



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

**DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL
CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) BAJO
CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS DEL CANTÓN RIOBAMBA
PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

JIMÉNEZ GARCÍA ROBERTH JINSON

RIOBAMBA- ECUADOR

2016

EL TRIBUNAL DE TESIS CERTIFICA QUE: El trabajo de investigación titulado "DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) BAJO CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS DEL CANTÓN RIOBAMBA PROVINCIA DE CHIMBORAZO" de responsabilidad del Señor Egresado Roberth Jinson Jiménez García, ha sido prolijamente revisada quedando autorizada su presentación.

TRIBUNAL DE TESIS

ING. JUAN LEÓN RUIZ

DIRECTOR



ING. VICTOR LINDAO

MIEMBRO



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

RIOBAMBA – ECUADOR

2016

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Roberth Jinson Jiménez García, 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 académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 21 de Enero del 2016



Roberth Jinson Jiménez García

060496293-6

DEDICATORIA

Pero aun así, yo se que puedes pedir a Dios cualquier cosa, y Dios te lo concederá.

Juan 11,22

AGRADECIMIENTO

Son muchas las personas a las que quiero extender mi sincero agradecimiento; principalmente a mis padres Segundo Arturo Jiménez y Carmen García por su apoyo incondicional y por inculcarme valores humanos que me han servido a lo largo de mi vida, de la misma manera a mi hermana por su cariño y valioso respaldo.

Un agradecimiento especial al Ing. Juan León por su apreciable amistad y por ser la guía indiscutible compartiendo sus valiosos conocimientos dentro de la presente investigación y por brindar el respaldo absoluto dentro de la misma; así como por la apertura dada por parte del Centro Experimental del Riego (CER).

Así mismo; al Ing. Víctor Lindao por su tiempo, dedicación y valioso aporte dentro del presente trabajo.

No quiero dejar de lado a mis amigos y miembros valiosos del equipo de trabajo del CER Juan Diego, Juan Eduardo, David, Gilbert y Daniel por su respaldo y colaboración siempre gracias.

CONTENIDO

I.	DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL CULTIVO DE BRÓCOLI (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) BAJO CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS DEL CANTÓN RIOBAMBA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.....	1
II.	INTRODUCCIÓN	1
III.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	32
V.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	45
VI.	CONCLUSIONES	102
VII.	RECOMENDACIONES	104
VIII.	RESUMEN.....	105
IX.	ABSTRACT	106
X.	BIBLIOGRAFÍA.....	107
XI.	ANEXOS.....	113

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Porcentajes de humedad para los diferentes tipos de suelos.....	9
Tabla 2. Interpretación de las lecturas de los tensiómetros.	10
Tabla 3. Referencia de tensión de la humedad en el suelo marcada en tensiómetros. ...	11
Tabla 4. ETo promedio para diferentes regiones agroclimáticas en mm/día.....	16
Tabla 5. 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.	22
Tabla 6. Contenido de nutrientes según el análisis de suelo en Macají, Provincia de Chimborazo, 2015.....	33
Tabla 7. Característica del campo experimental.	34
Tabla 8. Análisis de varianza (ADEVA)	36
Tabla 9. Clasificación de pellas según su peso	43
Tabla 10. Parámetros hídricos del suelo en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Campus Macají, Facultad de Recursos Naturales predios del Centro Experimental del Riego (CER).	47
Tabla 11. Duración de la etapa inicial en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger).....	48
Tabla 12. Duración de la etapa de desarrollo en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger).....	50
Tabla 13. Duración de la etapa intermedia en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger).....	51
Tabla 14. Duración de la etapa final en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger).....	52
Tabla 15. Duración total del ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger).....	54

Tabla 16. Parámetros evaluados durante el desarrollo del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.....	61
Tabla 17. Parámetros evaluados durante el desarrollo del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) expresados en porcentajes bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.....	61
Tabla 18. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa inicial del ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.....	63
Tabla 19. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa de desarrollo del ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.....	64
Tabla 20. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa intermedia del ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.....	66
Tabla 21. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa final del ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.....	67
Tabla 22. Requerimiento hídrico y láminas de riego aplicadas en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.....	69
Tabla 23. Análisis de varianza para el número de hojas a los 15 DDT	72
Tabla 24. Análisis de varianza para el número de hojas a los 30 DDT	73
Tabla 25. Análisis de varianza para el número de hojas a los 45 DDT.....	74
Tabla 26. Análisis de varianza para el número de hojas a los 60 DDT.....	75
Tabla 27. Análisis de varianza para el número de hojas a los 75 DDT.....	76
Tabla 28. Análisis de varianza para la altura de planta a los 15 DDT.....	77

Tabla 29. Análisis de varianza para la altura de planta a los 30 DDT.....	78
Tabla 30. Prueba de Tukey al 5% para altura de planta a los 30 DDT.....	78
Tabla 31. Análisis de varianza para la altura de planta a los 45 DDT.....	80
Tabla 32. Prueba de Tukey al 5% para altura de planta a los 45 DDT.....	80
Tabla 33. Análisis de varianza para la altura de planta a los 60 DDT.....	82
Tabla 34. Prueba de Tukey al 5% para altura de planta a los 60 DDT.....	82
Tabla 35. Análisis de varianza para la altura de planta a los 75 DDT.....	84
Tabla 36. Prueba de Tukey al 5% para altura de planta a los 60 DDT.....	84
Tabla 37. Análisis de varianza para los días a la aparición de la pella.....	86
Tabla 38. Prueba de Tukey al 5% para días a la aparición de la pella.....	86
Tabla 39. Análisis de varianza para los días al inicio de la cosecha.....	88
Tabla 40. Prueba de Tukey al 5% para los días al inicio de la cosecha.....	88
Tabla 41. Análisis de varianza para el diámetro de la pella.	90
Tabla 42. Análisis de varianza para el peso de la pella.	91
Tabla 43. Análisis de varianza para el rendimiento de pellas grandes por parcela neta (kg).....	92
Tabla 44. Análisis de varianza para rendimiento de pellas medianas por parcela neta (kg).....	93
Tabla 45. Análisis de varianza para rendimiento de pellas pequeñas por parcela neta (kg).....	94
Tabla 46. Análisis de varianza para rendimiento total por parcela neta (kg)	95
Tabla 47. Análisis de varianza para el rendimiento total en kg/ha	96
Tabla 48. Análisis de varianza para el porcentaje de materia seca.....	97
Tabla 49. Análisis de varianza para Huella hídrica	98

Tabla 50. Prueba de Tukey al 5% para huella hídrica.	98
Tabla 51. Análisis de dominancia.....	100
Tabla 52. Tasa marginal de retorno.	100
Tabla 53. Beneficio neto para Tratamientos no dominados	100
Tabla 54. Relación beneficio costo.....	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitación durante el ciclo de cultivo para la para la determinación de los requerimientos hídricos del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015	45
Figura 2. Humedad relativa y velocidad del viento registrada durante el ciclo de cultivo para la para la determinación de los requerimientos hídricos del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.....	46
Figura 3. Parámetros hídricos del suelo en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Campus Macají, Facultad de Recursos Naturales predios del Centro Experimental del Riego (CER).	47
Figura 4. Duración de la etapa inicial en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger).....	49
Figura 5. Duración de la etapa de desarrollo en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger).....	50
Figura 6. Duración de la etapa intermedia en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger).....	51
Figura 7. Duración de la etapa final en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger).....	53
Figura 8. Duración total del ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger).....	54
Figura 9. Coeficiente de cultivo (Kc) de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) determinado por Hargraves en periodos de 3 días bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.....	55
Figura 10. Coeficiente de cultivo (Kc) por etapa fenológica del ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) determinado por Hargraves	

bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.	56
Figura 11. Coeficiente de cultivo (Kc) ajustado de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) determinado por el método de lisimetría.	57
Figura 12. Coeficiente de cultivo (Kc) ajustado de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) determinado por el Tratamiento 1 bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.....	58
Figura 13. Parámetros evaluados durante el desarrollo del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) expresados en porcentajes bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.....	62
Figura 14. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa inicial del ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.....	63
Figura 15. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa de desarrollo del ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.....	65
Figura 16. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa intermedia del ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.....	66
Figura 17. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa final del ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.....	68
Figura 18. Requerimientos hídricos y lámina de riego aplicadas en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> . L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.....	70
Figura 19. Altura de planta a los 30 DDT.....	79
Figura 20. Altura de planta a los 45 DDT.....	81
Figura 21. Altura de planta a los 60 DDT.....	83

Figura 22. Altura de planta a los 75 DDT.....	85
Figura 23. Días a la aparición de la pella.....	87
Figura 24. Días al inicio de la cosecha.	89
Figura 25. Huella Hídrica.	99
Figura 26. Beneficio neto para Tratamientos no dominados	101

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Esquema de la distribución del ensayo ESPOCH – CAMPUS MACAJÍ.	113
ANEXO 2. Análisis físico químico del suelo.	114
ANEXO 3. Número de hojas a los 15 DDT	115
ANEXO 4. Número de hojas a los 30 DDT	115
ANEXO 5. Número de hojas a los 45 DDT	115
ANEXO 6. Número de hojas a los 60 DDT	116
ANEXO 7. Número de hojas a los 75 DDT	116
ANEXO 8. Altura de la planta a los 15 DDT	116
ANEXO 9. Altura de la planta a los 30 DDT	117
ANEXO 10. Altura de la planta a los 45 DDT	117
ANEXO 11. Altura de la planta a los 60 DDT	117
ANEXO 12. Altura de la planta a los 75 DDT	118
ANEXO 13. Días a la aparición de la pella	118
ANEXO 14. Días al inicio de cosecha.....	118
ANEXO 15. Diámetro de la pella	119
ANEXO 16. Peso de la pella	119
ANEXO 17. Rendimiento de pellas grandes por parcela neta.....	119
ANEXO 18. Rendimiento de pellas medianas por parcela neta	120
ANEXO 19. Rendimiento de pellas pequeñas por parcela neta	120
ANEXO 20. Rendimiento total por parcela neta	120
ANEXO 21. Rendimiento total en kilogramos por hectárea (kg/Ha).....	121
ANEXO 22. Porcentaje de materia seca	121

ANEXO 23. Huella hídrica..... 121

I. DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) BAJO CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS DEL CANTÓN RIOBAMBA PROVINCIA DE CHIMBORAZO

II. INTRODUCCIÓN

Orozco (2010) señala que un buen manejo de irrigación se basa en optimizar la distribución espacial y temporal del agua aplicada con la finalidad de incrementar la producción y calidad de los cultivos. Las buenas prácticas de irrigación, están diseñadas para mantener un adecuado nivel de humedad en el suelo y minimizar la contaminación difusa, es decir, lixiviación del agua y nutrientes por debajo de la zona radicular.

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 (FAO, 2006).

La situación actual del agua en el mundo corresponde a un panorama de escasez, sobreexplotación y contaminación, lo que obliga a buscar formas de incrementar la eficiencia en el uso del agua, para así impactar en aquellos aspectos donde el efecto del rescate del recurso, tanto en cantidad como en calidad, sea el mayor posible.

Doorembos y Pruitt (citado por Orozco, 2007) señala que el Coeficientes de cultivo (K_c) relaciona la evapotranspiración del cultivo (E_{Tc}), con la evapotranspiración de referencia (E_{To}), y representa la evapotranspiración del cultivo en condiciones óptimas de crecimiento vegetativo y rendimiento. Los coeficientes de cultivo (K_c), varían con el

desarrollo vegetativo de la planta, clima y sistema de riego; dichos valores se deben obtener para cada región y para cada sistema de riego (Orozco, 2007).

A. JUSTIFICACIÓN

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

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

Se ha estimado a nivel mundial que la demanda por agua para uso agrícola se verá incrementada entre un 15% y un 20%, en los próximos 25 años, para mantener la seguridad alimentaria y reducir el hambre y la pobreza de una población mundial creciente. Por otra parte, los estudios ambientales señalan que el uso de agua deberá ser reducido por lo menos en un 10% durante el mismo período para proteger ríos, lagos y humedales de los cuales dependen millones de personas para su subsistencia y para satisfacer las crecientes demandas de la ciudad y la industria. De este modo, las sociedades de todo el mundo se enfrentan al conflicto emergente derivado de la gestión de los recursos hídricos (WWAP, 2006).

La escasez de agua producida por el cambio climático, sumado a una creciente demanda de agua para riego, para la industria, para la producción de energía hidroeléctrica y para otros usos por parte del hombre, exacerbará la competencia por este recurso entre los diversos sectores de la región. La disminución de los niveles de aguas subterráneas y los costos crecientes de energía que demanda su extracción producirán un aumento en los costos de la actividad agropecuaria. Los glaciares de la zona andina de Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú han perdido el 20 por ciento de su volumen, lo que afectará el suministro de agua y energía en América del Sur (Ortiz, 2012).

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

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

Gestionar de forma eficiente el agua de riego significa destinar a los cultivos los volúmenes de agua necesarios que garanticen la producción obteniendo la máxima calidad de los productos agrícolas.

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

Cabe también indicar que el Proyecto de Adaptación al Cambio Climático, a través de una Efectiva Gobernabilidad del agua en el Ecuador (PACC) dirigido por el MAE tiene como objetivo principal disminuir la vulnerabilidad del Ecuador al cambio climático, mediante el uso responsable de los recursos hídricos. La gestión eficiente depende de la movilización de recursos, ajustado a las necesidades y disponibilidades y por la aplicación del agua al cultivo con los medios técnicos que proporcionen el máximo ahorro; por lo que, se debe conocer las necesidades ajustadas de agua de los cultivos a lo largo de su ciclo productivo.

Por lo mencionado anteriormente se considera necesario el desarrollo de nuevas tecnologías que permita enfrentar los problemas relacionados a la eficiencia en el uso del agua de riego. Es por esto que uno de los objetivos del Centro Experimental del Riego implementado en la Facultad de Recursos Naturales-ESPOCH es determinar los requerimientos hídricos de los cultivos para lo cual se desarrolló esta investigación.

B. OBJETIVOS

1. Objetivo general

Determinar los requerimientos hídricos del cultivo de Brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) mediante la aplicación de dos métodos indirectos y uno directo bajo condiciones edafoclimáticas del Cantón Riobamba Provincia de Chimborazo.

2. Objetivos específicos

a. Seleccionar el mejor método para determinar los requerimientos hídricos del cultivo de Brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger).

b. Determinar la evapotranspiración del cultivo (Etc) de Brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger).

c. Correlacionar parámetros de producción para determinar la huella hídrica del cultivo.

d. Determinar y ajustar el coeficiente del cultivo (Kc)

C. HIPÓTESIS

1. Nula

En las reposiciones de agua mediante la aplicación de los tres métodos no se encuentran diferencias en la producción.

2. Alternante

Al menos en uno de los métodos de reposiciones se encuentran diferencias en la producción.

III. REVISIÓN DE LITERATURA.

A. MARCO CONCEPTUAL

1. Riego

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

2. Drenaje

Procedimiento empleado para desecar el terreno por medio de conductos subterráneos (WORDREFERENCE, 2005).

3. Evaporación

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

4. Precipitación

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

5. Humedad Relativa

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

6. Evapotranspiración

El Diccionario Manual de la Lengua Española (2005) manifiesta que la evapotranspiración es el conjunto de las pérdidas de agua en forma de vapor que pasan a la atmósfera y que son la suma de la transpiración de las plantas y de la evaporación del agua de la superficie del suelo.

B. MARCO TEORICO

1. 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. A todo esto Fernández, D., Martínez, M., Tavarez, C., Castillo, R., & Salas, R. (2010) añaden que el agua es el recurso más importante; ya que todo ser vivo dependen de ella; pero las aguas dulces existentes, que pueden usarse de forma económicamente viable y sin generar grandes

impactos negativos en el ambiente, son menores al 1% del agua total del planeta. Por otro lado, el crecimiento demográfico, el aumento de los regímenes de demanda y la contaminación del líquido han mermado el volumen per cápita disponible. Esta disminución de consumo de agua obliga a la sociedad, para la protección de los patrones de vida, aplicar criterios de conservación y de uso sustentable del agua.

2. Agua en el suelo

Hurtado (2002), afirma que las plantas requieren un suministro constante de agua a través del suelo, siendo fundamental determinar:

¿Cómo se mueve el agua en el suelo?

¿Cuánta agua está disponible para las plantas?

¿Cuánta agua puede almacenar un suelo?

¿De qué manera es posible reponer el agua del suelo consumida por las plantas?

Los dos primeros factores están relacionados con la distribución del tamaño de las partículas minerales (textura) en relación a su característica de retener agua. El tercer factor, con la profundidad de la zona radicular, y el cuarto, con la tecnología disponible.

a. Clasificación del agua en el suelo

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

1) Saturación (S)

Fuente (2006), define el termino 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)

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

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

3) Punto de marchites permanente (PMP)

Hidalgo (2008), explican que el PMP es el contenido de humedad del suelo al cual las plantas no logran extraer agua para compensar sus necesidades de transpiración, manifestándose síntomas de marchitamiento, caída de hojas, escaso desarrollo. Este punto se logra cuando la tensión del agua en el suelo alcanza entre 10 y 20 bars (Enciso, 2005).

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

La capacidad de retención del agua por unidad de volumen del suelo.

La profundidad de suelo que alcancen las raíces de las plantas.

4) Agua útil

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

b. Medición de agua en el suelo

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

Contenido gravimétrico de agua en el suelo.

Potencial mátrico del suelo.

1) Contenido gravimétrico de agua en el suelo.

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: 0-15 cm, 15-30 cm, 30-45cm y 45-60cm. En algunos suelos puede ser deseable tomar muestras a profundidades de 90 cm, en función del grado de pérdidas por percolación profunda y escorrentía, y de las características del perfil del suelo.

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

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

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

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

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

2) Potencial mátrico del suelo (PMS)

Puede medirse empleando varios instrumentos, destacando:

a) Tensiómetros

Fuente (2006), indica que los tensiómetros son recipientes porosos llenos de agua acoplados a un manómetro de válvula al vacío. Ekanayake (1994), 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: Fuente, (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
Franco Arenoso	20	30 – 35
	35	40 – 45
	40	50
	50	70 – 80
Arena Franca	25	20 – 25

35	30 – 35
50	50

Fuente: León (2012).

3. Evapotranspiración

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

Martínez (2004) al hablar de la evapotranspiración indica que esta representa las necesidades hídricas brutas de los cultivos, señalando además; que en dicho proceso el agua pasa a la atmosfera mediante la evaporación de agua en la superficie del suelo y la transpiración o evaporación de agua desde los tejidos vegetales por medio de los estomas de la hojas.

a. Evaporación

Cely (2010) asevera que la evaporación es el proceso físico por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor); el agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada.

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

b. Transpiración

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

c. Factores que afectan la evapotranspiración

La atmósfera constituye el último eslabón del sistema suelo – planta – atmósfera. 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) Temperatura

La luz y la temperatura son los factores del medio ambiente que influyen directamente sobre la tasa de crecimiento foliar bajo condiciones óptimas de disponibilidad hídrica (Cely, 2010).

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

2) Radiación

Para Cely (2010) la energía de la radiación condiciona la temperatura del aire y del suelo, el movimiento del viento, la evapotranspiración y la fotosíntesis.

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

3) Humedad relativa

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

Fernández et al. (2010) reafirman lo dicho anteriormente al indicar que la humedad relativa (HR) expresa el grado de saturación del aire como el cociente entre la presión real de vapor (e_a) a una temperatura dada y la presión de saturación de vapor ($e^{\circ}(T)$) a la misma temperatura (T).

4) Velocidad del viento

El viento se caracteriza por su dirección y su velocidad. La dirección del viento se refiere a la dirección de la cual el viento está soplando. Para el cómputo de la evapotranspiración, la velocidad del viento es una variable importante (Fernández et al., 2010).

La FAO (2006) señala que la demanda evapotranspiratoria es alta bajo condiciones de tiempo caliente y seco debido a la sequedad del aire y de la cantidad de energía disponible como radiación solar directa y calor latente. Bajo estas circunstancias, mucho vapor de agua puede ser almacenado en el aire mientras que el viento puede promover el transporte del agua permitiendo que se retire mayor cantidad de vapor de

agua. Por otra parte, bajo condiciones atmosféricas húmedas, la alta humedad del aire y la presencia de nubes hacen que la tasa de evapotranspiración sea más baja. El aumento de la velocidad del viento para las dos condiciones climáticas presentadas, afecta la evapotranspiración.

5) Precipitación

La precipitación se considera como la primera variable hidrológica y es la entrada natural de agua dentro del balance hídrico de los agroecosistemas y de las cuencas hidrográficas. Se le puede llamar precipitación a la caída del agua de las nubes, ya sea en estado sólido o en estado líquido (Cely, 2010).

d. Evapotranspiración de referencia (Eto)

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

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

Tabla 4. ETo promedio para diferentes regiones agroclimáticas en mm/día.

Temperatura promedio durante el día °C			
Regiones	Templada	Moderada	Caliente
	<10°C	20°C	>30°C
Trópicos y subtrópicos			
- Húmedos y subhúmedos	2-3	3-5	5-7
- Áridos y semiáridos	2-4	4-6	6-8
Regiones templadas			
- Húmedos y subhúmedos	1-2	2-4	4-7
- Áridos y semiáridos	1-3	4-7	6-9

Fuente: (FAO, 2006)

Pereira (Citado por Navejas, Nieto, Fraga, Rueda y Ávila, 2011) señalan que la cuantificación de la ETo (evapotranspiración potencial o de referencia) se puede realizar mediante métodos directos o indirectos. Los métodos indirectos más comunes para determinar la evapotranspiración de referencia son: Cubeta o tanque evaporímetro, Blaney-Criddle modificado por FAO, Hargreaves., Penman-FAO, Penman-Monteith y otros.

e. Evapotranspiración del Cultivo bajo condiciones estándar (Etc)

Hurtado (2002), indica que la evapotranspiración o necesidad (consumo) de agua por los cultivos se refiere al agua usada por las plantas en la transpiración más la evaporada directamente desde la superficie del suelo. Normalmente se mide en mm/día o mm/mes, y depende de la interacción entre factores climáticos, botánicos, edáficos y de manejo del cultivo.

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

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

La evapotranspiración del cultivo se calcula como:

$$Etc = Eto * Kc, \text{ (FAO, 2006).}$$

f. Coeficiente de cultivo (Kc)

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

Garay (2009) manifiesta que al igual que la evapotranspiración, el coeficiente del uso consuntivo (Kc) puede ser estimado o determinado por diferentes métodos, tanto indirectos o teóricos, así como por directos o de campo. Existen métodos indirectos, y métodos directos, éstos últimos son los que miden directamente la evapotranspiración. Las transferencias de metodologías de una zona u otra muy distinta de aquella en la que

ha sido concebida sigue siendo problemática; a menudo se necesitarán experimentos in situ.

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

Garay (2009) indica que la determinación del K_c tiene muchas aplicaciones mencionando las siguientes.

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

3. Requerimiento hídrico

La estimación de la demanda de agua, a través de cualquier sistema de riego dependerá de conocer la cantidad de agua que consumen los cultivos y del momento oportuno para aplicarla, con el fin de no perjudicar su rendimiento. La cantidad de agua que las plantas transpiran es mucho mayor que la retiene. En una parcela, es difícil separar la evaporación y la transpiración, cuando se habla de las necesidades de agua en los

cultivos, por lo que la suma de ambos procesos se le ha denominado como evapotranspiración; la misma que debe reponerse de forma periódica para no dañar el potencial productivo de la planta por estrés hídrico (Fernández et al., 2010).

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

a. Metodologías para determinar los requerimientos hídricos en los cultivos

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

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

primer caso se trata de lisímetros de pesada y en el segundo de lisímetros de volumen o drenaje.

Los lisímetros de pesada tienen la ventaja de una mayor precisión y la posibilidades de obtener resultados en lapsos cortos pero sus costos de instalación, operación y mantenimiento son altos; los lisímetros de drenaje no poseen la misma precisión y los lapsos de registro no pueden ser inferiores a las 48 horas, pero sus costos de instalación, operación y mantenimiento son relativamente bajos (Tuñón, 2000).

