



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

**“COMPARACIÓN DE TRES MÉTODOS DE RIEGO Y AJUSTE  
DEL USO CONSUNTIVO (Kc) MEDIANTE LISIMETRIA EN  
EL CULTIVO DE AJO (*Allium sativum* L.) EN LA ESTACIÓN  
EXPERIMENTAL TUNSHI”.**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**AUTOR:** INTI ISAAC TENESACA CUJILEMA

**TUTOR:** Ing. JUAN EDUARDO LEÓN RUIZ. Ph.D

Riobamba – Ecuador

2022

**©2022, Inti Isaac Tenesaca Cujilema**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, INTI ISAAC TENESACA CUJILEMA, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; es patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 05 de julio de 2022

**Inti Isaac Tenesaca Cujilema**

**C.I: 0605816214**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación “**COMPARACIÓN DE TRES MÉTODOS DE RIEGO Y AJUSTE DEL USO CONSUNTIVO (Kc) MEDIANTE LISIMETRÍA EN EL CULTIVO DE AJO (*Allium sativum L.*) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI**”, realizado por la señor **INTI ISAAC TENESACA CUJILEMA** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Víctor Alberto Lindao Córdova, PhD. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	_____	2022-07-05
Ing. Ing. Juan Eduardo León Ruiz. Ph.D. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	2022-07-05
Ing. Alfonso Leonel Suarez Tapia. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	2022-07-05

## **DEDICATORIA**

A mis padres Delfín Tenesaca y Victoria Cujilema por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por su infinito amor brindado, y su incondicional apoyo para lograr mis objetivos. A mis hermanos Pablo, Toa, Tamia y Tupak por estar siempre presentes. A mi esposa Ubaldina y mi hijo Yaku por ser la fortaleza en mi superación profesional y en mi vida diaria.

**Inti**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios. Por haber logrado en mí ser una persona de bien, dándome salud y guiándome en cada paso que doy.

A mis padres, por su incondicional apoyo y estar siempre presente, enseñándome a superar los retos de la vida.

A Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y la Escuela de Agronomía y a todos mis maestros que me enseñaron los principios académicos en vida universitaria.

Al Ing. Juan Eduardo León Ruiz. PhD, director de mi trabajo de titulación, por su paciencia y apoyo incondicional durante la investigación, de igual manera al Ing. Alfonso Leonel Suarez Tapia. PhD, asesor de mi trabajo de titulación, por brindarme su valioso tiempo, dedicación y conocimientos impartidos en el trascurso de la investigación.

**Inti**

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	16

### CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	3
1.1. Recurso hídrico.....	3
1.1.1. Generalidades.....	3
1.1.2. Importancia.....	3
1.1.3. Requerimiento de agua en el cultivo.....	4
1.2. Riego.....	4
1.2.1. El agua en el riego.....	4
1.2.2. Métodos de riego.....	5
1.2.3. Programación del riego.....	5
1.2.4. Huella hídrica.....	6
1.3. Coeficiente de cultivo (Kc).....	6
1.4. Uso consuntivo.....	7
1.5. Fenología.....	7
1.6. Evapotranspiración de referencia.....	8
1.7. Evapotranspiración del cultivo.....	8
1.8. Eficiencia de riego.....	8
1.9. Eficiencia de aplicación (Ea).....	10
1.9.1. Coeficiente de uniformidad (CU).....	10
1.9.2. Coeficiente de uniformidad de distribución (UD).....	10
1.10. Riego por goteo.....	11
1.10.1. Especificaciones técnicas de los goteros autocompensados.....	12
1.10.2. Cálculo Eficiencia.....	12
1.11. Riego de aspersión.....	12
1.11.1. Cálculo de eficiencia.....	12
1.12. Riego por gravedad o superficial.....	13
1.12.1. Cálculo de eficiencia.....	13

1.13.	<i>Diseño agronómico</i> .....	13
1.14.	<i>Diseño hidráulico</i> .....	13
1.15.	<i>Lisímetros de drenaje</i> .....	14
1.16.	<b>Cultivo de ajo</b> .....	15
1.16.1.	<i>Importancia</i> .....	15
1.16.2.	<i>Taxonomía</i> .....	15
1.16.3.	<i>Requerimientos edafoclimáticos</i> .....	15
1.16.4.	<i>Etapas fenológicas</i> .....	16
1.16.5.	<i>Manejo</i> .....	16
1.16.5.1.	<i>Siembra y preparación de suelo</i> .....	16
1.16.5.2.	<i>Rastreo</i> .....	17
1.16.5.3.	<i>Rascadillo</i> .....	17
1.16.5.4.	<i>Aporque</i> .....	17
1.16.5.5.	<i>Riego</i> .....	17
1.16.5.6.	<i>Fertilización</i> .....	18
1.16.5.7.	<i>Cosecha</i> .....	18
1.16.6.	<b>Problemas fitosanitarios</b> .....	18
1.16.6.1.	<i>Plagas</i> .....	19
1.16.7.	<i>Enfermedades</i> .....	19

## CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	21
2.1.	<b>Características del sitio de estudio</b> .....	21
2.1.1.	<i>Localización</i> .....	21
2.1.2.	<i>Ubicación geográfica</i> .....	21
2.1.3.	<i>Condiciones climáticas</i> .....	21
2.1.4.	<i>Clasificación ecológica</i> .....	21
2.2.	<b>Materiales y equipos</b> .....	21
2.2.1.	<i>Material experimental</i> .....	21
2.2.2.	<i>Material y equipos de campo</i> .....	22
2.2.3.	<i>Materiales de oficina</i> .....	22
2.3.	<b>Métodos</b> .....	22
2.3.1.	<i>Diseño experimental</i> .....	22
2.3.2.	<i>Métodos de evaluación</i> .....	23
2.3.2.1.	<i>Eficiencia de Riego (%)</i> .....	23
2.3.2.2.	<i>Ajuste del Kc del cultivo de ajo mediante Lisimetría</i> .....	25



2.3.2.3.	<i>Altura de la planta (cm)</i> .....	28
2.3.2.4.	<i>Diámetro de pseudotallo (mm)</i> .....	28
2.3.2.5.	<i>Potencial hídrico</i> .....	28
2.3.2.6.	<i>Conductancia estomática (mmol/m<sup>2</sup> s)</i> .....	28
2.3.2.7.	<i>Materia seca de la planta (%)</i> .....	29
2.3.2.8.	<i>Materia seca del bulbo (%)</i> .....	29
2.3.2.9.	<i>Contenido relativo del agua (WRC)</i> .....	29
2.3.2.10.	<i>Huella Hídrica</i> .....	30
2.3.2.11.	<i>Rendimiento por categoría (Kg/ha)</i> .....	30
2.4.	<b>Manejo de ensayos</b> .....	30
2.4.1.	<i>Preparación de la parcela experimental</i> .....	30
2.4.2.	<i>Unidades experimentales</i> .....	30
2.4.3.	<i>Instalación de los sistemas de riego</i> .....	31
2.4.4.	<i>Cabezal de riego</i> .....	31
2.4.5.	<i>Determinación de láminas y frecuencias</i> .....	32

### CAPÍTULO III

3.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	34
3.1.	<b>Resultados y discusión</b> .....	34
3.1.1.	<i>Identificación de las etapas fenológicas del ciclo del cultivo del ajo</i> .....	34
3.1.1.1.	<i>Etapas inicial</i> .....	34
3.1.1.2.	<i>Etapas de desarrollo</i> .....	34
3.1.1.3.	<i>Etapas intermedia</i> .....	35
3.1.1.4.	<i>Etapas final</i> .....	35
3.1.1.5.	<i>Duración total del ciclo del cultivo</i> .....	36
3.2.1.	<i>Coficiente del cultivo (kc) ajustado para el cultivo de ajo (Allium sativum L.)</i> .....	37
3.2.2.	<i>Eficiencia de riego</i> .....	38
3.2.3.	<i>Altura de la planta</i> .....	40
3.2.3.1.	<i>Altura de la planta a los 30 DDS (Etapas inicial)</i> .....	40
3.2.3.2.	<i>Altura de la planta a los 60 DDS</i> .....	40
3.2.3.3.	<i>Altura de la planta a los 120 DDS</i> .....	41
3.2.3.4.	<i>Altura de la planta a los 150 DDS</i> .....	42
3.2.3.5.	<i>Correlación de la eficiencia de riego vs la altura final de la planta</i> .....	44
3.2.4.	<i>Diámetro del pseudotallo</i> .....	44
3.2.4.1.	<i>Diámetro del pseudotallo a los 30 DDS</i> .....	44
3.2.4.2.	<i>Diámetro del pseudotallo a los 60 DDS</i> .....	45

