

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**



**CARRERA: INGENIERÍA AGRÓNOMICA**

**TÍTULO DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:**

“COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN DE RIEGO PARA EL  
CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* Var. *Itálica*).”

Documento Final del Proyecto de Investigación como requisito para obtener el grado  
de Ingeniero Agrónomo

**AUTOR:**

KATHERINE GABRIELA VALENZUELA COBA

**TUTOR:**

ING. ALBERTO C. GUTIÉRREZ A.

**CEVALLOS**

**2018**

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

La suscrita, **KATHERINE GABRIELA VALENZUELA COBA**, portador de cédula de identidad número: **040181469-4**, libre y voluntariamente declaro que el Informe Final del Proyecto de investigación titulado: “COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* Var. *Itálica*).” es original, autentico y personal.

En tal virtud, declaro que el contenido es de mi sola responsabilidad legal y académica, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas.

.....  
Katherine Gabriela Valenzuela Coba

## DERECHOS DE AUTOR

Al presentar este Informe Final del Proyecto de Investigación titulado “COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* Var. *Itálica*).” como uno de los requisitos previos para la obtención del título de grado de Ingeniera Agrónoma, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato, autorizo a la Biblioteca de la Facultad, para que este documento esté disponible para su lectura, según las normas de la Universidad.

Estoy de acuerdo en que se realice cualquier copia de este Informe Final, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica potencial.

Sin perjuicio de ejercer mi derecho de autora, autorizo a la Universidad Técnica de Ambato la publicación de este Informe Final, o de parte de él”.

---

Katherine Gabriel Valenzuela Coba

“COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* Var. *Itálica*).”

**REVISADO POR:**

---

Ing. Mg. Alberto Cristóbal Gutiérrez Albán  
**TUTOR**

---

Ing. Mg. Luciano Valle Velasteguí  
**ASESOR DE BIOMETRÍA**

**APROBADO POR LOS MIEMBROS DE CALIFICACIÓN**

**FECHA**

.....  
Ing. Hernán Zurita  
**PRESIDENTE TRIBUNAL**

.....  
Ing. Luciano Valle  
**MIEMBRO DE TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN**

.....  
Ing. Jorge Dobronski  
**MIEMBRO DE TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN**

## AGRADECIMIENTOS

### **“La gratitud es el don máspreciado de las almas nobles”**

Gracias Dios por guiar mis pasos durante el cumplimiento de mis sueños y objetivos.

A mi abuela materna por siempre apoyarme, brindarme amor y darme las fuerzas necesarias para seguir luchando en mi camino.

A mis padres y hermanos por ser el pilar fundamental para la culminación de mis estudios.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería Agronómica que con esfuerzo, responsabilidad y dedicación impartieron conocimientos fundamentales en mi formación académica.

De manera especial a mi tutor el Ing. Mg. Alberto Gutiérrez, quien me ha brindado su amistad, confianza y apoyo para cumplir mi objetivo y también por ser mi guía en mi trabajo de investigación para que este se realice con éxito. De igual manera al Ing. Mg. Luciano Valle asesor de biometría y al Ing. Mg. Jorge Dobronski asesor de redacción técnica.

A la Ing. Yolanda Freire técnica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología Campus Querochaca por su colaboración en la toma de datos climáticos.

Al Ing. Paul Corrales por ser mi apoyo durante la ejecución del proyecto de investigación.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía, en especial a mi mejor amiga Paola Villacreses por cuidarme y brindarme su apoyo incondicional durante toda mi carrera universitaria, infinitas gracias.

KATHERINE GABRIELA VALENZUELA COBA

## **DEDICATORIA**

### **A veces miro al cielo, sonrío y digo “Yo sé que fuiste Tú”**

A ti Dios, por bendecirme con una gran familia, por poner en mi camino personas maravillosas que han sido mi mayor bendición en mi vida.

A mi abuela María Ubaldina Coba por estar siempre conmigo, por ser mi segunda madre, compañera y confidente, por alentarme siempre para cumplir mis sueños, a mis tíos Roger y Janeth Coba quienes me brindaron su apoyo incondicional compartiendo momentos de felicidad durante mi vida profesional.

A mi madre Bélgica Coba por su ejemplo de trabajo, perseverancia y amor por la vida, a mi padre Manuel Valenzuela quien con cariño y firmeza me exigía ser cada día mejor, ellos siendo mi razón de vida han sido mi apoyo fundamental para llegar a ser lo que siempre anhele.

A mis hermanos Fernanda, Mónica, Javier y Brayan quienes son mi inspiración y fortaleza para seguir adelante.

A Mis sobrinos Maikel y Camilo quien con sus travesuras alegran mi vida, son la grandeza de las cosas pequeñas que me impulsan a seguir firme en el camino.

A la familia Gutiérrez Albán y Villacreses Pallo quienes me brindaron amor, apoyo y confianza en todo momento, por permitirme compartir momentos especiales y darme aliento a seguir luchando por mis sueños.

**KATHERINE GABRIELA VALENZUELA COBA**

## INDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>3</b>
<b>REVISIÓN DE LITERATURA O MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2. CATEGORIAS FUNDAMENTALES</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2.1. VARIABLE INDEPENDIENTE</b> .....	<b>7</b>
Programación de riego .....	<b>7</b>
<b>2.2.2. VARIABLE DEPENDIENTE</b> .....	<b>14</b>
Crecimiento Vegetal y Producción.....	<b>14</b>
<b>2.2.3. UNIDAD DE ANÁLISIS</b> .....	<b>17</b>
Cultivo de brócoli.....	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>22</b>
<b>HIPÓTESIS Y OBJETIVOS</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1. HIPÓTESIS</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2. OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>22</b>
<b>3.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>22</b>
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>23</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>23</b>
<b>4.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO</b> .....	<b>23</b>
<b>4.2. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR</b> .....	<b>23</b>
<b>4.2.1. Clima</b> .....	<b>23</b>
<b>4.2.2. Agua</b> .....	<b>23</b>
<b>4.2.3. Suelo</b> .....	<b>23</b>
<b>4.3. EQUIPOS Y MATERIALES</b> .....	<b>24</b>
<b>4.3.1. Equipos</b> .....	<b>24</b>
<b>4.3.2. Materiales</b> .....	<b>24</b>
<b>4.4. FACTORES EN ESTUDIO</b> .....	<b>24</b>
<b>4.5. TRATAMIENTOS</b> .....	<b>25</b>
<b>4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b> .....	<b>25</b>
<b>4.7. MANEJO DEL EXPERIMENTO</b> .....	<b>25</b>
<b>4.7.1. Determinación de la textura del suelo</b> .....	<b>25</b>

4.7.2.	Cálculo de la dosis de riego .....	25
4.7.3.	Cálculo de Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP) .....	26
4.7.4.	MANEJO DEL CULTIVO .....	27
4.8.	VARIABLES RESPUESTAS.....	28
4.8.1.	Profundidad Radicular.....	28
4.8.2.	Altura de Planta .....	28
4.8.3.	Área Foliar.....	29
4.8.4.	Diámetro de pella .....	29
4.8.5.	Peso de la pella.....	29
4.8.6.	Rendimiento.....	29
4.9.	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN .....	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		30
5.1.	Variables agronómicas evaluadas en los tratamientos .....	30
5.2.	Programación de métodos de riego para el cultivo de Brócoli ( <i>Brassica     oleracea var. Itálica</i> ).....	34
CAPÍTULO VI.....		35
CONCLUSIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS .....		35
6.1.	CONCLUSIONES .....	35
6.2.	BIBLIOGRAFÍA .....	35
6.3.	ANEXOS .....	41
CAPÍTULO VII.....		49
PROPUESTA .....		49
7.1.	DATOS INFORMATIVOS .....	49
7.2.	ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA .....	49
7.3.	JUSTIFICACIÓN .....	49
7.4.	OBJETIVOS .....	50
7.5.	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD .....	50
7.6.	FUNDAMENTACIÓN.....	50
7.7.	METODOLOGÍA, MODELO OPERATIVO .....	50
7.7.1.	Determinación de la textura del suelo.....	50
7.7.1.	Medición de caudales de las cintas de goteo .....	51
7.7.2.	Preparación del terreno.....	51
7.7.3.	Transplante.....	51
7.7.4.	Aplicación de fertilizantes .....	51
7.7.5.	Deshierba y Aporques.....	51



7.7.6. Control de plagas y enfermedades.....	52
7.7.7. Cosecha .....	52
7.8. ADMINISTRACIÓN .....	52
7.9. PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN .....	52

### INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> RENDIMIENTO DE BRÓCOLI EN EL ECUADOR.....	16
<b>Tabla 2.</b> CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL BRÓCOLI ( <i>Brassica oleracea</i> <i>var. itálica</i> ).....	17
<b>Tabla 3.</b> DESEMPEÑO DE LAS VARIABLES AGRONÓMICAS DEL CULTIVO DE BRÓCOLI.....	33

### INDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Figura 1.</b> Volumen de agua aplicada durante el ciclo del cultivo mediante las programaciones de los métodos de riego T1 y T2. ....	34
---	----

### INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Datos del suelo. ....	41
<b>Anexo 2.</b> Profundidad radículas (cm), cada 7 días después del transplante. ....	42
<b>Anexo 3.</b> Altura de planta (cm), 30 días después del transplante. ....	43
<b>Anexo 4.</b> Altura de planta (cm), 60 días después del transplante. ....	43
<b>Anexo 5.</b> Altura de planta (cm), en el momento de la cosecha. ....	43
<b>Anexo 6.</b> Área foliar (cm <sup>2</sup> ). A los 30,45, 60, y 70 días después del transplante. ....	43

<b>Anexo 7.</b> Diámetro de pella (cm), al momento de la cosecha. ....	44
<b>Anexo 8.</b> Peso de pella (g/m <sup>2</sup> ), al momento de la cosecha.....	44
<b>Anexo 9.</b> Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> ). ....	44
<b>Anexo 10.</b> Formación de camas y colocación de cintas de goteo.....	44
<b>Anexo 11.</b> Instalación de la sonda de humedad. ....	45
<b>Anexo 12.</b> Fertilización del cultivo de Brócoli.....	45
<b>Anexo 13.</b> Medición de profundidad radicular. ....	45
<b>Anexo 14.</b> Fumigación de la plantación de brócoli. ....	46
<b>Anexo 15.</b> Medición del diámetro de la pella del brócoli.....	46
<b>Anexo 16.</b> Fotografía para determinar área foliar.....	46
<b>Anexo 17.</b> Medición de altura de planta. ....	47
<b>Anexo 18.</b> Medición del peso de la pella en gramos. ....	48

## RESUMEN

El manejo del recurso hídrico agua es muy importante para la producción y rentabilidad de los cultivos. Sin embargo, la creciente escasez de recursos hídricos hace necesario implementar sistemas de riego eficientes para optimizar la eficacia en el uso del agua.

Este trabajo compara los requerimientos hídricos a través de la programación de métodos de riego en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*), mediante sonda de humedad Em50G (T2) y riego programado mediante ETc método del tanque evaporímetro clase "A" (T1). En donde la programación de riego T2 fue la que presentó mejores resultados con un rendimiento promedio de 22,42 t ha<sup>-1</sup> siendo mayor a 15,45 t ha<sup>-1</sup> del T1. De igual forma el T2 utilizó 19 riegos durante todo el ciclo del cultivo a comparación de 48 riegos aplicados en T1, con volumen de agua de 780 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y 1047,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectivamente, dando mayor eficiencia al uso de agua.

**PALABRAS CLAVE:** Programación, Cultivo de Brócoli, Riego, Híbrido Avenger.

## SUMMARY

The management of water resources is a very important topic for both the production and profitability of crops. However, considering the growing scarcity of water resources, it is necessary to design and implement more efficient irrigation strategies in order to optimize the water usage efficiency.