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

$$E_{To} = K_p * E_{vap}, \text{ (FAO, 2006).}$$

Donde:

E_{To}: evapotranspiración de referencia [mm/día],

K_p: coeficiente del tanque evaporímetro [adimensional],

E_{vap}: evaporación del tanque evaporímetro [mm/día]

Tabla 5. 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	Tanque situado en una superficie cultivada			
HR media	Distancia del cultivo a barlovento (m)	Baja < 40	Media 40 – 70	Alta > 70
Velocidad del viento (m/s)				
Baja <2	1	0,55	0,65	0,75
	10	0,65	0,75	0,85
	100	0,7	0,8	0,85
	1000	0,75	0,85	0,85
Moderada 2 – 5	1	0,5	0,6	0,65
	10	0,6	0,7	0,75
	100	0,65	0,75	0,8
	1000	0,7	0,8	0,8
Alta 5 – 8	1	0,45	0,5	0,6
	10	0,55	0,6	0,65
	100	0,6	0,65	0,7
	1000	0,65	0,7	0,75
Muy alta >8	1	0,4	0,45	0,5
	10	0,45	0,55	0,6
	100	0,5	0,6	0,65
	1000	0,55	0,6	0,65

Fuente: FAO, (2006).

3) **Métodos Empíricos:**

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

En el Documento N° 24 de la Serie FAO Riego y Drenaje "Necesidades de agua de los cultivos" se presenta cuatro métodos para calcular la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o): Blaney-Criddle, radiación, Penman modificado y el método del tanque de evaporación. El método de Penman modificado se consideró que ofrecía los mejores resultados con el mínimo error posible con relación a un cultivo de referencia (pasto). También se esperaba que el método del tanque de evaporación ofreciese estimaciones aceptables, en función de la localización del tanque. El método de la radiación fue sugerido para las áreas donde los datos climáticos disponibles incluían la medición de las horas de insolación, la nubosidad o la radiación, pero no la velocidad del viento ni la humedad atmosférica. Finalmente, la publicación propuso el uso del método de Blaney-Criddle para las áreas donde los datos climáticos disponibles incluían solamente datos de temperatura del aire.

4. **El brócoli**

a. **Origen**

Es originaria del Mediterráneo y Asia menor. Italia, Libia y Siria recolectaron los primeros ejemplares de esta planta proveniente de las coles y las coliflores; este cultivo se asienta en zonas templadas (SAGARPA, 2011).

b. Clasificación botánica

Reino: Plantae

Subreino: Antophyta

División: Angiospermae

Clase: Dicotyledoneae

Orden: Rodeales

Familia: Brassicaceae

Género: Brassica

Especie: oleracea

c. Importancia

En nuestro país se ha convertido muy cultivado en varias zonas de la Sierra. Ecuador figura entre los 10 primeros países exportadores de brócoli congelado. Por provincia la distribución de siembras para exportación se da de la siguiente manera: Pichincha 8,5%, Cotopaxi 83%, Tungurahua 3,5%, Chimborazo 5%; mientras que para el mercado local es: Pichincha 25%, Cotopaxi 20%, Tungurahua 20%, Chimborazo 30% (Haro y Maldonado, 2009).

El brócoli es la segunda alternativa de exportación agrícola en la Sierra ecuatoriana. Su producción ha mostrado un alto dinamismo en los últimos años, pues esta actividad genera mucha mano de obra y aporta a la generación de divisas (Zambrano A, 2012).

d. Zonificación

El brócoli se debe realizar en lugares cuya temperatura anual oscila entre 12-18 °C, pH neutro, suelo con valores medios de materia orgánica mayor al 4% de textura suelta y de granizadas poco frecuentes (Haro y Maldonado, 2009).

Las zonas adecuadas para el cultivo de brócoli están caracterizadas por ser zonas húmedas y montañosas, con clima templado y frío, con alturas entre los 2.700 y 3.200 msnm, por lo que la región andina se convierte en la ideal su cultivo, especialmente en las provincias de Cotopaxi, Pichincha, Imbabura y Chimborazo (Zambrano A, 2012).

e. Fenología

Díaz y Jaramillo (2006) manifiestan que el ciclo comercial del brócoli está dividido en dos fases separadas por la aparición de la pella; la fase vegetativa y la fase reproductiva. La fase vegetativa se caracteriza por el incremento en el número de hojas y engrosamiento del tallo, mientras que la fase reproductiva por el crecimiento y desarrollo de la pella hasta la cosecha.

En la fase vegetativa se identifican dos etapas; hasta que la plántula tenga cuatro hojas se dice que ha terminado la primera etapa, a partir de ahí comprende la segunda etapa que finaliza con la visualización del primordio foliar, esta etapa tiene una duración aproximada de 40 días, la altura, diámetro del tallo, biomasa, número de hojas y área foliar presentan un incremento logarítmico. El tallo se engrosa y se alarga hasta alcanzar su máximo desarrollo; también se presenta una gran proliferación de hojas. De la misma manera la fase reproductiva posee dos etapas; la primera que inicia con un crecimiento lineal para la planta donde su prioridad es el desarrollo de la pella, la planta tiene entre 18 y 20 hojas; finalmente el ciclo comercial del brócoli termina con el periodo de cosecha, cuando aún no han abierto las flores (Díaz y Jaramillo, 2006).

f. Híbridos

1) Avenger

Haro y Maldonado (2009) manifiestan que es un híbrido con excelentes características de calidad y alto rendimiento en el mercado de la industria de congelados, son plantas vigorosas de tallos gruesos pero cortos, con inserción baja de la pella; hojas anchas y largas capaces de proteger la cabeza de condiciones ambientales extremas, las pellas poseen un domo bien definido, de color verde azulado, granos finos a medios. En

condiciones normales de manejo del cultivo, no se presenta tallo hueco con el que se logra mayor peso y rendimiento.

Arteaga (2011) señala que la precocidad de este híbrido está entre 70 y 80 días después del trasplante.

g. Labores de preparación del suelo

La aradura se debe efectuar a una profundidad de 30-40 cm en sentido perpendicular a la anterior, el pase de rastra ayuda a desmenuzar los terrones se realiza a una profundidad de 25 cm; en cuanto al surcado las líneas se las realizan a 0,7 m de distancia cuando la disposición es en hilera simple (Haro y Maldonado, 2009).

Vallejo (2013) recalca que las labores de preparación de suelo se las realiza con el propósito de obtener una capa de suelo suelta con una profundidad de 25-30 cm y consta de dos labores necesarias y una opcional. La aradura consiste en romper la costra superior del suelo e incorporar todos los residuos vegetales. Incluyendo una o varias cruza de arado si es que la primera es insuficiente, deben efectuarse a una profundidad de 30-40 cm en sentido perpendicular a la anterior. El pase de rastra se realiza para desmenuzar los terrones del suelo y lograr una capa suelta. La rastra debe lograr una profundidad de suelo desmenuzado de 25 cm. En cuanto a los surcos o líneas de siembra para brócoli deben realizar se a 0,7 m de distancia, cuando la disposición es de hilera simple.

h. Labores de manejo

1) Fertilización

En el caso del brócoli los nutrientes más limitantes son: nitrógeno, potasio, boro y fósforo; el nitrógeno cumple con las funciones estructurales en la planta y mejora la absorción de otros nutrientes; el potasio participa en muchos procesos metabólicos como fotosíntesis, síntesis de proteínas y carbohidratos, cierre estomático, control del

potencial osmótico de las células, crecimiento meristemático y maduración; el boro cumple más de 14 funciones metabólicas entre las que se destacan la síntesis de hormonas y regulación de auxinas, transporte de carbohidratos y desarrollo apical; con relación al fósforo, se puede indicar que la cantidad que requiere es baja comparada con la cantidad de nitrógeno y potasio (Vallejo, 2013).

Una correcta fertilización para brócoli de forma general se recomienda en el caso de micronutrientes N-P₂O₅-K₂O es de 1: 0,4: 1,35 es decir que por cada kg de nitrógeno puro que se aplique al suelo hay que aplicar 0,4 kg de fosforo y 1,3 kg de potasio. El nitrógeno por lo general se aplica desde 190 a 230 kg/Ha; fosforo de 23 a 46 kg/Ha; potasio de 230-260 kg/Ha; 50 kg Ca y Mg 30 kg (Haro y Maldonado 2009).

2) Manejo de malezas

Es una labor importante que debe realizarse antes del trasplante, nunca una aplicación de herbicida post-trasplante logra un control como la aplicación de uno pre-trasplante. lo más recomendado es la utilización de oxifluorfen o alaclhor (Haro y Maldonado, 2009).

Vallejo (2013) señala que para el control de malezas se recomienda utilizar herbicidas específicos y realizar escardas manuales o con maquinaria, no se recomienda el control químico con otro herbicida debido a que el brócoli es bastante sensible.

3) Rascadillo

Consiste en aflojar superficialmente el suelo para evitar la pérdida de humedad, oxigenar el sistema radicular o simplemente para deshacerse de las malezas; se la realiza entre los 20-25 días del trasplante (Haro y Maldonado, 2009).

4) Aporque

Se realiza con la finalidad de proporcionar un anclaje o sostén necesario, oxigenar el sistema radicular y evitar pérdidas de humedad, es aconsejable aporcar entre los 45 y 50 días después del trasplante (Haro y Maldonado, 2009).

i. Plagas y enfermedades que atacan el cultivo

1) Sífilidos de jardín (*Scutigera immaculata*)

Son de cuerpo blando y poseen 12 pares de patas, habitan lugares húmedos, como el interior del suelo, hojarasca, humus, troncos podridos etc; se alimentan de las raíces del brócoli, principalmente se presentan en áreas pequeñas donde la humedad es alta,. Su control químico requiere de carbofurán y endosulfan (Haro y Maldonado, 2009).

2) Pulgón (*Brevicoryne brassicae*)

Insecto de color gris azulado que vive en colonias, aparecen en épocas secas y tienen hospedantes alternos. Los síntomas de ataque son plantas con hojas deformes y de color blanquecino en las zonas internervales; pellas con coloraciones blanquecinas en su domo. Control químico a base de dimetoato, dltametrina, diazinon (Haro y Maldonado, 2009).

Vallejo (2013) añade que la ninfa y el adulto succionan savia, ocasionando enrojecimiento y deformación de tejidos, reduciendo el crecimiento y hasta la muerte.

3) Palomilla de brócoli (*Plutella xylostella*)

Haro y Maldonado (2009) indican que son gusanos pequeños y muy ágiles, forman agujeros diminutos y redondos; su aparición coincide con el cambio de temporal. Su control químico puede ser a base piretroides. La larva penetra en la hoja haciendo

pequeñas galerías, luego sale y se alimenta del follaje dejando pequeños orificios irregulares (Vallejo, 2013).

4) Mancha foliar, alternariosis

Vallejo (2013) señala que el agente causal es el hongo *Alternaria brassicae*, los primeros síntomas se pueden observar al nacer en los cotiledones y en las primeras hojas; se forman unas manchas negras de un cm de diámetro, con anillos concéntricos más fuerte de color. En brócoli producen un atizonamiento y daño en la inflorescencia; para su control se recomienda el uso de clorotalonil, iprodione, azoxistrobina (Haro y Maldonado, 2009)

5) Pie negro

Causada por el hongo *Phoma lingam*, Produce una lesión necrótica hendida y elongada en el tallo y base de la raíz (Vallejo, 2013). Un manejo adecuado del hogo, implica rotación con especies no hospederas, en los primeros estadios del cultivo se ha observado un control eficiente con compuestos a base de cobre (Haro y Maldonado, 2009).

6) Hernia del brócoli

Es considerada la más peligrosa, causada por *Plasmodiophora brassicae*, inicialmente es difícil de distinguir las hojas se tornan de un verde pálido hasta amarillento; la enfermedad ataca a las raíces que se ven afectadas de grandes abultamientos o protuberancias, como consecuencia del atrofiamiento que sufren los vasos conductores, la parte aérea no desarrolla bien y las hojas se marchitan en los momentos de más sequedad en el ambiente para volver a recuperarse más tarde cuando aumenta la humedad (Vallejo, 2013).

7) **Mildiu**

Su agente causal es *Peronospora brassicae*; en el haz se forman pequeñas manchas de color amarillo y forma angulosa; en correspondencia con esas manchas, por el envés se forma una especie de pelusilla de color blanco grisáceo (Vallejo, 2013). Aplicaciones de clorotalonil, metalaxil y oxiclورو de cobre son útiles para su control (Haro y Maldonado, 2009).

8) **Damping-off**

Es usualmente causada por *Rhizoctonia solani*, una de las muchas especies de hongos del genero *Pythium* y *Rhizoctonia* la fase más destructiva de esta enfermedad corresponde el denominado tallo alambre que ocurre en plantas jóvenes y se caracteriza por un adelgazamiento del tallo sobre o bajo nivel del suelo. Benomyl resulta un eficaz controlador químico (Haro y Maldonado, 2009).

j. **Requerimientos Hídricos**

Según Haro y Maldonado, (2009) existe poca información sobre las necesidades de agua para el cultivo de brócoli en el país sin embargo manifiestan que un cultivo de brócoli ubicado entre los 2700-3000 msnm requiere de 500 mm de agua dosificado de 3,5 a 5 mm/día.

Para alcanzar altos rendimientos y calidad de las inflorescencias, la planta de brócoli no debe sufrir de estrés hídrico, ya sea por falta o exceso de agua y/o calidad de esta. Los requerimientos de agua varían según las condiciones ambientales y el estado de desarrollo del cultivo. El consumo total por parte del cultivo es de 4000 m³ de agua/ha (Vallejo, 2013).

En el caso del riego por gravedad la lámina disponible será cuando se haya abatido el 40 o 60% de la humedad disponible del suelo y en el riego por goteo cuando se haya abatido el 15 a 20% (González, 2010).

k. Superficie, producción y rendimiento

En Ecuador la superficie cosechada de brócoli en el año 2012 alcanzó las 3639 hectáreas, distribuidas en ocho provincias, con una producción total de 70000 toneladas y un rendimiento promedio de 19,24 t/ha. Las provincias de Cotopaxi y Pichincha registran la mayor cantidad de superficie cosechada de brócoli, ocupando el 82 % de la superficie total nacional. Cotopaxi es la provincia con mayor producción (51350 toneladas) y con un rendimiento de 28,22 t/ha. Pichincha es la segunda provincia en importancia, con una producción de 11791 toneladas y un rendimiento de 10,13 t/ha. Las condiciones agroclimáticas de estas dos provincias son privilegiadas, puesto que favorecen para la producción de este cultivo, que en su gran mayoría está destinado para la exportación (SINAGAP, 2013). Según datos estimados por el MAGAP la provincia de Chimborazo presenta una producción de 2018 toneladas y un rendimiento de 11,09 t/ha.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR

1. Localización

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

2. Ubicación geográfica

Altitud: 2821 m.s.n.m.

Latitud: 1°39'18,82" S

Longitud: 78°40'39.99" O

Fuente: Datos registrados con GPS

3. Condiciones climatológicas

Temperatura promedio: 13,4 °C

Precipitación media anual: 510 mm/año

Humedad relativa: 62,06 %

Fuente: Datos proporcionados por la Estación Meteorológica, ESPOCH (2015).

4. Clasificación ecológica

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

5. Características del suelo

Tabla 6. Contenido de nutrientes según el análisis de suelo en Macají, Provincia de Chimborazo, 2015.

NUTRIENTE	UNIDAD	VALOR	INTERPRETACIÓN
Nitrógeno	Ppm	29,00	Bajo
Fósforo	Ppm	31,00	Alto
Potasio	meq/100ml	0,28	Medio
Calcio	meq/100ml	8,40	Alto
Magnesio	meq/100ml	4,00	Alto
Materia orgánica	%	1,20	Bajo
PH		7,70	Ligeramente alcalino
Textura			Franco Arenoso

Fuente: INIAP (2013).

Los resultados de los parámetros hídricos del suelo se presentan en la **Tabla 10**.

B. EQUIPOS Y MATERIALES

1. Materiales de campo

Lisímetro (forma cilíndrica, diámetro = 0,58 m, largo = 0,8 m, volumen = 0,21m³), sistema de drenaje para lisímetros (ripio, codos, válvula, tubería de desagüe), recipiente plástico de 20 l utilizado para sobregar y garantizar el drenaje en el lisímetro, nivel de piola, sistema de riego a goteo (cinta de riego autocompensada Q = 3,73 l/h/m distancia entre goteros = 0,2 m), palas, azadones, presionómetro, gravilla, fertilizantes, fungicidas, insecticidas, herramientas de labranza, bomba de mochila, balanza,

flexómetro, cámara fotográfica, estacas, piola, letreros, etiquetas, fundas, estación meteorológica automatizada, barreno, cajas metálicas, tanque evaporímetro tipo A, pluviómetro.

2. Materiales de oficina

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

3. Material biológico de investigación

Plántulas de Brócoli (*Brassica oleracea*): Variedad Avenger.

C. CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL

Las características de la parcela experimentales se detallan en la **Tabla 7** , las mismas que se distribuyeron al azar en cada repetición y su disposición en el campo se presenta en el **ANEXO 1**.

Tabla 7. Característica del campo experimental.

CARACTERISTICAS	
Número de tratamientos	3
Número de repeticiones	3
Número de unidades experimentales	9
Forma del ensayo	Rectangular
Ancho del ensayo	21 m
Largo del ensayo	12 m
Distancia de trasplante	
Entre plantas	0,3 m

Entre hileras	0,6 m
Densidad poblacional	55778 plantas/ha
Área total del ensayo	252 m ²
Área neta del ensayo	135 m ²

Características de la parcela experimental

Ancho de cada parcela:	5 m
Largo de cada parcela	3 m
Área de cada parcela	15 m ²
Número de hileras	6
Número de plantas por hilera	10
Número de plantas/parcela	60
Número de hileras/parcela neta	4
Número de plantas/hilera/parcela neta	6
Número de plantas/parcela neta	24
Número de plantas a evaluar	10
Distancia entre parcelas	1,5 m
Efecto borde	0,5 m

Elaboración: Jiménez R (2015).

D. DISEÑO EXPERIMENTAL

1. Análisis estadístico

En la **Tabla 8**, se presenta el esquema del análisis de varianza.

Tabla 8. Análisis de varianza (ADEVA)

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

Elaboración: Jiménez R (2015).

2. Análisis funcional.

- a. Se determinó el coeficiente de variación, expresado en porcentaje.
- b. Para separar medias se utilizó la prueba de Tukey al 5%.

3. Análisis económico.

Se realizó el análisis económico de los presupuestos parciales mediante Perrin et al.

E. METODOLOGÍA

Las láminas de riego que fueron aplicadas por cada tratamiento están dadas a partir de la determinación de los parámetros hídricos del suelo y la puesta a capacidad de campo en todo el ensayo; esto dependió del comportamiento climático y la disponibilidad de agua en el suelo.

En cuanto a la frecuencia de riego para el método directo estuvo dada por el periodo en el que el drenaje del lisímetro haya cesado; para los métodos indirectos la reposición hídrica se lo realizó con un abatimiento del 20% de la humedad aprovechable (González, 2010).

1. Determinación de los parámetros hídricos del suelo

a. Capacidad de Campo

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

Se añadió agua hasta asegurar la saturación del perfil (1000 l); luego de 48 horas se tomó una muestra representativa de suelo para determinar su porcentaje de humedad mediante el método gravimétrico, dicho valor es equivalente al valor de Capacidad de Campo (García, Puppo, Hayashi y Morales, 2015).

b. Punto de Marchitez Permanente

Fue determinado mediante la siguiente ecuación dada por Silva (citado por García et al., 2015):

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

Dónde:

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

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

0,74 y 5 = Constantes establecidas por el modelo matemático dado por Silva.

c. Humedad disponible o aprovechable

Se determinó mediante la diferencia entre el valor obtenido de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente (García et al., 2015).

d. Densidad Aparente

Su determinación en campo consistió en extraer una muestra de suelo y determinar el volumen imperturbado que ocupa dicha muestra mediante la fórmula citada por García et al., (2015).

$$Da = \frac{\text{Peso del suelo seco (g)}}{\text{Volumen imperturbado de ese suelo.}}$$

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

Se determinó el porcentaje de humedad inicial que contiene el suelo, tomando una muestra de cada uno de los tratamientos, a una profundidad de 15, 30 y 45cm aplicando la fórmula citada por León (2012):

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

Donde:

%H = Porcentaje de humedad por peso

PSH = Peso de la muestra húmeda

PSS = Peso de la muestra seca

El peso seco fue obtenido luego de haber colocado la muestra a la estufa a una temperatura constante de 105⁰ C por 24 horas.

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

$$HV\% = \%H * DAp = \frac{\text{mm de agua}}{10 \text{ cm de profundidad del suelo}}$$

Donde:

%H = Porcentaje de humedad por peso

D_{Ap} = Densidad aparente del suelo

PSS = Peso de la muestra seca

3. Evapotranspiración de referencia (E_{to})

La evapotranspiración de referencia se determinó con la siguiente fórmula (FAO, 2006):

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

Donde:

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

E_v = Evaporación (mm)

K_p = Datos climáticos: humedad relativa (HR %), velocidad del viento ($\frac{m}{s}$), barlovento.

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

El K_p se determinó empleando la estación meteorológica portátil mediante la obtención de datos como: Humedad Relativa (HR), velocidad del viento y barlovento, interpolando estos tres datos se obtiene el valor de K_p. León, (2012).

4. Evapotranspiración del cultivo (E_{tc})

La evapotranspiración del cultivo (E_{tc}) se determinó de forma lisimétrica mediante la ecuación dada por Garay (2009):

$$E_{tc} = R - D$$

Donde:

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)

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

Para el ajuste del 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

1. Materiales de experimentación

Se utilizó: material vegetativo (plántulas de brócoli *Var. Avenger*), láminas de riego.

2. **Bloques**

Bloque 1: repetición 1

Bloque 2: repetición 2

Bloque 3: repetición 3

3. **Tratamientos en estudio**

Tratamiento	Métodos	Descripción
T1	Método 1	Lámina de riego determinada por el lisímetro.
T2	Método 2	Lámina de riego determinada por cálculo empírico.
T3	Método 3	Lámina de riego determina por el cálculo de la evapotranspiración de referencia mediante el tanque evaporímetro.

4. **Unidad de producción**

La unidad de producción estuvo constituida por la parcela neta, mediante la selección aleatoria de 10 plantas luego de eliminar el efecto borde.

G. **VARIABLES Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN**

1. **Altura de la planta**

Se midió la altura en centímetros de 10 plantas seleccionadas al azar (plantas evaluadas) dentro de la parcela neta; la selección de las plantas se realizó por única vez al momento del trasplante registrando la altura desde la base del cuello hasta la parte más alta de la planta en estado natural a los 15, 30, 45, 60, y 75 días después del trasplante (DDT), en cada uno de los tratamientos y repeticiones.

2. Número de hojas

Se contabilizó el número de hojas de las 10 plantas evaluadas, a los 15, 30, 45, 60, y 75 DDT en cada uno de los tratamientos y repeticiones.

3. Aparición de la pella

Se contabilizó el tiempo en días desde el trasplante hasta que en el 50% de las plantas evaluadas se dio la aparición de la pella, para cada tratamiento y repetición.

4. Diámetro ecuatorial de la pella

Se midió directamente el diámetro ecuatorial de la pella en centímetros de las plantas evaluadas para cada tratamiento y repetición.

5. Peso de la pella

Se pesó las pellas de las plantas evaluadas en cada tratamiento y repetición.

6. Días inicio de la cosecha

Se contabilizó el número de días desde el trasplante hasta que el 50 % de pellas de las plantas evaluadas alcanzaron su madurez comercial en cada tratamiento y repetición.

7. Rendimiento por categorías de la parcela neta (kg)

Se pesaron las pellas de las plantas que comprenden la parcela neta y se categorizó según lo propuesto por SENASA, (2004) e interpretado mediante la **Tabla 9**; el resultado fue expresado en kg.

Tabla 9. Clasificación de pellas según su peso

Tamaño	Peso (g.)
Pequeñas	< 250
Medianas	250 - 350
Grandes	> 350

Fuente: SENASA (2004); **Elaboración:** Jiménez R (2015).

