|---------------------------|--------------|------|------|-----------|--------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 4,00 | 4,00 | 3,80 | 11,80 | 3,93 |
| T2 | 3,70 | 3,40 | 3,90 | 11,00 | 3,67 |
| T3 | 3,80 | 3,60 | 3,80 | 11,20 | 3,73 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 10. Número de hojas a los 60 días después del trasplante.

| N° DE HOJAS A LOS 60 DIAS | | | | | |
|---------------------------|--------------|------|------|-----------|--------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 5,60 | 5,30 | 4,90 | 15,80 | 5,27 |
| T2 | 5,50 | 5,40 | 5,40 | 16,30 | 5,43 |
| T3 | 5,40 | 5,30 | 5,40 | 16,10 | 5,37 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 11. Número de hojas a los 90 días después del trasplante

| N° DE HOJAS A LOS 90 DIAS | | | | | |
|---------------------------|--------------|------|------|-----------|--------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 8,50 | 8,30 | 8,30 | 25,10 | 8,37 |
| T2 | 8,90 | 8,40 | 9,30 | 26,60 | 8,87 |
| T3 | 8,60 | 8,80 | 8,90 | 26,30 | 8,77 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 12. Peso de la planta total (g).

| PESO PLANTA TOTAL (gr) | | | | | |
|------------------------|--------------|--------|--------|-----------|--------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 216,90 | 278,75 | 281,20 | 776,85 | 258,95 |
| T2 | 313,85 | 364,75 | 360,85 | 1039,45 | 346,48 |
| T3 | 225,00 | 327,50 | 287,90 | 840,40 | 280,13 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 13. Peso del bulbo (g).

| PESO BULBO (gr) | | | | | |
|-----------------|--------------|--------|--------|-----------|--------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 213,05 | 205,80 | 205,80 | 624,65 | 208,22 |
| T2 | 252,85 | 285,40 | 304,05 | 842,30 | 280,77 |
| T3 | 207,15 | 266,75 | 242,40 | 716,30 | 238,77 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 14. Diámetro polar (cm) de la cebolla colorada.

| DIAMETRO POLAR (cm) | | | | | |
|---------------------|--------------|------|------|-----------|--------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 6,67 | 6,96 | 6,75 | 20,38 | 6,79 |
| T2 | 6,96 | 7,52 | 7,82 | 22,30 | 7,43 |
| T3 | 6,92 | 7,37 | 7,18 | 21,47 | 7,16 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 15. Diámetro ecuatorial (cm) de la cebolla colorada.

| DIAMETRO ECUATORIAL (cm) | | | | | |
|--------------------------|--------------|------|------|-----------|--------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 7,23 | 7,70 | 7,81 | 22,74 | 7,58 |
| T2 | 8,26 | 8,53 | 8,75 | 25,54 | 8,51 |
| T3 | 7,77 | 8,36 | 8,05 | 24,18 | 8,06 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 16. Días a la cosecha

| DÍAS A LA COSECHA | | | | | |
|-------------------|--------------|-----|-----|-----------|--------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 150 | 149 | 149 | 448 | 149 |
| T2 | 142 | 146 | 144 | 432 | 144 |
| T3 | 132 | 138 | 137 | 407 | 136 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 17. Rendimiento categoría grande (kg/ha)

| RENDIMIENTO CATEGORIA GRANDE | | | | | |
|------------------------------|--------------|---------|----------|-----------|----------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 4004,00 | 6673,34 | 7007,01 | 17684,35 | 5894,78 |
| T2 | 10677,34 | 12345,6 | 10010,01 | 33033,03 | 11011,01 |
| T3 | 4337,67 | 8008,01 | 7340,67 | 19686,35 | 6562,12 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 18. Rendimiento categoría mediana (kg/ha)

| RENDIMIENTO CATEGORIA MEDIANA | | | | | |
|-------------------------------|--------------|---------|---------|-----------|---------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 5005,01 | 4337,67 | 3336,67 | 12679,35 | 4226,45 |
| T2 | 3670,34 | 4337,67 | 6006,01 | 14014,01 | 4671,34 |
| T3 | 7007,01 | 6339,67 | 5672,34 | 19019,02 | 6339,67 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 19. Rendimiento categoría pequeña (kg/ha)

| RENDIMIENTO CATEGORIA PEQUEÑA (kg/ha) | | | | | |
|---------------------------------------|--------------|--------|---------|-----------|---------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 1668,34 | 667,33 | 2669,34 | 5005,01 | 1668,34 |
| T2 | 667,33 | 333,67 | 1001,00 | 2002,00 | 667,33 |
| T3 | 1334,67 | 333,67 | 1001,00 | 2669,34 | 889,78 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 20. Rendimiento por parcela neta (kg)