The aim of this work was the comparison of the water requirements through the programming of irrigation methods. The evaluated treatments were performed in broccoli crop (*Brassica oleracea* var. *Itálica*): humidity probe Em50G (T2) and irrigation programmed by ETc evaporimeter tank method "A" class (T1). The results suggest that the irrigation T2 shown the best results, with an average yield of 22, 42 t ha<sup>-1</sup> in comparison with T1 15, 45 t ha<sup>-1</sup>. Similarly, T2 used 19 irrigations during the entire crop cycle, compared with the 48 irrigations applied in T1, with a cumulative water volume of 780 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> and 1047, 5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectively. The overall results suggest that T2 shown a better performance in terms of water usage efficiency, in comparison with T1.

**KEYWORDS:** Programming, Cultivation of Broccoli, Irrigation, Avenger Hybrid

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso adherido a las múltiples actividades desde los orígenes de la humanidad teniendo una distribución desigual alrededor del mundo según la importancia que tiene para el hombre y para la economía, las antiguas culturas tenían como objetivo tener el agua bajo control, de tal manera que podían implementar sistemas públicos de riego y de suministro de agua potable, el crecimiento poblacional en el mundo, el volumen de agua disponible es limitado y la necesidad de este recurso cada vez es más grande, siempre que el ciclo de agua se repita podremos acceder a ella ya que es la base esencial de la vida, de la naturaleza, el medioambiente y por consecuente de la economía (Wolfgang, 2003).

Las estimaciones de la evapotranspiración de los cultivos son fundamentales dentro de la programación de riego (Allen, et al 2006) en base a medidas del estado hídrico de la planta (Pantoja, 2014) o bien en medidas de la humedad del suelo (Lantada, 2009) en relación a estos últimos, existen diversos sensores encargados del monitoreo constante del estado hídrico del suelo favoreciendo la toma de decisiones en tiempo real para la programación de los riegos con precisión.

Para determinar la eficiencia en el uso del agua de riego, es fundamental saber 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 (Allen, et al 2006), estimar estos componentes puede resultar bastante complicado, debido a la cantidad de factores del clima, del suelo y del cultivo que intervienen (FAO, 2006).

Para grandes zonas de riego, la programación del riego debe ser efectiva con modelos de fácil implementación en sistemas computarizados, que permitan el ajuste de la frecuencia y cantidad del riego basada en factores del suelo, ambiente, planta y manejo del riego (Iñiguez y Ojeda, 2013). Por otra parte, programando el calendario de riego diariamente, lograremos predecir la dinámica de la humedad del suelo al valorar las entradas y salidas de agua diarias en la zona radical. La determinación del

requerimiento de agua del cultivo y el régimen de riego más apropiado permite conocer las necesidades hídricas reales de la planta, de tal manera que permita mantener altos niveles de productividad eludiendo los excesos de agua y a su vez logrando un desarrollo sustentable del cultivo bajo riego (Iñiguez y Ojeda, 2013).

La aplicación del Riego Deficitario Controlado (RDC), enfocado en disminuir el aporte de agua durante el período del cultivo menos sensible al déficit hídrico es una de las opciones para mejorar la eficiencia en el uso del agua. Para la aplicación adecuada del agua es necesario realizar un seguimiento del estado hídrico del cultivo, de tal manera que se puede ahorrar hasta el 20% de agua (Granero, Martí, y Turégano, 2011).

El brócoli se empezó a cultivar en la década de 1980 en pequeñas parcelas campesinas. Actualmente, la producción de brócoli en el Ecuador ha crecido notablemente, siendo la hortaliza con mayor tasa de exportación en el 2005 y 2013 con el 13% anual. En 2012 se produjeron 70 000 toneladas con un valor de 69 millones de dólares (Álvarez, Bravo, y Armendáris, 2014).

Hoy en día se sabe que el brócoli por tener un alto contenido de ácido fólico, proteínas, vitaminas, minerales, hidratos de carbono y grasas, puede ser muy importante en la nutrición y salud del hombre. Los beneficios de salud que este contiene, ha tenido una amplia aceptación en cuanto a su sabor y variedad (Arias, Rengifo y Jaramillo, 2007).

El objetivo de la programación de los riego es optimizar el uso del agua de modo que sea aplicada únicamente en el tiempo y en la cantidad necesaria mejorando la eficiencia del uso del agua a nivel predial. Al aumentar las áreas de cultivo bajo riego tecnificado en nuestro país, sobre todo donde la escases del agua es más pronunciada, puede incrementar rápidamente la cantidad de producto cosechado, de igual manera en regiones en donde existen excedentes de agua ayuda a corregir problemas de drenaje, lo que permite bajar las pérdidas de nutrientes a través de la percolación profunda y la contaminación de las aguas subterráneas.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA O MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Erdem, et al (2010), evaluaron el rendimiento y la calidad de brócoli (*Brassica oleracea L. var. Itálica*) en Turquía en los periodos de otoño y primavera en el año 2007 para lo cual tomaron en cuenta la cantidad de nitrógeno y de agua de riego aplicada por el método de goteo. El agua de riego fue aplicada basándose en el tanque evaporímetro clase A con los siguientes  $K_c = 0,50, 0,75, 1,00$  y  $1,25$  con 7 días de intervalo, Asimismo, compararon con cada tratamiento el efecto de cuatro niveles de nitrógeno ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $150 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $250 \text{ kg ha}^{-1}$ ). La evapotranspiración estacional en los tratamientos varió desde 233 mm a 328 mm y de 276 mm a 344 mm para estos periodos. Obtuvieron el mayor rendimiento de brócoli en el primer periodo  $11,02 \text{ t ha}^{-1}$ . En general, no existieron diferencias estadísticas en relación al efecto del nitrógeno con respecto al rendimiento y componentes del rendimiento y tampoco existieron entre los regímenes de riego. Se encontró que ambos parámetros y el rendimiento en el período de primavera fue mayor que la del período de otoño debido a la baja temperatura y altas lluvias. El riego con respecto a la eficiencia del uso del agua (IWUE) varió de  $3,78 \text{ kg m}^{-3}$  al  $14,61 \text{ kg m}^{-3}$  durante el período de primavera y de  $1,89 \text{ kg/m}^3$  a  $5,93 \text{ kg m}^{-3}$  en el período de otoño. Por otro lado, la eficiencia del uso del nitrógeno (NUE) cambió de 37,32 a 73,13% y 13,08 a 22,46% para la primavera y otoño, respectivamente.

Villalobos-Reyes, Castellanos-Ramos, y Tijerina-Chávez, (2005), determinaron en la región central de México los coeficientes de desarrollo del cultivo de brócoli en condiciones de riego por goteo. Trasplantaron brócoli cultivar Patriot a doble hilera en surcos separados a 1 m, con una distancia entre hileras de 25 cm y de 30 cm entre plantas. Se tuvieron seis tratamientos de tensión de humedad del suelo en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones: 1) Acolchado plástico a 28 kPa, 2) Seco a 45 kPa, 3) Semiseco a 36 kPa, 4) Medio a 28 kPa, 5) Semihúmedo a 20 kPa y 6) Húmedo a 12 kPa de tensión de humedad del suelo. Los coeficientes de desarrollo del cultivo asociados al máximo rendimiento fueron de 0,25; 0,38; 0,68; 0,84 y 0,77 para 20, 45, 60, 88 y 98 días después del transplante, respectivamente.

Peña, Chávez, Nolasco, y Pichardo, (2001) evaluaron métodos micro meteorológicos que estiman mejor la evapotranspiración (ET) en tiempo real para el cultivo de maíz (*Zea mays L.*), se compararon los métodos Thornthwaite–Holzman, Aerodinámico, Balance de energía (Relación de Bowen), Sistema de Bowen y Penman–Monteith, con la evapotranspiración medida en el lisímetro de pesada como referencia. El ensayo lo realizaron en el lote experimental del Colegio de Postgraduados donde se localiza la estación agrometeorológica. Para el registro de las variables meteorológicas utilizadas por cada uno de los métodos antes indicados instalaron dos estaciones automatizadas colocadas a 5 m del lisímetro de pesada en los lados este y oeste; dichas estaciones fueron equipadas con sensores de humedad, temperatura y velocidad del viento a 1,5 y 2,5 m de altura por arriba del nivel del suelo, quedando el más bajo a 0,25 m por encima del nivel del dosel del cultivo de maíz. Para estimar la temperatura del suelo midieron a 0,02 y 0,12 m de profundidad con los geotermómetros de la estación CR10, y con los geotermómetros del Sistema de Bowen midieron a 0,02; 0,06 y 0,08 m de profundidad. Ambas estaciones se programaron para registrar el promedio de las variables meteorológicas cada 20 minutos. Realizaron la comparación del cálculo de la evapotranspiración acumulada para cada día por los métodos indicados, con respecto a la medida en el lisímetro de pesada, la cual utilizaron como referencia. Los resultados indican que la evapotranspiración calculada por el método de Penman-Monteith, el Balance de energía y la medida con el Sistema de Bowen fueron los que mejor estimaron la ET.

Risco, et al (2018) evaluaron la respuesta del cultivo de dos híbridos de brócoli, Avenger (AV) y Domador (DOM) a tres dosis de riego, 50% de reposición de la evaporación del tanque clase A (R50), 100% de reposición (R100) y 150% de reposición (R150). Estos ensayos se realizaron en dos épocas: de febrero a mayo y de julio a octubre de 2016. El diseño experimental fue factorial con cuatro bloques y seis tratamientos. El momento óptimo de riego se determinó utilizando una sonda FDR. Durante el primer ensayo no se observaron diferencias en la producción entre los distintos tratamientos de riego, debido a las intensas lluvias y a la menor evapotranspiración, pero si hubo diferencias de producción entre el híbrido Domador (23.6 t ha<sup>-1</sup>) y Avenger (21.5 t ha<sup>-1</sup>). En el segundo ensayo, la producción fue mayor en R150 (40.5 t ha<sup>-1</sup>) que en R100 (28.2 t ha<sup>-1</sup>) y que en R50 (31.0 t ha<sup>-1</sup>) lo que

indica que en condiciones muy secas es necesario incrementar el aporte hídrico para satisfacer las necesidades del cultivo. Comparando ambos experimentos, la producción fue más alta y el área foliar menor en el segundo ensayo, lo que sugiere que el momento más adecuado para el cultivo de brócoli en los Andes ecuatorianos es la época de menores lluvias y mayor evapotranspiración.

Jiménez (2016), determinó los requerimientos hídricos del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*, L. Var. *Avenger*) bajo las condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba, provincia de Chimborazo mediante la aplicación de un método directo y dos métodos indirectos, utilizando un diseño de bloques completos al azar con tres tratamientos y tres repeticiones, teniendo así T1 lámina de riego determinadas por un lisímetro de drenaje, T2 láminas de riego determinadas por el cálculo empírico de la evapotranspiración del cultivo, T3 láminas de riego determinadas por el cálculo de la evapotranspiración de referencia, para el buen aprovechamiento de las láminas de riego colocadas en cada tratamiento se instaló un sistema de riego por goteo autocompensado para evaluar la incidencia de los tratamientos, las frecuencias de riego para T1 en el periodo de drenaje fueron suspendidas, mientras que T2 y T3 se trabajó con el 20% de la humedad aprovechable. También se determinan y ajustan los valores de Kc para cada etapa fenológica. Los valores de Kc ajustados fueron: 0,28; 0,69; 0,77 y 0,67 para la etapa inicial, de desarrollo, intermedia y final respectivamente. Según los datos obtenidos se concluye que el mejor método para determinar los requerimientos hídricos de este cultivo, es el lisímetro de drenaje (T1) 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.

Ferrándiz, (2017) estudió los requerimientos hídricos a través de la metodología del balance hídrico, con el consumo de agua aplicada mediante la programación del riego con sondas capacitivas FDR (*Frequency Domain Reflectometry*) en el cultivo de cerezo situadas en Cañada (Alicante), el riego mediante la programación de sensores de humedad realizado durante el periodo anual que abarca desde el 1 de julio de 2016 al 30 de junio de 2017, se consumieron 449,16 mm/ha en una plantación adulta de cerezas. Este consumo fue menor que el esperado en todo momento valor obtenido mediante el cálculo del balance hídrico con los datos agrometeorológicos de la zona.



Las necesidades o requerimiento hídrico del cultivo en base a los datos estudiados establecen un consumo anual de 970,25 mm/ha, en consecuencia, se pudo afirmar que mediante la programación del riego con sensores de humedad FDR (*Frequency Domain Reflectometry*) se realizó un riego deficitario a lo largo del estudio, que consumió un 46,3% de agua de riego menos de lo esperado.