8. Rendimiento en kg/ha

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

9. Materia seca

Se seleccionó una planta entera de cada uno de los tratamientos para determinar la materia seca, dicho parámetro fue valorado en cada uno de los órganos que conforma la planta.

Se determinó el peso fresco de la planta entera, es decir con todos sus órganos (PFT), se separó cada una de sus partes (hojas, tallo, raíz y pella) y de forma independiente se procedió a pesar (PFM), posteriormente se colocó en la estufa a 82⁰ C por 24 horas o hasta que su peso fue constante para obtener el peso seco de la muestra (PSM).

Finalmente se aplicó la formula indicada por Bonierbale et al., (2010), para calcular el peso seco total de cada uno de los órganos.

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

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 entera se aplicó la ecuación citada por Bonierbale et al., (2010).

$$\% \text{Materia seca} = \frac{\text{Peso materia seca}}{\text{Peso materia húmeda}} * 100$$

10. Huella Hídrica

Se sumó los aportes de riego y precipitación efectiva para cada tratamiento y se correlacionó con parámetros de rendimiento.

11. Análisis económico

Se realizó el análisis económico utilizando la metodología de Perrin et al., y la relación beneficio costo.

H. MANEJO DEL ENSAYO

1. Instalación y operación del Lisímetro

La instalación y operación del lisímetro se efectuó con las siguientes consideraciones:

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

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

$$V_a = (E_t \times N_D \times A_l) \times c$$

Dónde:

V_a = Volumen a aplicar

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

ND = Número de días de un riego a otro

A_l = Área del lisímetro (m^2)

c = Coeficiente de seguridad para efectuar drenaje

Inicialmente en la ecuación se consideró la E_{to} , posteriormente fue reemplazada por el valor de la Evapotranspiración del cultivo (E_{tc}) determinada por el lisímetro.

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

2. Operación del Tanque Evaporímetro Tipo A

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

El Método 2 (T2) corresponde a láminas que fueron determinadas mediante el cálculo de forma empírica de la E_{tc} (E_{tcE}) haciendo uso de la siguiente ecuación:

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

Dónde:

K_c = Coeficiente del cultivo (adimensional) mediante Hargraves

E_{tcE} = Evapotranspiración empírica del cultivo (mm/día)

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

La reposición hídrica se lo realizó con un abatimiento del 20% de la humedad aprovechable (González, 2010). El abatimiento fue determinado mediante la interpretación de la **Tabla 10**.

3. Operación de la Estación Meteorológica Automatizada

Los datos de Humedad Relativa (HR), velocidad del viento y barlovento, interpolados permitieron 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.

El valor de E_{to} correspondió al Método 3 (T3) es decir las láminas de riego para T3 estuvieron dadas en función de la Evapotranspiración de referencia. La reposición hídrica se lo realizó cuando se consumió el 20% de la humedad aprovechable (González, 2010). El abatimiento fue determinado mediante la interpretación de la **Tabla 10**.

4. Preparación del suelo

Se realizó dos pases de rastra, a una profundidad de 40 y 25 cm con el propósito de obtener una capa de suelo suelta.

5. Desinfección del suelo

Se desinfectó el suelo utilizando captan 83, a una dosis de 2,5 g/1 litro de agua.

6. Trazado de la parcela

Siguiendo las especificaciones del campo experimental (**Anexo 1**) se realizó el trazado de la parcela con la ayuda de estacas y piolas,

7. Hoyado

Se procedió a hoyar, siguiendo una matriz específica en cada una de los tratamientos y repeticiones a una profundidad de 0,30 m.

8. Labores culturales

a. Trasplante

El trasplante se realizó a una distancia de 0,30 m entre plantas y 0,60 m entre hileras.

b. Fertilización

1) Fertilización edáfica

Se realizó la fertilización base, según las necesidades nutricionales del cultivo del brócoli expuesto por Haro y Maldonado (2009) y el análisis de suelo, colocando los fertilizantes en el interior del hoyo; los fertilizantes utilizados fueron 10-30-10, urea y muriato de potasio; fraccionando la fertilización 60% al momento del trasplante y 40% en el rascadillo.

c. Riego

A través del sistema de riego a goteo se dotó de agua al cultivo, esto de acuerdo a los tratamientos establecidos y comportamiento climático, para tal efecto se determinó las ofertas y demandas del cultivo en tiempo real, para efecto de cálculos de tiempo de riego se consideró las siguientes dimensiones de mojado: ancho = 0,6 m ; largo = 3 m.

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

d. Control de malezas

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

e. Controles fitosanitarios

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

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. CONDICIONES CLIMÁTICAS

1. Precipitación efectiva

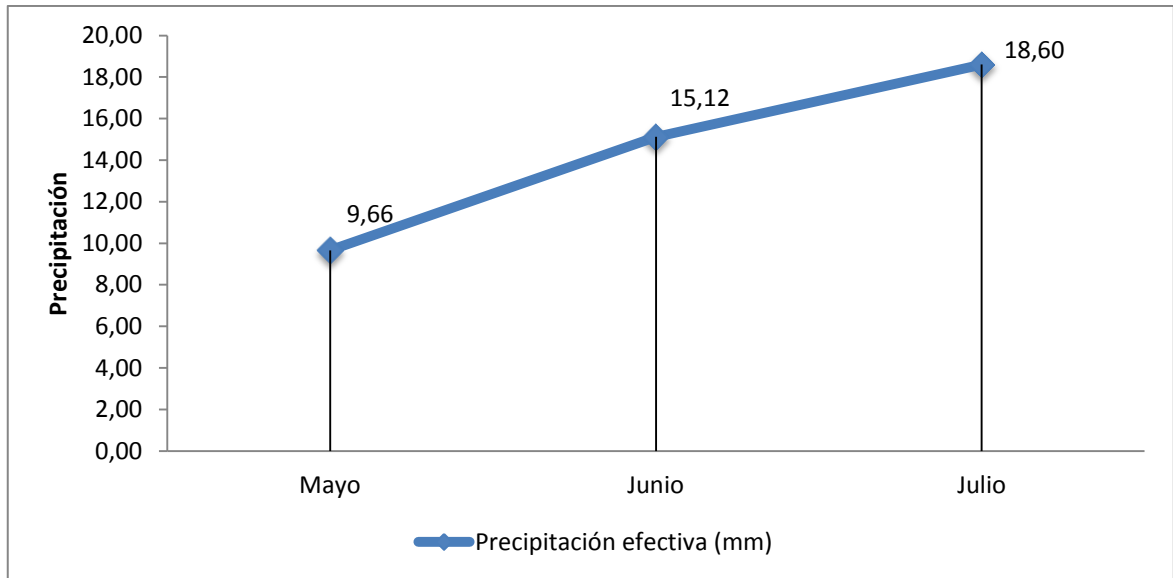


Figura 1. Precipitación durante el ciclo de cultivo para la para la determinación de los requerimientos hídricos del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015

Fuente: Datos pluviómetro; **Elaboración:** Jiménez R (2015).

En el gráfico se presenta un incremento de precipitación durante el ciclo comercial del cultivo, inicialmente con 9,66 mm para el mes de Mayo, 15,12 mm para el mes de Junio y 18,60 mm para el mes de Julio sumando un total como aporte de precipitación efectiva de 43,38 mm. Haro y Maldonado, (2009) manifiestan que un cultivo de brócoli ubicado entre los 2700-3000 msnm requiere de 500 mm de agua dosificado de 3,5 a 5 mm/día; a pesar de un incremento en las precipitaciones esto no supe los requerimientos hídricos por lo que se debe recurrir al riego.

2. Humedad relativa y velocidad del viento

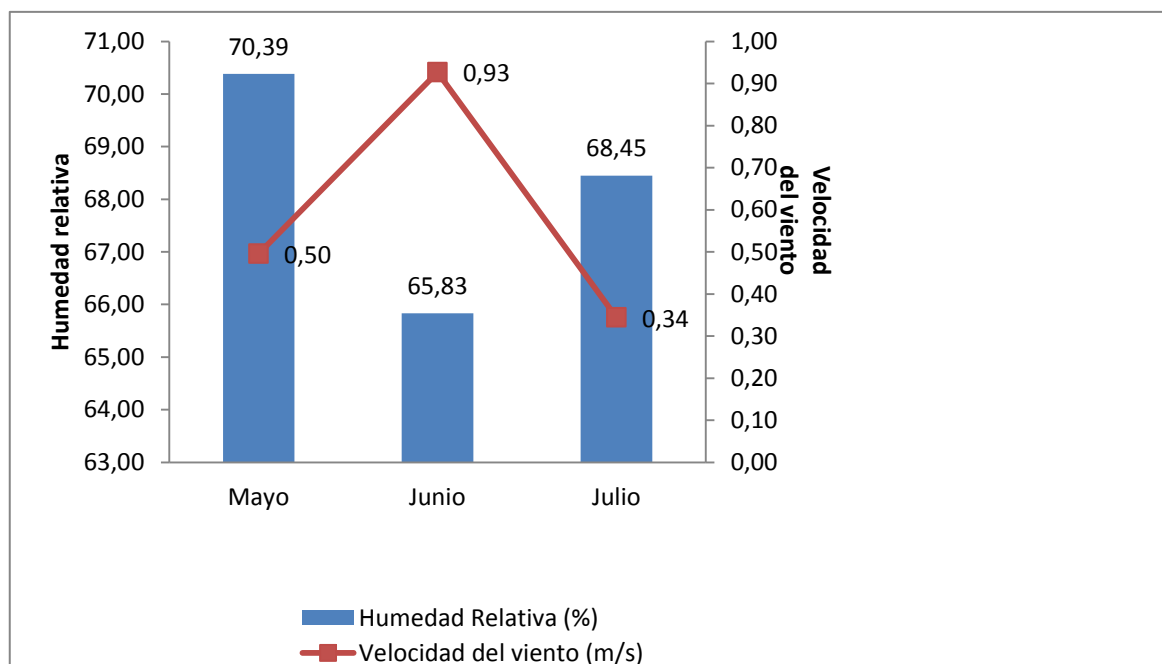


Figura 2. Humedad relativa y velocidad del viento registrada durante el ciclo de cultivo para la para la determinación de los requerimientos hídricos del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

Fuente: Datos estación meteorológica automatizada; **Elaboración:** Jiménez R (2015).

En la **Figura 2** podemos observar que los valores promedio de velocidad del viento se encuentran entre 0,34 y 0,93 m/s, según Vallejo (2013) vientos por encima de los 8 m/s afectan considerablemente al cultivo ya que además de producir un daño mecánico acelera la pérdida de agua de la planta, bajan la humedad relativa del aire, y aumenta las exigencias hídricas de la planta.

El caso de la humedad relativa promedio fue de 70,39 % para el mes de Mayo, presentó una disminución para el mes de Junio donde se registró un valor de a 65,83 % esto debido al incremento de la velocidad del viento para dicho mes; en Julio el valor promedio fue de 68,45%.

B. PARÁMETROS HÍDRICOS DEL SUELO

Los parámetros hídricos del suelo fueron determinados en campo utilizando la metodología propuesta por García et al. (2015), obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 10. Parámetros hídricos del suelo en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Campus Macají, Facultad de Recursos Naturales predios del Centro Experimental del Riego (CER).

Parámetro	Valor	Abatimiento (20%)
CC	14 %	12 %
PMP	5 %	
HA	9 %	
DA	1,55 g/cm ³	

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

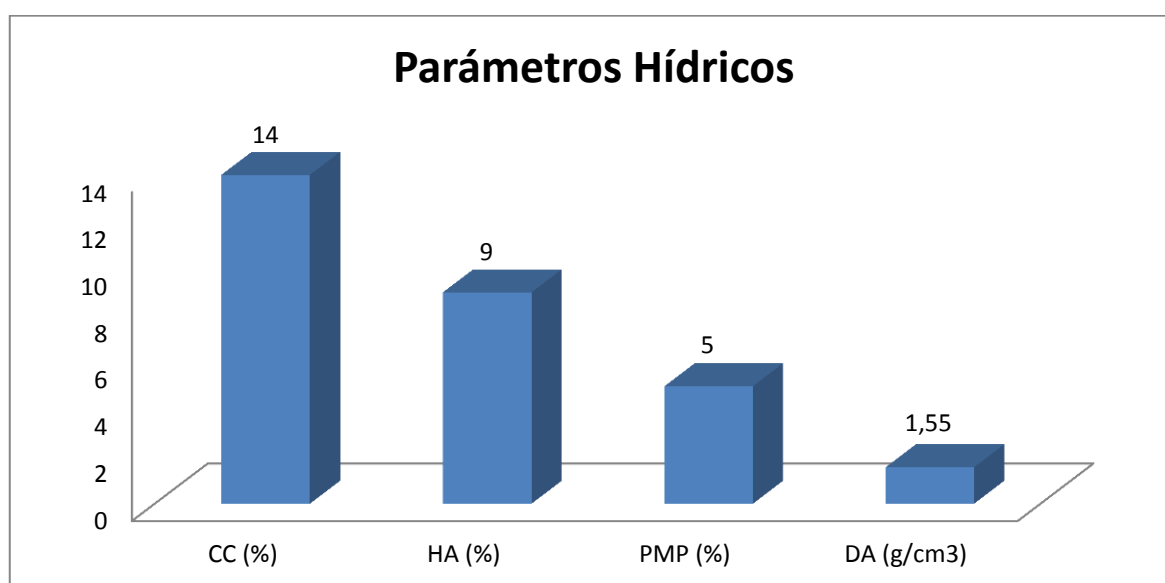


Figura 3. Parámetros hídricos del suelo en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Campus Macají, Facultad de Recursos Naturales predios del Centro Experimental del Riego (CER).

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Según la **Figura 3** para la determinación de los parámetros hídricos del suelo se obtienen valores de 14% CC, 9% HA, 5% PMP y de 1,55 g/cm³ DA; Giardini, (2004)

manifiesta que para un suelo de textura franco arenosa se obtiene valores de 14% CC, 8% HA y 4% PMP, los resultados difieren de manera leve posiblemente a distintas metodologías para su determinación, sin embargo se encuentran dentro de los parámetros.

C. IDENTIFICACIÓN Y DURACIÓN DE LAS ETAPAS FENOLÓGICAS DEL CICLO COMERCIAL DEL CULTIVO BRÓCOLI (*Brassica oleracea*. L. *Var. Avenger*).

Las etapas fenológicas del ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. *Var. Avenger*) fueron identificadas según lo indicado por Díaz y Jaramillo (2006).

1. Etapa Inicial

Comprendida desde el trasplante hasta la formación de 4 hojas verdaderas. Los resultados de la duración de la etapa inicial en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. *Var. Avenger*) para cada tratamiento se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 11. Duración de la etapa inicial en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. *Var. Avenger*).

Tratamiento	Duración de la etapa (Días)
T1	15
T2	15
T3	15

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

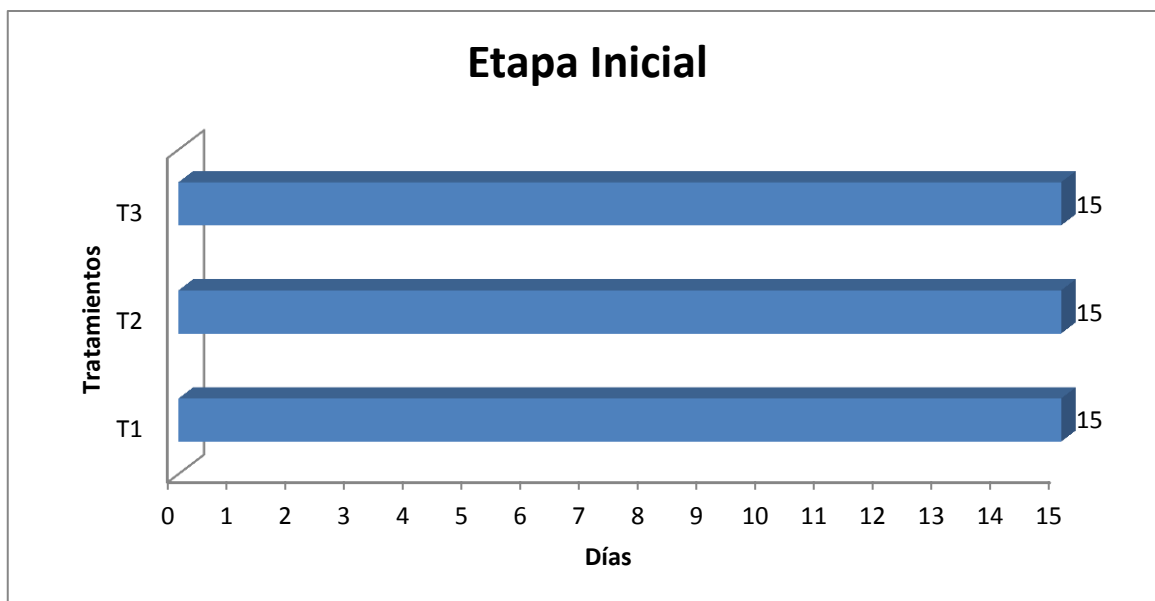


Figura 4. Duración de la etapa inicial en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger).

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

La etapa inicial tuvo una duración de 15 días para los tres tratamientos en estudio. Díaz y Jaramillo (2006) manifiestan que la etapa inicial tiene una duración de 30 días incluyendo la etapa de semillero hasta cuando la plántula tiene entre tres y cuatro hojas bien formadas.

No existe incidencia por parte de los tratamientos debido a que el cultivo no posee mayor cobertura de suelo así como una profundidad radicular reducida.

2. Etapa de Desarrollo

Desde el fin de la etapa inicial hasta el apareamiento de la pella. Los resultados de la duración de la etapa de desarrollo en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) para cada tratamiento se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 12. Duración de la etapa de desarrollo en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger).

Tratamiento	Duración de la etapa (Días)
T1	46
T2	53
T3	50

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

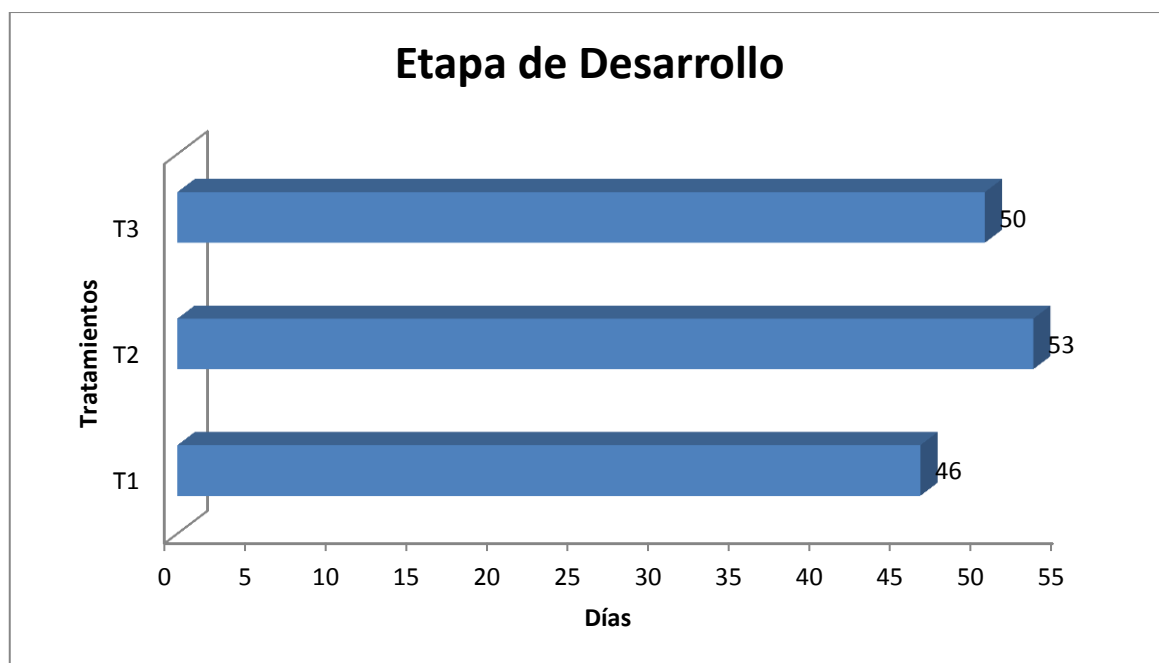


Figura 5. Duración de la etapa de desarrollo en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger).

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

La etapa de desarrollo tuvo una duración de 46, 53 y 50 días para el Tratamiento 1, Tratamiento 2 y Tratamiento 3 respectivamente. Díaz y Jaramillo (2006) señalan que la duración aproximada para esta etapa es de 40 días; por otra parte Apaella y Huachos (2008) recalcan que la etapa de desarrollo del cultivo tiene una duración de 46 días.

Posiblemente la diferencia expuesta se debe a la aplicación de los tratamientos recalcando lo indicado por la FAO (2006) bajo condiciones de sobre oferta de agua se provoca un letargo en la duración de las etapas; pues dicha etapa recibió un aporte de 77.3, 139 y 152.4 mm de agua para T1, T2 y T3 respectivamente.

3. Etapa Intermedia

Comprende desde el aparecimiento de la pella hasta el inicio de la cosecha. Los resultados de la duración de la etapa intermedia en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) para cada tratamiento se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 13. Duración de la etapa intermedia en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger).

Tratamiento	Duración de la etapa (Días)
T1	20
T2	21
T3	22

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

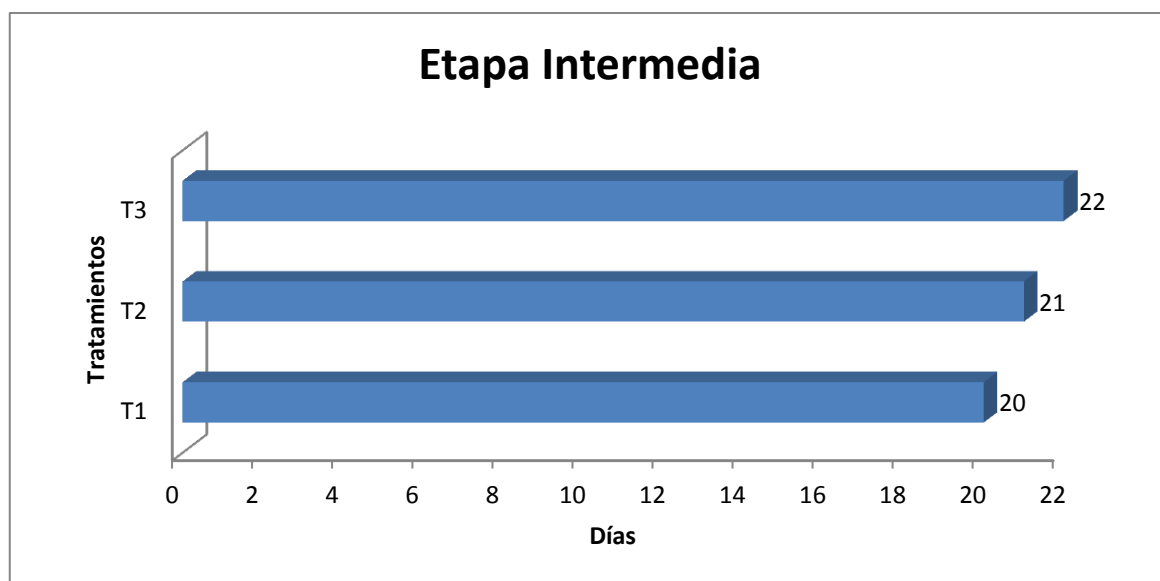


Figura 6. Duración de la etapa intermedia en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger).

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

La etapa intermedia tuvo una duración de 20, 21 y 22 días para el Tratamiento 1, Tratamiento 2 y Tratamiento 3 respectivamente. Díaz y Jaramillo (2006) manifiestan

que la etapa de formación de la pella tiene una duración de 20 a 25 días; a su vez Apacla y Huachos (2008) indican que a mitad de temporada la duración es de 30 días.

Existe poca diferencia en la duración de esta etapa para cada tratamiento recibió por lo que no existe mayor incidencia por parte de la aplicación de los tratamientos con un aporte de 49.5, 20.2 y 58.8 mm de agua para T1, T2 y T3 respectivamente.