3.2.4.3. <i>Diámetro del pseudotallo a los 120 DDS</i> .....	45
3.2.4.4. <i>Diámetro del pseudotallo a los 150 DDS</i> .....	47
3.2.5. <b><i>Conductancia estomática durante el ciclo de cultivo del ajo, en el Centro Experimental de Riego</i></b> .....	48
3.2.5.1. <i>Correlación de la eficiencia de riego vs conductancia estomática promedio del ciclo del cultivo de ajo antes y después del riego, en el Centro Experimental de Riego</i> .....	50
3.2.5.2. <i>Potencial Hídrico foliar en el cultivo de Ajo en la etapa inicial y desarrollo del cultivo de Ajo, en el Centro Experimental de Riego</i> .....	51
3.2.6. <b><i>Análisis de la materia seca de la planta</i></b> .....	52
3.2.6.1. <i>Materia seca del bulbo</i> .....	52
3.2.6.2. <i>Materia seca de la planta.</i> .....	53
3.2.6.3. <i>Correlación de la eficiencia de riego vs Materia Seca.</i> .....	55
3.2.7. <b><i>Contenido relativo de agua</i></b> .....	56
3.2.8. <b><i>Rendimiento por categoría</i></b> .....	57
3.2.8.1. <i>Rendimiento por categoría grande.</i> .....	57
3.2.8.2. <i>Rendimiento por categoría pequeña</i> .....	58
3.2.8.3. <i>Rendimiento total</i> .....	59
3.2.9. <b><i>Huella hídrica</i></b> .....	61
3.2.9.1. <i>Correlación de la eficiencia de riego vs Huella Hídrica</i> .....	63
3.2.10. <b><i>Análisis económico</i></b> .....	63
3.2.10.1. <i>Relación beneficio/costo (B/C)</i> .....	63
<b>CONCLUSIONES</b> .....	65
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	66
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Principales plagas del cultivo de ajo.....	19
<b>Tabla 2-1:</b>	Principales enfermedades del cultivo de ajo.....	20
<b>Tabla 1-2:</b>	Características del campo experimental.....	23
<b>Tabla 2-2:</b>	Categoría del ajo según su peso (g).....	33
<b>Tabla 1-3:</b>	Resultados de la duración de la etapa inicial.....	34
<b>Tabla 2-3:</b>	Resultados de la duración de la etapa de desarrollo.....	35
<b>Tabla 3-3:</b>	Resultados de la duración de la etapa intermedia.....	35
<b>Tabla 4-3:</b>	Resultados de la duración de la etapa final.....	36
<b>Tabla 5-3:</b>	Anova de la eficiencia de riego.....	39
<b>Tabla 6-3:</b>	Prueba de tukey al 5% para la eficiencia de riego.....	39
<b>Tabla 7-3:</b>	Altura de la planta a la 30 DDS.....	40
<b>Tabla 8-3:</b>	Altura de la planta a la 60 DDS.....	41
<b>Tabla 9-3:</b>	Anova de la altura de la planta a la 120 DDS.....	41
<b>Tabla 10-3:</b>	Prueba de tukey al 5% para Altura de la planta a los 120 DDS.....	41
<b>Tabla 11-3:</b>	Anova de la altura de la planta a la 150 DDS.....	43
<b>Tabla 12-3:</b>	Prueba de tukey al 5% para Altura de la planta a los 150 DDS.....	43
<b>Tabla 13-3:</b>	Diámetro del pseudotallo a los 30 DDS.....	45
<b>Tabla 14-3:</b>	Diámetro del pseudotallo a los 60 DDS.....	45
<b>Tabla 15-3:</b>	Anova del diámetro del pseudotallo a los 120 DDS.....	45
<b>Tabla 16-3:</b>	Prueba de tukey al 5% para el diámetro del pseudotallo a los 120 DDS.....	46
<b>Tabla 17-3:</b>	Diámetro del pseudotallo a los 150 DDS.....	47
<b>Tabla 18-3:</b>	Prueba de tukey al 5% para el diámetro del pseudotallo a los 150 DDS.....	47
<b>Tabla 19-3:</b>	Anova de la Materia seca del bulbo.....	52
<b>Tabla 20-3:</b>	Prueba de tukey al 5% para materia seca del bulbo.....	52
<b>Tabla 21-3:</b>	Anova de la Materia seca de la planta.....	53
<b>Tabla 22-3:</b>	Comparaciones ortogonales para la materia seca de la planta.....	54
<b>Tabla 23-3:</b>	Anova del contenido relativo de agua.....	56
<b>Tabla 24-3:</b>	Prueba de tukey al 5% para contenido relativo de agua.....	56
<b>Tabla 25-3:</b>	Anova del rendimiento por categoría grande.....	57
<b>Tabla 26-3:</b>	Prueba de tukey al 5% para rendimiento por categoría gruesa.....	58
<b>Tabla 27-3:</b>	Anova del rendimiento por categoría pequeña.....	59
<b>Tabla 28-3:</b>	Anova del rendimiento total de los métodos de riego.....	60
<b>Tabla 29-3:</b>	Comparaciones ortogonales para rendimiento total en kilogramos por hectárea.....	60

<b>Tabla 30-3:</b> Superficie de ajo ( <i>Allium sativum L.</i> ) sembrados en el Ecuador.....	60
<b>Tabla 31-3:</b> Anova de la huella Hídrica. ....	61
<b>Tabla 32-3:</b> Comparaciones ortogonales para la huella hídrica.....	62
<b>Tabla 33-3:</b> Relación beneficio/costo y rentabilidad de los tratamientos. ....	64

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b>	Diagrama de la duración de la etapa final .....	36
<b>Gráfico 2-3:</b>	Coefficiente del cultivo (kc) por etapa fenológica del ciclo del cultivo de Ajo ( <i>Allium sativum</i> L.), en La Estacion Experimental Tunshi, Provincia de Chimborazo, 2022. ....	37
<b>Gráfico 3-3:</b>	Eficiencia de riego.....	39
<b>Gráfico 4-3:</b>	Diagrama de la altura de la planta a los 120 DDS .....	42
<b>Gráfico 5-3:</b>	Diagrama de la altura de la planta a los 150 DDS.....	43
<b>Gráfico 6-3:</b>	Correlación de la eficiencia de riego vs la altura de la planta .....	44
<b>Gráfico 7-3:</b>	Diagrama del diámetro del pseudotallo a los 120 DDS.....	46
<b>Gráfico 8-3:</b>	Diagrama del diámetro del pseudotallo a los 150 DDS.....	47
<b>Gráfico 9-3:</b>	Análisis de la conductancia estomática antes y después del riego en las etapas fenológicas del cultivo de ajo. ....	48
<b>Gráfico 10-3:</b>	Correlación de la eficiencia de riego vs conductancia estomática antes y después del riego. ....	50
<b>Gráfico 11-3:</b>	Análisis del Potencial Hídrico en el cultivo de ajo en la etapa inicial y de desarrollo. ....	51
<b>Gráfico 12-3:</b>	Materia seca del bulbo.....	53
<b>Gráfico 13-3:</b>	Porcentaje de materia seca de la planta .....	54
<b>Gráfico 14-3:</b>	Correlación de la eficiencia de riego vs Materia Seca.....	55
<b>Gráfico 15-3:</b>	Contenido relativo de agua.....	56
<b>Gráfico 16-3:</b>	Rendimiento por categoría Grande.....	58
<b>Gráfico 17-3:</b>	Rendimiento por categoría pequeña. ....	59
<b>Gráfico 18-3:</b>	Rendimiento total de los métodos de riego .....	60
<b>Gráfico 19-3:</b>	Huella Hídrica a los 150 DDS de los tratamientos en el Centro Experimental del Riego - Tunshi- Espoch. ....	62
<b>Gráfico 20-3:</b>	Correlación de la eficiencia de riego vs Huella Hídrica. ....	63

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue la determinación del método de riego más eficiente y ajuste del Kc mediante lisimetria en el cultivo de ajo (*Allium sativum L.*) en la estación experimental Tunshi, para lo cual se utilizó un diseño de completo al azar (DCA) donde se incluyeron 3 tratamientos y 3 repeticiones siendo el T1 gravedad, T2 goteo y T3 aspersión para determinar la eficiencia de riego y un bloque de lisímetros de 3 repeticiones con goteo para el ajuste el kc, se seleccionó 10 plantas al azar para la toma de datos biométricos como: altura, diámetro del pseudotallo, conductancia estomática antes y después del riego, potencial hídrico antes y después del riego cada 20 días, además del contenido relativo de agua, materia seca de la planta, huella hídrica, rendimiento en Kg/ha y finalmente se calculó la relación beneficio/costo de cada tratamiento, la eficiencia de aplicación se obtuvo aplicando la fórmula de coeficiente de uniformidad para los tratamientos goteo y aspersión, en gravedad con el volumen infiltrado y escurrido, mientras para el ajuste del kc se determinaron la duración de las etapas fenológicas con la observación directa en campo, la ETc y ETo se obtuvieron calculando el volumen de ingreso y de salida dividiendo para el área del cada lisímetro. El análisis estadístico determinó que el tratamiento 2 tuvo prevalencia con los resultados de los tratamientos 3 y tratamiento 1, el Kc por etapa fenológica es de: inicial 0.2, desarrollo 0.71, intermedia 1.26 y final de 0.83, la menor huella hídrica se obtuvo con el tratamiento 2 (522,83 l/Kg) finalmente el tratamiento 2 género mayor beneficio con 97% de rentabilidad. Por lo que se recomienda utilizar el tratamiento 2 en la producción de ajo con la finalidad de obtener el beneficio que se calculó en la investigación.

**Palabras claves:** <RIEGO, <GRAVEDAD>, <GOTEO>, <ASPERSIÓN>, <COEFICIENTE DE CULTIVO>, <LISIMETRÍA>, <ETAPAS FENOLÓGICAS>.

1617-DBRA-UTP-2022

## ABSTRACT

This present investigation aimed to determine the most efficient irrigation method and Kc adjustment by means of lysimetry in garlic (*Allium sativum* L.) crop in Tunshi experimental station. A complete randomized design (CRD) was used with 3 treatments and 3 replications. T1 gravity, T2 drip and T3 sprinkling were used to determine the irrigation efficiency and a block of lysimeters of 3 replications with drip for the adjustment of the kc, 10 plants were selected at random for gathering biometric data such as: height, pseudostem diameter, stomatal conductance before and after irrigation, water potential before and after irrigation every 20 days, relative water content, plant dry matter, water footprint, yield in kg/ha and finally the benefit/cost ratio of each treatment was calculated. The application efficiency was obtained by applying the uniformity coefficient formula for the drip and sprinkling treatments, in gravity with the infiltrated and drained volume, whereas the kc adjustment the duration of the phenological stages was determined by direct observation in the field, the ETc and ETo were obtained by calculating the input and output volume divided by the area of each lysimeter. The statistical analysis determined that treatment 2 were the best compared to the treatments 3 and 1, the Kc per phenological stage is: initial 0.2, development 0.71, intermediate 1.26 and final 0.83, the lowest water footprint was obtained with treatment 2 (522.83 l/kg), finally treatment 2 had the highest profit with 97% profitability. Therefore, it is recommended to use treatment 2 in garlic production in order to obtain the benefit proposed in this investigation.

Key words: <IRRIGATION, GRAVITY>, <DRIP>, <SPRINKLING>, <CROP EFFICIENCY>, <LISIMETRY>, <PHENOLOGICAL STAGES>.

ESTHELA ISABEL COLCHA GUASHPA  
06030205678

## INTRODUCCIÓN

Internacionalmente, el trabajo del agua y su gestión fueron un elemento importante para elevar la productividad de la agricultura y asegurar una producción previsible. El agua es fundamental para aprovechar el potencial de la tierra y para permitir que las variedades mejoradas tanto de plantas como de animales utilicen plenamente los demás elementos de producción que elevan los rendimientos (BIZKAIA, 2015, p. 60). Al aumentar la productividad, la administración sustentable del agua auxilia a garantizar una producción mejor como para el consumo directo como para el negocio, favoreciendo de esta forma la producción de los excedentes económicos necesarios para elevar las economías rurales, un sistema de riego con una adecuada metodología evita los excesos y la deficiencia (Olmedo, 2018, p. 67).