Geisenhoff, et al (2015) evaluaron la productividad del brócoli de cabeza (*Brassica oleracea var. Itálica*, híbrido Lord Summer), aplicando diferentes sistemas de riego. El diseño experimental fue en bloques al azar, utilizando cuatro repeticiones y cinco tratamientos que corresponden a los sistemas de riego: goteo superficial, goteo subsuperficial, microaspersión, y aspersión convencional. Los parámetros estudiados fueron: diámetro de inflorescencia (DI), productividad comercial de inflorescencia (PCI) y productividad del agua (PA). El rendimiento de los sistemas se determinó por medios del coeficiente de uniformidad Christiansen (CUC) y coeficiente de uniformidad de distribución (CUD). El rendimiento de los sistemas de riego evaluados fueron directamente proporcional al aumento de DI, PCI y PA. El sistema de riego por goteo subsuperficial presentó mayor productividad en relación a los demás sistemas evaluados, y los mayores valores de DI ( $19,5 \pm 0,42$  cm), PCI ( $12,3 \pm 0,56$  t ha<sup>-1</sup>) y PA ( $5,2 \pm 0,20$  kg m<sup>-3</sup>) fueron obtenidos con la menor lámina aplicada durante el ciclo del cultivo (236,8mm).

Flores, et al (2012) aplicaron un modelo basado en el concepto grados día (°D), éste se ajusta automáticamente a las variaciones climáticas locales, lo cual permite determinar con mayor precisión el inicio de cada etapa fenológica del cultivo y sus correspondientes necesidades hídricas, incrementando así las eficiencias de riego obtiene un pronóstico del riego más preciso. Esta investigación se llevó a cabo en dos años agrícolas para el ciclo otoño-invierno (2005-2006 y 2006-2007) en el norte de Sinaloa, contando con un total de 23 parcelas (746.54 ha) de las cuales 12 fueron experimentales aplicándoles el modelo basado en el concepto grados día y las 11 restantes fueron testigo aplicándoles el sistema de pronóstico del riego en tiempo real (SPRITER-FAO) que utilizan algunos de los módulos de riego del Distrito 075 Río Fuerte. De esta forma se compararon las láminas de riego aplicadas (Lr a) y requeridas (Lr r) por las dos vías de pronóstico, obteniendo la eficiencia, así como la variación en el número de riegos debido a la variabilidad climática. Para el ciclo 2005-2006 y 2006-

2007, se obtuvo en parcelas experimentales de 7 y 9 Tn/ha más de rendimiento con respecto a las parcelas testigo, respectivamente, así como un 22.2 y 17.5% de mayor eficiencia en los riegos aplicados.

Vélez, et al (2007) en esta investigación aplicaron riego deficitario en una parcela de Clementina de Nules en el que se estudiaron tres programaciones diferentes de riego por goteo basadas en: información del suelo, información de la planta (dendrómetros) y riego deficitario fijo. Todas ellas se compararon con un control bien regado durante todo el año al 115% de la evapotranspiración de un lisímetro de pesada (ETlis) situado en la misma parcela. Los tratamientos diferenciales de riego, se aplicaron tras la caída fisiológica de frutos, durante el periodo de crecimiento del fruto, desde mediados de julio hasta octubre. Durante el resto del año todos los tratamientos se regaron al 115% de la ETlis. Al tratamiento regado con base en la información de la planta (MCD1.25) se le aplicó semanalmente un volumen de agua variable para mantener la máxima contracción diaria del tronco (MCD) en torno al 125% de la del control. Mientras fue posible programar el riego para mantener el valor del MCD en un 125% de la del control, en el tratamiento WMK, los sensores no respondieron a los ciclos de secado y humedecimiento por lo que no se pudo regar dicho tratamiento en base a los umbrales establecidos. Ningún tratamiento de riego difirió significativamente del control en cuanto a producción y calidad de la fruta, obteniéndose ahorros de agua en todos ellos cercanos a un 30%. Por lo tanto, no queda demostrado el valor añadido de regar en función de la información derivada de los dendrómetros.

## **2.2. CATEGORIAS FUNDAMENTALES**

### **2.2.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

#### **Programación de riego**

El objetivo de programar los riegos es mejorar el manejo del agua de tal modo que solo sea aplicada en el tiempo y en la cantidad necesaria, este proceso es usado para predecir las necesidades de agua de la planta basándose en las mediciones de la cantidad de humedad actual en el suelo y en los datos climatológicos registrados. Los

datos actuales de la humedad en el suelo nos permiten establecer las condiciones iniciales, y los datos climatológicos disponibles nos permiten extrapolar hacia el futuro dicha humedad en el suelo. En regiones en donde existe insuficiencia de agua esto puede dar como efecto una mejora inmediata en el total de la cantidad de producto cosechado al ampliar las áreas de cultivo bajo riego. En regiones en donde existe excedentes de agua puede ayudar a corregir problemas de drenaje los cuales son productos de un exceso en la cantidad del agua. Esta medida también puede ayudar a reducir la pérdida de nutrientes a través de la percolación profunda. La práctica de la programación de los riegos hace un agudo contraste con el proceso de regar de acuerdo con un predeterminado intervalo (García y Briones, 2007).

## **Riego**

Aporte de agua a la tierra por diferentes métodos para facilitar el desarrollo de las plantas. Se ejerce en todas aquellas partes del mundo donde las precipitaciones no proveen suficiente humedad al suelo o bien donde se quieren establecer cultivos de regadío. En las zonas secas, el riego debe manejarse desde el momento en que se siembra el cultivo. En regiones de pluviosidad irregular, se usa en los ciclos secos para asegurar las cosechas y aumentar el rendimiento de estas. Esta técnica ha aumentado notablemente la extensión de tierras cultivables y la producción de alimentos en todo el mundo (Pereira, Valero, Picornell, y Tarjuelo, 2010).

## **Métodos de riego**

Los principales métodos utilizados hoy en día para el riego de los campos de cultivo son: inundación, surcos, aspersores y riego por goteo (INIA, 2004).

**El riego por inundación.-** se fundamenta en emplear cierta cantidad de agua por gravedad, que dependerá del cultivo, la porosidad del suelo y su drenaje. Se usa en cultivos como el arroz, en los que el terreno es llano y el agua abundante. La inundación se emplea también en los huertos de frutales, en los que se excavan hoyos o socavan en la base de los árboles y se llenan de agua, así como en las plantaciones forestales y en los cultivos de cítricos (Fernández, et al 2010).

**Riego en surcos.-** este sistema se adapta a cultivos sembrados en hileras como hortalizas, maíz y frutales en general. El agua corre por el lote desde los sectores más altos a los más bajos, por pequeños canales o surcos que trazan entre las hileras de siembra o plantación (Subiabre y Villavicencio, 2011).

**Riego con aspersores.-** la forma de regar es similar a la de agua lluvia, utiliza menos agua y ayuda a tener un mejor control. Este método se emplea sobre todo en cultivos como la alfalfa, frejol, árboles frutales, pasto, etc. que, permite varias recogidas anuales. Los aspersores por lo general tienen un alcance superior a 6 m., de tal forma que, tiran el agua de 6 metros en adelante, según tengan más o menos presión y el tipo de boquilla. Tanto los sistemas de aspersión como los de goteo utilizan dispositivos de emisión o descarga en los que la presión disponible en el ramal induce un caudal de salida (Alonso, 2014).

**Riego con difusores.-** son similares a los aspersores pero más pequeños. Tiran el agua a una distancia de entre 2 y 5 metros, según la presión y la boquilla que utilizemos. El alcance se puede ajustar abriendo o cerrando un tornillo que llevan muchos modelos en la cabeza del difusor. Se manejan para zonas más pequeñas y siempre son fijos (Alonso, 2014).

**Riego por goteo.-** este método se utiliza con gran éxito en muchos países, suministra a intervalos frecuentes pequeñas cantidades de humedad a la raíz de cada planta mediante una red con delgados tubos de plástico, certifica una mínima pérdida de agua por evaporación o filtración, y es válido para cultivos que se producen en zonas secas como en cultivos que se producen en zonas húmedas. Los goteros o emisores pueden ser: integrados en la propia tubería y de botón, que se pinchan en la tubería. Los más baratos son los integrados no autocompensantes (INTA, 2015).

**Riego subterráneo.-** es uno de los métodos más modernos, se está usando incluso para césped en lugar de aspersores y difusores en pequeñas superficies enterrando un entramado de tuberías. Se trata de tuberías perforadas que se entierran en el suelo a una determinada profundidad, entre 5 y 50 cm. Según sea la planta a regar (hortalizas menos enterradas que árboles) y si el suelo es más arenoso o arcilloso (Kelmesz, 2013).

Un sistema de riego se basa principalmente por la localización, misma que considera al hecho de que solo se humedece parte del volumen del suelo del cultivo en la zona de las raíces, de tal forma que se suministre el agua y los nutrientes necesarios para el crecimiento y la producción de la planta (Pereira, Valero, Picornell y Tarjuelo, 2010).

**Estación de riego.-** es la agrupación de elementos que permiten el bombeo, tratamiento, filtrado y control de presión del agua de riego (Fernández, Romero, Pérez y Cuevas, 2015).

### **Estados de humedad del suelo**

**Saturación.-** se refiere a la cantidad de agua que se encuentra en los espacios porosos del suelo y el potencial matricial es cero. Esta situación se puede dar cuando a cierta profundidad existe un estrato impermeable, cuando el drenaje es demasiado lento, etc (Pizarro, 1996).

**Capacidad de campo.-** se refiere al momento en que luego del drenaje el suelo no pierde más agua, ya que los poros más pequeños retienen el agua contra la fuerza de gravedad y los poros más grandes son ocupados mayormente por aire. Esta situación es muy favorable para el desarrollo de los cultivos, ya que encuentran agua abundante retenida con una energía que es fácilmente superada por la succión de las raíces al mismo tiempo que el suelo está suficientemente aireado para permitir la respiración radicular (Pizarro, 1996).

**Punto de marchitez.-** el contenido de agua puede descender por debajo de la capacidad de campo como consecuencia de la evaporación y de la transpiración de las plantas. La película de agua que rodea las partículas se hace cada vez más fina y a medida que el contenido de humedad disminuye, se hace más difícil la absorción del agua por las raíces, hasta alcanzar el denominado punto de marchitez permanente que se caracteriza porque las plantas absorben el agua del suelo con mucha dificultad y experimentan marchitez irreversible, numerosas mediciones han demostrado que este estado corresponde a un potencial matricial de 15 bares (Pizarro, 1996).

Capacidad de campo y punto de marchitez permanente depende más de la textura que de la estructura del suelo.

**Infiltración.-** penetración del agua en el suelo (Rodríguez, 2013).

**Percolación.-** movimiento del agua a través del suelo hacia niveles inferiores, especialmente en suelos saturados o casi saturados (SIAR, 2011).

**Permeabilidad.-** es la condición del suelo o de sus horizontes que se relaciona con la transmisión del agua o del aire a todas sus partes de la masa (Angelone, Garibay y Cauhapé, 2006).

**Movimiento del agua en la planta.-** en su recorrido a través de la planta, el agua se dirige desde el suelo hasta la atmósfera. La última fase de ese movimiento se origina en las estomas de las hojas, donde el agua líquida pasa a estado gaseoso emergiendo a la atmósfera exterior. Por lo tanto en los estomas se produce una especie de bombeo que eleva el agua desde el suelo a través de las raíces, xilema y hojas (Romero, 2012),

La absorción del agua del suelo, es decir, el paso a través de las raíces al xilema se produce fundamentalmente por el gradiente de potencial creado por la transpiración de las partes aéreas, este mecanismo se denomina absorción pasiva (Lee, 2009).

Existe otro mecanismo de absorción en el que las raíces participan más rápidamente acumulando sales, lo que crea un gradiente potencial osmótico y da lugar al ingreso del agua del suelo menos concentrada en sales, este se denomina absorción activa (Pizarro, 1996).