4. Etapa final

Desde el inicio de la cosecha hasta el final de la misma. Los resultados de la duración de la etapa final en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) para cada tratamiento se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 14. Duración de la etapa final en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger).

Tratamiento	Duración de la etapa (Días)
T1	10
T2	12
T3	10

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

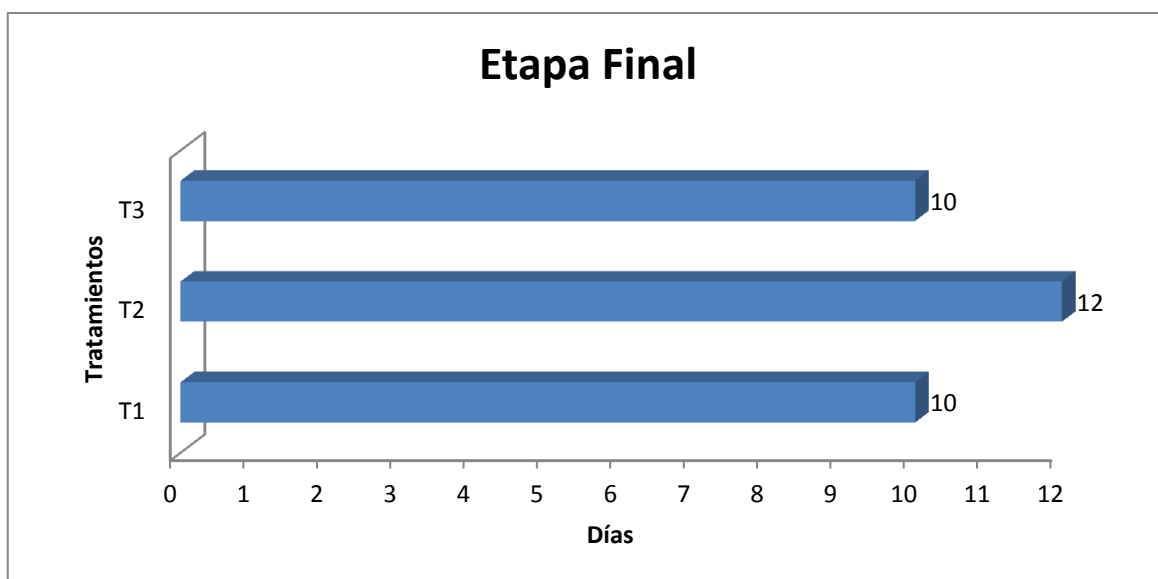


Figura 7. Duración de la etapa final en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger).

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

La etapa final tuvo una duración de 10 días para el Tratamiento 1 y Tratamiento 3, y de 12 días para el Tratamiento 2. Apaella y Huachos (2008) señalan que el final de temporada tiene una duración de 15 días. Debido a la diferencia expuesta se prevé una incidencia por efecto en la aplicación de los tratamientos además se recalca por parte de la FAO (2006) que el clima, la genética y manejo tiene una incidencia directa en la duración de las etapas de un cultivo y que estas son propias de cada localidad.

5. Duración total del ciclo comercial

Los resultados de la duración total del ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) para cada tratamiento se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 15. Duración total del ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger).

Tratamiento	Duración del ciclo comercial
T1	91
T2	101
T3	97

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

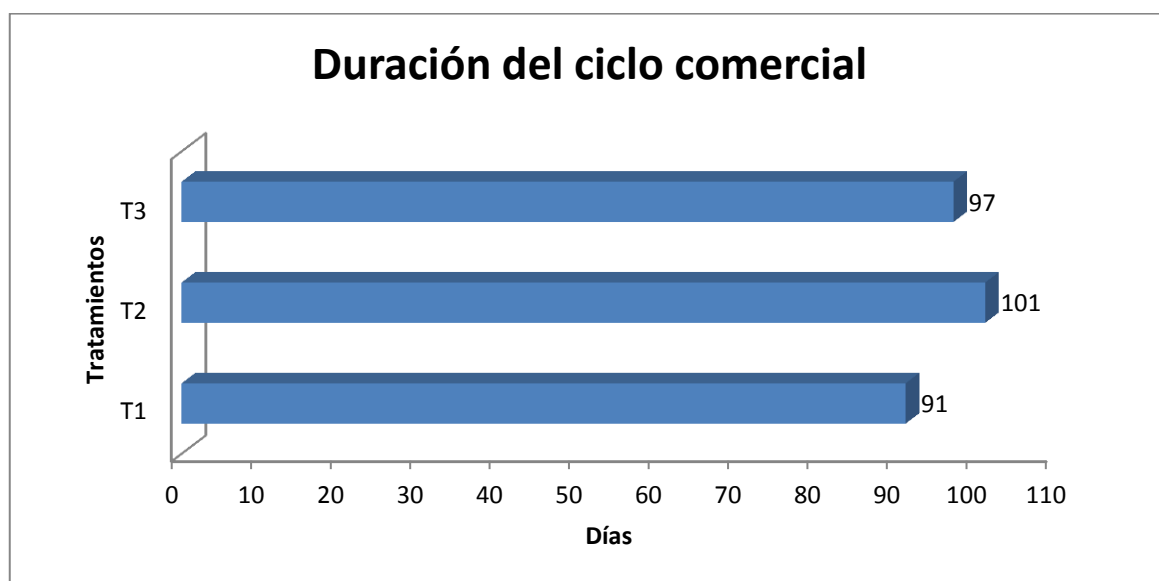


Figura 8. Duración total del ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger).

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

El ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) tuvo una duración de 91, 101 y 97 días para el Tratamiento 1, Tratamiento 2 y Tratamiento 3 respectivamente.

Posiblemente la diferencia expuesta se debe a la aplicación de los tratamientos recalcando lo indicado por la FAO (2006) bajo condiciones de sobre oferta de agua se provoca un letargo en la duración de las etapas; ya que en el ciclo comercial el cultivo recibió un aporte total de 142.5, 174.1 y 246.3 mm de agua para T1, T2 y T3 respectivamente.

D. COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c) Y K_c AJUSTADO DEL CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger).

1. Coeficiente de cultivo (K_c) del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

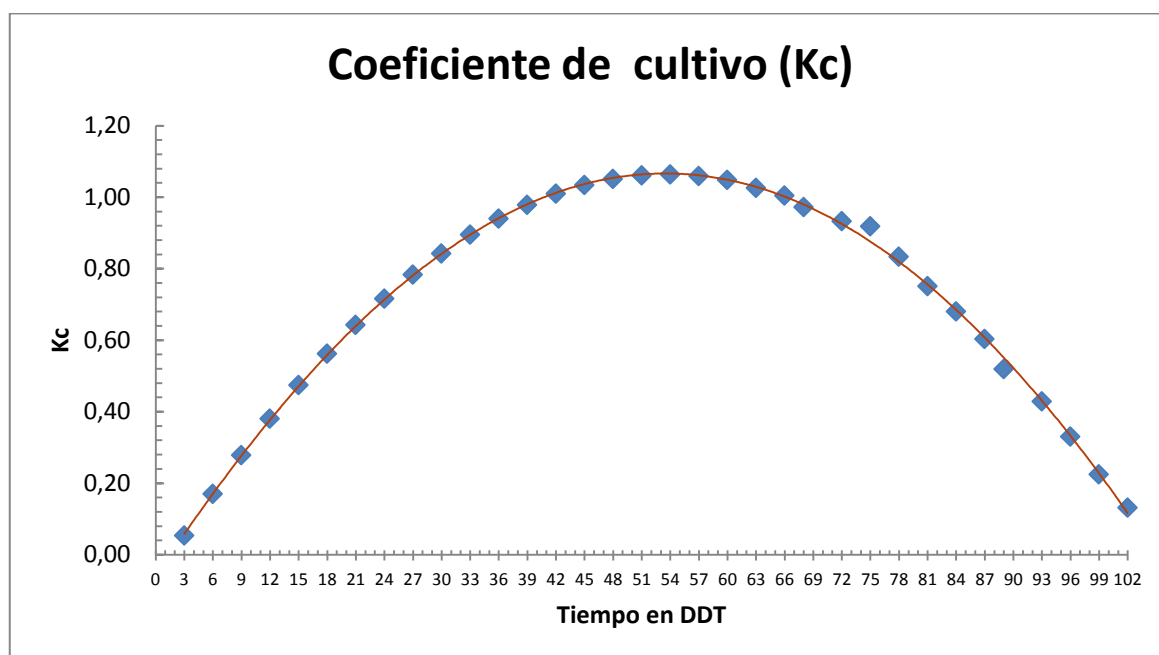


Figura 9. Coeficiente de cultivo (K_c) de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) determinado por Hargraves en periodos de 3 días bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

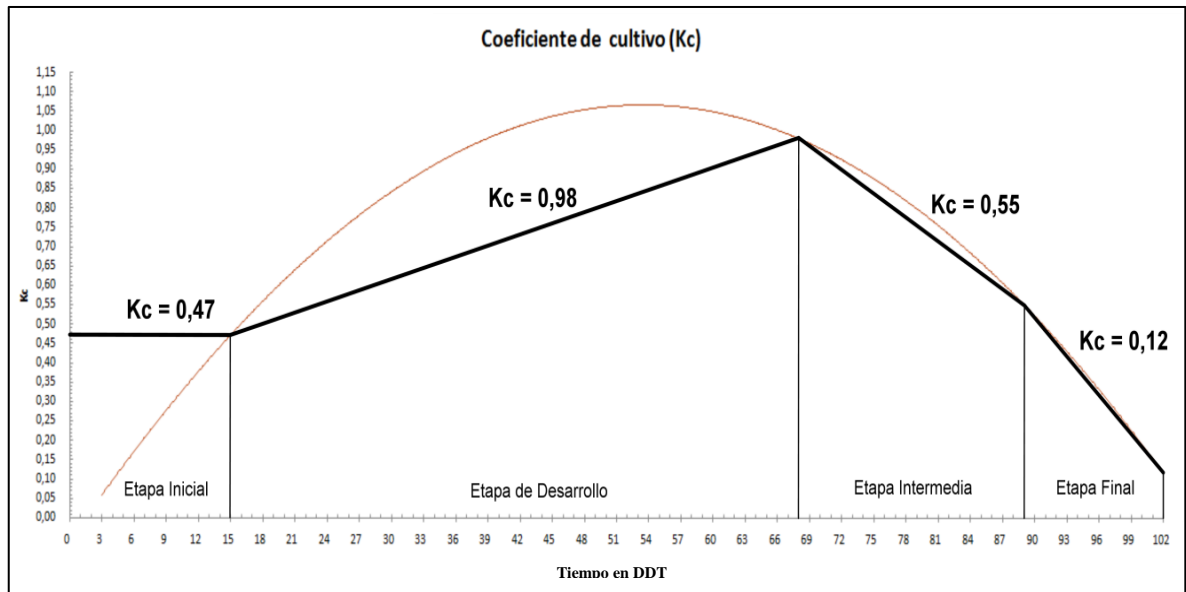


Figura 10. Coeficiente de cultivo (K_c) por etapa fenológica del ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) determinado por Hargraves bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Según la **Figura 10** mediante la cual se termina el coeficiente de cultivo (K_c) por etapa fenológica del ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) haciendo uso de la fórmula de Hargraves; el coeficiente de cultivo para la etapa inicial es de 0,47, posteriormente el cultivo requiere de mayor consumo de agua alcanzando un valor de 0,98; seguido de una disminución en el coeficiente de cultivo y por ende del requerimiento hídrico con un valor de K_c de 0,55 para la etapa intermedia; para la etapa final el valor de K_c es de 0,12.

Jara y Valenzuela (2000) señalan que el desarrollo de la pella es la etapa considerada como crítica y de mayor sensibilidad al déficit hídrico.

A esto Villalobos, Castellanos, Tijerina y Crespo (2005) manifiestan que después de los 50 DDT, los valores del coeficiente de desarrollo del cultivo se incrementan notoriamente, esto indica el incremento de la tasa de consumo de agua además; recalcan que los valores de K_c para el cultivo de brócoli permanecen en ascenso hasta el momento de la cosecha.

Por lo discutido anteriormente el modelo de Hargraves para la determinación del coeficiente de cultivo no es aplicable para el cultivo de brócoli pues este está basado en el desarrollo total del cultivo y no para cultivos hortícolas cosechados en verde además las condiciones en las que se desarrolla el modelo son distintas a las de nuestro medio lo que pondría en riesgo la producción.

2. Ajuste del coeficiente de cultivo (Kc) del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

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

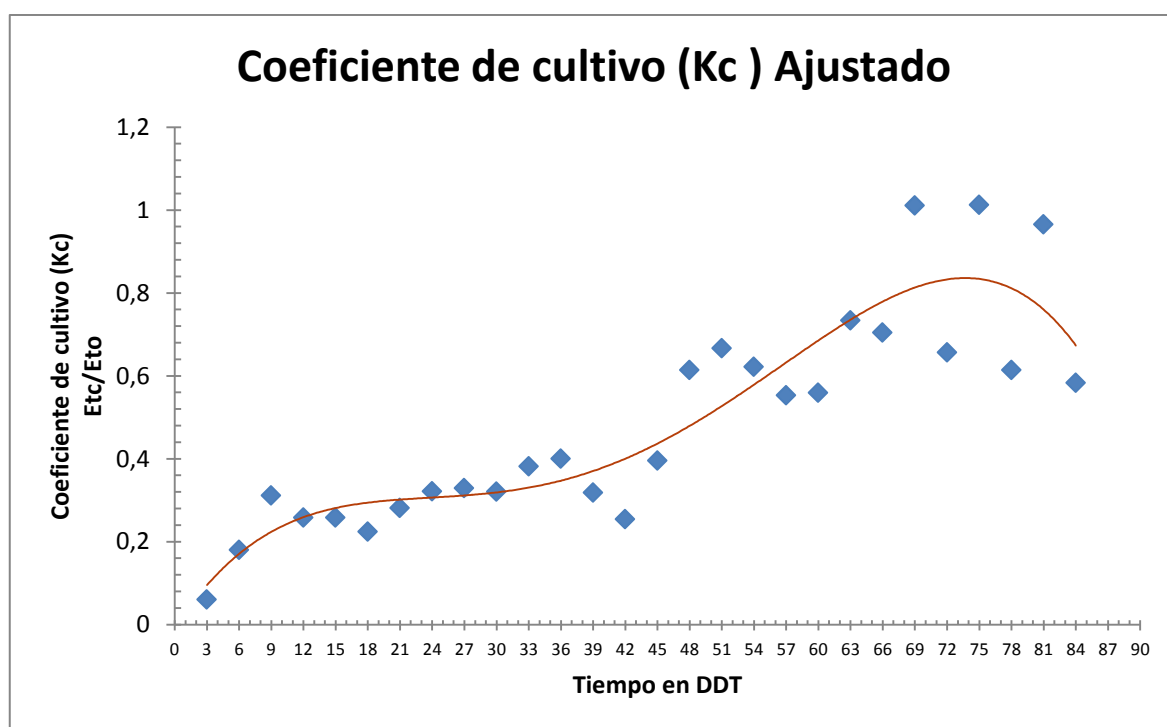


Figura 11. Coeficiente de cultivo (Kc) ajustado de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) determinado por el método de lisimetría.

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

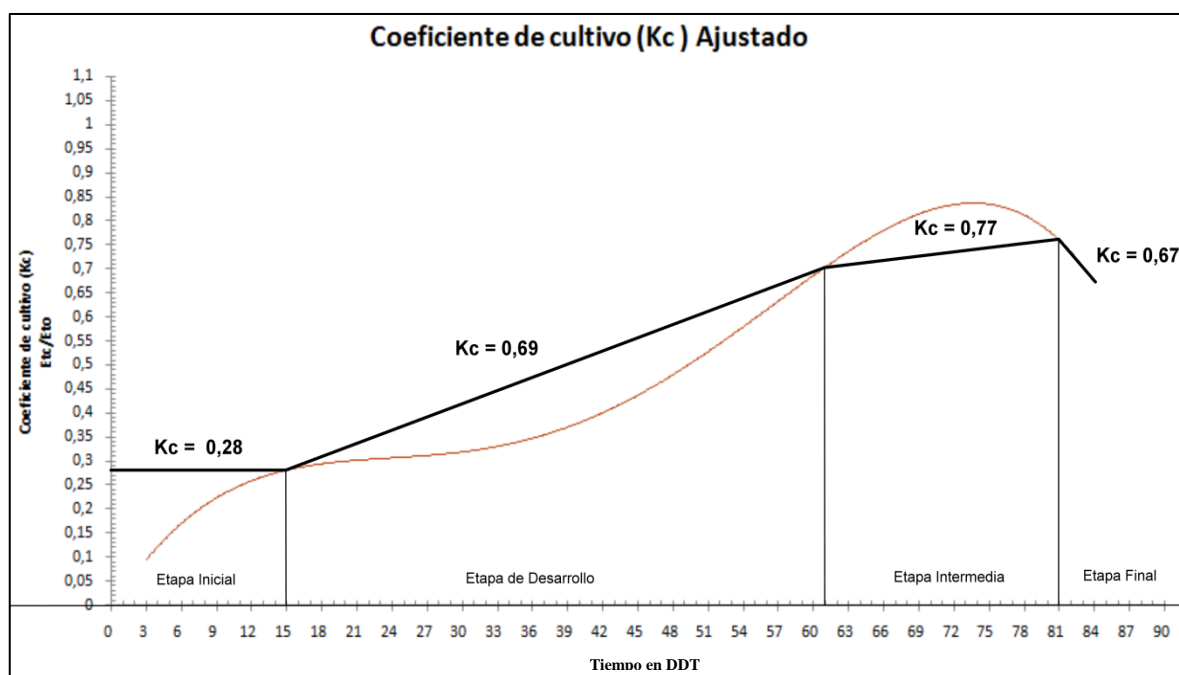


Figura 12. Coeficiente de cultivo (K_c) ajustado de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) determinado por el Tratamiento 1 bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

En función de la **Figura 12** se analiza los siguientes valores de coeficiente de cultivo (K_c) ajustado por etapa fenológica del ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

a. Etapa Inicial.

Considerando la etapa inicial los primeros 15 DDT, los valores de K_c oscilan entre 0,16 y 0,37; con un valor K_c promedio durante este periodo de 0,19 observándose además que en este periodo el cultivo cuenta con un promedio de 4,78 hojas y la cobertura del suelo es reducida se determina en función de la gráfica con un modelo polinómico un valor ajustado de K_c de 0,28.

b. Etapa de Desarrollo.

Se incrementa el consumo de agua, los valores de Kc ascienden desde 0,11 a 0,83 por lo que el Kc promedio resulta de 0,42, de tal manera; se determina en función de la gráfica con un modelo polinómico para esta etapa un valor ajustado de Kc de 0,69.

c. Etapa Intermedia

En esta etapa existe un mayor consumo de agua con valores de Kc comprendidos entre 0,47 y 1,25, por lo que; en función de la grafica con un modelo polinómico para esta etapa se determina un valor ajustado de Kc de 0,77.

d. Etapa Final

Se denota una disminución para esta etapa en los valores de Kc comprendidos entre 0,5 y 0,74; de acuerdo la grafica con un modelo polinómico para esta etapa se determina un valor ajustado de Kc de 0,67.

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

Villalobos et al. (2005) en su investigación "Coeficientes de desarrollo del cultivo de brócoli con riego por goteo" señalan que los coeficientes de desarrollo del cultivo asociados al máximo rendimiento fueron de 0.25, 0.68, 0.84 y 0.77 para 20, 60, 88 y 98 DDT, respectivamente.

Los valores obtenidos de Kc fueron 0,28 y 0,69 para 15 y 61 DDT respectivamente, al compararlos con los expuestos por Villalobos et al. (2005) en donde se señala que los coeficientes de desarrollo para los 20 y 60 DDT son de 0,25 y 0,68 respectivamente; dichos valores se asemejan a pesar que difieren en los días después del trasplante. Posteriormente los valores de Kc fueron 0,77 y 0,67 para 81 y 85 DDT respectivamente; los valores manifestados por Villalobos et al. (2005) para los coeficientes de desarrollo fueron de 0,84 y 0,77 para los 88 y 98 DDT respectivamente.

Los valores expuestos difieren pues la variedad, clima, manejo de cultivo, evaporación del suelo y las etapas de crecimiento del cultivo son propias de cada localidad e inciden directamente en el coeficiente de cultivo (K_c) (FAO, 2006). Sin embargo la tendencia que expresa los resultados concuerda con lo expresado por Villalobos et al. (2005), señalando que después de los 50 DDT, los valores del coeficiente de desarrollo del cultivo se incrementan notoriamente además manifiestan que los valores de K_c permanecen en ascenso hasta el momento de la cosecha.

Los coeficientes de desarrollo del cultivo (K_c) definen la influencia del cultivo sobre la evapotranspiración. Los valores de K_c solo se obtiene a través de la experimentación, ya que el crecimiento de la planta está influenciado por las condiciones cambiantes del clima, condiciones físicas y químicas del suelo, manejo agronómico, sistema de riego y la capacidad genética del cultivo (Villalobos et al, 2005).

Rubino y De Palma (citado por Villalobos et al., 2005) señalan que estos autores calcularon los coeficientes de desarrollo del cultivo a partir de la evaporación del tanque tipo "A" y de un lisímetro de pesada, estos autores encontraron diferencias entre estos métodos por lo que no es posible comparar valores de coeficiente de desarrollo del cultivo cuando la evapotranspiración de referencia se calcula con métodos diferentes; sin embargo es posible comparar la tendencia que muestra en el transcurso del ciclo.

A pesar de lo señalado por Rufino y De Palma la FAO en su libro 56 "Guía para la determinación de los requerimientos de agua para los cultivos" señala que los únicos factores que afectan la evapotranspiración de referencia son los parámetros climáticos, por lo tanto; la evapotranspiración de referencia es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos.

3. Correlación de las etapas fenológicas del ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) con parámetros del desarrollo de la planta bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

En periodos de 15 días se registraron parámetros de desarrollo de la planta, los que se observan en la siguiente tabla.

Tabla 16. Parámetros evaluados durante el desarrollo del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

DDT	Número de hojas	Altura de la planta (cm)
15	5,23	7,38
30	8,50	17,56
45	10,30	36,88
60	13,37	39,99
75	20,50	44,38

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Los datos de la **Tabla 16** fueron expresados en porcentaje a fin de ser graficados para su análisis en forma conjunta; los resultados se observan en la siguiente tabla.