De acuerdo con el Banco Nacional de Autorizaciones de Agua-BNA, para el año 2018, el total de los usos que cuentan con autorización del Estado, consuntivo y no consuntivo, es de 100.101 autorizaciones. De este total, el riego representa el 41.86%, para lo cual se estima los usos consuntivos del agua, el caudal autorizado es de 687 m<sup>3</sup>/s (Sailema, 2021). El riego representa el 71.2%, lo cual se convierte en la utilización de agua que más caudal consume en nuestra región, algo que generalmente se muestra con una tendencia en Latinoamérica, además que el aspecto que merece ser destacado es el de las diversas y distintas funcionalidades que el riego cumple en el marco de la producción agrícola, del desarrollo territorial y de la economía agraria, de ahí que un aspecto fundamental, en cualquier organización del riego, es reconocer su carácter multifuncional (Espín, 2021, p. 45).

Según Pallo (2014, p. 67), en su estudio identificó que en el Ecuador el clásico del cultivo del ajo (*Allium sativum L.*) está favorecido puesto que tiene propiedades geográficas y climáticas idóneas para su desarrollo sembrándose en especial en las provincias: Tungurahua, Chimborazo, Carchi, Azuay, Cañar, Loja y Cotopaxi, donde el clima, la altitud y el suelo es propicio. En el territorio, tiene un periodo vegetativo entre la siembra y la cosecha de 4 a 6 meses. Las mismas que oferta el 87,39% de la producción nacional. Así mismo, en la investigación de Jácome (2016), se determinó que la agricultura de hoy pide más grande rendimiento con menos recursos esto gracias a pronósticos de un futuro de escases, las indagaciones buscan conocer con exactitud las necesidades de agua de los cultivos, para obtener el mejor resultado de las tecnologías de riego accesibles, y para desarrollar novedosas tecnologías capaces de mejorar la aplicación del agua en dependencia de las propiedades del lote, del cultivo y el precio.



La problemática es primordialmente los bajos rendimientos del cultivo de ajo (*Allium sativum L.*) por el desconocimiento del método de riego más eficiente y la carencia de información de coeficientes de cultivo Kc ajustada a el sector de análisis para la aplicación del riego en oportunidad y eficiencia (FAO, 2021). Teniendo presente la grave afectación de los suelos en el Ecuador por el mal funcionamiento del agua de riego se podría optar a través de la presente investigación que tiene como fin comparar la eficiencia entre los tres métodos de riego (aspersión, gravedad y goteo) en el cultivo de ajo (*Allium sativum L.*) además de ajustar el (Kc) en la zona de estudio para cada etapa fenológica por medio de lisimetría, contribuyendo así a la sociedad productora un aporte sólido y con base científica que tiene como fin el desarrollo del sector agrícola en el territorio además que es un plan para poder hacer una productividad agrícola sostenible adaptándose a la necesidad de mantener la energía y los recursos, salvaguardando la calidad del medioambiente, salud pública y el desarrollo socioeconómico (Garzón, et al., 2015. p. 65).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Determinar el método de riego más eficiente en el cultivo de ajo (*Allium sativum L.*) y ajuste del (Kc) mediante lisimetría.

### **Objetivos específicos**

- Analizar la eficiencia de aplicación de 3 métodos de riego aspersión gravedad y goteo.
- Construir curvas del Kc mediante la utilización de lisímetros de drenaje de acuerdo a las etapas fenológicas del ajo (*Allium sativum L.*).
- Determinar la huella hídrica.
- Realizar el análisis económico a través de la relación beneficio costo.

Comentado [UdW1]: Suba a la hoja anterior

Comentado [CM2R1]:

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Recurso hídrico

##### 1.1.1. Generalidades

El Ecuador tiene una población que crece aceleradamente, por consiguiente, la agricultura deberá ser todos los días más fuerte para lograr alimentar a más personas, el riego es un componente de eficiencia que nos ayudará a mejorar los rendimientos. O sea, la producción agropecuaria es dependiente más que antecedente de la irrigación, debido al calentamiento global universal (Baroja, 2016). El agua utilizada para regadío procede de fuentes naturales y alternativas, en el cual, as fuentes naturales integran agua de lluvia y la superficial (lagos y ríos), recursos que tienen que ser utilizados de forma sustentable (Bautista, 2015. p. 58). Así mismo, a lo largo del tiempo los recursos naturales en el Ecuador han sido manejados sin restricción y planificación alguna, los pueblos precolombinos mostraron ser más técnicos que los de nuestros días en el manejo de los recursos naturales (Guachizaca, 2018, p. 78).

##### 1.1.2. Importancia

Sánchez (2019), identifico que el agua es uno de los recursos naturales fundamentales para la vida vegetal y uno de los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo, junto con el aire, la tierra y la energía. Lalvay & Orellana (2018), determinaron en su estudio que es importante la eficiente aplicación del agua ya que es un recurso limitado que principalmente no alcanza para regar toda el área que quiere el campesino o para no crear inconvenientes en los sectores o predios que se hallan en posiciones más bajas.

La porción aprovechable de este componente por el cultivo va a ser variable y dependerá de los componentes meteorológicos y del suelo, por lo cual, a sido primordial resaltar las diversas funcionalidades que cumple el riego en la esfera de las ocupaciones humanas, tales funcionalidades permanecen en relación a los entornos benéfico, social, ambiental y económico (Samaniego, 2019). En el campo beneficioso, las contribuciones del riego son la solución de los inconvenientes de repartición espacial y temporal del agua, el crecimiento y diversificación de la producción, la mitigación de peligros, especialmente de sequías y heladas. Además, en el campo social, el riego tiene repercusiones relevantes como la contribución a la estabilización de costos

de los productos agrícolas, la generación de trabajo y atenuación de la migración rural y la articulación de la organización y movilización social en el agro (Tejeda, 2018, .p. 45).

Según Campaña y otros (2019), en su estudio a partir de una visión ambiental, el riego es o podría ser un componente que limita la extensión de la frontera agrícola hacia ecosistemas frágiles y el aporte de la actividad agrícola para el territorio es importante. De modo aproximado, representa el 17% del Producto Interno Bruto, de esta forma dimensionada el valor de la agricultura para el Ecuador, se dimensiona mejor el valor estrictamente económico del riego puesto que, el costo de la producción bajo riego, se cree en el 70% de la producción agrícola total.

### ***1.1.3. Requerimiento de agua en el cultivo***

Alegría (2016), menciona que los requerimientos de agua en un cultivo corresponden al agua que usa la planta para realizar sus funcionalidades fisiológicas, incluyendo la que expulsa la planta por medio de las hojas (transpiración), la que se pierde del suelo donde está el cultivo (evaporación) y el agua interceptada por el follaje. Además, la CONADI (2017), plantea que la decisión de las necesidades de agua de los cultivos es el paso anterior para entablar los volúmenes de agua que va a ser primordial dar con el riego. Entre los procedimientos investigados para predeterminar estas necesidades, tal vez sean los más usados los que se fundamentan en la evapotranspiración. El consumo de agua no solo es dependiente del cultivo, sino de los restantes componentes climáticos, como se explica en la evapotranspiración.

Bajo condiciones prácticas, la proporción de agua disipada por evaporación y transpiración es causada por un impacto combinado, debido a que los dos no son entre sí interdependientes (evapotranspiración). La transpiración podría ser influenciada por la evaporación del suelo y la evaporación del suelo es influenciada por el nivel de cobertura que existe del cultivo y la disponibilidad de humedad en el suelo alrededor de su área (Cely, 2010). Por ende, principalmente se llaman evapotranspiración del cultivo (ETc), están sujetas a los límites climáticos, de la disponibilidad de agua, del tipo y diversidad de cultivo, de la densidad de siembra y del estado de su desarrollo (Parrado, 2015, p. 90).

## **1.2. Riego**

### ***1.2.1. El agua en el riego***

El agua retenida en las capas de suelo no siempre se encuentra en proporciones aprovechables para la planta, es por esto que se deben regar para obtener buenos rendimientos, debido a que una

vez que el suelo se humedece por impacto de la lluvia o riego exuberante, el agua llenara todos los espacios porosos construyendo una cinta gruesa cerca de las partículas (Dukez, et al., 2019, p. 67). Además, Rivera (2017, p. 78) en su estudio determinó que, bajo estas condiciones está establecido un estado de saturación y por esto el agua no está poderosamente retenida a las partículas del suelo y el contenido de humedad o cantidad de agua que tiene o retiene una muestra de suelo se puede expresar en términos de masa o peso, volumen o lámina de agua.

Entre los límites más relevantes que analizó además está la función de campo una vez que se proporcionan las condiciones correctas para que se efectúe un desagüe, comenzaran a vaciarse el agua contenida en los macroporos, empero aun de esta forma continúan llenos los poros capilares o microporos, este estado se llama capacidad de campo (Vega, 2011, p. 65). Otro de los parámetros que se consideran es la marchitez permanente: Se alcanza cuando el contenido de agua del suelo es tan bajo que las hojas de las plantas no se recuperan de la marchitez aun cuando se coloca en una atmosfera saturada, este punto se considera una constante del suelo y caria ligeramente con la capacidad de la planta para absorber agua (Yesid, 2016, p. 78). Por último, se considera al agua disponible en un intervalo comprendido entre la capacidad de campo (0,33 atm) y le punto de marchitez permanente (15 atm) lo conocemos como agua disponible o aprovechable (BIZKAIA, 2015, p. 60).

### ***1.2.2. Métodos de riego***

Los procedimientos de riego engloban las distintas maneras que hay de utilizar el agua al suelo. Han evolucionado de forma notable con la época, a partir de la ejecución del riego en las primeras culturas basándose en la observación de las crecidas y bajadas del grado del agua en los ríos y el desempeño conveniente del agua y el suelo, hasta los riegos plenamente tecnificados, controlados y automatizados que aprovechan el razonamiento existente actualmente de ciencias como la agronomía, hidráulica o la electrónica (Quesada, 2017, p. 78). Estos pueden ser por riego superficial o gravedad, por aspersión, por goteo y subterráneo.

### ***1.2.3. Programación del riego***

La programación del riego es una metodología que posibilita establecer el grado óptimo de riego a ejercer a los cultivos, que se apoya en entablar la frecuencia y tiempo de riego según las condiciones edafoclimáticas del predio y una oportuna programación del riego posibilita optimizar la utilización del agua y maximizar la producción y calidad de los productos agrícolas (CONADI, 2017). Mientras que para programar el riego es esencial estimar tanto el agua que consumen los cultivos o su evapotranspiración y la cantidad de agua que puede almacenar el suelo

explorado por las raíces del cultivo. La programación del riego es entonces un procedimiento que permite establecer el momento oportuno del riego y cuánta agua aplicar a los cultivos (Quesada, 2017, p. 78).