SEPOR, (2002), menciona que la programación del riego es un conjunto de procedimientos técnicos desplegados para predecir cuánto y cuándo regar. Los métodos de programación del riego se basan en:

- Medida de parámetros climáticos.
- Medida del estado hídrico de la planta.
- Medida del contenido de agua en el suelo.

## **Métodos basados en parámetros climáticos**

La evaluación del volumen de agua consumido por el cultivo se la determina a través de expresiones matemáticas que se establecen en la utilización de parámetros climáticos.

Se debe establecer relaciones entre el consumo de agua del cultivo, el estado de desarrollo y los parámetros climáticos, para de esta manera manejar la información que proporcionan los sensores climáticos. El método más utilizado para estimar el consumo de agua de los cultivos o  $ET_c$  es el recomendado por la FAO (Allen, et al 2006) en el que la  $ET_c$  se calcula como el producto de dos términos:

$$ET_c = ET_o * K_c$$

$ET_o$  es la evapotranspiración de referencia y cuantifica la demanda evaporativa de la atmósfera, la estimación de la  $ET_o$  en una determinada zona se realiza a partir de datos climáticos empleando fórmulas empíricas (Allen, et al 2006).

$K_c$  es el coeficiente de cultivo y representa la disponibilidad del cultivo y suelo para atender la demanda evaporativa de la atmósfera, y depende del cultivo en cuestión, su estado de desarrollo y disponibilidad de agua en el suelo (Allen, et al 2006).

### **Tanque Evaporímetro de Clase A**

Se trata de un recipiente cilíndrico fabricado a base de hierro galvanizado, de 1,21 m de diámetro y 25,4 cm de alto, que se coloca a unos centímetros sobre el suelo utilizando una plataforma, generalmente de madera. El nivel del agua debe ser mantenido entre 5 y 7.5 cm por debajo del borde superior del tanque. El agua evaporada debe ser reemplazada cuidadosamente, en forma manual o por un sistema de flotador y un tanque de abastecimiento. Los cambios en el nivel del agua son medidos usando un tornillo vernier colocado en un recipiente especial, la evaporación debe calcularse diariamente por diferencia entre dos lecturas consecutivas del tanque (instrumento dotado de un tornillo micrométrico, que permite determinar el nivel de

agua en el tanque). Es recomendable realizar dichas lecturas a primera hora de la mañana y siempre a la misma hora (Jensen, 1969).

### **Método del Tanque Evaporímetro Clase A**

Los datos diarios de evaporación observados en el tanque evaporímetro tipo A, pueden expresarse a datos de  $ET_0$  ((Doorenbos y Kassam, 1979) mediante la siguiente ecuación:  $ET_0 = K_p \times E$  siendo el coeficiente de tanque ( $K_p$ ) fue derivado de la ecuación propuesta por Cuenca 1989, utilizando los valores promedio de velocidad del viento y humedad relativa del sitio donde se ubica el tanque. Aunque el tanque evaporímetro integra muchos de los factores (viento, radiación solar, humedad, etc.) incluidos en la evapotranspiración, la evaporación de dicho tanque es inanimada y no refleja las características de almacenamiento de calor de un cultivo Palacios, (1981).

La  $ET_c$  se calcula a partir del valor de la  $ET_0$ , conociendo el coeficiente de cultivo específico en la zona ( $K_c$ ):  $ET_c = K_c \times ET_0$

El valor de  $K_c$  depende del cultivo (especie e incluso variedad), de su ciclo vegetativo, y de su fenología, así como de las condiciones específicas del cultivo en la explotación (densidad de población, orientación de las líneas, etc.) y de las condiciones climáticas locales. Por tanto, este coeficiente varía a lo largo del ciclo de cultivo, creciendo desde los valores más bajos en el período inicial (siembra o trasplante) a lo largo de la fase de crecimiento vegetativo, alcanzando los valores más altos en el período de máximo desarrollo (máximo sombreado del suelo) y decreciendo en la maduración o senescencia (Allen, et al 2006).

### **Sonda de Humedad Em50G**

Sonda de humedad y temperatura del Suelo (Decagon) posee sensores capacitivos del tipo FDR (*Frequency Domain Reflectometry*, Reflectometría en el dominio de la frecuencia) que miden la constante dieléctrica o permitividad del suelo para calcular su contenido de humedad, posee un volumen de medida de 0,31 y está diseñada para todo tipo de aplicaciones en campo y laboratorio, al poseer un termistor mide la



temperatura del suelo, este está en contacto térmico con una de las varillas de la sonda y le permite calcular el promedio de temperatura a lo largo de la superficie de la varilla (Fernández, et al 2001).

### **2.2.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

#### **Crecimiento Vegetal y Producción.**

##### **Profundidad radical**

El brócoli presenta un sistema radical poco profundo por lo que es recomendable aplicar riegos más contantes pero en pocas cantidades (Hussain, Rannu, Razzak, Ahmed y Sheikh, 2016).

Para obtener un buen rendimiento y calidad en la inflorescencia de la planta de brócoli se requiere riegos de forma frecuente ya que el cultivo posee raíces poco profundas que van entre 30 y 40 cm (Oztekin, y Gebologlu, 2015).

La profundidad radicular de la mayoría de las hortalizas tiende a estar influenciadas por el perfil del suelo. De hallarse una capa dura, un estrato compactado u otras formaciones densas, las raíces no pueden desarrollarse en su profundidad normal. Las raíces pueden extraer la humedad de las capas más profundas del suelo, pero si se repone el suplemento de agua sólo en la capa más superficial del mismo, el sistema radicular no se desarrollará a la profundidad normal. En el caso del brócoli la profundidad radicular superficial cuando no existen barreras para su penetración en el suelo está entre 45 a 60 cm (Asesoría Nacional Hortícola).

##### **Altura de la planta**

Plantas que miden entre 20 y 50 cm de alto con tallos relativamente gruesos de 3 a 6 cm de diámetro (Hernández, 2012).

## **Área foliar**

La determinación del área foliar establece un parámetro muy importante tanto en la evaluación del desarrollo como en el crecimiento de los cultivos, en estudios de requerimientos hídricos y eficiencia bioenergética y en la determinación de daños producidos por patógenos y plagas. De igual forma, por su estrecha relación con la intercepción de la radiación solar, con la fotosíntesis y con el proceso de transpiración, aspectos fuertemente vinculados a la acumulación de biomasa y a la productividad, constituye una información básica para la modelización del crecimiento, desarrollo y rendimiento agronómico de los cultivos (Oliveira et al citado por Brito, et al 2007).

## **Diámetro de la pella**

La cabeza principal puede llegar a medir de 12 a 22 cm de diámetro (Rosero, 2015) y según (Zamora, 2016) mide de 15 a 18 cm.

## **Peso de la pella**

El peso de la cabeza principal puede llegar de 300 a 1500 g. (Rosero, 2015) y de acuerdo a (Zamora, 2016) al momento de la cosecha alcanza los 450 g.

## **Rendimiento**

Los mejores rendimientos en cultivos tecnificados pueden alcanzar hasta 25 t/ha, tomando en cuenta parámetros como método de riego, variedad de semilla, tipo de suelo y épocas de lluvia, tecnificación en las etapas de cultivo, además se requiere de un estricto control y manejo del cultivo para evitar la aparición de plagas y enfermedades, de esta forma se puede obtener un mayor rendimiento (Calvopiña, 2015).

En Ecuador la superficie cosechada de brócoli en el año 2012 alcanzó las 3,639 hectáreas, distribuidas en ocho provincias, con una producción total de 70,000 toneladas y un rendimiento de 19.24 t ha<sup>-1</sup>. Las provincias de Cotopaxi y Pichincha registran la mayor cantidad de superficie cosechada de brócoli, ocupando el 82.00%

de la superficie total nacional. Cotopaxi es la provincia con mayor producción (51,350 toneladas) y con un rendimiento de 26.22 t ha-1. Pichincha es la segunda provincia en importancia, con una producción de 11,791 toneladas y un rendimiento de 10.13 t ha-1. 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. El 18.00% restante de la superficie total cosechada a nivel nacional, está distribuido en seis provincias, que principalmente, destinan su producción al mercado local (SINAGAP, 2014).

**Tabla 1.** RENDIMIENTO DE BRÓCOLI EN EL ECUADOR

<b>Provincia</b>	<b>Rendimiento (t ha-1)</b>	<b>Producción (t) Global</b>	<b>Superficie cosechada (ha)</b>	<b>Área cosechada (%)</b>
<b>Cotopaxi</b>	26,22	51350	2984	82
<b>Pichincha</b>	10,13	11791		
<b>Seis provincias restantes</b>	10,47	6859	655	18
<b>Ecuador</b>	19,24	70000	3639	100

(SINAGAP, 2014).

El brócoli constituye la segunda alternativa de exportación agrícola en la Sierra ecuatoriana, Cotopaxi es la provincia con mayor producción para exportación por la presencia de dos de las principales empresas procesadoras: Provefrut y Nova alimentos cubriendo el 68% de la superficie dedicada a este cultivo, Pichincha representa el 16% de la producción, seguida de Imbabura con un 10%, existen otras provincias que

producen brócoli en menor proporción como Carchi 3%, Chimborazo con el 2% y otras provincias con el 1% donde la producción de brócoli se destina principalmente al mercado local (Calvopiña, 2015).

### 2.2.3. UNIDAD DE ANÁLISIS

#### Cultivo de brócoli

#### Origen

El Centro de Información e Inteligencia Comercial CICO, (2009) manifiesta que el brócoli es una hortaliza originaria del Mediterráneo y Asia Menor. Existen referencias históricas de que el cultivo data desde antes de la Era Cristiana. Ha sido popular en Italia desde el Imperio Romano y en Francia se cultiva desde el siglo XVI.

#### Clasificación taxonómica:

Medina, et al (2006), mencionan que la clasificación taxonómica del brócoli es la siguiente:

**Tabla 2** CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var. *itálica*)

<b>Reino</b>	<b>Plantae</b>
<b>División</b>	<b>Magnoliophyta</b>
<b>Clase</b>	<b>Magnoliopsida</b>
<b>Orden</b>	<b>Caprales</b>
<b>Familia</b>	<b>Brassicaceae</b>
<b>Genero</b>	<b><i>Brassica</i></b>
<b>Especie</b>	<b><i>Oleracea</i></b>
<b>Variedad</b>	<b>Itálica</b>
<b>Nombre vulgar</b>	<b>Brócoli</b>

## **Características botánicas**

### **Raíz**

Semillas Eterno, (2015) menciona que el sistema de raíces secundario es muy exuberante y abundante; posee raíz pivotante, que puede llegar a penetrar hasta 60 cm de profundidad.

### **Tallo**

Jaramillo, (2006) señala que el tallo es herbáceo y cilíndrico; es relativamente grueso (3 a 6 cm diámetro), de 20 a 50 cm de alto, sobre el cual se disponen las hojas en forma helicoidal, con entrenudos cortos.

### **Hojas**

El Departamento de Desarrollo Académico de SECICO, (2000) estipula que las hojas son de tamaño grande, de hasta 50 cm de longitud y 30 cm de ancho. Varían en número, de 15 a 30, según el cultivar. Presentan pecíolo más desarrollado que el repollo, alcanzando un tercio de la longitud total de la hoja. La lámina es entera, de borde fuertemente ondulado y presenta un tono verde-grisáceo. En la base de la hoja puede dejar a ambos lados del pecíolo pequeños fragmentos de lámina a modo de folíolos.

### **Flor**

Semillas Eterno, (2015) determina que las flores son de color amarillo y tienen cuatro pétalos en forma de cruz, de donde proviene el nombre de la familia a la que pertenece. Las flores debido a su gran número, son completas, regulares e hipógeas, que tienen cuatro sépalos y 28 pétalos de color amarillo, por lo general en ángulo agudo, cerca de la línea mediana y doblada hacia atrás. Existen seis estambres, cuatro más largos que los otros dos, el pistilo simple se compone de dos carpelos y tienen dos lóculos.

## **Inflorescencia**

Hernández, (2012) determina que la inflorescencia primaria está conformada por flores dispuestas en un corimbo principal. Los corimbos son de color verde claro a púrpura, según el cultivar. Las flores son de color amarillo sobre inflorescencias racimosas de polinización alógama.