| RENDIMIENTO POR PARCELA NETA (kg) | | | | | |
|-----------------------------------|--------------|----|-----|-----------|--------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 15 | 16 | 18 | 49 | 16,3 |
| T2 | 20 | 23 | 23 | 66 | 22,0 |
| T3 | 17 | 20 | 19 | 56 | 18,7 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 21. Rendimiento total (kg/ha)

| RENDIMIENTO TOTAL | | | | | |
|-------------------|--------------|-------|-------|-----------|--------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 11111 | 11852 | 13333 | 35615 | 12099 |
| T2 | 14815 | 17037 | 17037 | 49391 | 16296 |
| T3 | 12593 | 14815 | 14074 | 41663 | 13827 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 22. Porcentaje de materia seca.

| % DE MATERIA SECA | | | | | |
|-------------------|--------------|-------|-------|-----------|--------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 13,17 | 12,38 | 14,17 | 39,71 | 13,24 |
| T2 | 15,33 | 18,83 | 17,50 | 51,67 | 17,22 |
| T3 | 17,00 | 16,83 | 14,00 | 47,83 | 15,94 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 23. Huella hídrica (L/gr).

| HUELLA HIDRICA | | | | | |
|----------------|--------------|--------|--------|-----------|--------|
| TRATAMIENTOS | REPETICIONES | | | SUMATORIA | MEDIAS |
| | I | II | III | | |
| T1 | 167,71 | 167,60 | 162,84 | 498,15 | 166,05 |
| T2 | 113,88 | 109,25 | 111,47 | 334,60 | 111,53 |
| T3 | 131,30 | 124,95 | 125,00 | 381,25 | 127,08 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 24. Calibración de los tensiómetros para el Tratamiento 1 (T1).

| Peso Húmedo Seco (gr) | Peso Seco Suelo (gr) | % Humedad | Lectura tensiómetro (ceb) |
|------------------------------|-----------------------------|------------------|----------------------------------|
| 145 | 137,8 | 5,2 | |
| 121,5 | 105 | 15,7 | |
| 123 | 106,5 | 15,5 | 12,0 |
| 121 | 105,5 | 14,7 | 16,0 |
| 117 | 102,5 | 14,1 | 15,4 |
| 110 | 95,5 | 15,2 | 11,0 |
| 108,8 | 95,5 | 13,9 | 13,0 |
| 121 | 107 | 13,1 | 17,5 |
| 115 | 102,5 | 12,2 | 18,0 |
| | | | 17,5 |
| 119 | 105 | 13,3 | 18,3 |
| 124,5 | 111 | 12,2 | 18,5 |
| 121 | 106 | 14,2 | 15,0 |
| 119 | 105 | 13,3 | 17,5 |
| 123 | 109,5 | 12,3 | 18,5 |
| 110,5 | 99 | 11,6 | 20,5 |
| 105,5 | 95 | 11,1 | 22,5 |
| 123,5 | 108,5 | 13,8 | 17,0 |
| 115,5 | 102,5 | 12,7 | 18,0 |
| 117,5 | 105 | 11,9 | 19,5 |
| 107,5 | 97 | 10,8 | 21,0 |
| 110,5 | 97 | 13,9 | 17,0 |
| 114,5 | 102 | 12,3 | 18,5 |
| 102,5 | 92,5 | 10,8 | 21,5 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 25. Calibración de los tensiómetros para el Tratamiento 2 (T2).

| Peso Húmedo Seco (gr) | Peso Seco Suelo (gr) | %. Humedad | Lectura tensiómetro (ceb) |
|-----------------------|----------------------|------------|---------------------------|
| 144,2 | 136,3 | 5,8 | |
| 115,5 | 96,5 | 19,7 | |
| 113,5 | 98 | 15,8 | 17,5 |
| 118,5 | 104,5 | 13,4 | 23,5 |
| 110 | 97,5 | 12,8 | 26,0 |
| 122,5 | 107 | 14,5 | 23,0 |
| 112 | 99 | 13,1 | 20,0 |
| 113,5 | 101,5 | 11,8 | 25,0 |
| 122 | 109,5 | 11,4 | 27,9 |
| 112,5 | 101,5 | 10,8 | 32,5 |
| 112 | 101,5 | 10,3 | 37,0 |
| 121 | 106,6 | 13,5 | 23,5 |
| 113,5 | 101 | 12,4 | 30,0 |
| 114,5 | 102,5 | 11,7 | 32,0 |
| 118 | 107 | 10,3 | 36,0 |
| 78 | 71 | 9,9 | 39,5 |
| 109,5 | 97,5 | 12,3 | 31,5 |
| 111 | 99,5 | 11,6 | 31,0 |
| 107 | 97 | 10,3 | 36,0 |
| 102,5 | 89,5 | 14,5 | 25 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 26. Calibración de los tensiómetros para el Tratamiento 3 (T3).