#### **1.2.4. Huella hídrica**

La huella hídrica es un indicador que define el volumen total de agua dulce utilizado para generar los bienes y servicios elaborados por una organización, o consumidos por un sujeto o sociedad que mide en el volumen de agua consumida, evaporada o contaminada durante la cadena de abastecimiento (Llerena, 2014, p. 69). Este parámetro se mide en unidades de volumen (litros o metros cúbicos) por unidad de producto fabricado o servicio consumido, y consta de tres sumandos que se han nombrado según los colores designados habitualmente al agua: la huella hídrica verde tiene la parte de huella que proviene de manera directa del agua de lluvia o nieve y que se almacena en el suelo en capas superficiales al alcance de las plantas (Mancheno, 2017, p. 49).

Además, según Fernández, Lastra & Tolón, (2013), la huella azul hace referencia al agua que nace o se capta de fuentes naturales o artificiales por medio de infraestructuras o instalaciones operadas por el ser humano; y, al final, la huella gris hace referencia al volumen de agua contaminada en los procesos y que después se necesita diluir para consumir con las fronteras exigidos por la normativa sectorial del cauce u organismo receptor de los vertidos finales de proceso. La Huella hídrica permite considerar que el consumo de agua que requerimos en cada una de las propias ocupaciones y sirve para tener un costo de alusión en nuestro uso del agua y más que nada el apreciar donde se tiene la posibilidad de mejorar como Organización, que sirve de base de partida para entablar un desempeño eficiente del agua y el establecimiento de fines.

#### **1.3. Coeficiente de cultivo (Kc)**

El consumo de agua o evapotranspiración que pasa en un área cultivada podría ser querida desde datos meteorológicos (temperatura, humedad relativa, radiación solar, rapidez de viento) usando el modelo de Penman-Monteith sugerido por la ONU Para la Ingesta de alimentos y la Agricultura (FAO), como lo indican en su investigación Arteaga y otros (2017). La carencia de información fidedigna respecto al modo en que estas están afectando al cultivo, como varían a lo largo del incremento y la conducta de este, establece que el modelo se emplee para decidir la evapotranspiración de alusión (ET<sub>r</sub>). Esta es la evapotranspiración que se muestra en un cultivo hipotético, cuyas propiedades son conocidas y correspondiente a un cultivo de pasto de elevación uniforme, bien regado y en óptimas condiciones de incremento (Quesada, 2017, p. 78).

Según Neira, Ramos & Razuri (2020), el propósito del uso del Kc es la decisión de la Etc en especial, basados en la información meteorológica medida a grado local, o sea, en la zona cercana y representativa del área del cultivo. La Etc obtenida representa el límite mayor de ET del cultivo una vez que no hay obstáculos al aumento de este gracias a restricciones de agua, que es el factor que indica el grado de desarrollo de las plantas o cobertura del suelo por el cultivo. Mientras que en la investigación de López (2021), argumenta que el valor de ETc es calculado a través del enfoque del coeficiente del cultivo, donde los efectos de las condiciones del tiempo atmosférico son incorporados en ETo y las características del cultivo son incorporadas en el coeficiente Kc.

#### **1.4. Uso consuntivo**

Según (FAO, 2021) la utilización consuntiva del agua de riego se puede definir como el volumen de agua necesaria para reponer la deficiencia entre la evapotranspiración potencial y la precipitación positiva a lo largo del ciclo del cultivo, por un lado, y los cambios en el contenido de humedad del suelo por otro. Esto cambia de manera considerable con las condiciones climáticas, las estaciones, los cultivos y el tipo de suelo. Para un mes definido, el balance hídrico del cultivo a partir de la siguiente ecuación.

$$URC = ETc - (P + Ds)$$

Dónde:

URC = uso consuntivo del agua de riego necesario para satisfacer la demanda del cultivo (mm)

ETc = evapotranspiración potencial del cultivo (mm)

P = precipitación efectiva (mm)

DS = variación de la humedad del suelo (mm)

#### **1.5. Fenología**

El análisis de los eventos periódicos naturales relacionados en la vida de las plantas se llama fenología palabra que deriva del griego phaino que significa expresar, y muestra que es el análisis de los fenómenos biológicos acomodados a cierto ritmo periódico como la brotación, la maduración de los frutos y otros. Como es natural, dichos fenómenos se relacionan con el clima de la metrópoli en que pasa; y a la inversa, de la fenología se puede sacar secuencias relativas al clima y más que nada al microclima una vez que ni uno, ni otro se conocen debidamente (Yanangómez, 2018, p. 67). En lo que los eventos habitualmente vigilados en cultivos agrícolas y hortícolas son: siembra, germinación, emergencia (inicio), floración (primera, completa y última) y cosecha. Los eventos extras vigilados en determinados cultivos específicos integran: presencia

de yema, aparición de hojas, maduración de frutos, caída de hojas para diversos árboles frutales (Nieto, et al., 2019, p. 50).

### **1.6. Evapotranspiración de referencia**

Evapotranspiración del cultivo de alusión o evapotranspiración de alusión y simbolizada como  $ET_o$ . El área de alusión es un cultivo hipotético de pasto, con una elevación asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial fija de  $70 \text{ s m}^{-1}$  y un albedo de 0,23. El área de alusión es muy semejante a un área vasta de pasto verde, bien regada, de elevación uniforme, creciendo activamente y dando sombra plenamente al suelo y la resistencia superficial fija de  $70 \text{ s m}^{-1}$  involucra un suelo moderadamente seco que obtiene riego con una frecuencia semanal (Quesada, 2017, p. 78). Además, que la  $ET_o$  se puede calcular usando datos meteorológicos, el procedimiento de FAO Penman-Monteith ahora se ofrece como el exclusivo procedimiento estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de alusión (Cáceres, 2017, p. 4).

### **1.7. Evapotranspiración del cultivo**

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se llama  $ET_c$ , y tiene relación con la evapotranspiración de cualquier cultivo una vez que está exento de patologías, con buena fertilización y que se realiza en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción según las condiciones climáticas reinantes (Correa, 2015, p. 609). Además, la evapotranspiración del cultivo podría ser calculada desde datos climáticos e integrando de forma directa los componentes de la resistencia del cultivo, el albedo y la resistencia del aire en el enfoque de Penman-Monteith. Ya que aún hay una notable falta de información para los diferentes cultivos, el procedimiento de Penman-Monteith se usa solo para la estimación de la tasa de evapotranspiración del cultivo estándar de alusión ( $ET_o$ ). La interacción  $ET_c/ET_o$  que podría ser definida experimentalmente para diferentes cultivos y es popular como Coeficiente del Cultivo ( $K_c$ ), y se usa para relacionar  $ET_c$  a  $ET_o$ , utilizando la siguiente ecuación (Contreras, 2015, p. 76).

$$ET_c = K_c * ET_o$$

### **1.8. Eficiencia de riego**

En general, la eficiencia de riego involucra funcionamiento conveniente del agua en el predio agrícola; en otros términos, involucra el nivel de capacidad que tiene el regante para manejar el agua y empero por más cuidado que se tenga en el desempeño del agua, continuamente van a existir pérdidas, estas pérdidas ocurren primordialmente a lo largo de la aplicación del agua al

suelo y además a lo largo de la conducción, tanto en la red de riego externa como en la red interna de repartición del agua a la parcela (Franco, 2018). Además, la eficiencia de un sistema de riego es la interacción entre la proporción de agua usada por las plantas y la proporción de agua suministrada a partir de la bocatoma, la proporción de agua que es tomada de alguna fuente natural de un sistema de riego esta conducida por medio de un canal primordial y después derivada el agua por un canal de repartición y al final se deriva el agua a grado parcela para cualquier cultivo del productor agrario (Chique, 2018, p. 56). La eficiencia de riego está compuesta por la eficiencia de conducción en el canal primordial, eficiencia de repartición en los canales laterales y la eficiencia de aplicación a grado de parcela, el producto de estas tres eficiencias nos establece la eficiencia de riego de un sistema (Mérida, 2017, p. 50).

Los principales problemas que enfrentan los productores agrícolas en las áreas de riego por gravedad, es la baja eficiencia y deficiente uniformidad con que se aplica el agua. El primero repercute en la sustentabilidad del recurso y el segundo impacta en forma negativa en el desarrollo de los cultivos y por lo tanto en los ingresos del productor. En el riego por gravedad la eficiencia de conducción en promedio a nivel nacional varía del 45 al 60% y la de aplicación es del orden del 60% aproximadamente (Lázaro Chávez et al., 2010, p. 67).

La eficiencia de conducción posibilita evaluar la pérdida de agua en el canal primordial a partir de la bocatoma hasta el punto final del canal primordial y se recibe de todos los canales de repartición de primer, segundo orden y secuencialmente, que sirven para repartir el agua hacia las parcelas de los usuarios. Mide la pérdida que se genera entre la toma lateral del canal primordial, hasta la entrega a los usuarios de una región de riego (Dominguez, 2019, p. 411).

En Ecuador apenas el 13.8% del área bajo riego cuenta con riego tecnificado, esta clase de tecnología posibilita a los pequeños agricultores optimizar la utilización del agua y proporcionar a los cultivos la porción elemental de forma eficiente para su desarrollo, reduciendo así el desperdicio de este preciado recurso que es cada vez más limitado (Saltos, 2018). Por ende, la eficiencia provechosa del riego tecnificado se puede manifestar como la proporción de productos agrícolas conseguidos por cada metro cúbico aplicado de agua, el cual cambia por el tipo de cultivo, el clima, el costo de la producción obtenida y la proporción de agua usada.

El riego tecnificado posibilita utilizar los recursos de manera localizada, continua, eficiente y de forma apropiada, asimismo, se ajusta a cualquier tipo de suelo y a condiciones tipográficas distintas, lo que además de ahorrar tiempo, ayuda a mejorar la economía debido a que cumple con ciertas funcionalidades como lo es el regar, fertilizar y mantener el control de plagas, evitando el



desarrollo de maleza, la existencia de plagas y patologías, lo que reduce las pérdidas (Larrea & Sosa, 2017).

Asimismo, beneficia el aumento y desarrollo de los cultivos, permitiendo conseguir una eficiencia del 95 por ciento comparativamente a otros mecanismos de riego, debido a que le aporta a los cultivos lo primordial, así como las condiciones óptimas para su producción con una frecuencia regular (Cisneros, 2019, p. 89).