## **Fruto**

Semillas Eterno, (2015) prescribe que el fruto es una silicua (pequeña vaina) de color verde oscuro cenizo que mide en promedio de 3 a 4 cm y contiene de 6 a 8 semillas.

## **Semilla**

Infoagro, (2008) menciona que las semillas que produce el brócoli son abundantes, redondas y de color rosáceo, miden de 0.002 a 0.003 m de diámetro y un gramo de semillas contiene entre 180 a 250 semillas.

## **Composición nutricional del brócoli**

Cerdas, (2002) determina que el brócoli es considerado como la hortaliza de mayor valor nutritivo por unidad de peso y por poseer la cualidad de prevenir enfermedades como el cáncer. Así el Instituto de Investigación en Alimentos del Reino Unido en el 2014 indica que el brócoli protege contra el cáncer al ser una hortaliza rica en betacarotenos y vitamina C, antioxidantes nutricionales que han demostrado poseer una gran capacidad para prevenir el crecimiento de tumores malignos. Además, en su composición tiene tres elementos con capacidad anticancerígena, como son: el indol (indol-3-carbinol), sulforafano y el fenilisotiocianato.

## **Humedad y riego**

Ecohortum, (2013) determina que el brócoli debido a sus necesidades de humedad constante necesita de un riego regular evitando siempre el encharcamiento del suelo. Cuando se han formado las flores, se recomienda no regar por encima de ellas para evitar las clásicas podredumbres o la aparición de hongos. Es por eso que lo mejor es el riego por goteo y no por aspersión. En la fase de inducción floral y formación de pella conviene que el suelo se encuentre sin excesiva humedad, pero sí en capacidad de campo.

## **Descripción del ciclo vital del brócoli**

Jaramillo, (2006) menciona que el ciclo vital del brócoli comprende 4 fases que se detallan a continuación:

### **Fase juvenil**

Durante esta fase, que se inicia con la nacencia, la planta sólo forma hojas y raíces. Su duración varía de 6 a 8 semanas para las variedades tempranas, en cuyo periodo desarrollan unas 5 a 7 hojas, y de hasta 10 a 15 semanas para las variedades más tardías, para formar una masa vegetativa de 20 a 30 hojas.

### **Fase de inducción floral**

La planta continúa formando hojas igual que en la fase anterior, pero además se inician cambios fisiológicos encaminados a formar las inflorescencias o pellas. La temperatura es el factor que determina esta variación y su efecto se produce con temperaturas próximas a los 15 °C. Para alcanzar buenos rendimientos e inflorescencias de calidad es fundamental que las plantas hayan logrado, hasta este momento, un buen follaje.

### **Fase de formación de pellas**

La temperatura juega un papel importante en el crecimiento de la inflorescencia. Por debajo de 3-5 °C cesa el crecimiento, mientras que con temperaturas de 8-10 °C el crecimiento es plenamente satisfactorio. El tamaño de pella y su densidad van a determinar el momento óptimo de recolección para cada variedad.

### **Fase de floración**

Las pellas pierden su firmeza y se comienzan a amarillear. Su valor comercial se devalúa significativamente y posteriormente se produce su alargamiento y floración.

### **Movimiento del agua en el suelo**

Según Terrón y Hernández citado por Granda y López, (2009) el comportamiento del agua en el suelo depende, de propiedades particulares y de las fuerzas que actúan sobre ella. Estas a su vez dependen, de la geometría de los poros y de la interacción entre el agua y las superficies sólidas con las que está en contacto.



## **CAPÍTULO III**

### **HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

#### **3.1. HIPÓTESIS**

- La producción de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) será influenciada por el método de programación de riego.

#### **3.2. OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar el rendimiento del cultivo (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) híbrido Avenger, en base a las programaciones de riego, usando el método de riego por goteo.

#### **3.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la programación de riego, que permita tener mejor rendimiento del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) híbrido Avenger.
- Cuantificar la demanda de agua para las programaciones de riego.

## **CAPÍTULO IV**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **4.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO**

El ensayo experimental se realizó en el campus Querochaca, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato. Ubicado a una altura de 2 865 msnm en las coordenadas geográficas 01° 22' 02'' de Latitud Sur 78° 36' 20' de Longitud Oeste. En el cantón Cevallos. (INAMHI, Estación meteorológica de primer orden Querochaca, 2017).

#### **4.2. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR**

##### **4.2.1. Clima**

Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, los registros promedios de los parámetros meteorológicos año 2017 son:

1. Temperatura máxima promedio: 19,1 °C
2. Temperatura mínima promedio: 8,0 °C
3. Humedad relativa promedio: 75%
4. Velocidad del viento media anual: 3,0 k/h.
5. Precipitación anual: 571,2 mm.

##### **4.2.2. Agua**

El agua utilizada en la Granja Experimental Docente Querochaca proviene del canal Ambato- Huachi- Pelileo, con pH: 7,82, C.E: 0,3 milimhos/cm, alcalinidad: 140,2 mg/l, y una dureza total: 110,2 mg/l (Cajo, 2 016).

##### **4.2.3. Suelo**

Según el laboratorio de análisis químico FCAGP, el análisis de suelo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias en la cual se realizó la investigación reporta los siguientes

datos: Estrata de 0 cm a 40 cm de profundidad. Contenido de arena 66%, limo 26% y arcilla 8%, siendo la textura franco arenoso, con relieve plano.

### **4.3. EQUIPOS Y MATERIALES**

#### **4.3.1. Equipos**

- Sensor humedad y Temperatura de suelo 5TM.
- Registrador de datos EM50G.
- Estación meteorológica de primer orden.
- Computadora. Programa Image J.

#### **4.3.2. Materiales**

- Cintas de goteo, con gotero a 0.50m.
- Conectores 1 pulgada.
- Válvulas 1 pulgada.
- Abrazaderas 1 pulgada.
- Moto bomba de 1Hp (eléctrica 110 v).
- Codos.
- Cámara digital.
- Forcípula.
- Balanza digital.
- Flexómetro.

### **4.4. FACTORES EN ESTUDIO**

**T1:** Programación del riego mediante el uso de datos climatológicos.

**T2:** Programación del riego mediante la sonda de humedad.

## **4.5. TRATAMIENTOS**

**T1:** Programación del riego mediante el uso de datos climatológicos.

**T2:** Programación del riego mediante la sonda de humedad.

## **4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

El análisis estadístico aplicado fue una prueba de T student, con muestras independientes, a un nivel de significación del 0,05.

## **4.7. MANEJO DEL EXPERIMENTO**

### **4.7.1. Determinación de la textura del suelo**

Para conocer la textura del suelo en el cual se llevó a cabo el ensayo de campo se construyó una calicata de 0.90 m de profundidad para luego proceder a tomar muestras de suelo en cada una de las estratas y medir las alturas de cada una de ellas.

A nivel medio de la altura de cada estrata se procedió a recoger las muestras de suelo en fundas plásticas aproximadamente 0.5 kg que fueron llevadas al laboratorio de suelo y aguas para realizar la determinación de la textura por el método de Bouyucus.

Con los porcentajes de arena, limo y arcilla obtenidos en el laboratorio de Suelo y Aguas se procedió a calcular la Capacidad de Campo a través de la fórmula de Peele donde:  $CC = 0,48(\text{Arcilla}) + 0,162(\text{Limo}) + 0,023(\text{Arena}) + 2,62$ , para el Punto de Marchitez Permanente (PMP) se calculó con la fórmula de Brigg que es igual a  $PMP = 0,302(\text{Arcilla}) + 0,102(\text{Limo}) + 0,0147(\text{Arena})$  (Allen, et al 1997).

### **4.7.2. Cálculo de la dosis de riego**

Para el cálculo de la dosis de riego se utilizó los datos el tanque evaporímetro clase "A", precipitación, evaporación, humedad relativa y velocidad de viento de la estación meteorológica de primer orden de Querochaca, y el Kc del cultivo de brócoli según la

etapa fenológica Inicial 0.7, mediados de temporada 1.05 hasta madurez comercial (Allen, et al 2006).

La sonda de humedad y temperatura funciona como un indicador para conocer el momento exacto del riego, para esto se debe determinar Capacidad de Campo (Peele) y Punto de Marchitez Permanente (Brigg).

#### **4.7.3. Cálculo de Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP)**

En el análisis de suelos ‘datos de porcentaje de arena, limo y arcilla se obtuvo los siguientes resultados:

Porcentaje de arena: 66 % Porcentaje de limo: 26 % Porcentaje de arcilla: 8 %

##### **Determinación de Capacidad de Campo, Fórmula de Peele.**

$$CC=0,48(\text{Arcilla})+0,162(\text{Limo})+0,023(\text{Arena})+2,62$$

$$CC= 0,48(8)+0,162(26)+0,023(66)+2,62$$

$$CC=12,19 \%$$

##### **Determinación del Punto de Marchitez Permanente, fórmula de Brigg.**

$$PMP=0,302(\text{Arcilla})+0,102(\text{Limo})+0,0147(\text{Arena})$$

$$PMP=0,302(8)+0,102(26)+0,0147(66).$$

$$PMP= 6,04 \%$$

Agua disponible, porcentaje entre capacidad de campo y porcentaje en punto de marchitez permanente.

Agua Aprovechable, 30 - 40% del agua disponible, para producir un riego.

La programación se basó en la frecuencia de la utilización del agua aprovechable que retiene el suelo.

#### **4.7.4. MANEJO DEL CULTIVO**

##### **Siembra**

Se realizó en dos bandejas de 338 unidades, en donde se colocó el sustrato Kekila para luego proceder a depositar las semillas de brócoli híbrido Avenger, manteniendo en cubiertas plásticas y con riego calculado, mediante el uso de una regadera.

##### **Preparación de la parcela experimental**

- Arada.- para permitir una mejor aireación e infiltración del agua, se procedió a eliminar malezas y roturar el suelo que se encontraba compactado.
- Nivelada.- para obtener una pendiente uniforme con relación a las cintas de goteo esto se realizó de forma manual con ayuda de un rastrillo.

##### **Labores culturales para el cultivo de brócoli**

- Trasplante.- se realizó una vez tendidas las líneas de goteo formando las parcelas para los tratamientos y las repeticiones con plántulas de brócoli híbrido Avenger. La distancia de plantación fue de 0,40 m entre plantas y 0,50 m entre hileras.
- Rascadillo o deshierba.- las labores de rascadillo o deshierba se las realizó de forma manual con la ayuda de azadones y rastrillos a la cuarta, séptima y onceava semana.
- Aporque.- se realizaron labores de aporque a la cuarta y décima semana después del trasplante.

## **Aplicación de fertilizantes**

Se aplicó Nitrato de amonio, Muriato de potasio y Fosfato diamónico a razón de 3 g por planta de la mezcla homogénea de los tres fertilizantes, con la finalidad de tener una fertilización similar en todo el ensayo, la aplicación se realizó a la primera, cuarta y décima semana después del trasplante.

## **Control fitosanitario**

Para el ataque de pulgón (Aphididae), se realizaron aplicaciones de Cypermotrina con dosis de 20 cc/20 l de agua, para esto se utilizó bomba de mochila a la sexta y onceava semana después del trasplante.

## **Cosecha**

La cosecha se realizó a la semana 14 después del trasplante, en forma manual con la ayuda de un cuchillo con la finalidad de retirar las pellas de la planta.

## **4.8. VARIABLES RESPUESTAS**

### **4.8.1. Profundidad Radicular**

Cada siete días después del trasplante se descalzó una planta para medir con flexómetro la profundidad de la raíz, realizándose 13 lecturas hasta la cosecha.

### **4.8.2. Altura de Planta**

La altura de planta se obtuvo midiendo con flexómetro, desde el cuello de la planta a nivel del suelo hasta la cabeza central, a 25 plantas tomadas al azar de las unidades experimentales. Se realizaron tres mediciones: a los 30, 60 días después del trasplante y a la cosecha.

#### **4.8.3. Área Foliar**

Se tomaron las fotografías con cámara digital de dos plantas de las unidades experimentales a los 30, 45 y 70 días del trasplante y a la cosecha, luego con ayuda del programa Image J versión (2016) se estimó el área foliar de cada una de las plantas.