Tabla 17. Parámetros evaluados durante el desarrollo del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) expresados en porcentajes bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

DDT	Número de hojas (%)	Altura de la planta (%)
15	25,53	16,62
30	41,46	39,57
45	50,24	83,11
60	65,20	90,12
75	100,00	100,00

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

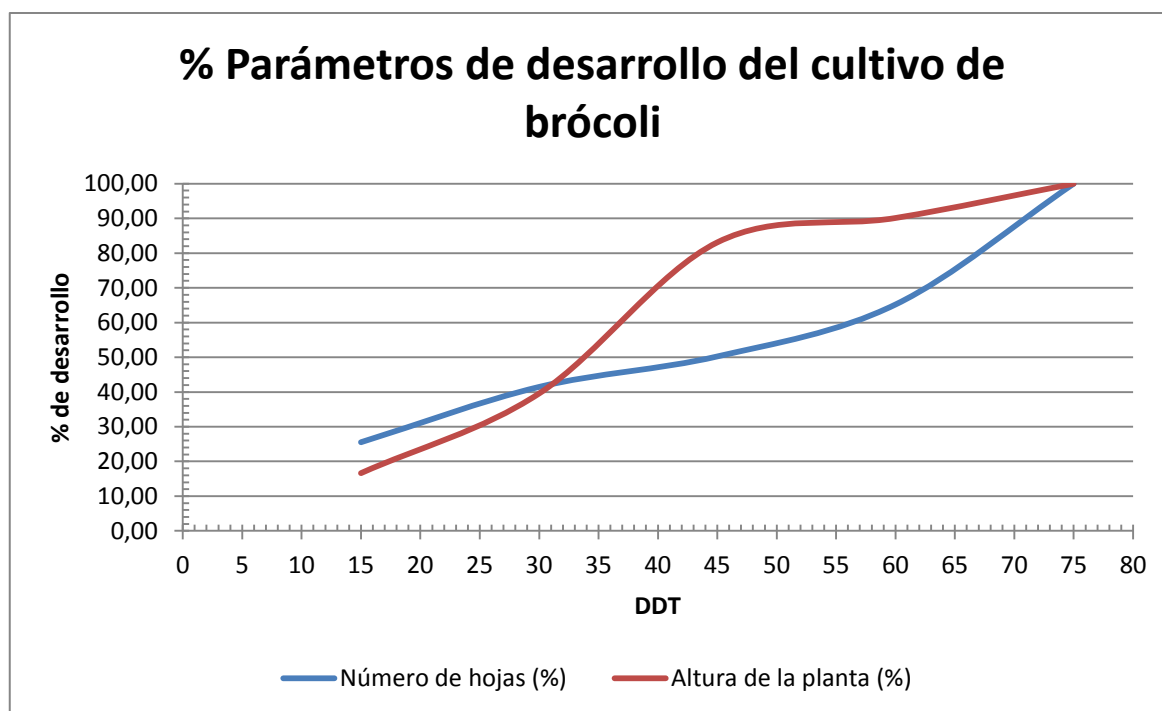


Figura 13. Parámetros evaluados durante el desarrollo del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) expresados en porcentajes bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Al correlacionar las etapas fenológicas en el ciclo comercial del cultivo de de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) con parámetros del desarrollo de la planta se puede observar que el mayor porcentaje de hojas como de altura de la planta se presenta en la etapa de desarrollo con 65 y 90% respectivamente; posteriormente en la etapa intermedia el incremento es relativamente bajo para altura de la planta con un 10% y un tanto mayor para numero de hojas con 35%; esto concuerda con un incremento en los valores del coeficiente de desarrollo del cultivo que repercute en un claro aumento de la tasa de consumo de agua.

Los resultados expuestos se asemejan a lo señalado por Villalobos et al. (2005) donde se indica de los 30 a 50 DDT existe un incremento gradual en los valores de Kc debido a que en este periodo se desarrolla más del 60% del follaje y que a 50 DDT el cultivo tenía la máxima tasa de crecimiento.

E. REQUERIMIENTOS HÍDRICOS Y LÁMINAS DE RIEGO

1. Etapa Inicial

Los requerimientos hídricos y láminas de riego para la etapa inicial según el tratamiento se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 18. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa inicial del ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

Tratamiento	Requerimiento Hídrico (mm)	Lámina de riego (mm)
1 (T1)	9,8	7,1
2 (T2)	14,9	12,1
3 (T3)	43,3	40,4

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

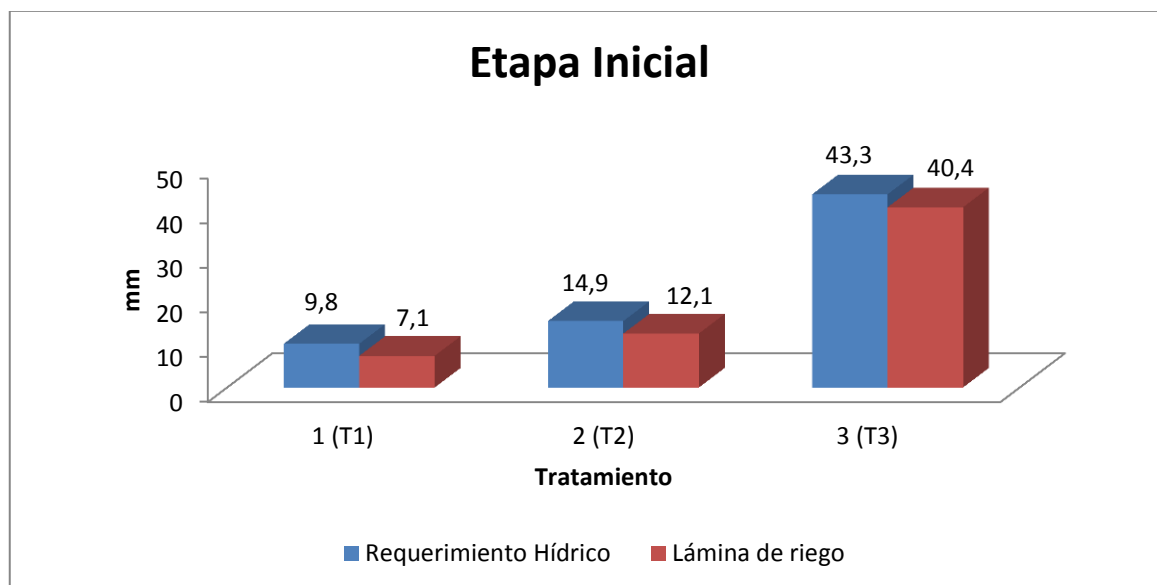


Figura 14. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa inicial del ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Según la **Figura 14** podemos observar que en la etapa inicial el Tratamiento 1 tuvo un requerimiento hídrico de 9,8 mm y una lámina de riego de 7,1 mm; el Tratamiento 2 un requerimiento hídrico de 14,9 mm y una lámina de riego de 12,1 mm y el Tratamiento 3 un requerimiento hídrico de 43,3 mm y una lámina de riego de 40,4 mm.

Debido a que no existe incidencia de los tratamientos en los indicadores de la investigación durante esta etapa, probablemente se deba a la poca cobertura del cultivo en esta etapa pues la tasa avapotranspirativa es baja (FAO, 2006). Villalobos et al. (2005), señalan que el consumo de agua por el cultivo de brócoli al inicio del ciclo es relativamente bajo pues a 35 DDT el consumo de agua no supera los 30 mm de lámina.

2. Etapa de Desarrollo

Los requerimientos hídricos y láminas de riego para la etapa de desarrollo según el tratamiento se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 19. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa de desarrollo del ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

Tratamiento	Requerimiento Hídrico (mm)	Lámina de riego (mm)
1 (T1)	77,3	55,3
2 (T2)	139	113
3 (T3)	144,2	119,5

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

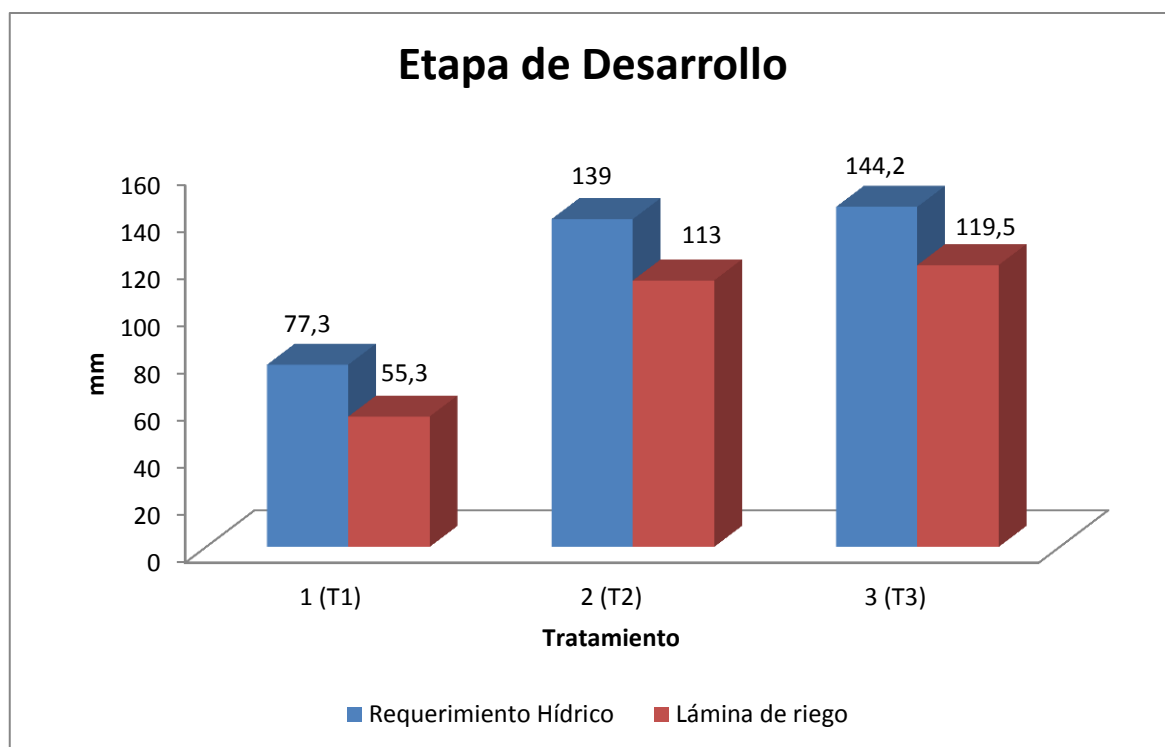


Figura 15. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa de desarrollo del ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

De acuerdo a la **Figura 15** en la etapa de desarrollo el Tratamiento 1 tuvo un requerimiento hídrico de 77,3 mm y una lámina de riego de 55,3 mm; el Tratamiento 2 un requerimiento hídrico de 139 mm y una lámina de riego de 113 mm y el Tratamiento 3 un requerimiento hídrico de 152,4 mm y una lámina de riego de 126,5 mm.

El consumo de agua de los cultivos se incrementa conforme aumenta la cobertura (FAO, 2006), se denota un incremento por parte de los tres tratamientos. Villalobos et al. (2005), acentúan que a 65 DDT el consumo de agua por el cultivo de brócoli va de 110 a 200 mm de lámina, además indican que para esta fecha el cultivo consume un 45% del total de agua. Sin embargo; mayor cantidad de agua no siempre representa beneficio para los cultivos por lo que un exceso de humedad es considerado como un estrés secundario (Pardos, 2004).

3. Etapa Intermedia

Los requerimientos hídricos y láminas de riego para la etapa intermedia según el tratamiento se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 20. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa intermedia del ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea. L. Var. Avenger*) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

Tratamiento	Requerimiento Hídrico (mm)	Lámina de riego (mm)
1 (T1)	49,5	40,6
2 (T2)	20,2	5,7
3 (T3)	58,8	43,7

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

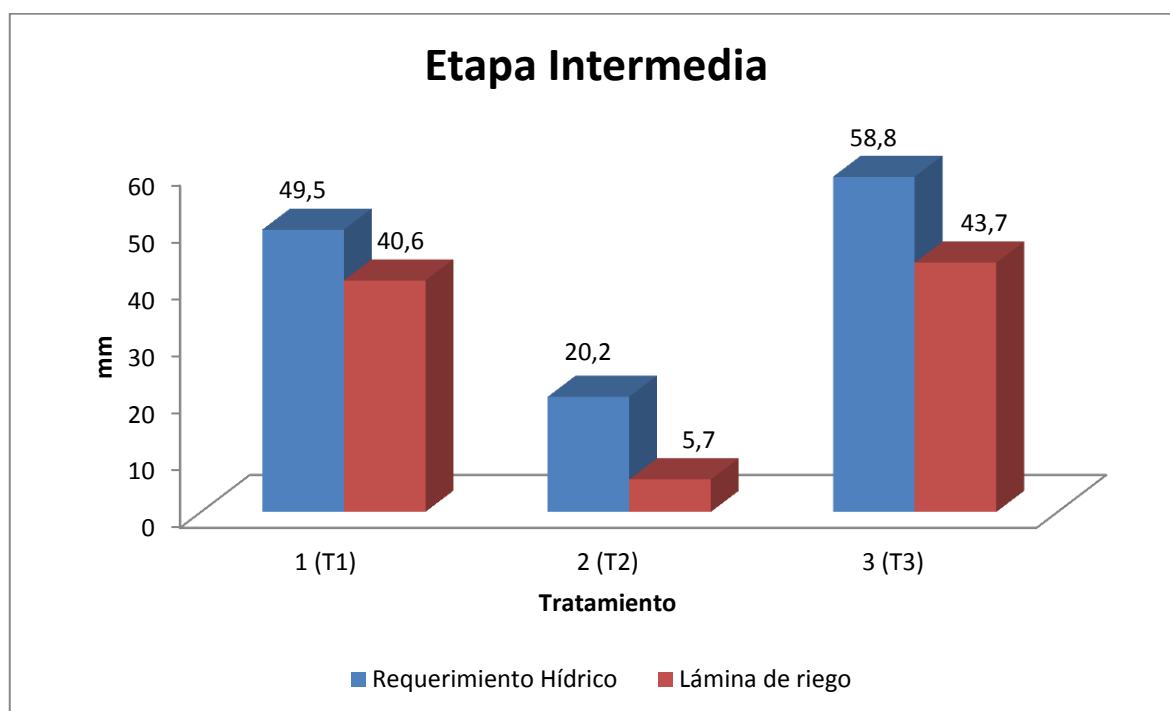


Figura 16. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa intermedia del ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea. L. Var. Avenger*) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

La **Figura 16** expresa que para la etapa intermedia el Tratamiento 1 tuvo un requerimiento hídrico de 49,5 mm y una lámina de riego de 40,6 mm; el Tratamiento 2 un requerimiento hídrico de 20,2 mm y una lámina de riego de 5,7 mm y el Tratamiento 3 un requerimiento hídrico de 58,8 mm y una lámina de riego de 43,7 mm.

Según el Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción (2012) existen etapas o estados fenológicos en el desarrollo de un cultivo, en donde el efecto detrimental de un estrés hídrico es mayor; en el caso del brócoli el momento crítico ocurre en la aparición y desarrollo de la pella, donde un activo crecimiento o división celular en un breve período de tiempo incrementa el consumo de agua. En este periodo T1 y T3 recibieron mayor cantidad de agua respecto a T2 por lo que presumiblemente su rendimiento se vea afectado. Villalobos et al. (2005), recalcan que es sorprendente la cantidad de agua que demanda el cultivo desde la aparición de la pella hasta la cosecha.

4. Etapa Final

Los requerimientos hídricos y láminas de riego para la etapa final según el tratamiento se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 21. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa final del ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

Tratamiento	Requerimiento Hídrico (mm)	Lámina de riego (mm)
1 (T1)	5,9	5,9
2 (T2)	0	0
3 (T3)	0	0

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

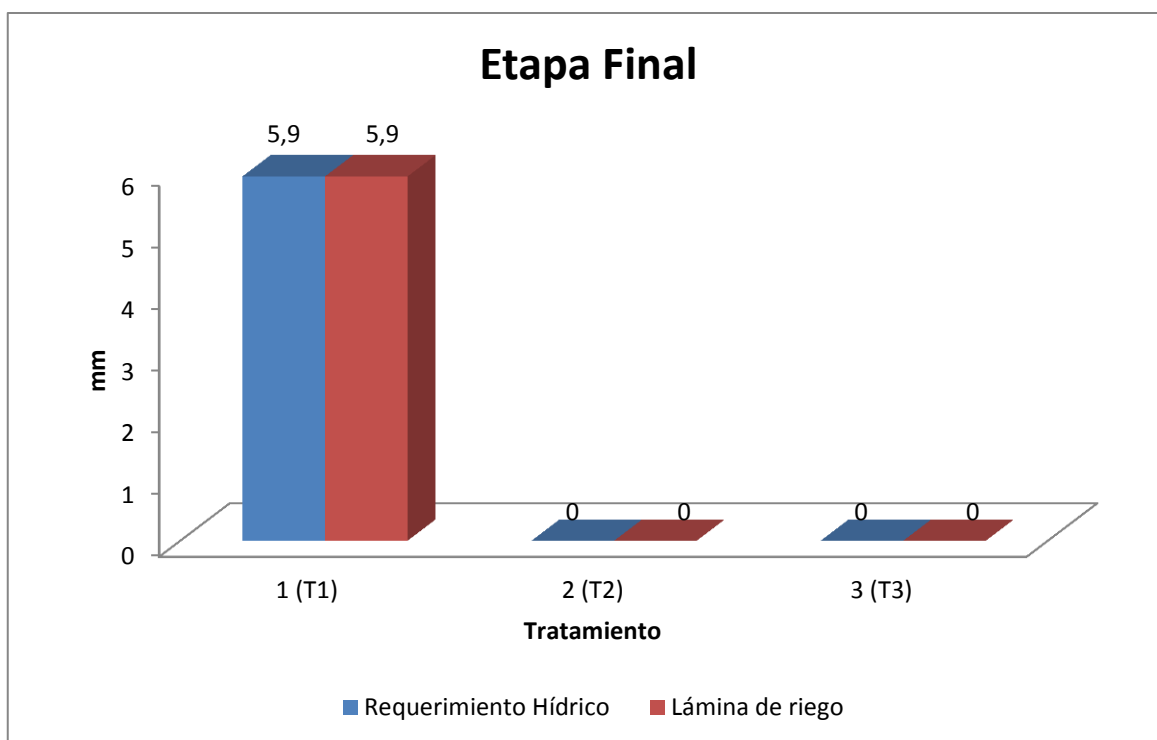


Figura 17. Requerimiento hídrico y lámina de riego aplicada en la etapa final del ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

El riego para los tres tratamientos al momento de iniciar la cosecha fue suspendido, sin embargo; el lisímetro (Tratamiento 1) manifestaba drenaje por lo que se pudo determinar el requerimiento hídrico y la lámina de riego a aplicar en esta etapa.

Según la **Figura 17** el Tratamiento 1 tuvo un requerimiento hídrico de 5,9 mm y una lámina de riego de 5,9 mm; el Tratamiento 2 y Tratamiento 3 un requerimiento hídrico de 0 mm y una lámina de riego de 0 mm.

T1 refleja que a pesar de reducirse el consumo de agua este sigue presente por lo que no se recomendaría suspender el riego en esta etapa. Villalobos et al. (2005), señalan que cuando inicia la cosecha las tasas de crecimiento y desarrollo no declinan por lo que si se reduce el riego durante esta etapa se reduce el tamaño del florete, provocando trastornos en la tasa de crecimiento que favorecen la aparición de frutos deformes que afectan el rendimiento y calidad de la cosecha.

5. Requerimientos Hídricos y láminas de riego totales

Los requerimientos hídricos y láminas de riego aplicadas en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) según el tratamiento se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 22. Requerimiento hídrico y láminas de riego aplicadas en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

Tratamiento	Requerimiento Hídrico (mm)	Lámina de riego (mm)
1 (T1)	142,5	108,9
2 (T2)	174,1	130,8
3 (T3)	246,3	203,6

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

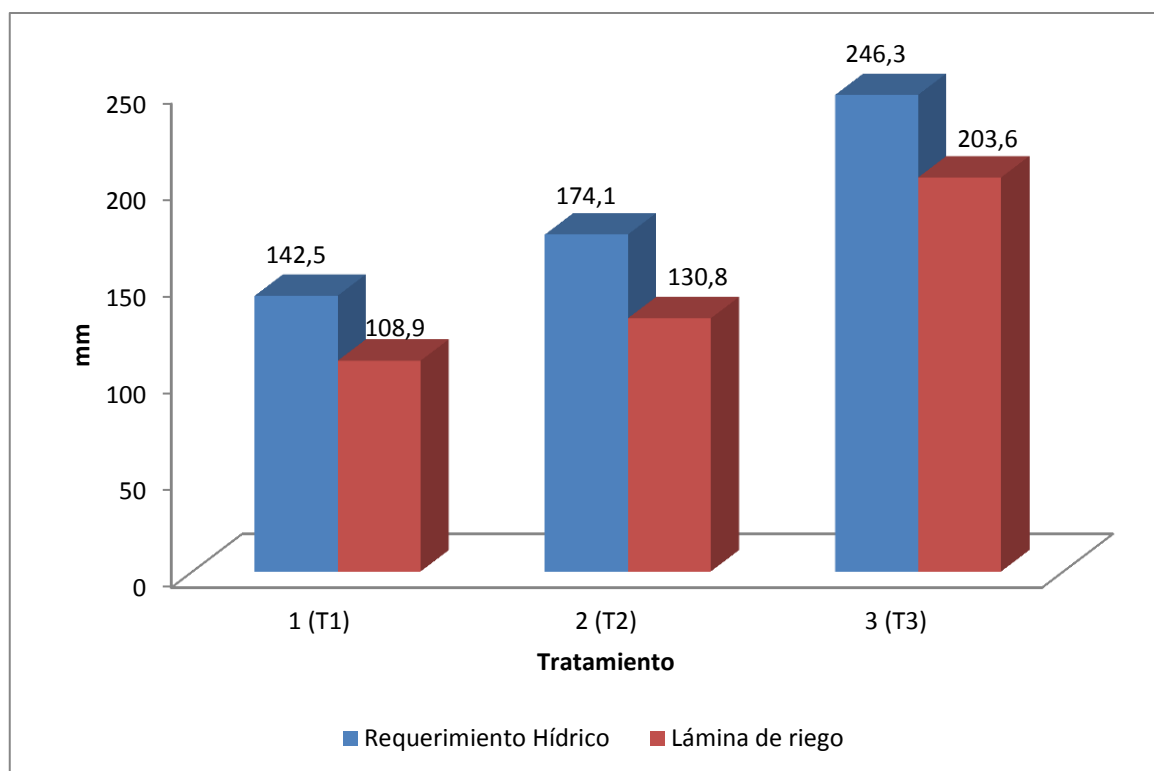


Figura 18. Requerimientos hídricos y lámina de riego aplicadas en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo 2015.

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Los resultados de la **Figura 18** respecto a los requerimientos hídricos y láminas de riego aplicadas en el ciclo comercial del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) expresan para el Tratamiento 1 un requerimiento hídrico de 142,5 mm y una lámina de riego de 108,9 mm; el Tratamiento 2 un requerimiento hídrico de 174,1 mm y una lámina de riego de 130,8 mm y el Tratamiento 3 un requerimiento hídrico de 246,3 mm y una lámina de riego de 203,6 mm.

Para poder comparar con el trabajo expuesto por Villalobos et al. (2005) se correlaciona los resultados de Peña (2013) donde se señala que en nuestro suelo valores de 40 y 20% de abatimiento la tensión de humedad del suelo es de 35kPa y 25 kPa respectivamente; en la presente investigación se obtuvo un abatimiento promedio para T1 de 40 a 50% de la humedad disponible mientras que para T2 y T3 se aplicó un abatimiento de 20%.

Los resultados expresados por Villalobos et al. (2005) en el que se evalúa el efecto de la tensión de humedad en el suelo sobre rendimiento y calidad del brócoli con riego por

goteo se señala para el tratamiento semiseco a 36 kPa y para el tratamiento medio a 28 kPa que el cultivo presentó un consumo de agua de 273 mm y 310 mm respectivamente.

Al comparar los resultados obtenidos en la presente investigación con lo expuesto por Villalobos et al. (2005) estos difieren notablemente debido a que las condiciones adafoclimáticas y la metodología para la aplicación de laminas de riego son distintas.

Navejas, Nieto, Fraga, Rueda y Avila (2011) señalan respecto al requerimiento de agua neto mediante la aplicación de métodos directos e indirectos que; los métodos que consideran además de los parámetros climatológicos, las características de suelo y la respuesta de la planta son modelos integradores, además de ser más representativos del agroecosistema; por su parte, el uso de agua fundamentado en la aplicación de métodos indirectos frecuentemente sobreestiman la evapotranspiración.

El lisímetro (T1) 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 además; que los lisímetros proporcionan el método de campo más fiable para estudiar la evapotranspiración Salisbury (2000).

Los datos climáticos son de suma relevancia para una planeación agrícola más precisa. Su aplicación es posible cuando se cuenta con información de los coeficientes de ajuste por desarrollo de los diferentes cultivos, información que frecuentemente se toma de referencias de otros sitios y latitudes como es el caso de Hargraves (T2), donde comúnmente se pierde precisión en las estimaciones por lo que no se garantiza la eficiencia deseable en el uso del agua (Navejas et al, 2011)

Cohen et al (citado por Navejas et al, 2011) los métodos que utilizan el tanque de evapotranspiración (T3) claramente reflejan imprecisiones en la predicción de la evapotranspiración del cultivo a partir de la evaporación de agua al aire libre. Los métodos son susceptibles a las condiciones microclimáticas bajo las cuales se encuentran los tanques y las condiciones de manejo y mantenimiento de la estación.