### **1.9. Eficiencia de aplicación (Ea)**

La eficiencia de aplicación de riego es la proporción de agua eficaz para el cultivo que queda en el suelo luego de un riego, relacionadas al total del agua que se aplicó y principalmente se mide en porcentaje o litros de agua eficaz en el suelo por cada 100 litros aplicados (Franco, 2018). Además, que sugiere las pérdidas que se otorgan al utilizar el agua a los cultivos. Se expresa como interacción entre el volumen de agua solicitado por el cultivo y el volumen de agua entregado o introducido al cultivo, es dependiente del procedimiento de riego, topografía, tipo de suelo, grado de conocimientos del regador (Mérida, 2017, p. 50).

#### **1.9.1. Coeficiente de uniformidad (CU)**

Según (Vargas A, 2008) el coeficiente de uniformidad (CU); también conocido como el coeficiente de Christiansen: dice que tan uniforme se está comportando el caudal de los emisores con respecto a una media poblacional del caudal, recomienda para su cálculo la siguiente fórmula:

$$CU = 1 - \frac{X_i - \bar{X}}{\bar{X} * n} * 100$$

Dónde:

CU= Coeficiente de uniformidad en porcentaje

X<sub>i</sub>= Datos individuales de los caudales de los goteros muestreados

$\bar{X}$ =Promedio de los goteros aforados

n= Número de goteros aforados

|X<sub>i</sub>- $\bar{X}$ |= Valor absoluto de la diferencia entre X<sub>i</sub>-  $\bar{X}$

#### **1.9.2. Coeficiente de uniformidad de distribución (UD)**

(Franco, 2018) menciona que la Uniformidad de la distribución (UD) es una medida de cuán equitativamente o pareja es aplicada el agua a través del campo durante el riego, la UD se expresa

en porcentaje entre 0 y 100%, pero en la práctica es virtualmente imposible obtener el 100%. Una UD inferior al 70% es considerada deficiente, UD entre 70 y 90% es buena, y UD superior al 90% es excelente. En resumen, una UD deficiente significa que se está aplicando demasiada agua, lo que implica un gasto innecesario, o que el agua aplicada no es suficiente, causando estrés a los cultivos. Para calcular el coeficiente de uniformidad de la distribución se determina con la siguiente fórmula:

$$UD = \frac{L_p * 25\%}{X} * 100$$

Dónde:

UD= Uniformidad de la distribución, en %.

Lp25%= Promedio de los caudales del 25% de los goteros con la menor descarga.

X = Promedio de todos los goteros aforados

### **1.10. Riego por goteo**

El riego por goteo o riego gota a gota es un método de irrigación que permite una óptima aplicación de agua y abonos en los sistemas agrícolas de las zonas áridas. El agua aplicada se infiltra en el suelo irrigando de forma directa el área de influencia radicular mediante un sistema de tuberías y emisores (Concha, et al., 2018). En este sistema consta de la fuente de suministro, cabezal primordial, tuberías de conducción primordial, tuberías de conducción primordial y laterales de riego con emisores, que son usadas para el control de la proporción de agua se acomoda en porción y posibilidad a la evapotranspiración de los cultivos, se previene la pérdida por conducción debido a que le agua se deposita de manera directa en la planta alcanzando una eficiencia de 90% a 95% (Alomoto, 2020, p. 78).

Cabe aclarar que, en este sistema, en la tubería, el agua circula con presión, pero la gota cae al suelo sin presión. Esto se debe a que el emisor posee un diseño, según el fabricante, que permiten perder presión y que caigan gotas. El riego por goteo tiene la ventaja de utilizar menos presión que los otros métodos de riego presurizados ya que necesita una presión de 1,2 kg/cm. Es adecuado para utilizar en riegos de frutales y hortalizas. No necesita mano de obra, solo alguien relativamente especializado que entienda el funcionamiento y el mantenimiento del sistema. La desventaja de este método es que requiere un alto costo inicial, similar a los otros riegos presurizados y un buen sistema de filtrado para que no se tapen los goteros, según Demin (2014).

### ***1.10.1. Especificaciones técnicas de los goteros autocompensados***

Los goteros autocompensados mantienen un caudal uniforme, aun cuando la diversidad en la presión el flujo es turbulento y en su interior tiene una membrana que de silicona (diafragma) que se deforma por la diferencia de presión de frente a y luego de la misma modificando el conducto de paso y manteniendo el caudal constante; dichos goteros permanecen espaciados comúnmente a 20 o 60 centímetros (Dukez, et al., 2019, p. 67). El diseño primordial de riego por goteo autocompensante tradicional sacia cada una de las necesidades primordiales del riego por goteo autorregulado los caudales de 2, 4 y 8,5 l/h, la presión mínima en 5 mca y la presión máxima: 35 mca (Espín, 2021. p. 45).

### ***1.10.2. Cálculo Eficiencia***

La metodología es semejante al del riego por aspersión debido a que se puede establecer de manera directa un coeficiente de uniformidad. Empero además se simplifica, debido a que no se piensan pérdidas por evaporación y arrastre y en la situación de un desempeño conveniente jamás se crea escorrentía. (Fernández, 2010).

## ***1.11. Riego de aspersión***

Este procedimiento de riego involucra una lluvia más o menos fuerte y uniforme sobre la parcela para que el agua se infiltre en el mismo punto donde cae Tanto los sistemas de aspersión como los de goteo usan dispositivos de emisión o descarga en los cuales la presión disponible en el ramal induce un caudal de salida y la diferencia entre los dos procedimientos radica en el tamaño de la presión y en la geometría del emisor (Baeza, 2014). Con este procedimiento se alcanzan eficiencias de aplicación entre 80 y 85% empero es necesario una alta inversión inicial de capital en los sistemas de repartición y aplicación más el precio de la mano de obra y el mantenimiento de los conjuntos (FAO, 2021).

### ***1.11.1. Cálculo de eficiencia***

Según Agnellos Et al (2019), para el cálculo de eficiencia para el riego por aspersión se lo hará en base a la uniformidad de distribución, además de los parámetros, en el cual escorrentía (E), pérdidas por evaporación y arrastre (Pevap) y percolación profunda (PP), se pueden medir directamente, excepto ésta última. La escorrentía es la variable más compleja de medir y el procedimiento es recoger el agua en un punto de la parcela y medir con un aforador.

### ***1.12. Riego por gravedad o superficial***

La característica primordial del riego por gravedad es la manera de repartir el agua en el suelo. Esta repartición es por gravedad. Al continuar el agua sobre el área del suelo se crea al mismo tiempo el reparto del agua en la parcela y la infiltración de la misma en el perfil del suelo, debido a que la eficiencia de riego en condiciones clásicas puede ir de 40% a 70% (Franco, 2018).

#### ***1.12.1. Cálculo de eficiencia***

Se establece la eficiencia del riego por gravedad por medio del “método de los 3 puntos” postulado por Walker en 1989. Dicho método se fundamenta en la medición de las cambiantes que determinan el ajuste de la capacidad de infiltración, que en esta situación usa la ecuación de Kostiaikov-Lewis (BIZKAIA, 2015, p. 60). En el cual se consideran términos como la Z: Infiltración acumulada en el punto i del surco o tablar expresada como lámina de agua. k,a: Parámetros de ajuste. Infiltración básica, esto es, valor de infiltración asintótico cuando las condiciones del suelo están próximas a la saturación, ti: Tiempo de oportunidad del punto I (Fernández, 2010).

### ***1.13. Diseño agronómico***

El diseño agronómico representa la primera etapa del método de diseño de cualquier tipo de riego, con el que se establece la proporción de agua que ha de mover la instalación, que corresponde a las necesidades brutas de riego en las épocas de máxima necesidad. Es una gran parte en un plan de riego debido a que si se cometen errores en los cálculos del diseño agronómico afectarán más adelante en el diseño hidráulico. El diseño agronómico contempla de manera general desde el cálculo de las necesidades de agua de los cultivos y decisión de los límites de riego: laminas frecuencias y tiempos de riego (Mullo, 2016).

### ***1.14. Diseño hidráulico***

El diseño hidráulico se basa en establecer las magnitudes de los diferentes elementos del sistema de tal forma que funcione correctamente con elevados niveles de uniformidad. El dimensionamiento del sistema está definido por las condiciones de operación previstas, en funcionalidad de las propiedades de la topografía, el suelo y el cultivo. Tiene como finalidad conceptualizar los diámetros y longitudes de las diversas tuberías que conforman el sistema (regantes, distribuidoras y conducción) bajo un criterio de mejora. El diseño hidráulico de la red parcelaria debería tener en cuenta por lo menos 2 criterios básicos: que las secciones operen con

una uniformidad de emisión superior a 90%, y que la rapidez en las tuberías de la red parcelaria no sea más grande de 2.0 m/s (Mena, 2019).

### **1.15. Lisímetros de drenaje**

El cálculo de la Evapotranspiración se utiliza para saber el agua que requieren las plantas para su adecuado desarrollo en un campo de cultivo. Como resultado de esto, para lograr diseñar todo lo referente con el riego, programación de riegos, porciones de agua a dar a un definido cultivo, diseño y elección del mejor sistema de riego, conducciones de agua, etcétera., se necesita calcularlo de la forma más rigurosa viable. Para calcular la evapotranspiración se aplican artefactos e aparatos para su decisión (Mendoza, 2018, p. 67).

En el estudio de Ferriols, Morell & Tuñón (2019), un lisímetro es un enorme recipiente que engloba una cierta cantidad de suelo con área sin ropa o con una cubierta vegetal, localizado en campo para exponer condiciones naturales y que se usa para decidir la evapotranspiración de un cultivo en aumento, de una cubierta vegetal de alusión, o la evaporación de un suelo sin ropa.

Además, que los tanques de lisímetros aislados llenados con suelo disturbado o no disturbado en los cuales el cultivo crecen y se realiza. En lisímetros de pesaje de exactitud, la evapotranspiración se puede obtener con una precisión de centésimos de milímetro, donde la pérdida de agua es medida de manera directa por el cambio de masa y períodos pequeños como por ejemplo una hora tienen la posibilidad de ser considerados (Baroja, 2016). En lisímetros de drenaje, la evapotranspiración es medida por un lapso dado, restando la proporción de agua de drenaje, recogida en el fondo de los lisímetros, de la porción total de agua ingresada. Un requerimiento de los lisímetros es que la vegetación dentro y de inmediato fuera del lisímetro sea idéntica (la misma elevación e índice de área foliar) (Cisneros, 2019, p. 89).