#### **4.8.4. Diámetro de pella**

Con la ayuda de la forcípula, se midió el diámetro ecuatorial de la pella (inflorescencia), de 25 plantas tomadas al azar de la unidad experimental. La medición se hizo al momento de la cosecha.

#### **4.8.5. Peso de la pella**

Para registrar esta variable, al momento de la cosecha, con una balanza digital, se pesaron 25 pellas tomadas al azar de la unidad experimental, se expresaron sus valores en gramos.

#### **4.8.6. Rendimiento**

El rendimiento correspondió al peso total de pellas cosechadas en cada tratamiento, cuando se encontraron en estado de madurez comercial, expresando los valores en toneladas métricas por hectárea.

### **4.9. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Para el procesamiento de la información se utilizó el programa estadístico INFOSTAT Versión 2017 (Di Rienzo, J, et al, 2016).



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **5.1. Variables agronómicas evaluadas en los tratamientos**

Los resultados de las variables agronómicas del cultivo de brócoli, comparadas con la programación de métodos de riego (Tabla 3). La variable profundidad radicular entre los tratamientos no presenta significación estadística ( $t = -0,91$ ) obteniendo valores en T2 riego controlado por la sonda de humedad de 51,1 cm de profundidad y T1 riego programado mediante ETc método del tanque evaporímetro clase “A”, dando una profundidad media de 46,7 cm, longitudes que concuerdan con las investigaciones de: Oztekin, y Gebologlu, 2015 quienes obtuvieron valores entre 30 y 40 cm de profundidad, mientras que la Asesoría Nacional Hortícola menciona que la raíz del cultivo de brócoli puede llegar a medir entre 45 a 60 cm. La profundidad obtenida en el ensayo probablemente se debe a que el suelo es Franco arenoso (Anexo 1), donde el peso específico aparente es de 1,42 g/cc. de estructura suelta.

Los resultados obtenidos en la (Tabla 3) con respecto a la variable altura de planta a los 30, 60 días después del trasplante y a la cosecha no presentan significación estadística entre los tratamientos ( $t = -0,46$ ) ( $t = -0,58$ ) ( $t = -1,61$ ) respectivamente, presentando en T2 a los 30 días después del trasplante una altura media de 20,80 cm, a los 60 días después del trasplante una altura de 43,27 cm y a la cosecha 60,32 cm de altura y T1 a los 30 días después del trasplante una altura media de 20,62 cm, a los 60 días después del trasplante una altura de 42,95 cm y a la cosecha 57,44 cm de altura, medidas que se encuentran dentro del rango obtenido de la investigación de (Hernández, 2012) plantas que miden entre 20 y 50 cm de alto debido al manejo utilizado en los ensayos, donde el manejo aplicando el agua en volúmenes necesarios el crecimiento es el óptimo del híbrido.

El área foliar se la midió en cuatro periodos a los 30, 45, 60 y 70 días después del trasplante (Tabla 3) sin presentar significación estadística entre los tratamientos, se

obtuvo valores a los 30 días después del transplante de 1358,47 cm<sup>2</sup>, 45 días después del transplante de 1792,66 cm<sup>2</sup>, 60 días después del transplante 2589,59 cm<sup>2</sup> y 70 días después del transplante 2950,16 cm<sup>2</sup> en T2 y en T1 a los 30 días después del transplante 1350,84 cm<sup>2</sup>, 45 días después del transplante de 1619,78 cm<sup>2</sup>, 60 días después del transplante 2137,33 cm<sup>2</sup> y 70 días después del transplante 2704,94 cm<sup>2</sup> valores que se asemejan a los obtenidos por (Corrales, 2017) quien en su mejor tratamiento H2R2 (Hibrido Domador dosis de riego 150%) aplicado obtuvo valores de 1380,70 cm<sup>2</sup> a los 30 días después del transplante y 2658,98 cm<sup>2</sup> al momento de la cosecha. El tipo de híbrido de brócoli utilizado en la investigación probablemente puede inferir en los resultados obtenidos.

De acuerdo en los resultados en diámetro de pella (Tabla 3) presentan diferencias significativas entre tratamientos ( $t = -2,91$ ), siendo mayor T2 con 17,90 cm, teniendo relación con el estudio de Tangune, et al (2016) quienes evaluaron el efecto de diferentes tensiones de agua en el suelo (0,15, 0,30, 0,45, 0,60, 0,75 y 0,90 bar) a 0,2 m y 0,4 m de profundidad bajo riego por goteo monitorizado con sensores de infiltración de control, en donde obtuvieron diámetros de pella de 20,5 cm bajo el tratamiento 0,15 bar y 0,2 m, dando a conocer que la dosis de riego y la profundidad a la cual trabajan los sensores es fundamental para evaluar el rendimiento del cultivo de brócoli.

Se obtuvieron resultados con diferencias significativas entre los tratamientos T1 y T2 dentro de la variable peso de pella (Tabla 3) dando como resultado 597,952 g/m<sup>2</sup> en T2 superior a 412,120 g/m<sup>2</sup> en T1, los pesos obtenidos (Tabla 3), son equivalentes a los reportados por Benavidez y Barraza (2017) quienes en su investigación Efecto del riego por goteo y exudación sobre el rendimiento de hortalizas (Brócoli) mencionan que al aplicar riego por goteo el rendimiento en brócoli aumento notablemente mostrando pesos de 0,36 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que en el estudio de Tangune, et al (2016) obtuvieron pesos de hasta 0,76 kg ha<sup>-1</sup>, deduciendo que al implementar un riego tecnificado en el cultivo de brócoli el peso de pella y por ende el rendimiento incrementará y más aún si se trabaja con regímenes de riego.

Al comparar los resultados de la variable rendimiento (Tabla 3) se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ( $t = -2,66$ ), siendo mayor T2 con (22,42 t ha<sup>-1</sup>), en el estudio de Hussain, et al (2017) durante tres años (2012 a 2015) investigaron la respuesta del brócoli en diferentes regímenes de riego (5 , 10, 15, 20 días de intervalo desde el establecimiento de la planta hasta la fase floral, reportando dando como respuesta los mejores resultados en intervalos de 10 días, obtuvieron rendimientos comprendidos entre (19,98 t ha<sup>-1</sup>), (20,63 t ha<sup>-1</sup>) y (16,24 t ha<sup>-1</sup>) en 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> y 3<sup>a</sup> año, respectivamente, con respeto a nuestra investigación y con concordancia con los mencionados autores podemos decir que al manejar un correcto sistema de riego aplicando la cantidad de agua requerida por el cultivo se evita la disminución del rendimiento por excesiva aplicación de agua, limitación en el crecimiento y acumulación de materia seca por incorrecto suministro (Hussain et al., 2016).

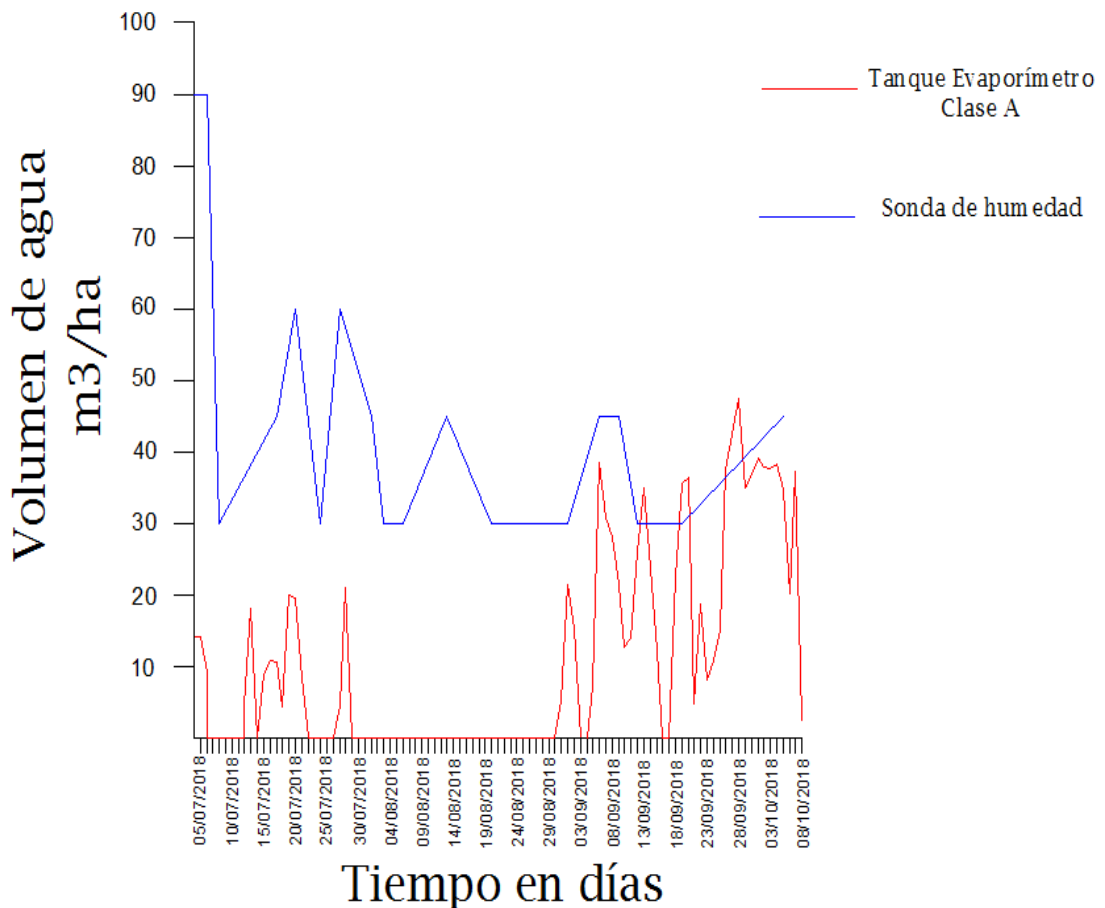
**Tabla 3. DESEMPEÑO DE LAS VARIABLES AGRONÓMICAS DEL CULTIVO DE BRÓCOLI**

<b>Variables Respuesta</b>		<b>T1 (Tanque Evaporímetro Clase A)</b>	<b>T2 (Sonda de Humedad Em50G)</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Valor Crítico de t</b>
PROFUNDIDAD RADICULAR (cm)		46,7 <sup>a</sup>	51,1 <sup>a</sup>	-0,91 n.s.	2,30
ALTURA DE PLANTA (cm)	30 días después del trasplante	20,62 <sup>a</sup>	20,80 <sup>a</sup>	-0,46 n.s.	2,30
	60 días después del trasplante	42,95 <sup>a</sup>	43,27 <sup>a</sup>	-0,58 n.s.	2,30
	Cosecha	57,44 <sup>a</sup>	60,32 <sup>a</sup>	-1,61 n.s.	2,30
AREA FOLIAR (cm <sup>2</sup> )	30 días después del trasplante	1350,84 <sup>a</sup>	1358,47 <sup>a</sup>	-0,21 n.s.	2,30
	45 días después del trasplante	1619,78 <sup>a</sup>	1792,66 <sup>a</sup>	-2,21 n.s.	2,30
	60 días después del trasplante	2137,33 <sup>a</sup>	2589,59 <sup>a</sup>	-2,04 n.s.	2,30
	70 días después del trasplante	2704,94 <sup>a</sup>	2950,16 <sup>a</sup>	-0,99 n.s.	2,30
DIAMETRO DE PELLA (cm)		15,04 <sup>b</sup>	17,90 <sup>a</sup>	-2,91 *	2,30
PESO DE PELLA (g/m <sup>2</sup> )		412,120, <sup>b</sup>	597,952 <sup>a</sup>	-2,66 *	2,30
RENDIMIENTO (t ha <sup>-1</sup> )		15,45 <sup>b</sup>	22,42 <sup>a</sup>	-2,66 *	2,30

<sup>a-b</sup> Medidas en la fila seguida de letras diferentes indican diferencias significativas (P< 0,05).