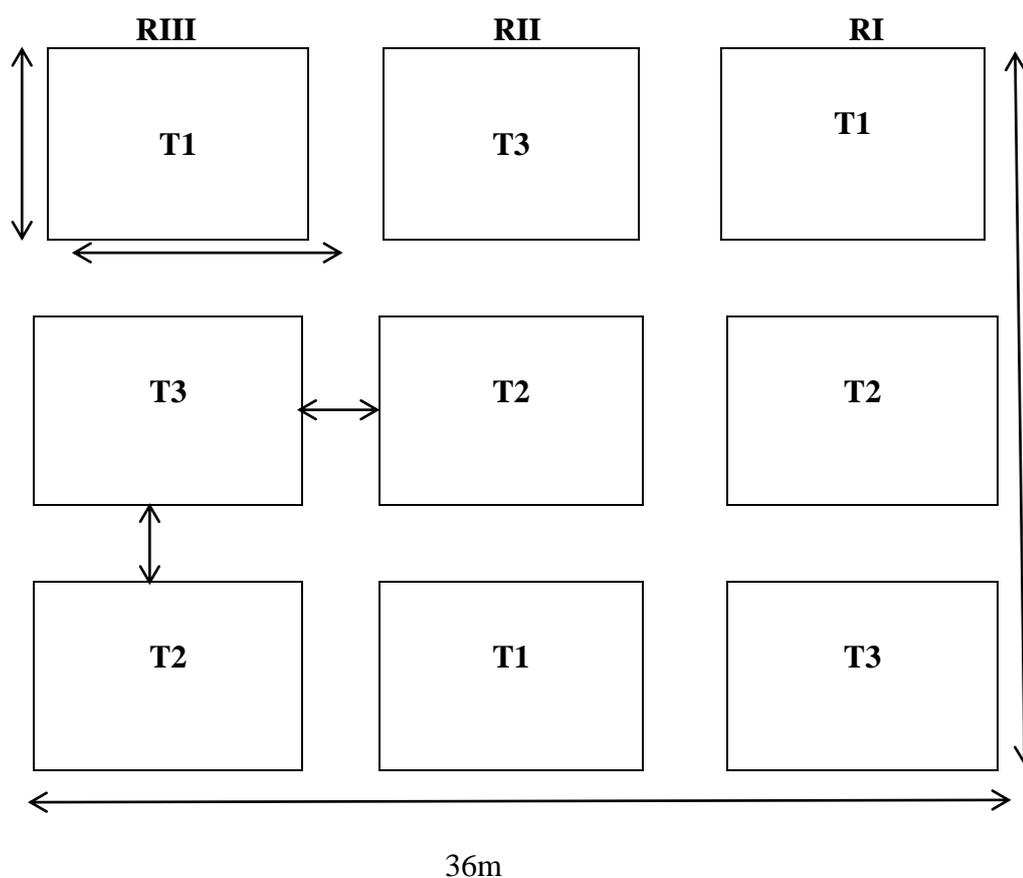
| Peso Húmedo Seco (gr) | Peso Seco Suelo (gr) | %. Humedad | Lectura tensiómetro (ceb) |
|-----------------------|----------------------|------------|---------------------------|
| 124,5 | 117,8 | 5,7 | |
| 132,5 | 112,5 | 17,8 | |
| 105,5 | 93,5 | 12,8 | 14,3 |
| 120,1 | 107 | 12,2 | 18,0 |
| 108 | 97 | 11,3 | 18,5 |
| 119 | 104 | 14,4 | 15,0 |
| 112,5 | 99,5 | 13,1 | 15,5 |
| 107 | 97 | 10,3 | 18,5 |
| 113 | 103 | 9,7 | 19,0 |
| 119,5 | 109 | 9,6 | 21,0 |
| 105,5 | 97 | 8,8 | 23,5 |
| 111,5 | 99,5 | 12,1 | 17,5 |
| 109,5 | 98 | 11,7 | 21,0 |
| 108 | 99 | 9,1 | 22,0 |
| 124 | 114 | 8,8 | 23,0 |
| 81,5 | 76 | 7,2 | 26,0 |
| 122 | 108 | 13,0 | 21,0 |
| 107 | 97,5 | 9,7 | 21,0 |
| 84 | 77 | 9,1 | 23,0 |
| 98,5 | 90,5 | 8,8 | 23,5 |
| 118 | 103,5 | 14,0 | 14,0 |
| 110 | 98 | 12,2 | 16,5 |
| 109 | 97,5 | 11,8 | 16,0 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 27. Comportamiento climático durante el ciclo del cultivo.