F. NÚMERO DE HOJAS.

El numero de hojas tuvo similar tendencia en todos los tratamiento durante todo el ciclo del cultivo esto indica que las laminas aplicadas que se manejo en los tratamientos no ocasionaron cambios en este órgano.

1. Número de hojas a los 15 DDT

El análisis de varianza para el número de hojas a los 15 DDT (**Tabla 23**), no presentó diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento.

En promedio el número de hojas a los 15 DDT fue 4,78

El coeficiente de variación fue 9,35 %.

Tabla 23. Análisis de varianza para el número de hojas a los 15 DDT

FV	GL	SC	CM	Fisher		Nivel de significancia	
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	1,86					
Repeticiones	2	0,04	0,02	0,11	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	1,02	0,51	2,55	6,94	18,00	Ns
Error	4	0,80	0,20				
CV %			9,35				
Media			4,78				

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo

2. Número de hojas a los 30 DDT

El análisis de varianza para el número de hojas a los 30 DDT (**Tabla 24**), no presentó diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento.

En promedio el número de hojas a los 30 DDT fue 8,02.

El coeficiente de variación fue 3,80 %.

Tabla 24. Análisis de varianza para el número de hojas a los 30 DDT

FV	GL	SC	CM		Fisher		Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	1,46					
Repeticiones	2	0,06	0,03	0,30	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	1,03	0,51	5,54	6,94	18,00	Ns
Error	4	0,37	0,09				
CV %				3,80			
Media				8,02			

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo

3. Número de hojas a los 45 DDT

El análisis de varianza para el número de hojas a los 45 DDT (**Tabla 25**), no presentó diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento.

En promedio el número de hojas a los 45 DDT fue 9,62

El coeficiente de variación fue 5,31 %.

Tabla 25. Análisis de varianza para el número de hojas a los 45 DDT.

FV	GL	SC	CM		Fisher		Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	4,56					
Repeticiones	2	0,40	0,20	0,77	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	3,11	1,55	5,95	6,94	18,00	Ns
Error	4	1,04	0,26				
CV %				5,31			
Media				9,62			

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo

4. Número de hojas a los 60 DDT

El análisis de varianza para el número de hojas a los 60 DDT (**Tabla 26**), no presentó diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento.

En promedio el número de hojas a los 60 DDT fue 12,09

El coeficiente de variación fue 20,64 %.

Tabla 26. Análisis de varianza para el número de hojas a los 60 DDT.

FV	GL	SC	CM		Fisher		Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	33,61					
Repeticiones	2	1,24	0,62	0,10	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	7,48	3,74	0,60	6,94	18,00	Ns
Error	4	24,89	6,22				
CV %				20,64			
Media				12,09			

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo

5. Número de hojas a los 75 DDT

El análisis de varianza para el número de hojas a los 75 DDT (**Tabla 27**), no presentó diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento.

En promedio el número de hojas a los 75 DDT fue 17,80.

El coeficiente de variación fue 13,30 %.

Tabla 27. Análisis de varianza para el número de hojas a los 75 DDT.

FV	GL	SC	CM		Fisher		Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	55,63					
Repeticiones	2	2,61	1,31	0,23	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	30,58	15,29	2,73	6,94	18,00	Ns
Error	4	22,44	5,61				
CV %				13,30			
Media				17,80			

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo.

A pesar de no existir diferencias estadísticas para ningún tratamiento dentro del parámetro de número de hojas existe diferencia numérica donde para todos los casos el Tratamiento 1 siempre presenta mayor promedio de número de hojas respecto al Tratamiento 2 y Tratamiento 3; posiblemente esta diferencia se deba a una sobre aplicación de riego para T2 y T3 pues en condiciones de exceso de humedad el aumento de etileno tienen efectos morfológicos en plantas, se forman hojas más anchas y se promueve su senescencia y abscisión (Pardos, 2004).

G. ALTURA DE PLANTA (cm.)

1. Altura de planta a los 15 DDT

El análisis de varianza para la altura de planta a los 15 DDT (**Tabla 28**), no presentó diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento.

En promedio la altura de planta a los 15 DDT fue 7,21cm.

El coeficiente de variación fue 4,25 %.

Tabla 28. Análisis de varianza para la altura de planta a los 15 DDT.

FV	GL	SC	CM	Fisher			Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	0,64					
Repeticiones	2	0,11	0,05	0,55	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	0,14	0,07	0,72	6,94	18,00	Ns
Error	4	0,39	0,10				
CV %				4,35			
Media				7,21			

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo

No existe mayor diferencia entre tratamientos por lo que la aplicación de los mismo no incidió en este parámetro posiblemente debido al poco desarrollo radicular y en general del cultivo.

2. Altura de planta a los 30 días DDT

El análisis de varianza para la altura de planta a los 30 DDT (**Tabla 29**), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos.

En promedio la altura de planta a los 30 DDT fue 17,02 cm

El coeficiente de variación fue 1,18 %.

Tabla 29. Análisis de varianza para la altura de planta a los 30 DDT.

FV	GL	SC	CM		Fisher		Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	2,24					
Repeticiones	2	0,79	0,39	9,73	6,94	18,00	*
Tratamientos	2	1,29	0,64	15,92	6,94	18,00	*
Error	4	0,16	0,04				
CV %				1,18			
Media				17,02			

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

*: Significativo

Tabla 30. Prueba de Tukey al 5% para altura de planta a los 30 DDT

Tratamientos	Media (cm.)	Rango
T1	17,56	A
T2	16,77	B
T3	16,74	B

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

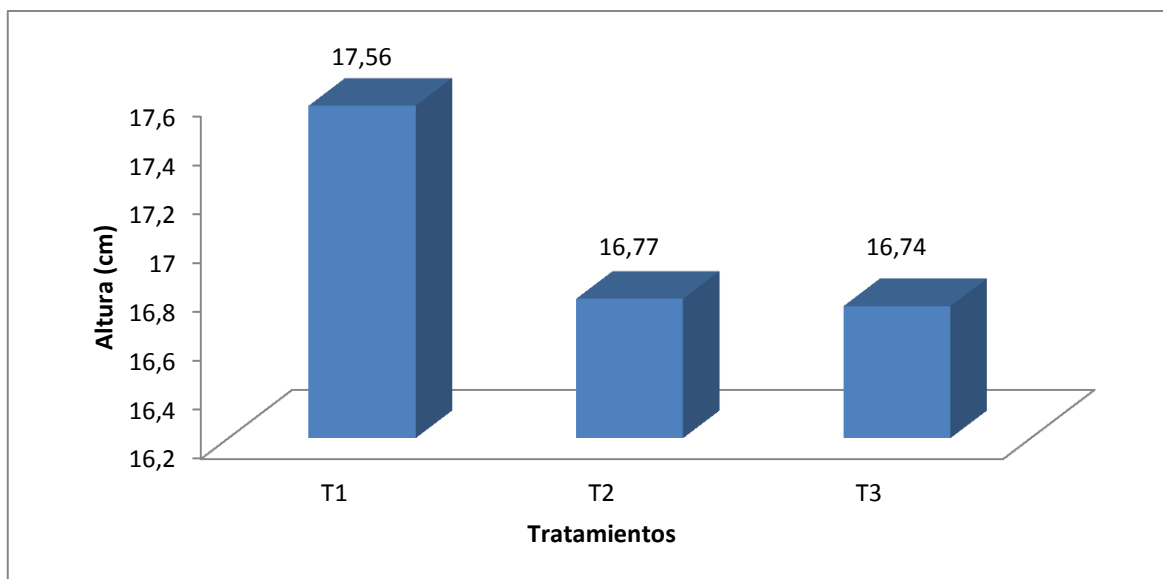


Figura 19. Altura de planta a los 30 DDT

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

En la prueba de Tukey al 5% para la altura de planta a los 30 DDT (**Tabla 30; Figura 19**); el Tratamiento 1 se ubicó en el rango “A” con un valor de 17,56 cm., mientras que los tratamientos T2 y T3 se ubicaron en el rango “B” con valores de 16,77 y 16,74 cm. respectivamente.

Las diferencias de altura observadas en la **Figura 19** fueron influenciadas por la aplicación de las laminas de riego en los tratamientos debido a una sobre estimación de sus requerimientos sabiendo que la cobertura y profundidad radicular del cultivo es relativamente baja, acentuando lo mencionado por Beyazgul (citado por Navejas et al, 2011) donde se indica que los excesos de circulación de agua, considerando que la cantidad de agua que la planta transpira es menor a la cantidad de agua que la planta absorbe del suelo, puede producir fenómenos contrarios al desarrollo, como el estancamiento o nulo crecimiento.

3. Altura de planta a los 45 DDT

El análisis de varianza para la altura de planta a los 45 DDT (**Tabla 31**), presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos.

En promedio la altura de planta a los 45 días fue 34,57 cm.

El coeficiente de variación fue 1,84 %.

Tabla 31. Análisis de varianza para la altura de planta a los 45 DDT

FV	GL	SC	CM		Fisher		Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	44,05					
Repeticiones	2	3,28	1,64	4,03	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	39,15	19,57	48,15	6,94	18,00	**
Error	4	1,63	0,41				
CV %				1,84			
Media				34,57			

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo

****:** Altamente significativo

Tabla 32. Prueba de Tukey al 5% para altura de planta a los 45 DDT.

Tratamientos	Media	Rango
T1	36,88	A
T3	35,83	B
T2	31,83	C

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

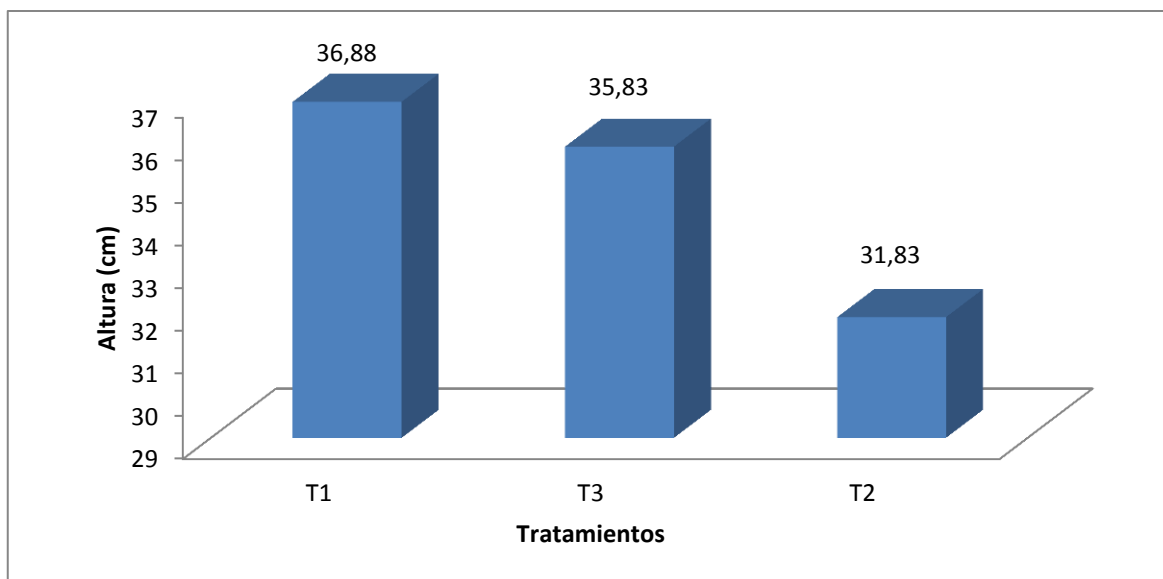


Figura 20. Altura de planta a los 45 DDT

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

En la prueba de Tukey al 5% para la altura de planta a los 45 DDT (**Tabla 32; Figura 20**); El Tratamiento 1 se ubicó en el rango “A” con un valor de 36,88 cm., mientras que el Tratamiento 2 se ubica en el rango “C” con un valor de 31,83 cm. y el Tratamiento 3 presento un rango intermedio.

Las diferencias de altura observadas en la **Figura 20** fueron influenciadas por una sobre estimación de los requerimientos hídricos causando el mismo efecto mencionado para altura de la planta a los 30 DDT. Villalobos et al. (2005), manifiestan que a los 45 DDT el cultivo de brócoli consume el 30% del total de agua que requiere durante su ciclo. Para este entonces existió un consumo de 45% para el Tratamiento 1, 54% para el Tratamiento 2 y 53% para el Tratamiento 3 es decir existió mayor sobre atención de riego para los Tratamientos 2 y 3 respecto al Tratamiento 1 lo que ocasiona las diferencias en la altura del cultivo.

A todo esto Pardos (2004), señala que la limitación de oxígeno origina numerosos cambios físicos, químicos y biológicos en el suelo, entre los que se destaca la producción de sustancias tóxicas, así como la acumulación de etileno; en cuanto a la morfología de las plantas expuestas a un exceso de agua se menciona que el crecimiento en longitud del tallo queda reducido y la dominancia apical disminuida.

4. Altura de planta a los 60 DDT

El análisis de varianza para la altura de planta a los 60 DDT (**Tabla 33**), presenta diferencias estadísticas significativas para los tratamientos.

En promedio la altura de planta a los 60 DDT fue 38,15 cm

El coeficiente de variación fue 2,59 %.

Tabla 33. Análisis de varianza para la altura de planta a los 60 DDT.

FV	GL	SC	CM		Fisher		Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	38,58					
Repeticiones	2	4,00	2,00	2,04	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	30,66	15,33	15,64	6,94	18,00	*
Error	4	3,92	0,98				
CV %				2,59			
Media				38,15			

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo

*: Significativo

Tabla 34. Prueba de Tukey al 5% para altura de planta a los 60 DDT.

Tratamientos	Media	Rango
T1	40,07	A
T3	38,72	A
T2	35,66	B

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

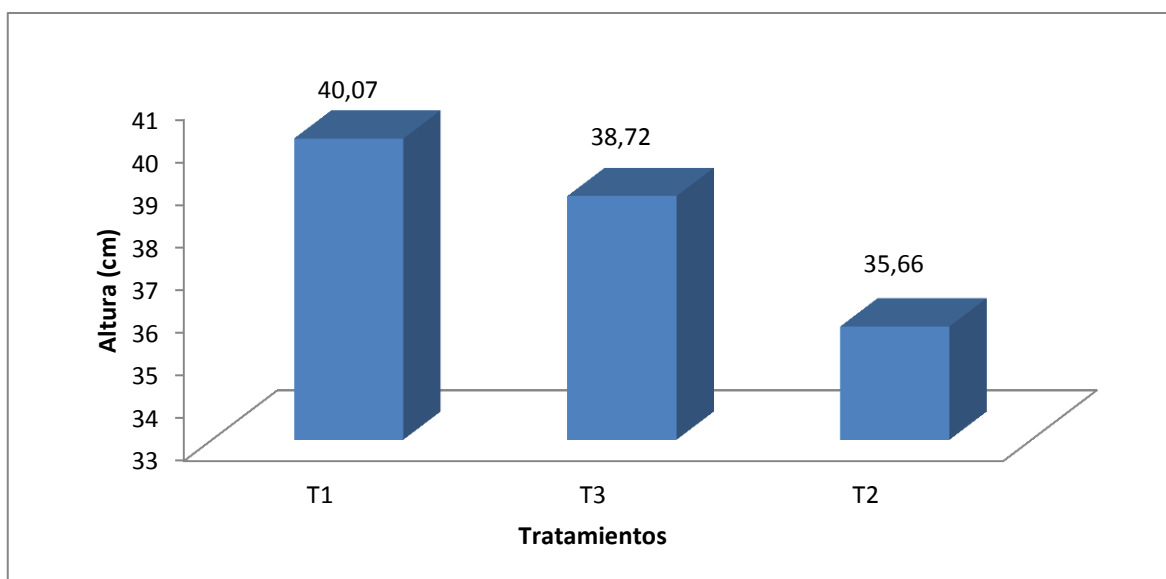


Figura 21. Altura de planta a los 60 DDT.

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

En la prueba de Tukey al 5% para la altura de planta a los 60 DDT (**Tabla 34; Figura 21**); El Tratamiento 1 y Tratamiento 3 se ubicaron en el rango “A” con un valor de 40,07 cm y 38,72 cm respectivamente, mientras que el tratamiento T2 se ubica en el rango “B” con un valor de 35,66 cm.

La diferencia presentada para altura de la planta a los 60 DDT no se puede atribuir a la aplicación de los tratamientos sino mas bien a un daño mecánico causado por un aporque muy alto seguido de un riego cuyo efecto repercutió en un estancamiento de este parámetro.

5. Altura de planta a los 75 DDT

El análisis de varianza para la altura de planta a los 75 DDT (**Tabla 35**), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos.

En promedio la altura de planta a los 75 DDT fue 42,48 cm.

El coeficiente de variación fue 2,13 %.

Tabla 35. Análisis de varianza para la altura de planta a los 75 DDT.

FV	GL	SC	CM		Fisher		Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	45,00					
Repeticiones	2	0,88	0,44	0,54	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	40,83	20,41	24,82	6,94	18,00	**
Error	4	3,29	0,82				
CV %				2,13			
Media				42,48			

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo

*: Significativo

Tabla 36. Prueba de Tukey al 5% para altura de planta a los 60 DDT.

Tratamientos	Media	Rango
T1	44,44	A
T3	43,47	A
T2	39,52	B

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

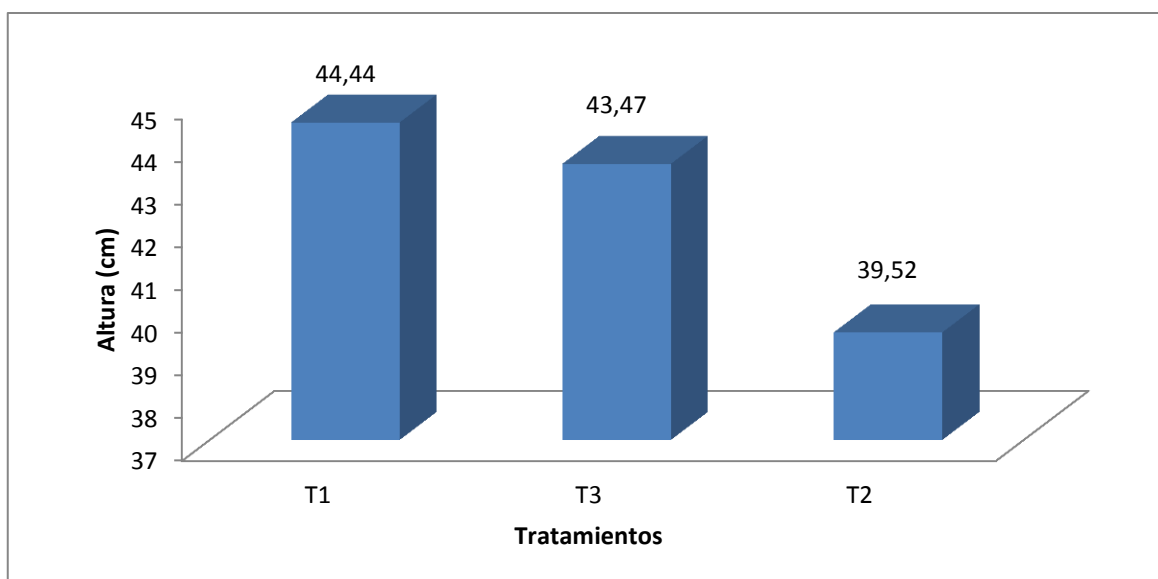


Figura 22. Altura de planta a los 75 DDT.

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

En la prueba de Tukey al 5% para la altura de planta a los 75 DDT (**Tabla 36; Figura 22**); El Tratamiento 1 y Tratamiento 3 se ubicaron en el rango “A” con un valor de 44,44 cm y 43,47 cm respectivamente, mientras que el Tratamiento 2 se ubica en el rango “B” con un valor de 39,52 cm.

El Tratamiento 1 y Tratamiento 3 en este periodo recibieron mayor cantidad de agua respecto al Tratamiento 2 por lo que existe incidencia en este parámetro. Villalobos et al. (2005), señalan que cuando inicia la cosecha las tasas de crecimiento y desarrollo no declinan por lo que una reducción de riego durante esta etapa provoca trastornos en la tasa de crecimiento.

H. DÍAS A LA APARICION DE LA PELLA

El análisis de varianza para los días a la aparición de la pella (**Tabla 37**), presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos.

En promedio los días a la aparición de la pella fue 64,66 DDT

El coeficiente de variación fue 2 %.

Tabla 37. Análisis de varianza para los días a la aparición de la pella

FV	GL	SC	CM		Fisher		Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	72,00					
Repeticiones	2	4,67	2,33	1,40	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	60,67	30,33	18,20	6,94	18,00	**
Error	4	6,67	1,67				
CV %			2				
Media			64,66				

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo

****:** Altamente significativo

Tabla 38. Prueba de Tukey al 5% para días a la aparición de la pella.

Tratamientos	Media	Rango
T1	61,33	A
T3	65,00	AB
T2	67,67	B

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

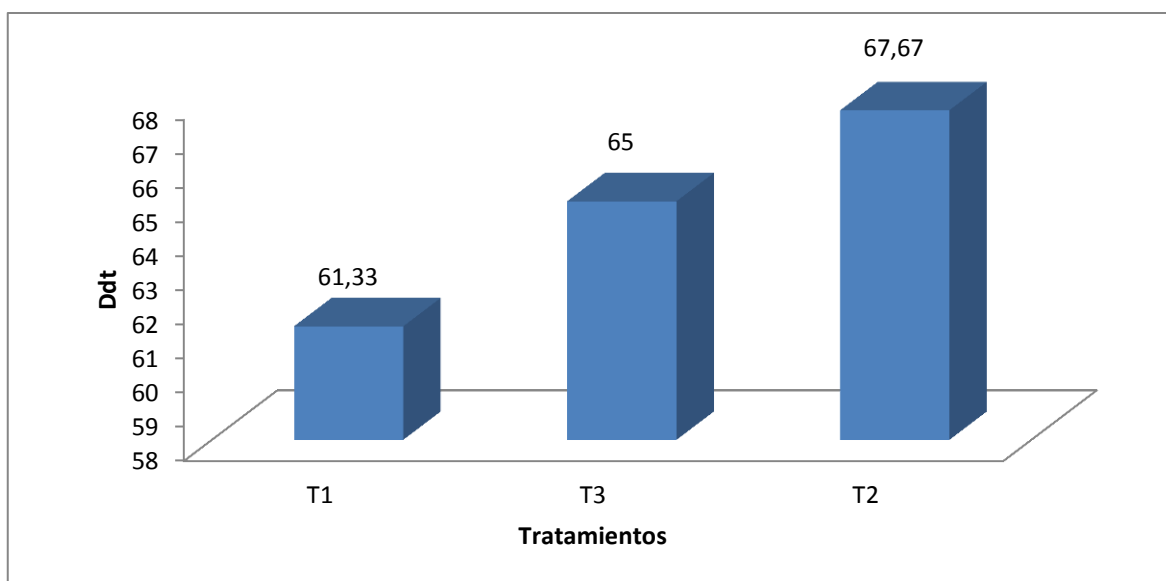


Figura 23. Días a la aparición de la pella.

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

En la prueba de Tukey al 5% para días a la aparición de la pella (**Tabla 38; Figura 23**); el Tratamiento 1 respecto al Tratamiento 2 es altamente significativo con valores de 61,33 y 67,67 DDT respectivamente ubicándose T1 en el rango “A” y T2 en el rango “B” mientras que el Tratamiento 3 comparte los rangos “A” y “B” con un valor de 65,00 DDT.

Al momento de la aparición de la pella existió un requerimiento hídrico de 87.2, 154 y 187.5 mm para el Tratamiento 1, Tratamiento 2 y Tratamiento 3 respectivamente. La FAO (2006) manifiesta que en condiciones de estrés hídrico así como de otros tipos de estrés originados por las condiciones ambientales, aceleran la tasa de maduración del cultivo así como pueden acortar las etapas de mediados del período y final de estación; lo contrario sucede bajo condiciones de sobre oferta de agua provocando letargo en la duración de las etapas.