## 5.2. Programación de métodos de riego para el cultivo de Brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*)

Basado en la comparación de la programación de métodos de riego T1 y T2 encontramos que el riego por goteo mediante la programación con sonda de humedad T2 es más eficiente que el riego T1 riego programado mediante el uso consuntivo ETc o método del tanque evaporímetro clase “A”, con 19 riegos y un volumen de agua aplicado de 780 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> inferior a 48 riegos y un volumen de agua aplicado de 1047,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Figura 1). Lo que concuerda con la afirmación de (Ferrándiz, 2017) en su estudio del manejo del agua de riego mediante sensores de humedad, con la programación de riego mediante sensores de humedad se utilizan menos recursos hídricos.



**Figura 1.** Volumen de agua aplicada durante el ciclo del cultivo mediante las programaciones de los métodos de riego T1 y T2.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

#### 6.1. CONCLUSIONES

Una vez terminado el trabajo de investigación en “COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* Var. *Itálica*), se concluye lo siguiente:

Existe una diferencia evidente en la respuesta del cultivo (*Brassica oleracea* var. *Itálica*), frente a los tratamientos planteados en base al método de riego por goteo, obteniendo mayor diámetro de pella, peso de pella y por consiguiente el rendimiento total en el uso de programación de riego bajo sonda de humedad Em50G con volumen de agua gastada de 780 (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) inferior al volumen de agua gastada 1047,5 (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) del T1.

El uso de la sonda de humedad Em50G ayuda a incrementar el rendimiento del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) híbrido Avenger logrando mayor eficiencia en el riego por goteo, evitando así el uso excesivo e innecesario del recurso agua.

En base a la programación de riego aplicada en los tratamientos T1 (Tanque evaporímetro clase A) y T2 (sonda de humedad Em50G) se logró cuantificar la demanda de agua, aportando al cultivo de brócoli en T2 780 (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) y en T1 1047,5 (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>).

#### 6.2. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R; Pereira, L; Raes, D y Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Recuperado de: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>.
- Alonso, D. (2014). El riego por aspersión. Recuperado de: <http://lan.inea.org:8010/web/materiales/web/riego/anuncios/trabajos/EI%20riego%20por%20aspersi%C3%B3n.pdf>.
- Álvarez, T., y Bravo, E., y Armendáris, E. (2014). Soberanía alimentaria y acceso a semillas hortícolas en el Ecuador. la granja. Revista de Ciencias de la Vida, 20 (2), 45-57.
- Angelone, S., Garibay, T., y Cauhapé, M. (2006). Geología y Geotecnia: permeabilidad del suelo. Universidad Nacional de Rosario.
- ANH (Asesoría Nacional Hortícola). (SF). Profundidad de la raíz de las hortalizas. Universidad Nacional de Luján. Departamento de Tecnología. Producción Vegetal III (Horticultura).
- Arias, J., Rengifo, T., y Jaramillo, M. (2007). Manual: Buenas Prácticas Agrícolas, en la producción de frijol voluble.
- Benavides, O.; Barraza, F. 2017. Efecto del riego por goteo y exudación sobre el rendimiento de hortalizas en clima frío. Rev. Cienc. Agr. 34(1): 108-116. doi. Recuperado en: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.173401.67>.
- Brito, E; Romero, E; Casen, S; Alonso, L y Digonzelli. (2007). Métodos no destructivos de estimación del área foliar por tallo en la variedad LCP 85-384 de caña de azúcar. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán. Vol. (2). Recuperado de: <http://www.scielo.org.ar/pdf/riat/v84n2/v84n2a05.pdf>
- Calvopiña, D. (2015). Análisis de competitividad del sector de brócoli en Ecuador en el periodo 2007-2013. Tesis de grado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.puce.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/22000/8373/DISERTACI%C3%93N%20Dayana%20Lizbeth%20Calvopi%C3%B1a%20Rodr%C3%ADguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Casierra y Rojas (2009). Efecto de la exposición del Semillero a coberturas de colores sobre el desarrollo y productividad del brócoli (Brassicae oleracea var.

Itálica. *Agronomía Colombiana*, (27), 49-55.

- Corrales, P. 2017. “Programación de riego para los híbridos Domador y Avenger de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*).” Universidad Técnica de Ambato .Ecuador.62p.
- Cuenca, R. H. 1989. Diseño del sistema de riego: Enfoque de ingeniería. Departamento Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Doorenbos J, Kassam AH (1979) Rendimiento del agua (FAO Riego y Drenaje. pp 33) FAO, Roma
- Erdem, T., Arin, L., Erdem, Y., Polat, S., Deveci, M., Okursoy, H., & Gültaş, H. T. (2010). Yield and quality response of drip irrigated broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) under different irrigation regimes, nitrogen applications and cultivation periods. *Agricultural Water Management*, 97(5), 681–688. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.12.011>.
- 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>.
- Falloon, P., & Betts, R. (2010). Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation-The importance of an integrated approach. *Science of the Total Environment*, 408(23), 5667–5687. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.05.002>
- Fernández, F., Orgaz, F., Fereres, E., López, C., Céspedes, A., Pérez, J., Gallardo, M. (2001). Programación de riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español.
- Fernández, J., Romero, R., Pérez, A., & Cuevas, V. (2015). Estrategias y programación del riego.
- Fernández, R., Mila, M., Ávila, R., Berengena, J., Gavilán, P., & Oyonarte, N. (2010). Manual de riego para agricultores: riego por superficie.
- Ferrándiz, J. (2017). Estudio del manejo del agua de riego mediante sensores de humedad. Escuela Politécnica Superior de Orihuela. España. pp. 83.
- Flores, H. et al. (2012). Grados día y la Programación Integral del Riego en el cultivo de papa. *Revista terra Latinoamericana* 30(1) México pp. 59-67.
- García, I; Briones, G. (2007). Sistemas de riego por aspersion y goteo, México DF, México. Trillas. 2ed.
- Geisenhoff, O. et al. (2015). Productividad del brócoli bajo diferentes sistemas



- de irrigación. Revista Engenharia Agrícola ,4430. Brasil. pp. 863–874.
- González, A. y Hernández, A. (2000). Estimación de las necesidades hídricas del tomate. Revista Terra Latinoamericana. 18 (1). México. pp. 45-50.
  - Granero, B; Martí, P. y Turégano, J. (2011). Sondas de humedad FDR como herramienta de apoyo en la programación del riego. España. pp. 396-400.
  - Hernández, C. (2012). Hibridación para la obtención de Brassica oleracea. var. Romanesco: Características del brócoli. Recuperado de: <http://obtencionderomanesco.blogspot.com/2012/09/caracteristicas-del-brocoli.html>.
  - Hernández, H. (2006). Estimación de evapotranspiración real en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero en base a lecturas del tanque evaporimetro Tipo “A”, México. pp. 82.
  - Hussain, Rannu, Razzak, Ahmed, Sheikh, 2016. Response of Broccoli (Brassicae oleracea L) to different irrigation Regimes. The Agriculturists. 14(1):98 - 106. Recuperado en: [file:///C:/Users/kthyk%20bizcochita/Downloads/Response\\_of\\_Broccoli\\_Brassica\\_oleracea\\_L\\_to\\_Differ.pdf](file:///C:/Users/kthyk%20bizcochita/Downloads/Response_of_Broccoli_Brassica_oleracea_L_to_Differ.pdf).
  - Infoagro. 2008. El cultivo de brócoli. (en línea).Recuperado de: <http://www.infoagro.com/hortalizas/broculi.htm>.
  - INIA. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (2004). Programacion de riego.Métodos de riego.Serie Técnica 232.pp.78.Recuperado de: [http://inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/st%20232\\_2017.pdf](http://inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/st%20232_2017.pdf).
  - Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. 2017. Anuario Meteorológico. Quito, Ecuador. Recuperado de:[http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum\\_institucion/anuarios/meteorologicos/Am\\_2013.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf).
  - INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (2015). Riego por goteo.Recuperado de: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_manual\\_riego\\_por\\_goteo.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf).
  - Iñiguez, M., y Ojeda, W. (2013). La infraestructura hidroagrícola ante escenarios del cambio climático. Tecnología Y Ciencias Del Agua, 6, 89–101.
  - Jensen, M.E. (1969). Requerimientos de agua de riego por aspersión para

plantas. Washington, D.C.

- Jiménez, R. (2016). Determinación de los requerimientos hídricos del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador. pp. 140.
- Kelmeszes, E. (2013). Avances y soluciones en Riego por Goteo.
- Lantada, A. (2009). Metodología Para El Desarrollo De Polímeros Activos Como Sensores Y Actuadores.
- Kumar, J.; Senseba, T. 2008. Yield, irrigation production efficiency and economic return of broccoli (*Brassica oleracea* Var. Italica) under different irrigation methods and schedules. *J. Env. Res. Dev.* 2(4):513 - 522. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/158353186.pdf>
- Lee, A. (2009). El movimiento del agua a través de las plantas. *Horticultura Internacional*, 44–49.
- Medina, N; Maldonado, L; y Naranjo, H. (2006). Implantación de un programa de buenas prácticas agrícolas para el mejoramiento de la calidad e inocuidad del brócoli en Ecuador. Quito, Ecuador. Imagen Corporativa SESA.
- Oztekin, y Gebologlu, 2015. Evapotranspiration, Yield components, and some Quality Attributes of Subfarce Drip Irrigated Broccoli under three Soil-water Depletion Levels. *Journal of Agriculture Science and Tecnology*, 17 963-976.
- Palacios, V.E. 1981. Estimación de los requerimientos de agua de los cultivos para conocer el cuando y el cuanto regar. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Pantoja, R. (2014). “Evaluación de diferentes dosis de abonos orgánicos de origen animal en el comportamiento agronómico, del cultivo de brócoli en la zona de Huaca, Provincia del Carchi.”
- Peña, R. V., Chávez, L. T., Nolasco, A. Q., & Pichardo, C. (2001). Comparison of Some Micrometeorological Methods to Estimate Evapotranspiration. *Terra*, 19, 281–291.
- Pereira, L., Valero, J., Picornell, M., & Tarjuelo, J. (2010). El riego y sus tecnologías.
- Pizarro, F. (1996). Riegos localizados de alta frecuencia. Bilbao, España. Mundiprensa. 3ed

- Proecuador, 2014. Brócoli: Segundo producto no tradicional más importante de la Sierra ecuatoriana. Recuperado de: <http://www.proecuador.gob.ec/2014/02/07/brocoli-segundo-producto-no-tradicional-mas-importante-de-la-sierra-ecuatoriana/>
- Risco, D., Val, J., National, S., & Prieto, M. H. (2018). Programación de riego en brócoli (*Brassica olerácea* L. cv. itálica) en los Andes Ecuatorianos. 36(1). Ecuador. pp.57-63. Recuperado de: <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018000100057>.
- Rodríguez, M. G. (2013). Estimación de la infiltración del agua de lluvia con permeámetro de Guelph.
- Romero, R. (2012). Relaciones Agua Planta en el Sistema Suelo-Planta-Atmósfera.
- Rosero, A. (2015). “Evaluación de la adaptabilidad de cuatro variedades de brócoli (*Brássica oleracea* var. Itálica) en el Centro Experimental San Francisco Cantón Huaca – Carchi - Ecuador”. Tesis de grado. Universidad Politécnica Estatal Del Carchi. Huaca, Carchi. Recuperado de: [http://181.198.77.140:8080/bitstream/123456789/350/1/247%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20adaptabilidad%20de%20cuatro%20variedades%20de%20br%C3%BColi%20\(Br%C3%A1ssica%20oleracea%20var.%20It%C3%A1lica\)%20en%20el%20Centro%20Experimental%20San%20Francisco.pdf](http://181.198.77.140:8080/bitstream/123456789/350/1/247%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20adaptabilidad%20de%20cuatro%20variedades%20de%20br%C3%BColi%20(Br%C3%A1ssica%20oleracea%20var.%20It%C3%A1lica)%20en%20el%20Centro%20Experimental%20San%20Francisco.pdf)
- Semillas eterno. 2015. Brócoli (en línea). Recuperado en: <http://www.semillaseterno.com/brocoli>.
- SEPOR. Servicio de Programación y Optimización del Uso de Agua de Riego. (2002). Programación de riego en frambueso. Santiago de Chile. Recuperado de: [http://www.sepor.cl/informacion\\_cartillas/S202\\_Cartilla\\_programaciOn\\_riego\\_en\\_frambueso.pdf](http://www.sepor.cl/informacion_cartillas/S202_Cartilla_programaciOn_riego_en_frambueso.pdf).
- SINAGAP. (2013). Sistema de Informacion Nacional de Agricultura, Ganaderia, Acuacultura y Pesca. Brócoli: Boletín situacional. Recuperado de: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2014/brocoli.pdf>
- SIAR. Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (2011). Balance de agua. Recuperado de: <https://www.mapa.gob.es/gl/desarrollo->

rural/temas/gestion-sostenible-regadios/Balance%20de%20Agua%20dic2011\_tcm37-82953.pdf.