| MESES | T (°C) | H.R. (%) | VV. (m/s) | Precipitación (mm/día) | Evaporación (mm/día) |
|------------------|-------------|--------------|-------------|------------------------|----------------------|
| Octubre | 14,1 | 74,7 | 2,1 | 58,5 | 160,64 |
| Noviembre | 14,7 | 69,5 | 2,1 | 28,5 | 166,11 |
| Diciembre | 13,9 | 75,8 | 2 | 49,7 | 135,7 |
| Enero | 13,4 | 79,3 | 1,9 | 81,9 | 112,19 |
| Febrero | 13,4 | 79,5 | 1,8 | 88,3 | 99,13 |
| Promedio | 13,9 | 75,76 | 1,98 | | |
| Sumatoria | | | | 306,9 | 673,77 |

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 28. Esquema de distribución del ensayo

Fuente: Paguay, S. 2017

Anexo 29. Costo del ensayo para la determinación de los requerimientos hídricos para el cultivo de la cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa en base al contenido de agua en el suelo, en Macají, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.

| RUBROS | UNIDAD | CANTIDAD | P. UNIT. (USD) | P. TOTAL (USD) |
|-----------------------|-----------|----------|-------------------|-------------------|
| Preparación del suelo | | | | |
| Limpieza del terreno | Jornal | 4 | 15 | 60,00 |
| Rastrada | Hora | 1 | 12 | 12,00 |
| Limpieza y nivelada | Jornal | 6 | 15 | 90,00 |
| Realización de camas | Jornal | 6 | 15 | 90,00 |
| SUBTOTAL | | | | 252,00 |
| Fertilizantes | | | | |
| 10-30-10 | Kg | 50 | 0,5 | 25,00 |
| 18-46-00 | Kg | 35 | 0,6 | 21,00 |
| Muriato de potasio | Kg | 25 | 0,45 | 11,25 |
| Campo orgánico | ml | 500 | 0,022 | 11,00 |
| 20-20-20 | gr | 500 | 0,019 | 9,50 |
| Sulfato de potasio | Lb | 6 | 1,5 | 9,00 |
| Urea | Kg | 15 | 0,7 | 10,50 |
| Mano de obra | Jornal | 5 | 15 | 75,00 |
| SUBTOTAL | | | | 172,25 |
| Trasplante | | | | |
| Plántulas | Plántulas | 19000 | 0,008 | 152,00 |
| Transporte | Carro | 1 | 5 | 5,00 |
| Mano de obra | Jornal | 7 | 15 | 105,00 |
| Enraizante | ml | 250 | 0,02 | 5,00 |
| Insecticida | ml | 100 | 0,04 | 4,00 |
| Fungicida | gr | 250 | 0,024 | 6,00 |
| SUBTOTAL | | | | 277,00 |

| | | | | |
|---------------------------------|--------|-----|-------|----------------|
| Controles Fitosanitarios | | | | |
| Chlorpyrifos | ml | 200 | 0,055 | 11,00 |
| Antracol | ml | 200 | 0,048 | 9,60 |
| Predostar | gr | 500 | 0,02 | 10,00 |
| Score | ml | 100 | 0,1 | 10,00 |
| Ridomil | gr | 100 | 0,085 | 8,50 |
| Cosmoind | ml | 200 | 0,025 | 5,00 |
| Mano de obra | Jornal | 4 | 15 | 60,00 |
| SUBTOTAL | | | | 114,10 |
| Labores culturales | | | | |
| Rascadillo | Jornal | 5 | 15 | 75,00 |
| Herbicida | ml | 100 | 0,1 | 10,00 |
| Deshierbas | Jornal | 5 | 15 | 75,00 |
| Limpieza de la parcela | Jornal | 3 | 15 | 45,00 |
| SUBTOTAL | | | | 205,00 |
| Cosecha | | | | |
| Sacos | Sacos | 73 | 0,35 | 25,55 |
| Mano de obra | Jornal | 8 | 15 | 120,00 |
| Transporte | Carro | 3 | 10 | 30,00 |
| SUBTOTAL | | | | 175,55 |
| Materiales de campo | | | | |
| Sistema de riego (goteo) | Unidad | 1 | 83 | 83,00 |
| SUBTOTAL | | | | 83,00 |
| TOTAL | | | | 1278,90 |
| Imprevistos | | | | |
| Imprevistos 10% | | | | 127,89 |
| GRAN TOTAL | | | | 1406,79 |

Fuente: Paguay, S. 2017