I. DÍAS AL INICIO DE LA COSECHA

El análisis de varianza para los días al inicio de la cosecha (**Tabla 39**), presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos.

En promedio los días al inicio de la cosecha fue 85,45 DDT.

El coeficiente de variación fue 1,63 %.

Tabla 39. Análisis de varianza para los días al inicio de la cosecha.

FV	GL	SC	CM		Fisher		Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	132,22					
Repeticiones	2	17,56	8,78	4,51	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	106,89	53,44	27,49	6,94	18,00	**
Error	4	7,78	1,94				
CV %				1,63			
Media				85,45			

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo

Tabla 40. Prueba de Tukey al 5% para los días al inicio de la cosecha.

Tratamientos	Media (días)	Rango
T1	80,67	A
T3	87,00	B
T2	88,67	B

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

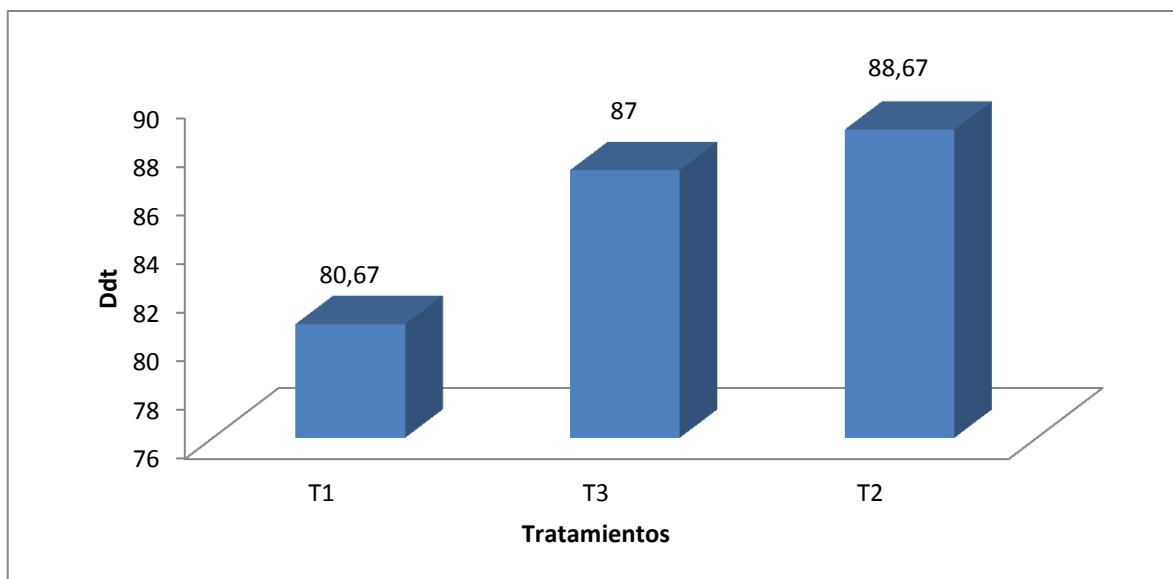


Figura 24. Días al inicio de la cosecha.

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

En la prueba de Tukey al 5% para los días al inicio de la cosecha (**Tabla 40; Figura 24**); el Tratamiento 1 se ubicó en el rango “A” con un valor de 80,67 DDT, mientras que los Tratamientos 2 y Tratamiento 3 se ubicaron en el rango “B” con un valor de 88,67 y 87 DDT respectivamente.

Al inicio de la cosecha existió un requerimiento hídrico de 136.7, 174.1 y 246.3 mm para el Tratamiento 1, Tratamiento 2 y Tratamiento 3 respectivamente. Acentuando lo mencionado anteriormente por la FAO (2006) donde se manifiesta que bajo condiciones de sobre oferta de agua se provoca un letargo en la duración de las etapas.

J. DIÁMETRO DE LA PELLA (cm.)

El análisis de varianza para el diámetro de la pella (**Tabla 41**), no presentó diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento.

El diámetro de la pella tuvo similar tendencia en los tres tratamientos esto indica que las laminas aplicadas según el tratamiento no proporcionaron cambios en dicho órgano.

En promedio el diámetro de la pella fue 13,90 cm.

El coeficiente de variación fue 4,46 %.

Tabla 41. Análisis de varianza para el diámetro de la pella.

FV	GL	SC	CM		Fisher		Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	4,09					
Repeticiones	2	1,07	0,54	1,39	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	1,48	0,74	1,93	6,94	18,00	Ns
Error	4	1,54	0,38				
CV %				4,46			
Media				13,90			

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo

K. PESO DE LA PELLA (g.)

El análisis de varianza para el peso de la pella (**Tabla 42**), no presentó diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento; esto indica que las laminas aplicadas según el tratamiento no proporcionaron cambios en dicho órgano.

En promedio el peso de la pella fue 426,18 g.

El coeficiente de variación fue 17,08 %.

Tabla 42. Análisis de varianza para el peso de la pella.

FV	GL	SC	CM	Fisher			Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	68308,07					
Repeticiones	2	12485,87	6242,94	1,18	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	34616,27	17308,14	3,26	6,94	18,00	Ns
Error	4	21205,93	5301,48				
CV %			17,08				
Media			426,18				

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo

En el periodo comprendido desde el aparecimiento de la pella hasta el termino del ciclo comercial del cultivo; las laminas aplicadas fueron de 55.5, 20.2 y 58.8.7 mm, para el Tratamiento 1, Tratamiento 2 y Tratamiento 3 respectivamente.

La diferencia numérica expresada tanto para diámetro y peso de la pella se atribuye a la aplicación de los tratamientos pues según lo señalo por Villalobos et al. (2005) es sorprendente la cantidad de agua que demanda el cultivo durante la etapa de desarrollo del florete hasta el momento de la cosecha, por lo que no es conveniente reducir el riego durante esta etapa pues se reducirá el tamaño y por lo tanto se reducirá el peso del florete.

L. RENDIMIENTO (kg.)

1. Rendimiento por categorías de la parcela neta

a. Pellas grandes

El análisis de varianza para el rendimiento de pellas grandes en parcela neta (**Tabla 43**) no presentó diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento.

En promedio el rendimiento de pellas grandes por parcela neta fue 5,52 kg.

El coeficiente de variación fue 27,81 %.

Tabla 43. Análisis de varianza para el rendimiento de pellas grandes por parcela neta (kg)

FV	GL	SC	CM		Fisher		Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	39,78					
Repeticiones	2	9,76	4,88	2,07	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	20,59	10,30	4,37	6,94	18,00	Ns
Error	4	9,42	2,36				
CV %				27,81			
Media				5,52			

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo

b. Pellas medianas

El análisis de varianza para el rendimiento de pellas medianas en parcela neta (**Tabla 44**) no presentó diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento.

En promedio el rendimiento de pellas medianas por parcela neta fue 1,89 kg.

El coeficiente de variación fue 46,16 %.

Tabla 44. Análisis de varianza para rendimiento de pellas medianas por parcela neta (kg)

FV	GL	SC	CM		Fisher		Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	3,57					
Repeticiones	2	0,43	0,22	0,28	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	0,07	0,04	0,05	6,94	18,00	Ns
Error	4	3,07	0,77				
CV %				46,16			
Media				1,89			

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo

c. Pellas pequeñas

El análisis de varianza para el rendimiento de pellas pequeñas en parcela neta (**Tabla 45**) no presentó diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento.

En promedio el rendimiento de pellas pequeñas por parcela neta fue 1,39 kg.

El coeficiente de variación fue 29,80 %.

Tabla 45. Análisis de varianza para rendimiento de pellas pequeñas por parcela neta (kg)

FV	GL	SC	CM		Fisher		Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	3,94					
Repeticiones	2	1,43	0,72	4,2	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	1,83	0,91	5,36	6,94	18,00	Ns
Error	4	0,68	0,17				
CV %				29,80			
Media				1,39			

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo

d. Rendimiento total por parcela neta

El análisis de varianza para el rendimiento total por parcela neta (**Tabla 46**) no presentó diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento.

En promedio el rendimiento total por parcela neta fue 8,8 kg.

El coeficiente de variación fue 14,69 %.

Tabla 46. Análisis de varianza para rendimiento total por parcela neta (kg)

FV	GL	SC	CM		Fisher		Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	22,23					
Repeticiones	2	4,91	0,72	1,47	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	10,64	0,91	3,18	6,94	18,00	Ns
Error	4	6,69	0,17				
CV %				14,69			
Media				8,8			

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo

Al realizar la categorización de pellas resulta que para el Tratamiento 1 el rendimiento de pellas grandes representa un 71,84% del rendimiento total, mientras que las pellas medianas y pequeñas representan el 18,21 y 9,85% respectivamente, del rendimiento total. Para el Tratamiento 2 el rendimiento de pellas grandes representa un 47,97% del rendimiento total, mientras que las pellas medianas y pequeñas representan el 24,73 y 27,30% respectivamente, del rendimiento total; mientras que para el Tratamiento 3 el rendimiento de pellas grandes representa un 64,58% del rendimiento total, las pellas medianas y pequeñas representan el 22,57 y 12,85% respectivamente, del rendimiento total; es decir en la categoría de pellas grandes sobresale el Tratamiento 1, para las categorías de pellas medianas y pequeñas sobresale el Tratamiento 2; esto influenciado por la aplicación de los tratamientos donde en el periodo considerado como crítico para el cultivo T1 y T3 recibieron mayor lamina de agua respecto a T2 lo que se ve reflejado en la calidad del florete (Villalobos et al., 2005).

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

El análisis de varianza para el rendimiento en kg/ha (**Tabla 47**), no presentó diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento.

En promedio el rendimiento fue de 18880,85 kg/ha.

El coeficiente de variación fue 14,73 %.

Tabla 47. Análisis de varianza para el rendimiento total en kg/ha

FV	GL	SC	CM	Fisher			Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	102571035,35					
Repeticiones	2	22560823,48	12272585,12	1,46	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	49071203,22	20624623,01	3,17	6,94	18,00	Ns
Error	4	30939008,65	6195138,31				
CV %			14,73				
Media			18880,85				

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo

El Tratamiento 1 presentó mayor rendimiento total con 21564,28 kg/ha, seguido del Tratamiento 3 con 19205,87 kg/ha mientras que el Tratamiento 2 presentó el menor rendimiento con 15872,42 kg/ha.

Comparando los rendimientos obtenidos con los estimados por el MAGAP (2012) donde se indica que la provincia de Chimborazo presenta un rendimiento de 11090 kg/ha; los tres tratamientos en estudio superan dicho rendimiento, pero este sigue siendo inferior al reportado para la provincia de Cotopaxi (28220 kg/ha).

Por otro lado el rendimiento obtenido en el Tratamiento 1 es similar relacionándolo con el tratamiento semiseco reportado por Villalobos et al. (2005) donde se obtiene un valor de 20800 kg/ha.

La diferencia numérica expresada a favor del Tratamiento 1 y Tratamiento 2 dentro de los componentes de rendimiento se debe a que no se disminuyó el riego durante el periodo de formación y desarrollo de la pella acentuando lo dicho por Villalobos et al. (2005) que no es conveniente reducir el riego durante esta etapa pues se reducirá el tamaño del florete ya que esto afectará el rendimiento y calidad de la cosecha.

M. MATERIA SECA (%)

El análisis de varianza para el porcentaje de materia seca (**Tabla 48**), no presentó diferencias estadísticas significativas para ningún tratamiento.

En promedio el porcentaje de materia seca fue 15,14 %

El coeficiente de variación fue 6,98 %.

Tabla 48. Análisis de varianza para el porcentaje de materia seca.

FV	GL	SC	CM		Fisher		Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	14,13					
Repeticiones	2	5,10	2,55	2,29	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	4,57	2,29	2,05	6,94	18,00	Ns
Error	4	4,46	1,12				
CV %				6,98			
Media				15,14			

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo

N. CORRELACIÓN ENTRE AGUA UTILIZADA Y RENDIMIENTO (HUELLA HÍDRICA)

El análisis de varianza para Huella hídrica (**Tabla 49**), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos.

En promedio la huella hídrica fue 72,40 m³/t

El coeficiente de variación fue 16,44 %.

Tabla 49. Análisis de varianza para Huella hídrica

FV	GL	SC	CM		Fisher		Nivel de significancia
				Cal	0,05	0,01	
Total	8	3965,43					
Repeticiones	2	403,41	201,71	1,42	6,94	18,00	Ns
Tratamientos	2	2995,56	1497,78	10,58	6,94	18,00	*
Error	4	566,46	141,62				
CV %			16,44				
Media			72,40				

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Ns: No significativo

***:** Significativo

Tabla 50. Prueba de Tukey al 5% para huella hídrica.

Tratamientos	Media (m ³ /t)	Rango
T1	46,75	A
T2	82,87	B
T3	87,59	B

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

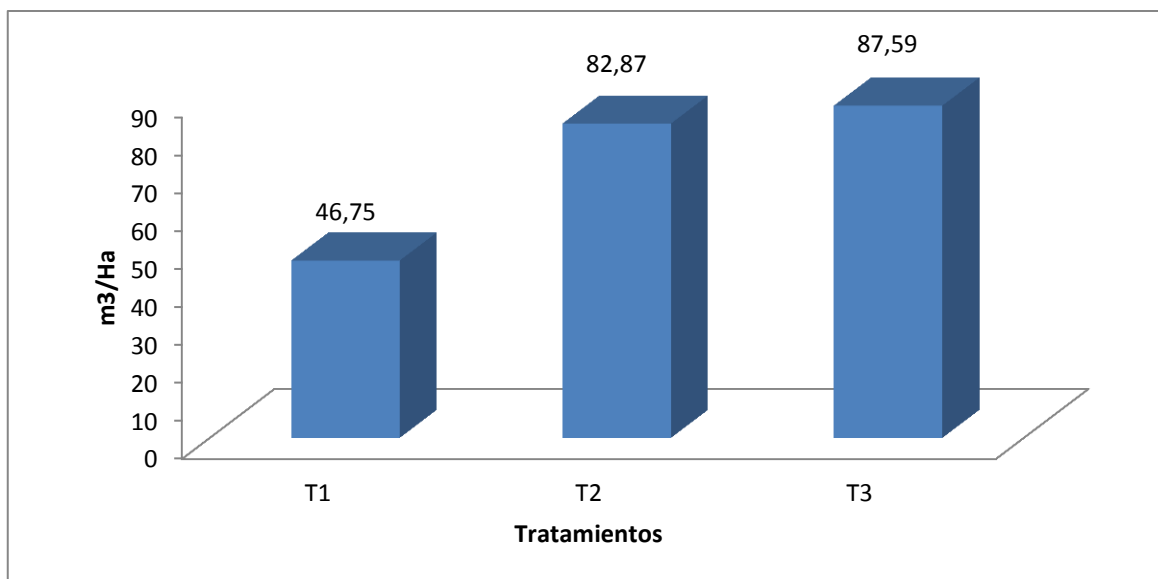


Figura 25. Huella Hídrica.

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

En la prueba de Tukey al 5% para Huella hídrica (**Tabla 50; Figura 25**); el Tratamiento 1 se ubicó en el rango “A” con un valor de 46,75 m³/t, mientras que el Tratamiento 2 y Tratamiento 3 se ubicaron en el rango “B” con un valor de 82,87 y 87,59 m³/t respectivamente.

Según la **Figura 39** de las tres metodologías usadas para determinar los requerimientos hídricos del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) el Tratamiento 2 y el Tratamiento 3 sobreestiman dichos requerimientos en un 43,58 y 46,61 % ya que para producir una tonelada de pellas de brócoli para estos tratamientos se requiere de 82,87 m³ y 87,59 m³ respectivamente; mientras que para el Tratamiento 1 se requiere de 46,75 m³.

Es importante destacar que a pesar de que T1 recibió 21,40 y 60,6 % menos agua con respecto a T2 y T3, esto no se tradujo en diferencias estadísticas en el rendimiento, lo cual es interesante desde el punto de vista de eficiencia en la aplicación de agua.

Aguilera y Martínez (citado por Villaman et al., 2001) señalan a los lisímetros como un método que proporciona información directa del total de agua requerida por los cultivos, mientras que la utilización de fórmulas empíricas proporcionan una estimación del requerimiento de agua a través de todo el ciclo vegetativo.

O. ANÁLISIS ECONÓMICO

Tabla 51. Análisis de dominancia

TRATAMIENTOS	BENEFICIO NETO	COSTOS VARIABLES	DOMINANCIA
T1	3773,12	794,65	ND
T3	3169,30	868,30	D
T2	2348,32	754,80	ND

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Tabla 52. Tasa marginal de retorno.

Tratamientos	Beneficio neto	Beneficio neto marginales	Costos variables	Costos variables marginales	TMR%
T1	3773,12		794,65		
		1424,804		39,85	3575,749
T2	2348,32		754,80		

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

Tabla 53. Beneficio neto para Tratamientos no dominados

TRATAMIENTOS	COSTOS VARIABLES	BENEFICIO NETO
T1	794,65	3773,12
T2	754,80	2348,32

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

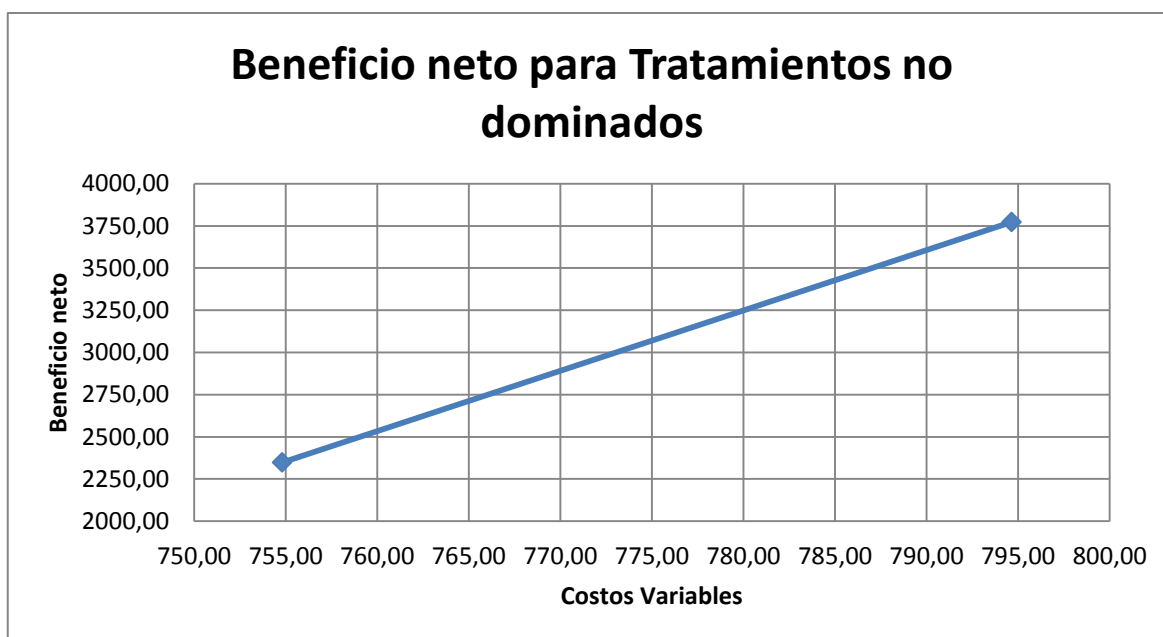


Figura 26. Beneficio neto para Tratamientos no dominados

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

En términos económicos el Tratamiento 1 presenta la mayor Tasa de Retorno Marginal (TRM) con 3575,75%; lo que indica que por cada dólar que se invierta se recupera el dólar invertido y adicionalmente se gana 35,75 USD.

Tabla 54. Relación beneficio costo

TRATAMIENTOS	INGRESO TOTAL	COSTO TOTAL	B/C	RENTABILIDAD
T1	4567,77	3639,93	1,25	25,49
T2	3103,12	3600,08	0,86	-13,80
T3	4037,60	3713,58	1,09	8,73

Fuente y Elaboración: Jiménez R (2015).

En la presente investigación el tratamiento que presenta mayor beneficio neto es T1 con un valor de 3773,12 USD y una relación costo beneficio de 1,25 expresado en términos de rentabilidad de 25%; T2 presenta el menor beneficio neto con un valor de 2348,32 USD y una relación costo beneficio de 0,86 expresado en términos de rentabilidad de -13,80%.

VI. CONCLUSIONES

A. El mejor método para determinar los requerimientos hídricos del cultivo de Brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba es el lisímetro de drenaje (Tratamiento 1) ya que proporciona información directa del total de agua requerida pues considera la relación agua-suelo-planta-atmosfera.

B. Al no existir diferencias estadísticas en el rendimiento debido a la aplicación de los tratamientos; se determina que bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba la evapotranspiración del cultivo (Etc) de Brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) es de 142,5 mm.

C. El tratamiento que presenta menor huella hídrica es T1 (lisímetro de drenaje) con un valor de 46,75 l/kg mientras que T2 (cálculo empírico) y T3 (evapotranspiración de referencia) presentan un valor de 82,87 l/kg y 87,59 l/kg respectivamente.

D. Correlacionando parámetros de agua consumida con rendimiento las metodologías utilizadas para T2 (cálculo empírico) y T3 (evapotranspiración de referencia) sobreestiman dicho consumo en un 44,95 y 46,52 % respectivamente en relación a la metodología utilizada para T1 (lisímetro de drenaje).

E. El ciclo comercial del cultivo de Brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger), bajo las condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba; presenta valores de coeficientes de cultivo Kc ajustado de 0,28; 0,69; 0,77 y 0,67 para la etapa inicial, etapa de desarrollo, etapa intermedia y etapa final respectivamente.

F. El tratamiento que presenta la mayor Tasa de Retorno Marginal (TRM) es T1 con 3575,75%; lo que indica que por cada dólar que se invierte se recupera el dólar invertido y adicionalmente se gana 35,75 USD.

G. El tratamiento que presenta mayor beneficio neto es T1 con un valor de 3773,12 USD y una relación costo beneficio de 1,25 expresado en términos de rentabilidad de

25%; T2 presenta el menor beneficio neto con un valor de 2348,32 USD y una relación costo beneficio de 0,86 expresado en términos de rentabilidad de -13,80%

VII. RECOMENDACIONES

- A.** Debido a que los métodos indirectos sobrestiman la evapotranspiración, se recomienda utilizar la metodología de lisimetría para determinar requerimientos hídricos en los cultivos.

- B.** Validar los resultados del coeficiente de cultivo (K_c) de Brócoli (*Brassica oleracea*. L. *Var.* Avenger) bajo las condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba, con la finalidad de optimizar el buen uso y aplicación del agua de riego.

- C.** Desarrollar técnicas de modelación matemática para estimar la evapotranspiración en tiempo real del cultivo de brócoli bajo las condiciones de la Sierra Ecuatoriana.

- D.** Continuar con este tipo de estudios de manera suficiente para contar con datos confiables en la medida que durante el transcurso del estudio no haya ocurrido anomalía alguna que pueda alterar los resultados del mismo.

VIII. RESUMEN

La presente investigación propone: determinar los requerimientos hídricos del cultivo de brocoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo mediante la aplicación de dos métodos indirectos y uno directo. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres tratamientos y tres repeticiones: Método 1 (T1) láminas de riego determinadas por un lisímetro de drenaje; Método 2 (T2) láminas de riego determinadas por el cálculo empírico de la evapotranspiración del cultivo (EtcE); Método 3 (T3) láminas de riego determinadas por el cálculo de la evapotranspiración de referencia (Eto); para el cumplimiento de las láminas de riego establecidas por cada tratamiento se instaló un sistema de riego a goteo autocompensado para evaluar la incidencia de los tratamientos, las frecuencias de riego para T1 en el periodo que el drenaje del lisímetro cesó, mientras que T2 y T3 se trabajó con un abatimiento del 20% de la humedad aprovechable. También se determina y ajustan valores de coeficiente de cultivo (Kc) para cada etapa fenológica. Las variables evaluadas fueron: número de hojas, altura de la planta, días a la aparición de la pella, días al inicio de cosecha, diámetro de la pella, peso de la pella, rendimiento por categorías en parcela neta, rendimiento total por parcela neta, rendimiento en kg/ha, porcentaje de materia seca, correlación entre agua utilizada y rendimiento. Los valores de coeficientes de cultivo Kc ajustado fueron: 0,28; 0,69; 0,77 y 0,67 para la etapa inicial, de desarrollo, intermedia y final respectivamente. Se concluye que el mejor método para determinar los requerimientos hídricos de este cultivo, es el lisímetro de drenaje (Tratamiento 1) ya que proporciona información directa del total de agua requerida pues considera la relación agua-suelo-planta-atmosfera presentando un requerimiento hídrico de 142,5 mm en su ciclo comercial.