- Subiabre, A. y Villavicencio P. (2011). Riego por surcos. INIA-URURI. Chile. pp.1–2.
- Tangune, B.; Magela, G.; Sousa, R.; Frees, R. 2016. Response of broccoli to soil water tension under drip irrigation. *Ciências Agrárias*. 37(1):7 - 16. doi: Recuperado en: <http://10.5433/1679-0359.2016v37n1p7>.
- Vélez, J; Intrigliolo, D y Castel, J. (2007). Programación del riego en cítricos estado hídrico del suelo y de la con base en sensores de medida del planta. *J.E.*, 14(2). España. pp. 10
- Villalobos,S; Castellanos,J y Tijerina, L. (2005). Crop Coefficient in Broccoli under Drip Irrigation.
- Wolfgang, M. (2003). El futuro de la industria de agua en el mundo. *Ingeniería Del Agua*, 10, 337–353.
- Zamora, E. (2016). El cultivo de brócoli. Serie guías – producción de hortalizas. Universidad de Sonora. Hermosillo, México. Recuperado de: <http://www.agricultura.uson.mx/Zamora/BROCOLI-DAG-HORT-010.pdf>

### **6.3. ANEXOS**

#### **Anexo 1. Datos del suelo.**



UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO FCAGP



Casilla 18-01-334 Telfs. 746151-746171 Fax 746231 Cevallos - Tungurahua  
LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO FCAGP

Datos del cliente:

NOMBRE:	Ing. Alberto Gutierrez	COD. LAB	2018
ATENCION:	Ing. Alberto Gutierrez	MUESTRA:	suelo
DIRECCION:		MATRIZ :	S
PROVINCIA:		ANALISIS:	Textura
CANTÓN:			
Datos de la muestra:	E1		
			FECHA DE TOMA DE MUESTRA:

Textura	Clase	Franco Arenoso
Árena	%	66
Limo	%	26
Arcilla	%	8

Parametro analizado	Metodo	Equipo
Textura	Bouyoucos	Licadora Bouyoucos

Quim. Marcia Buenaño  
RESPONSABLE DEL ANALISIS

**Anexo 2.** Profundidad radículas (cm), cada 7 días después del transplante.

T1 (Tanque evaporímetro clase A)						T2 (Sonda de humedad Em50G)					
R1	R2	R3	R4	R5	Promedio	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
36,1	51,4	46,5	52	47,5	46,7	59	59,4	47,2	38,7	51,2	51,1

**Anexo 3.** Altura de planta (cm), 30 días después del transplante.

T1 (Tanque evaporímetro clase A)						T2 (Sonda de humedad Em50G)					
R1	R2	R3	R4	R5	Promedio	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
21,5	20,6	19,7	19,9	21,3	20,62	21,2	20,5	20,6	20,9	20,8	20,8

**Anexo 4.** Altura de planta (cm), 60 días después del transplante.

T1 (Tanque evaporímetro clase A)						T2 (Sonda de humedad Em50G)					
R1	R2	R3	R4	R5	Promedio	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
42,85	42,72	43,01	42,9	43,26	42,95	41,16	43,53	44,07	43,38	44,2	43,27

**Anexo 5.** Altura de planta (cm), en el momento de la cosecha.

T1 (Tanque evaporímetro clase A)						T2 (Sonda de humedad Em50G)					
R1	R2	R3	R4	R5	Promedio	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
53,16	53,98	60,01	60,36	59,68	57,44	58,7	58,49	62,46	59,97	61,99	60,32

**Anexo 6.** Área foliar (cm<sup>2</sup>). A los 30,45, 60, y 70 días después del transplante.

T1 (Tanque evaporímetro clase A)						
Días	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
30	1356,94	1318,72	1370,93	1393,53	1314,1	1350,84
45	1695,61	1608,93	1657,65	1596,8	1539,89	1619,78
60	2365,14	2079,75	2087,12	2150,68	2003,97	2137,33
70	3080,79	2745,92	2533,37	2718,71	2445,89	2704,94

**T2 (Sonda de humedad Em50G)**

<b>Días</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>	<b>Promedio</b>
30	1272,81	1329,6	1342,45	1379,58	1467,92	1358,47
45	1585,24	1658	1853,25	1888,43	1978,38	1792,66
60	2001,42	2190,44	2733,09	2907,41	3115,57	2589,59
70	2245,38	2614,42	3264,55	3228,57	3397,9	2959,16

**Anexo 7.** Diámetro de pella (cm), al momento de la cosecha.

<b>T1 (Tanque evaporímetro clase A)</b>						<b>T2 (Sonda de humedad Em50G)</b>					
<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>	<b>Promedio</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>	<b>Promedio</b>
13,07	13,79	15,11	15,95	17,26	15,04	15,92	17,7	18,15	18,57	19,70	17,90

**Anexo 8.** Peso de pella (g/m<sup>2</sup>), al momento de la cosecha.

<b>T1 (Tanque evaporímetro clase A)</b>						<b>T2 (Sonda de humedad Em50G)</b>					
<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>	<b>Promedio</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>	<b>Promedio</b>
290,2	331	409,4	461,2	568,8	412,120	450,2	535,4	617,96	642	744,2	597,952

**Anexo 9.** Rendimiento (t ha<sup>-1</sup>).

<b>T1 (Tanque evaporímetro clase A)</b>						<b>T2 (Sonda de humedad Em50G)</b>					
<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>	<b>Promedio</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>	<b>Promedio</b>
10,88	12,41	15,35	17,30	21,33	15,45	16,88	20,08	23,17	24,08	27,91	22,42

**Anexo 10.** Formación de camas y colocación de cintas de goteo.



**Anexo 11.** Instalación de la sonda de humedad.



**Anexo 12.** Fertilización del cultivo de Brócoli.



**Anexo 13.** Medición de profundidad radicular.





**Anexo 14.** Fumigación de la plantación de brócoli.



**Anexo 15.** Medición del diámetro de la pella del brócoli.



**Anexo 16.** Fotografía para determinar área foliar.



**Anexo 17.** Medición de altura de planta.



**Anexo 18.** Medición del peso de la pella en gramos.



## CAPÍTULO VII

### PROPUESTA

#### 7.1. DATOS INFORMATIVOS

**TÍTULO:** UTILIZACIÓN DE LA SONDA DE HUMEDAD Em50G PARA LA PROGRAMACIÓN DEL RIEGO EN EL CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea var. itálica*).

**Institución ejecutora:**

Universidad Técnica de Ambato – Facultad de Ciencias Agropecuarias

**Beneficiarios:**

Comunidad en general

**Ubicación:**

Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Querochaca, ubicado a una altura de 2 865 msnm en las coordenadas geográficas 01° 22' 02'' de Latitud Sur 78° 36' 20' de Longitud Oeste. En el cantón Cevallos. Los terrenos son planos y con mucha pendiente, la textura de los suelos en su mayoría es franca arenosa, mal drenado, la fluctuación de la temperatura es de 11° C a 23° C.

#### 7.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

De acuerdo a los registros de comparación de métodos de propagación de riego con goteo, los mejores resultados fueron utilizando la sonda de humedad Em50G en el cultivo de brócoli mejorando la eficiencia del uso del agua.

#### 7.3. JUSTIFICACIÓN

A medida que pasa el tiempo el agua de riego ha disminuido en gran parte debido al mal uso que se le ha dado de manera exagerada o en cantidades menores a las requeridas

al cultivo, el trabajo realizado fue con el interés de optimizar el uso del agua de modo que sea aplicada únicamente en el tiempo y en la cantidad necesaria mejorando la eficiencia del uso del agua.

#### **7.4.OBJETIVOS**

Mejorar la producción de brócoli (*Brassica oleracea*, var. *itálica*) aplicando la cantidad de agua requerida por el cultivo.

#### **7.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

Con la aplicación de esta propuesta se podrá disminuir el uso excesivo de agua, obtener mejor resultados en rendimiento y calidad del cultivo.

#### **7.6. FUNDAMENTACIÓN**

La falta de conocimiento en la tecnificación del riego influye en el alto consumo de agua innecesaria y las limitantes del recurso agua por parte de los agricultores. En la actualidad tecnificar el riego está encaminado a reducir la aplicación de agua en los cultivos, mejorando la eficiencia del uso del agua y obteniendo mayor productividad de los cultivos.

#### **7.7. METODOLOGÍA, MODELO OPERATIVO**

##### **7.7.1. Determinación de la textura del suelo.**

Para conocer la textura del suelo en el cual se llevará a cabo el ensayo de campo se debe construir una calicata de 0.90 m de profundidad para luego proceder a tomar muestras de suelo en cada una de las estratas y medir las alturas de cada una de ellas. A nivel medio de la altura de cada estrata se procederá a recoger las muestras de suelo en fundas plásticas aproximadamente 0.5 kg que serán llevadas al laboratorio de suelo y aguas para realizar la determinación de la textura por el método de Bouyucus. Con los porcentajes de arena, limo y arcilla obtenidos en el laboratorio de Suelo y Aguas se procederá a calcular la Capacidad de Campo a través de la fórmula de Peele donde:

$CC = 0,48(\text{Arcilla}) + 0,162(\text{Limo}) + 0,023(\text{Arena}) + 2,62$ , para el Punto de Marchitez Permanente (PMP) se calculó con la fórmula de Brigg que es igual a  $PMP = 0,302(\text{Arcilla}) + 0,102(\text{Limo}) + 0,0147(\text{Arena})$ .

#### **7.7.1. Medición de caudales de las cintas de goteo**

Se procederá a colocar vasos de precipitación bajo la cinta (Al principio, en la mitad y al final de la cinta) durante 1 min. - Se repetirá 3 veces el mismo paso.

#### **7.7.2. Preparación del terreno**

Limpieza.

Arado.

Rastreado.

Nivelado.

#### **7.7.3. Transplante**

Se procederá a trasplantar el brócoli a los 21 días de germinado, en suelo anteriormente regado, evitando el maltrato del cuello de la planta.

#### **7.7.4. Aplicación de fertilizantes**

La aplicación de fertilizantes se la debe realizar a base de NPK con Nitrato de amonio, Muriato de potasio y Fosfato diamónico a razón de 3 g por planta de la mezcla de los tres fertilizantes, la aplicación se realizará a la primera, cuarta y décima semana después del transplante.

#### **7.7.5. Deshierba y Aporques**

Las labores de rascadillo o deshierba se las realiza de forma manual con la ayuda de azadones y rastrillos a la cuarta, séptima y onceava semana. Del mismo modo el aporque a la cuarta y décima semana después del transplante.

### **7.7.6. Control de plagas y enfermedades**

En caso de aparición de alguna anomalía perjudicial para el cultivo serán tratadas de manera inmediata con la utilización de productos químicos disponibles para contrarrestar el efecto.

### **7.7.7. Cosecha**

La cosecha se realizará con la ayuda de un cuchillo para retirar las pellas de forma manual.

## **7.8. ADMINISTRACIÓN**

**Organización General:** Decanato de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

**Aval académico:** Subdecanato de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

**Ente ejecutor:** DIVISO (Dirección de Vinculación con la Sociedad) Facultad de Ciencias Agropecuarias.

**Organización Logística:** Coordinación de Carrera Ingeniería Agronómica.

## **7.9. PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN**

Después de seis meses, se hará una evaluación del alcance de la propuesta en la zona de influencia donde se desarrolló la investigación, esto se realizara mediante una encuesta a los agricultores, para así fomentar más estudios acerca de este tema.