El lisímetro aplica el término del balance hídrico del suelo a la programación de riego; es el exclusivo procedimiento disponible para medir directa y siempre el contenido de humedad de un suelo. Los lisímetros otorgan el procedimiento de campo más fiable para aprender la evapotranspiración. Aunque no se dispone de ellos en cada una de piezas, los lisímetros se usan bastante comúnmente. Es la manera directa y precisa de medir la evapotranspiración del cultivo (ETc), desde recipientes o construcciones que aíslan parte del suelo cultivado denominado lisímetro, a lo largo de un tiempo definido (De Juan, et al., 2020, p. 56). La determinación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) o de referencia (ETo) mediante lisimetría se calcula mediante la siguiente relación:

$$ETc \text{ o } ETo = Da - Dd$$

Dónde:

ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm).

ETo: Evapotranspiración de referencia (mm).

Da: Cantidad de agua aplicada (mm)

Dd: Cantidad de agua drenada (mm)

(Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

## **1.16. Cultivo de ajo**

### **1.16.1. Importancia**

Según Sánchez (2015), se ha cultivado el ajo a partir de los tiempos prehistóricos y se ha extendido por todo el planeta, es un cultivo extensamente usado como componente importante en diferentes alimentos, además ha sido generalizado como planta medicinal, recomendada y empleada en diversas patologías, debido a que se demostró científicamente la acción bactericida. El ajo se aprovecha básicamente de las próximas maneras: Consumo de bulbos semisecos o secos, deshidratado, en verdes, encurtidos, ornamentales y en especialidades farmacéuticas. Es la manera directa y precisa de medir la evapotranspiración del cultivo (ETc), desde recipientes o construcciones que aíslan parte del suelo cultivado denominado lisímetro, a lo largo de un tiempo definido.

### **1.16.2. Taxonomía**

Familia: Amaryllidaceae (Liliáceas)

Género: *Allium*

Especie: *sativum*

Nombre científico: *Allium sativum* L.

Nombre común: Ajo

Planta: bulbosa, rustica y viva

(Pallo, 2014, p. 67).

### **1.16.3. Requerimientos edafoclimáticos**

Aunque el ajo se acomoda bien a toda clase del suelo, prefiere esos suelos arenosos arcillosos sueltos, regularmente sueltos, las tierras húmedas no son los más convenientes para el desarrollo del cultivo del ajo, puesto que beneficia la pudrición de los bulbos. Crece bien en climas cálidos,

templados y fríos moderado (1.700 m.s.n.m. a 2.900m.s.n.m.) sin cambios bruscos de temperatura. Este cultivo se crea en altitudes que van a partir de los 600 a los 3.500 m.s.n.m, que se acomoda en sitios con temperaturas que oscilan entre 10 y 34°C, siendo la media óptima de 18°C. Este rango en los primeros días es crítico, debido a que para un óptimo rendimiento de planta debería conseguir un enorme aumento del tallo exterior antecedente de la formación del bulbo (Soto, 2018).

#### **1.16.4. Etapas fenológicas**

La fenología es el análisis de los periodos de los organismos vivos y su interacción con los componentes climáticos, hay fases en los cultivos donde dichos muestran más grande sensibilidad a determinados componentes, por esto los cambios en las condiciones climáticas afectan en el desarrollo y rendimiento, esto va a ser variante dependiendo del cultivo, tales componentes tienen que estar en los parámetros de utilidad, siendo los excesos como las carencias situaciones que perjudiquen de manera negativa como en la situación de la temperatura (Pallo, 2014, p. 67).

A continuación, se indican las etapas fenológicas según (Oñate, 2016, p. 59).

- Fase inicial. Es un lapso luego de siembra o trasplante, en que las plantas crecen muy lento, cubriendo hasta un 10 % del área. Para cultivos anuales, la ET en este periodo corresponde exclusivamente a la evaporación directa del suelo, por lo cual el costo del Kc está definido por la frecuencia de riego o lluvia.
- fase de Desarrollo: a partir del 10 % de cobertura y a lo largo del aumento activo de la planta, hasta la emisión de la primera flor.
- Fase media: entre floración y fructificación, que corresponde por lo general al 70- 80 % de cobertura máxima de cada cultivo.
- Fase Final: Fase que comprende entre la maduración y la senescencia.

#### **1.16.5. Manejo**

##### **1.16.5.1. Siembra y preparación de suelo**

Al iniciar unos seis meses previo a la plantación y consistirán en una tarea de arado fuerte (30-35 cm) seguida de 2 o 3 rastreadas cruzadas con esta primera tarea se enterrarán los abonos orgánicos. El ajo se lleva a cabo en suelos de textura franca con topografía plana, sin inconvenientes de salinidad, pedregosidad y drenaje. Por otro lado, para minimizar los males provocados por nematodos y patologías de la raíz en correcto seleccionar un lote donde no se haya plantado ajo o cebolla a lo largo de al menos los 3 últimos años. Sin embargo, que el ajo tiene escasas raíces profundas se necesita hacer una buena preparación del lote para facilitar la siembra y promover su desarrollo (Nieto, et al., 2019, p. 50).

#### *1.16.5.2. Rastreo*

Después del Barbecho o uso del multirado se deja transcurrir un tiempo de 15 a 20 días que permita que los factores del clima (temperatura, lluvias y viento) tengan efecto sobre la superficie del suelo para que de esta manera se hagan más eficientes las labores de rastreo que pueden consistir en uno o dos pasos de rastra. Las labores deben comenzar unos seis meses antes de la plantación, éstas deben dejar el terreno mullido y esponjoso en profundidad. Consistirán en una labor de arado profunda (30-35 cm) seguida de 2 ó 3 rastreadas cruzadas. Con esta primera labor se enterrarán los abonos orgánicos (INIFAP, 2018).

#### *1.16.5.3. Rascadillo*

El rascadillo se basa en remover superficialmente el suelo, conseguir el control conveniente de malezas y permitir que el suelo se airee. Esta tarea se hace a los 30 o 35 días luego de la siembra, una vez que las plantas tengan de 10 a 15 cm de elevación (Pumisacho & Sherwood, 2017).

#### *1.16.5.4. Aporque*

Es una práctica que se apoya en “arrimar” tierra de los camellones cerca de los bulbos. Se efectúa una vez que se hacen las limpiezas manuales del cultivo, para borrar las malezas que hayan logrado emerger a lo largo del primer mes luego de la siembra (Pumisacho & Sherwood, 2017). El aporque puede promover la producción ya que se consigue descargar la temperatura del suelo en torno al bulbo, manteniéndola húmeda y evitando que la zona de investigación de las raíces, que es poco intensa, llegue a secarse. Al hacer el aporque es aconsejable tener cuidado de no lesionar las raicillas, debido a que se les puede provocar males bastante graves, la tierra que se arrimé cerca de la planta debería permanecer suelta y no cubrir bastante las plantas pues a menudo generan bulbos deformes de maduración retrasada (Ramos, et al., 2017).

#### *1.16.5.5. Riego*

El ajo, al igual que lo demás de las especies hortícolas, debería manejarse en condiciones de riego, siendo un componente esencial de producción para el triunfo del cultivo. La necesidad de riego pasa a ser un elemento crítico en especial desde la bulbificación de la planta, dado que este cultivo muestra un arraigamiento bastante superficial, por lo que, el volumen del agua retenido eficaz para el cultivo es diminuto, lo cual pide riegos comunes en caso de sequías o ausencia de lluvias por períodos de bastante más de una semana (Chique, 2018, p. 56).



Los riegos acostumbran desarrollarse por aspersión o por gravedad. Las necesidades a partir del instante que brotan hasta el principio de la bulbificación son las menores y acostumbran estar suficientemente cubiertas por las lluvias. Las necesidades más relevantes de agua se generan a lo largo de la formación del bulbo. A lo largo del lapso de maduración el bulbo, las necesidades de agua van decreciendo, hasta que 2 semanas previo a la recolección se realizan nulas (Concha, et al., 2018).

Para tener entendimiento del contenido hídrico del suelo a lo largo de todo el periodo de la planta se propone la utilización de instrumental convenientemente calibrado y localizado en sitios representativos del campo como: tensiómetros, sensores de humedad, etcétera., que van a permitir incrementar o reducir la frecuencia de riego según corresponda (Correa, 2015, p. 609).

#### *1.16.5.6. Fertilización*

Como término medio, para obtener 1.000 kilogramo de planta las necesidades son de nitrógeno, (2,33%),  $P_2O_5$ , (1,42%) y  $K_2O$ , (2,50%,) respectivamente, aunque teniendo presente la fertilidad del suelo tienen la posibilidad de disminuirse las proporciones anotadas (Guatapi, 2019). Los nitrogenados nítricos se fraccionan en 1 a 2 veces a lo largo del periodo vegetativo, puesto que de lo opuesto induce un desarrollo desmesurado de las hojas y el abono fosfórico beneficia la conservación del producto. Rápidamente luego de cada fertilización se hace un riego controlado, de desarrollo lento para eludir el arrastre del abono. Es adecuado enterrar el fertilizante bastante superficialmente para eludir roturas de raíces y sin embargo eludir su arrastre al pie del surco. Cualquier fertilizante nitrogenado es correcto. Mientras que la implementación de abonos foliares para el aporte de micro nutrientes todavía no está bastante divulgada en la Zona Andina, habiéndose demostrado que únicamente el aporte de Zinc ofrece alguna optimización en los rendimientos, según Cabrera & Pacheco (2018).

#### *1.16.5.7. Cosecha*

El cultivo tiene una duración que varía de 120 a 150 días, dependiendo de la variedad utilizada y de la altura del lugar. Se adapta en lugares con temperaturas que oscilan entre 10 y 34°C, siendo la media óptima de 18°C. Este rango en los primeros días es crítico, ya que para un buen rendimiento de planta debe alcanzar un gran crecimiento del tallo exterior antes de la formación del bulbo (Basantes, 2015).