Palabras claves:

Evapotranspiración de referencia, evapotranspiración del cultivo, láminas de riego, lisímetro de drenaje, coeficiente de cultivo.



IX. ABSTRACT

The present investigation proposes to determine the hydric requirements of the broccoli (*Brassica oleracea* L. *Var.* Avenger) crop, under the soil and weather conditions in the Country of Riobamba, Province of Chimborazo by using the application of two indirect methods and one direct method. A block desing was used in full random with three treatments and three repetitions: Method 1 (T1) of determined by a draining lysimeter; Method 2 (T2) of determined by the empiric calculus of the evapotranspiration of the crop (EtcE); Method 3 (T3) determined by the established per each treatment, a watering system to dropping was installed for T1 irrigation films till the draining of the lysimeter ceased, meanwhile T2 and T3 worked with an of 20% of useful moisture. Furthermore, it is determined and adjusted the values of the crop coefficient (cK) per each phenological state of the commercial cycle of crop. The evaluated variables were: number of leaves, height of the plant, days to the appearing of the lump, days to the beginning of harvesting, diameter of the lump, weight of the lump, performance per categories in net parcel, total performance per net parcel, performance in kg/ha, percentage of dry metter, correlation between used water amd performance. The values of he adjusted crop coefficients cK were: 0,28; 0,69; 0,77; and 0,67 for the initial stage of development, intermediate, and the final respectively. It is concluded that the best method to determine the hydric requirements of this crop, it is the draining lysimeter (Treatment 1) since it brings direct information of the total of required water that is Considered the relation water-soil-plant-atmosphere presenting a hydric requirement of 142,5 mm in its commercial cycle.

Evapotranspiration of reference, Evapotranspiration of crop, films of watering, lysimeter of draining, crop coefficient.



X. BIBLIOGRAFÍA

1. Agro-Bio. (2009, Noviembre). *Agro-Bio*. Cultivos tolerantes a la sequía, el desarrollo biotecnológico de las próximas décadas. Recuperado <http://www.agrobio.org/bfiles/agro-biofile-7.pdf>
2. Apacla, R. & Huachos, R. (2008). *Necesidades de agua y evaluación de los sistemas de riego intermitente y continuo en el cultivo de brócoli*. Recuperado de http://ceer.isa.utl.pt/cyted/brasil2008/posters/Poster_RApacla.pdf
3. Arteaga, M, (2012). *Aclimatación de 12 Híbridos de Brócoli (Brassica oleracea. L. Var. Itálica) en el cantón Riobamba provincia de Chimborazo*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
4. Bonierbale, M. De Haan, S. & Forbes, A. 2007 Procedures for standard evaluation trials of advanced potato clones. An International Cooperators' Guide. International Potato Center (CIP), Lima - Perú.
5. Bustamante, W. et al. (2012). Efecto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos. *Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático*. México DF- México. 77-78pp.
6. Bustos, M. (2006). *Tecnología apropiada para la producción de brócoli*. Quito. Gráficas Ulloa. 180p.
7. Cely, G. (2010). *Determinación de parámetros de riego para el cultivo cebolla de bulbo en el distrito de riego alto Chicamocha*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
8. Cruz, C. (2015). *Conceptos básicos de Riego*. Recuperado de http://www.cadenahortofructicola.org/admin/tecno/23sistemas_de_riego_colpos.pdf
9. Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción. (2012). *Boletín Técnico N°1 Necesidades de agua de los cultivos*. Recuperado de

<http://www.centrodelagua.cl/documentos/difusion-documentos/BOLET%3%8DN%20T%3%89CNICO%20N%C2%B01.pdf>

10. Díaz, C. & Jaramillo, J. (2006). *El cultivo de crucíferas Brócoli, coliflor, col repollo y china* (Manual técnico N 20). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.. 30-40 pp.
11. Diccionario Manual de la Lengua Española (2005), *Evapotranspiración*. Madrid: Editorial, S.L.
12. Enciso, L. (2005). *Sensores de Humedad del Riego para eficientizar el riego*. Cooperativa de Texas. 2 – 6 pp.
13. Ekanayake, I. (1994). *CIP Research 30, studying drought stress and irrigation requirements of potatoes*. Lima.
14. 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>
15. Fernández, D., Martínez, M., Tavarez, C., Castillo, R., & Salas, R. (2010). SAGARPA. *Estimación de las Demandas de consumo de Agua*. Recuperado de http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/INSTRUCTIVO_DEMANDAS%20DE%20AGUA.pdf
16. Fuente, A. (2006). *Programación de riego con tensiómetros*. Recuperado de <http://www.tensiometrosuelo/agua.html>
17. Garay, O. (2009). *Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos*. 3-19pp
18. García, Y. (2002). *Determinación del requerimiento Hídrico de la cebolla (Allium cepa L.) en condiciones edafoclimáticas del valle de Quibor, Edo. Lara*. Universidad de los Andes, Merida, Venezuela.
19. García, M. Puppo, L. Hayashi, R. & Morales, P. (2015). *Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo*. Recuperado de

<http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Metodologia%20para%20determinar%20los%20parametros%20hidricos%20de%20%20un%20suelo%20a%20campo.pdf>

20. Giardini, (2004). *Humedad en el suelo*. Recuperado de www.visionlearning.com
21. González J. 2010. *Horticultivos: Manejo de agua y nutrición del cultivo de brócoli*. Recuperado de <http://horticultivos.com/manejo-del-agua-y-nutricion-del-cultivo-de-brocoli/>
21. Hargreaves, G. & Merkle, G. (2000). *Fundamentos del riego*. Water resource publications, llc. Centro internacional de riego. Utha.
22. Haro, M. & Maldonado, L. (2009). *Guía Técnica para el cultivo de Brócoli en la Serranía Ecuatoriana*. Riobamba. Editorial Pedagógica Freire 8-67pp.
23. Hidalgo, D. (2008). *Diseño, evaluación e instalación de un sistema de riego*. Lima – Perú. pp 15 – 21.
24. Hurtado, L. (2002). *Fundamentos del riego*. Recuperado de http://agricola-unl.com/pdf/Fundamentos_Riego.pdf
25. Jara, J. & Valenzuela, A. (2000). *Necesidad de agua de los cultivos*. Recuperado de <http://www.fotosintese.net/pdf/Necesidades%20de%20Agua%20de%20los%20Cultivos.pdf>
26. León J. & Trezza R. (1998). *Determinación de evapotranspiración del cultivo y Kc*. Centro Internacional de Riegos. Utah. 3 – 18 pp.
27. León, J. (2012). *Riegos y drenajes*. Primera Edición. Editorial E – COPYCENTER. Riobamba. pp 13 – 57.
28. MAE. (2013). *Proyecto de Adaptación al Cambio Climático, a través de una Efectiva Gobernabilidad del agua en el Ecuador (PACC)*. Recuperado de <http://www.pacc-ecuador.org/recursos-hidricos/contexto-nacional/>
29. MAGAP. (2011). *Plan Nacional de Riego y Drenaje. Breves elementos del contexto mundial del agua, el riego y la agricultura*. Recuperado de <http://rrnn.tungurahua.gob.ec/documentos/ver/518d6325bd92eabc15000002>

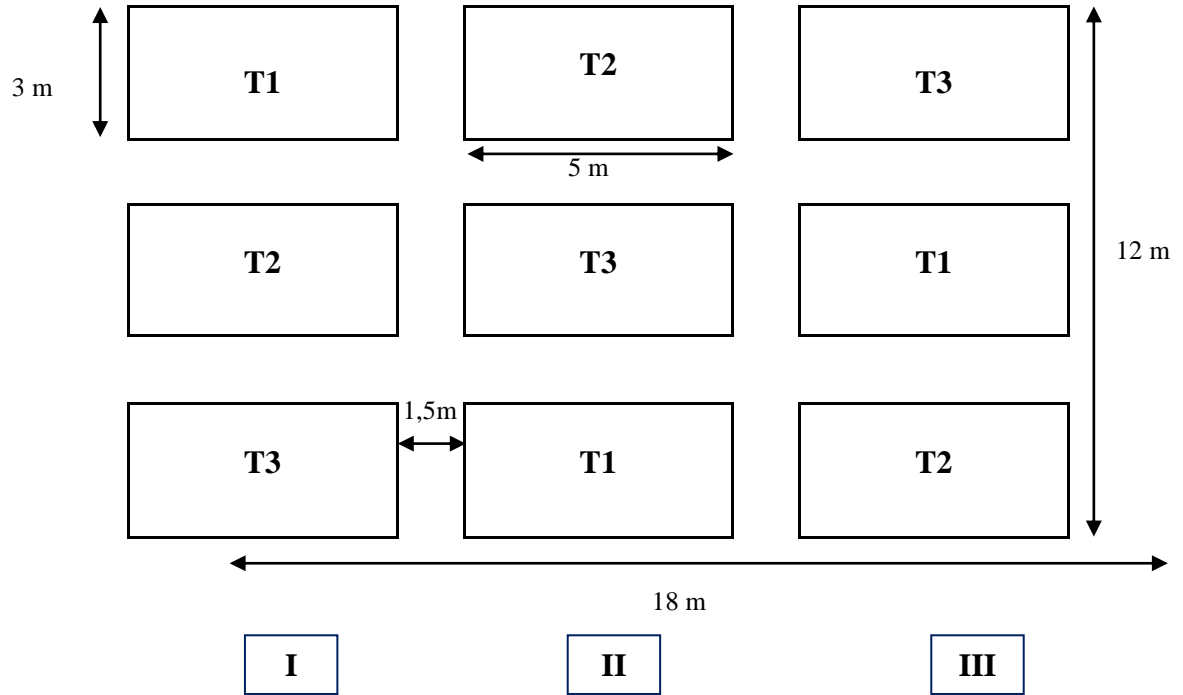
30. Martínez, A. (2004). *Necesidades hídricas en cultivos hortícolas*. Recuperado de http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh177/034_041.pdf
31. Navejas, J. Nieto, A. Fraga, H. Rueda, E. & Ávila, N. (2011). Comparación de métodos para estimar la evapotranspiración en una zona árida citrícola 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#>
32. Olmo, M. (2015). *Humedad Relativa*. Recuperado de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/kinetic/relhum.html>
33. O'meara, L. (2012). *La importancia del agua para las plantas*. Recuperado de http://www.ehowenespanol.com/importancia-del-agua-plantas-sobre_87645/
34. Orozco, A. (2010). Uso eficiente del agua de riego mediante sondas de capacitancia. *Aqua-LAC*, 2(1), 57. Recuperado de <http://www.unesco.org.uy/ci/fileadmin/phi/aqualac/Orozco.pdf>
35. Orozco, A. (2007). *Determinación de régimen de riego para manzano bajo microaspersión mediante el uso de estaciones meteorológicas y sondas de capacitancia*. Recuperado de <http://www.unifrut.com.mx/archivos/simposiums/simposium/2012/7d.pdf>
36. Ortiz, R. (2012). *El Cambio Climático y la producción Agrícola*. Recuperado de <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36736182>
37. Pardos, A. (2004). Respuesta de las plantas al anegamiento del suelo. *Invest Agrar*, Fuera de serie, 101-107. Recuperado de [http://www.inia.es/gcontrec/pub/101-107-\(05\)-Respuestas_1162210193281.pdf](http://www.inia.es/gcontrec/pub/101-107-(05)-Respuestas_1162210193281.pdf)
38. Peña, R. (2013). *Evaluación agronómica de seis genotipos de papa (Solanum spp.) con tolerancia al déficit hídrico*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
39. Pérez, G. (2015). Ciclo Hidrológico, precipitación. Recuperado de <http://www.ciclohidrologico.com/precipitacin>

40. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. (2006). *2º Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo*. Recuperado de <https://www.iaea.org/technicalcooperation/documents/Factsheets/Water-Spanish.pdf>
41. Roque, R. (2015). Agencia de Medio Ambiente de Cuba. *Efectos del riego y drenaje en el medio ambiente y la sostenibilidad de las tierras agrícolas*. Recuperado de <http://www.ama.cu/index.php/noticias/110-efectos-del-riego-y-drenaje-en-el-medio-ambiente-y-la-sostenibilidad-de-las-tierras-agricolas?limitstart=0>
42. SAGARPA. (2011). *Monografía de cultivos (Brócoli)*. Recuperado de <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Estudios/Documents/monografias/brocoli.pdf>
43. Salisbury, F.(2000). *Fisiología de las plantas. Células: agua, soluciones y superficies*. Paraninfo. Madrid.
44. SENASA. (2004). *Parámetros de producción del Brócoli*. Recuperado de http://www.senasa.com/docs/pliegos/PC_034_2005_Brócoli.pdf.
45. SIGNIFICADOS. (2015). *Significados de evaporación*. Recuperado de <http://www.significados.com/evaporacion/>
46. SINAGAP. (2013). *Brócoli: Boletín situacional*. Recuperado de <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/BoletinesCultivos/Brocoli.pdf>
47. Tuñón, J. (2000). *Determinación experimental del balance hídrico del suelo y evaluación de la contaminación asociada a las prácticas agrícolas*. Universidad Jaume I, Castellón, España.
48. Vallejo, J. (2013). *Elaboración de un manual guía técnico práctico del cultivo de hortalizas de mayor importancia socio-económica de la región interandina*. Universidad central del Ecuador, Quito, Ecuador.

49. Villalobos, S. Castellanos, J. Tijerina, L. & Crespo, G. (2005). Coeficientes de desarrollo del cultivo de brócoli con riego por goteo. *Terra Latinoamericana*,23(3), 329-333. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/573/57311101004.pdf>
50. Villalobos, S. Castellanos, J. Tijerina, L. & Crespo, G. (2005). Efecto de la tensión de humedad en el suelo sobre rendimiento y calidad del brócoli con riego por goteo. *Terra Latinoamericana*,23(3), 321-328. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311101003>
51. 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. Recuperado de <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/19/3/art281-291.pdf>
52. WordReference. (2005). *Drenaje*. Recuperado de <http://www.wordreference.com/definicion/drenaje>
53. Zambrano, A. Revista el Agro. (2012, Septiembre).Exportación de brócoli estable. *El Agro*. Recuperado de <http://www.revistaelagro.com/2013/01/18/exportacion-de-brocoli-estable/>

XI. ANEXOS

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



ANEXO 2. Análisis físico químico del suelo.

 INIAP INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
--	---	---

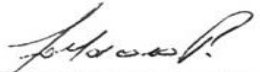
REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : ROBIN PEÑA Dirección : RIOBAMBA Ciudad : Teléfono : Fax :	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : CAMPUS MACAJI Provincia : CHIMBORAZO Cantón : RIOBAMBA Parroquia : LICAN Ubicación : ING. JORGE RIVADENEIRA	PARA USO DEL LABORATORIO Cultivo Actual : PAPA Fecha de Muestreo : 21/03/2013 Fecha de Ingreso : 26/03/2013 Fecha de Salida : 09/04/2013
--	--	---

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm				
			NH4	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
46370	LOTE 1 CR	7,48 PN	33,00 M	20,00 M	8,70 B	0,35 M	7,70 M	2,90 A	0,3 B	5,8 A	31,0 M	7,5 M	0,70 B
46371	LOTE 2 SR	7,70 LAI	29,00 B	31,00 A	12,00 M	0,28 M	8,40 A	4,00 A	0,5 B	6,3 A	29,0 M	7,8 M	0,80 B

INTERPRETACION			
pH		Elementos	
Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo	
LAc = Liger. Acido	LAI = Lige. Alcalino	M = Medio	
PN = Prac. Neutro	AI = Alcalino	A = Alto	
	RC = Requieren Cal	T = Tóxico (Boro)	

METODOLOGIA USADA			
pH = Suelo: agua (1:2,5)	P K Ca Mg = Olsen Modificado		
S, B = Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn = Olsen Modificado		
	B = Curcumina		


 RESPONSABLE LABORATORIO


 LABORATORISTA

ANEXO 3. Número de hojas a los 15 DDT

Tratamientos	Repeticiones	Número de hojas	Suma	Promedio
T1	I	5,7	15,70	5,23
	II	4,9		
	III	5,1		
T2	I	4,3	14,00	4,67
	II	5,1		
	III	4,6		
T3	I	4,6	13,30	4,43
	II	4,1		
	III	4,6		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 4. Número de hojas a los 30 DDT

Tratamientos	Repeticiones	Número de hojas	Suma	Promedio
T1	I	8,8	25,50	8,50
	II	8,1		
	III	8,6		
T2	I	7,6	23,30	7,77
	II	8,0		
	III	7,7		
T3	I	8,0	23,40	7,80
	II	7,8		
	III	7,6		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 5. Número de hojas a los 45 DDT

Tratamientos	Repeticiones	Número de hojas	Suma	Promedio
T1	I	10,6	30,90	10,30
	II	10,5		
	III	9,8		
T2	I	8,5	26,60	8,87
	II	9,3		
	III	8,8		
T3	I	10,4	29,10	9,70
	II	9,3		
	III	9,4		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 6. Número de hojas a los 60 DDT

Tratamientos	Repeticiones	Número de hojas	Suma	Promedio
T1	I	16,8	40,10	13,37
	II	12,4		
	III	10,9		
T2	I	9,6	33,90	11,30
	II	12,3		
	III	12,0		
T3	I	11,4	34,80	11,60
	II	10,5		
	III	12,9		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 7. Número de hojas a los 75 DDT

Tratamientos	Repeticiones	Número de hojas	Suma	Promedio
T1	I	19,1	61,23	20,41
	II	22,3		
	III	19,8		
T2	I	16,6	49,30	16,43
	II	17,6		
	III	15,1		
T3	I	19,5	49,70	16,57
	II	13,8		
	III	16,4		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 8. Altura de la planta a los 15 DDT

Tratamientos	Repeticiones	Altura (cm)	Suma	Promedio
T1	I	7,32	22,13	7,38
	II	7,18		
	III	7,63		
T2	I	7,01	21,23	7,08
	II	7,20		
	III	7,02		
T3	I	7,65	21,52	7,17
	II	6,81		
	III	7,06		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 9. Altura de la planta a los 30 DDT

Tratamientos	Repeticiones	Altura (cm)	Suma	Promedio
T1	I	17,90	52,68	17,56
	II	17,24		
	III	17,54		
T2	I	16,81	50,32	16,77
	II	16,38		
	III	17,13		
T3	I	17,11	50,23	16,74
	II	16,21		
	III	16,91		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 10. Altura de la planta a los 45 DDT

Tratamientos	Repeticiones	Altura (cm)	Suma	Promedio
T1	I	38,05	110,64	36,88
	II	37,26		
	III	35,33		
T2	I	32,30	95,48	31,83
	II	32,04		
	III	31,14		
T3	I	35,40	105,01	35,00
	II	34,73		
	III	34,88		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 11. Altura de la planta a los 60 DDT

Tratamientos	Repeticiones	Altura (cm)	Suma	Promedio
T1	I	40,94	120,22	40,07
	II	40,48		
	III	38,80		
T2	I	34,51	106,98	35,66
	II	37,47		
	III	35,00		
T3	I	38,41	116,15	38,72
	II	39,19		
	III	38,55		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 12. Altura de la planta a los 75 DDT

Tratamientos	Repeticiones	Altura (cm)	Suma	Promedio
T1	I	44,88	133,33	44,44
	II	44,90		
	III	43,55		
T2	I	38,70	118,55	39,52
	II	40,25		
	III	39,60		
T3	I	44,55	130,40	43,47
	II	42,90		
	III	42,95		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 13. Días a la aparición de la pella

Tratamientos	Repeticiones	DDT	Suma	Promedio
T1	I	64	184,00	61,33
	II	60		
	III	60		
T2	I	68	203,00	67,67
	II	68		
	III	67		
T3	I	65	195,00	65,00
	II	65		
	III	65		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 14. Días al inicio de cosecha

Tratamientos	Repeticiones	DDT	Suma	Promedio
T1	I	82	242,00	80,67
	II	80		
	III	80		
T2	I	92	266,00	88,67
	II	87		
	III	87		
T3	I	88	261,00	87,00
	II	88		
	III	85		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 15. Diámetro de la pella

Tratamientos	Repeticiones	Diámetro (cm)	Suma	Promedio
T1	I	14,86	43,27	14,42
	II	15,25		
	III	13,16		
T2	I	13,31	40,30	13,43
	II	13,50		
	III	13,49		
T3	I	14,09	41,56	13,85
	II	13,86		
	III	13,61		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 16. Peso de la pella

Tratamientos	Repeticiones	Peso (g)	Suma	Promedio
T1	I	542,79	1497,29	499,10
	II	597,30		
	III	357,20		
T2	I	320,45	1042,53	347,51
	II	364,28		
	III	357,80		
T3	I	453,60	1295,76	431,92
	II	430,56		
	III	411,60		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 17. Rendimiento de pellas grandes por parcela neta

Tratamientos	Repeticiones	Rendimiento (kg)	Suma	Promedio
T1	I	6,31	21,67	7,22
	II	9,50		
	III	5,86		
T2	I	2,75	10,65	3,55
	II	5,50		
	III	2,39		
T3	I	7,63	17,34	5,78
	II	5,31		
	III	4,41		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 18. Rendimiento de pellas medianas por parcela neta

Tratamientos	Repeticiones	Rendimiento (kg)	Suma	Promedio
T1	I	1,87	5,50	1,83
	II	0,95		
	III	2,68		
T2	I	1,34	5,51	1,84
	II	2,88		
	III	1,28		
T3	I	1,55	6,08	2,03
	II	2,36		
	III	2,16		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 19. Rendimiento de pellas pequeñas por parcela neta

Tratamientos	Repeticiones	Rendimiento (kg)	Suma	Promedio
T1	I	1,17	2,99	1,00
	II	0,69		
	III	1,12		
T2	I	2,64	6,04	2,01
	II	0,91		
	III	2,50		
T3	I	1,38	3,44	1,15
	II	0,88		
	III	1,18		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 20. Rendimiento total por parcela neta

Tratamientos	Repeticiones	Rendimiento (kg)	Suma	Promedio
T1	I	9,35	30,16	10,05
	II	11,14		
	III	9,66		
T2	I	6,73	22,20	7,40
	II	9,30		
	III	6,17		
T3	I	10,56	26,86	8,95
	II	8,55		
	III	7,75		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 21. Rendimiento total en kilogramos por hectárea (kg/Ha)

Tratamientos	Repeticiones	Rendimiento (kg/Ha)	Suma	Promedio
T1	I	20057,55	64692,83	21564,28
	II	23903,02		
	III	20732,25		
T2	I	14429,34	47617,25	15872,42
	II	19954,58		
	III	13233,33		
T3	I	22659,81	57617,60	19205,87
	II	18333,80		
	III	16623,99		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 22. Porcentaje de materia seca

Tratamientos	Repeticiones	Materia seca (%)	Suma	Promedio
T1	I	14,45	44,64	14,88
	II	14,04		
	III	16,15		
T2	I	15,50	46,34	15,45
	II	14,47		
	III	16,37		
T3	I	15,69	43,27	14,42
	II	13,80		
	III	13,78		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015

ANEXO 23. Huella hídrica

Tratamientos	Repeticiones	Huella hídrica (m ³ /Tn)	Suma	Promedio
T1	I	49,97	140,23	46,74
	II	41,93		
	III	48,34		
T2	I	88,37	248,62	82,87
	II	63,90		
	III	96,35		
T3	I	73,01	262,78	87,59
	II	90,24		
	III	99,52		

Fuente: Datos registrados, 2015

Elaboración: Jiménez R, 2015