#### **1.16.6. Problemas fitosanitarios**

1.16.6.1. Plagas

**Tabla 1-1:** Principales plagas del cultivo de ajo

Plaga	Daño en la planta	Manejo y Control
<b>Gusanos de Tierra</b> ( <i>Agrotis</i> spp)	Cortan plantas jóvenes a nivel del cuello y raspan las hojas, llegando a cortar las plántulas y producir muerte violenta.	Para reducir el ataque se puede liberar enemigos naturales como: <i>Metacanthus tenellus</i> , <i>Nabis punctipennis</i> <i>Orius insidiosus</i> , <i>Rhinacloa</i> , <i>Podisus spp.</i>
<b>Nematodo del tallo y bulbo</b> ( <i>Ditylenchus dipsaci</i> )	Plantas sin vigor y amarillentas. En infestaciones severas, la base de la planta se ve necrosado o carcomida, los bulbos se desprenden con facilidad del suelo reducción de rendimiento y calidad de los bulbos.	Se debe tratar la semilla antes de la siembra. Rotación de cultivos de 4 ó 5 años con cultivos que no son atacados como maíz y trigo.
<b>Trips</b> ( <i>Thrips Tabaci</i> )	Ninfas y adultos causan daño al alimentarse de flores y frutos recién cuajados además el área afectada se deteriora y se produce una decoloración.	Colocar trampas azules y blancas. Liberar crysopas y coccinellidos.
<b>Ácaro del ajo</b> ( <i>Aceria tulipae</i> )	Provoca considerables mermas y el resultado puede llegar a dejar vano el propio diente. Se observan unas manchas amarillentas y necrosadas produciendo una oxidación del tejido afectado.	Colocar trampas cromatológicas de color blanco. Incrementar humedad relativa.

Fuente: (Narrea, 2012).

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

1.16.7. Enfermedades

**Tabla 2-1:** Principales enfermedades del cultivo de ajo.

<b>Enfermedad</b>	<b>Daño en la planta</b>	<b>Manejo y Control</b>
<b>Roya del ajo</b> ( <i>Puccinia allii</i> )	Ocasionalmente daños en las hojas y pseudotallos con pústulas de color anaranjadas de 1-3 mm de forma circular a elongadas causando clorosis, amarillamiento y luego muerte.	Siembra de semilla sana. Rotación de cultivos. Aplicación de fungicidas del grupo de los ditiocarbamatos en un esquema de protección. Aplicación de triazoles como curativos.
<b>Botritis</b> ( <i>Botrytis cinérea</i> )	Produce necrosis del pseudotallo con abundante proliferación de micelio de color gris, mostrando un marchitamiento y desecamiento apical que se va extendiendo hacia la parte basal de las hojas.	Rotación de cultivos. Control del riego en zonas áridas. Aplicación de fungicidas en un esquema de protección (dicarboximidas y becnimidazoles).
<b>Peronóspora</b> ( <i>Peronospora destructor</i> )	Las infecciones se dan en el follaje y escapos florales, las cuales se transforman en lesiones esporulantes durante tiempo con alta humedad relativa.	Rotación de cultivos Pulverización con fungicidas protectantes (mancozeb, maneb, clorotalonil).
<b>Moho Azul</b> ( <i>Penicillium Allii</i> )	Los síntomas visibles son marchitamientos, clorosis y plantas con crecimiento pobre.	Evitar las lesiones de los dientes durante el desgrane. Usar tratamientos químicos en inmersión.
<b>Podredumbre Blanca</b> ( <i>Sclerotium cepivorum</i> )	Produce un micelio blanco sedoso y superficial en él se forman rápidamente esclerocios negros. Los tejidos afectados presentan rápidamente una pudrición acuosa.	Prácticas culturales Rotación de cultivos (4 a 10 años). Control químico con productos como becnimidazoles, dicarboximidas o triazoles.
<b>Podredumbre Blanda</b> ( <i>Erwinia carotovora</i> )	Los tejidos afectados se manifiestan con una podredumbre acuosa y en el follaje, la enfermedad se manifiesta como un marchitamiento.	Realizar el "curado" de los bulbos, evitar la cosecha y almacenamiento en tiempo lluvioso.

Fuente: (Piccolo, 2007)

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Características del sitio de estudio

##### 2.1.1. Localización

La presente investigación se realizó en la Estación Experimental Tunshi en el Centro Experimental del Riego (CER), perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de la Parroquia Licto en el Catón Riobamba de la Provincia de Chimborazo.

##### 2.1.2. Ubicación geográfica

Altitud: 2727 m.s.n.m.

Latitud: 1°45'1.52"S

Longitudes: 78°37'36.25"W

Fuente: (Salazar, 2020, p. 56)

##### 2.1.3. Condiciones climáticas

Temperatura promedio: 12.94°C

Humedad relativa: 81.76%

Precipitación anual: 738.07 mm/año

Fuente: Estación Meteorológica Tunshi - ESPOCH 2020

##### 2.1.4. Clasificación ecológica

Según Holdrige (1982) citado por (Salazar, 2020) la localidad se encuentra en el rango de estepa espinosa Montano Bajo (ee-MB).

### 2.2. Materiales y equipos

#### 2.2.1. Material experimental

En la presente investigación se utilizaron los Bulbillos de ajo (*Allium sativum L.*).

### **2.2.2. *Material y equipos de campo***

En el estudio de campo fueron fundamentales los equipos para cultivar, para lo cual se consideró que el material vegetativo este en excelentes condiciones y prevenir cualquier error. Para lo cual se utilizó un tractor, azadones, baldes, estacas, piolas, rastrillos, tubería flexnet, 72 minivalbula de encaje con junta de salida, 2500 m de cinta de goteo stream line con goteros de 0.30 m de separación y caudal de 1.6 L/hora, 9 aspersores xcel wobbler, fungicidas, plaguicidas, guantes, botas, estufa, recipientes plásticos y metálicos, balanza eléctrica, probetas, tensiómetros, cámara fotográfica, lisímetro y regla de 30 centímetros.

### **2.2.3. *Materiales de oficina***

Los materiales que fueron esenciales en la investigación y que compartieron una función fundamental en tiempos de pandemia fueron la computadora, internet, impresora, cuaderno de campo y calculadora.

## **2.3. Métodos**

### **2.3.1. *Diseño experimental***

El diseño experimental que se utilizó en esta investigación fue un Diseño Completo al Azar con tres tratamientos de estudio (riego por goteo, aspersión y gravedad) y tres repeticiones. Luego se realizó el análisis funcional a partir del programa InfoStat con una prueba de TUKEY al 5% de significancia al existir una diferencia significativa entre los tratamientos. Para la realización de este diseño de estudio fue importante considerar las especificaciones de campo que se indican en la Tabla 1-2.

**Tabla 1-2.** Características del campo experimental.

Descripción	Unidad
Forma de la parcela	Rectangular
Área total	4000 m <sup>2</sup>
Numero de tratamientos	3
Numero de repeticiones	3
Largo de la parcela	100 m <sup>2</sup>
Ancho de la parcela	40 m <sup>2</sup>
Largo de las subparcelas	40m
Ancho de las subparcelas	30m
Número de unidades experimentales	9
Número de plantas a evaluar por repetición	10
Número de plantas a evaluar por tratamiento	30
Número de plantas a evaluar en el ensayo	90
Distancia de siembra entre surcos	0.4 m
Distancia de siembra entre planta	0,15 m
Densidad de plantas	60 000

**Realizado por:** Tenesaca, I. 2022.

### 2.3.2. *Métodos de evaluación*

Para la evaluación de los parámetros se determinó la parcela neta de un área de 25 m<sup>2</sup> en cada una de las repeticiones en donde se identificaron a diez plantas tomadas al azar a las cuales se realizó las mediciones respectivas, para lo cual se consideraron los siguientes parámetros biométricos.

#### 2.3.2.1. *Eficiencia de Riego (%)*

##### **Metodología para determinar la eficiencia del tratamiento 1 (Gravedad).**

Para determinar la eficiencia del método de riego por gravedad se empleó la metodología descrita por (Ladino, et al., 2021, p.67)

- Se seleccionó tres surcos ubicados al inicio, medio y final de cada repetición.
- Se registró las medidas del surco tales como ancho (As), largo (Ls), altura (Ps) y espaciamiento entre surcos (w).
- Se realizó el aforo en la cabecera y pie del surco, con el uso de un balde y un cronometro para determinar el caudal de ingreso y el caudal de salida.
- Se procedió a señalar 4 puntos cada 10 m a lo largo del surco con estacas.

- Luego se permitió el ingreso del agua al surco y se anotó la hora correspondiente al punto cero.
- Posteriormente se registró el tiempo acumulado que tardó el agua en atravesar cada uno de los puntos de observación establecidos, Luego se procedió a medir la profundidad de infiltración con la ayuda de la varilla de humedad que es una varilla de superficie lisa que en uno de sus extremos cuenta con un ruliman el cual permite que la varilla ingrese únicamente hasta donde se humedeció el surco en cada punto.
- Luego se anotó el caudal de salida (Qs) y el tiempo en el que se produce la escorrentía al final del surco.
- Una vez efectuado el riego de manera normal en el surco, se suspendió la entrada del agua en la cabecera y registramos la hora de corte.
- Posteriormente, se continuó haciendo seguimiento al surco evaluado mientras se almacena el agua, hasta observar que esta desaparece de la superficie del suelo en cada uno de los puntos establecidos. Luego se procedió a medir la profundidad de infiltración con la ayuda de la varilla de humedad en cada punto.
- Con los datos obtenidos en campo se procedió a calcular eficiencia de aplicación (EA) que resulta de la relación entre el agua neta almacenada en la zona de raíces (V<sub>zr</sub>) como consecuencia del riego, y el agua total aplicada en el proceso (V<sub>a</sub>). Se puede expresar en lámina o volumen:

$$EA(\%) = \frac{V_{zr}}{V_a} * 100$$

#### **Ecuación 1**

Para determinar el agua neta almacenada en la zona de raíces (V<sub>zr</sub>) se aplicó la siguiente fórmula.

$$V_{zr} = \left( \frac{LAA}{1.00} \right) * L_s * A_s$$

#### **Ecuación 2**

Donde:

V<sub>zr</sub> = volumen de agua requerida (m<sup>3</sup>)

LAA = lámina de agua aprovechable (mm)

L<sub>s</sub> = longitud del surco (m)

A<sub>s</sub> = ancho del surco (m)

Para determinar la lámina de agua aprovechable se lo hizo mediante el uso de la varilla de humedad (Arias, et al., 2021).

### **Metodología para determinar la eficiencia del tratamiento 2 (Goteo).**

Para determinar la eficiencia del riego por goteo se empleó la metodología descrita por (León, 2012: p. 50)

Se realizó una medición a los 10 DDS.

Se seleccionó tres surcos ubicados al inicio, medio y final de cada repetición.

Se marcó 3 goteros al inicio, en el medio y al final cada surco seleccionado.

Se colocó debajo de cada gotero seleccionado un vaso plástico de 250 ml.

Se encendió el sistema de riego y posteriormente se registró el tiempo.

Luego de 10 minutos se apagó el sistema de riego y se procedió a realizar el registro volumétrico de cada vaso con la ayuda de una probeta graduada.

Finalmente se procedió a realizar el promedio del 25 % del total de vasos con menor volumen recolectado y luego se sacó un promedio general del volumen de todos los vasos para aplicar la fórmula:

$$\text{Coeficiente de uniformidad} = \frac{\text{Volumen medio recibido del 25\% de vasos con menor volumen}}{\text{Volumen medio del total de vasos}} \times 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

### **Metodología para determinar la eficiencia del tratamiento 3 (Aspersión)**

Para determinar la eficiencia del riego por aspersión se empleó la metodología descrita por (Ladino, et al., 2021, p.67).

Se realizó una medición a los 10 DDS

Se seleccionó tres lugares representativos de la parcela (parte cercana la válvula de entrada, la mitad del módulo y el área más alejada).

Luego se realizó una cuadrícula de 4x4 metros al redor del aspersor a evaluar con la ayuda de una piola.

Se ubicó los recipientes plásticos de 500 ml sobre el suelo formando una malla de 2x2 metros.

Se procedió a abrir la válvula de paso del sistema de riego por un tiempo de 30 min.

Finalizado el tiempo, se realizó la medición del volumen recogido en cada vaso con ayuda de una probeta graduada.

Con el promedio de los caudales recogidos en los recipientes plásticos se procedió a aplicar la siguiente fórmula mencionada en la Ecuación 3.

#### *2.3.2.2. Ajuste del Kc del cultivo de ajo mediante Lisimetría*

Se realizó mediante el método de disimetría el cual consistió en el uso del bloque de 7 lisímetros instalados en el Centro Experimental de Riego (CER) de los cuales para la presente investigación



se utilizó 4 lisímetros de drenaje de medidas de 2.49 m por 1.97 m, dando un área de 4.9 m<sup>2</sup> cada uno, instalados junto a la parcela experimental del riego por goteo, luego se procedió a la calibración de los lisímetros que consiste en poner en las mismas condiciones que la parcela experimental tanto en dureza de compactación del suelo, contenido de humedad, ancho de surcos y sistema de riego con goteros cada 0.30 m con un caudal de gotero de 1.6 l/h para cada lisímetro, cabe recalcar que para provocar el sobreriego y provocar drenaje los lisímetros ya cuentan con un sistema individual de riego con las mismas especificaciones de la cinta de riego de la parcela experimental, posterior a ello se procedió a determinar el contenido de humedad en el suelo se utilizó el método gravimétrico usando la siguiente ecuación, propuesta por Ekanayake, (1994) citada por León (2012,p. 89).

$$CAS = \frac{PF - PS}{PS} * 100$$

**Ecuación 4**

Dónde:

CAS: Contenido de agua en el suelo (%)

PF: Peso fresco de la muestra (g)

PS: Peso seco de la muestra (g)

A partir de la información del contenido de agua en el suelo se procedió a calcular el volumen de agua para llegar a capacidad de campo esto representa el primer riego del cultivo y se utilizó la siguiente ecuación, propuesta por CER (2019) citada por (Salazar, 2020).

$$VCC = \frac{CC - CAS}{100} * Z * \frac{Dap}{pw} * Al$$

**Ecuación 5**

Dónde:

VCC: Volumen de agua a capacidad de campo (m<sup>3</sup>)

CC: Valor de capacidad de campo (%)

CAS: Contenido de agua en el suelo (%)

Z: Profundidad de la capa (m)

Dap: Densidad aparente de la capa de suelo (g/cm<sup>3</sup>)

pw: Densidad del agua (g/cm<sup>3</sup>)

Al: Área de lisímetro (m<sup>2</sup>)

Para el primer riego en los lisímetros se doto el volumen de agua hasta llegar a capacidad de campo y para la obtención de drenaje se debe aplicar un sobre riego adicional, el mismo que se aplicará el 25 % del VCC, si no hay drenaje se aumenta el porcentaje de agua adicional hasta lograr drenaje. Para determinar la cantidad de agua a regar en cada lisímetro a partir del segundo riego se utilizó la siguiente ecuación mencionada en (León, et al., 2016) citada por (Salazar, 2020).

$$Va = Etp * ND * Al * Cd$$

#### Ecuación 6

Dónde:

Va: Volumen aplicado (l)

Etp: Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm)

ND: Número de días que hay de a riego a otro, en el momento que deja de drenar el lisímetro

Al: Área del lisímetro (m<sup>2</sup>)

Cd: Coeficiente de drenaje

Luego se procedió a la determinación de la Evapotranspiración

**Evapotranspiración de referencia (ETo):** Para el cálculo de ETo se seleccionó un lisímetro en el cual se sembró a voleo semilla de pasto Ray grass (*Lolium multiflorum*) manteniendo el cultivo en condiciones ideales de humedad hasta que alcance una altura de 12 cm y posteriormente se aplica la fórmula lisimétrica mediante la siguiente ecuación propuesta por (CER, 2019) citada por (Salazar, 2020).

$$\frac{Eto}{Etc} = \frac{R - D}{ND}$$

#### Ecuación 7

Dónde:

ETo / Etc: Evapotranspiración (mm/día)

R: Agua agregada por riego o precipitaciones (mm)

D: Agua drenada durante el período de análisis (mm)

ND: Número de días que hay de un riego a otro

**Evapotranspiración de cultivo (ETc):** Para el cálculo de la Etc en tres lisímetros se sembró los bulbillos de ajo a una densidad de 0,4 m x 0.10 m se determinó la evapotranspiración del cultivo aplicando la ecuación 7 propuesta por (CER, 2019) citada (Salazar, 2020).

**Cálculo del coeficiente de cultivo (Kc):** Para el cálculo del Kc se utiliza la ecuación propuesta por (CER, 2019) citada por (Salazar, 2020):

$$Kc = \frac{ETc}{ETo}$$

**Ecuación 8**

Dónde:

Kc: Coeficiente de cultivo (adimensional)

ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ETo: Evapotranspiración de referencia (mm/día)

#### 2.3.2.3. *Altura de la planta (cm)*

Se utilizó una cinta métrica para medir desde la base del pseudotallo hasta el ápice de la última hoja, este registro se lo realizó cada 20 días después de la siembra (dds) hasta el momento de la cosecha.

#### 2.3.2.4. *Diámetro de pseudotallo (mm)*

Se utilizó un calibrador manual, este dato se registró en la base del pseudotallo, cada 20 días después de la siembra (dds) hasta el momento de la cosecha.

#### 2.3.2.5. *Potencial hídrico*

Se siguió el procedimiento determinado por el CER el cual se desarrolla a continuación:

Se realizó una medición antes y después de realizar el riego en cada método de riego con la utilización de la bomba de Scholander, se procedió a tomar cinco muestras(hojas) de cada repetición de la parte media de plantas sanas, este dato se registró cada 20 días hasta el inicio de la etapa de desarrollo, debido al diámetro de la tapa con cierre tipo prensa-estopa es únicamente para muestras con un diámetro de entre 1 y 4 mm no permitió el ingreso de las muestras a partir de dicha etapa, las muestras se colocaron en la bomba y se procedió a bombear hasta que con la ayuda de lupa se observó gotas en la hoja y finalmente se registra la presión marcada.

#### 2.3.2.6. *Conductancia estomática (mmol/m<sup>2</sup> s)*

Se realizó antes y después del riego un muestreo foliar de 5 plantas de cada repetición tomadas al azar cada 20 días, la toma del dato se lo realizó en el tercio medio de una planta específicamente de una hoja completamente sana y que tenga exposición directa al sol mediante la utilización del porómetro antes y después del riego en cada uno de los métodos.

#### 2.3.2.7. *Materia seca de la planta (%)*

Se determinó con el método tradicional (estufa), se separó los bulbos de las hojas y raíces para obtener el peso fresco, luego se introdujo las muestras por separado en la estufa y posteriormente se aplicó la fórmula citada por (Paguay, 2017): % de materia seca = (Peso de materia seca / Peso de materia húmeda x 100).

#### 2.3.2.8. *Materia seca del bulbo (%)*

Se determinó con el método tradicional (estufa) y posteriormente se aplicará la fórmula (Bonierbale et al., 2010) citada por (Paguay, 2017):  $PMS = (PFT \times PSM) / PFM$

#### 2.3.2.9. *Contenido relativo del agua (WRC)*

Se determinó mediante la metodología descrita por (Paguay, 2017, p. 67)

Se realizó mediante un muestreo de 5 plantas de cada repetición de las cuales se tomó las hojas de la parte intermedia de la planta, inmediatamente se cortó de cada hoja un disco de 7 mm de diámetro y se procedió a pesarlas obteniendo así el peso fresco (Pf). Los discos extraídos se sometieron a una inmersión aproximada de 12 horas en agua destilada, cada disco por separado, obteniendo así el peso turgente (PT). Se colocó la muestra en la estufa durante un tiempo de 48 horas a 75°C, obteniendo así el peso seco (Ps), luego se aplicó la siguiente ecuación.

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

**Ecuación 9**

Donde:

*Pf* = Peso fresco de la muestra de la hoja

*Ps* = Peso seco de la muestra de la hoja

*PT* = Peso turgente de la muestra de la hoja

El contenido relativo de agua (WRC) se determinó mediante un muestreo de 5 plantas de cada repetición de las cuales se tomó las hojas de la parte intermedia de la planta, inmediatamente se cortó de cada hoja un disco de 7 mm de diámetro y se procedió a pesarlas obteniendo así el peso fresco (Pf). Los discos extraídos se sometieron a una inmersión aproximada de 12 horas en agua destilada, cada disco por separado, obteniendo así el peso turgente (PT). Se colocó la muestra en la estufa durante un tiempo de 48 horas a 75°C, obteniendo así el peso seco (Ps), luego se aplicó la fórmula señalada anteriormente. (Paguay, 2017, p. 67).

#### *2.3.2.10. Huella Hídrica*

Se la obtuvo mediante la división del volumen de agua aplicado en cada riego y la cantidad de precipitación de cada tratamiento para el rendimiento alcanzado en cada tratamiento.

#### *2.3.2.11. Rendimiento por categoría (Kg/ha)*

Se consideró el peso en kg de los bulbos que conformaron la parcela neta y se proyectó a kg/Ha.

### **2.4. Manejo de ensayos**

En el manejo de ensayos se consideraron los siguientes puntos:

#### *2.4.1. Preparación de la parcela experimental*

Para la preparación de suelo se siguió la siguiente secuencia:

- Arado: con la finalidad de eliminar las malezas y remover el suelo, se procedió a pasar una arada además permitir una mejor aireación e infiltración del agua.
- Rastra: se realizó con el propósito de desmenuzar los grandes terrones y malezas que aun persistían después del arado.
- Nivelación: esta se realizó con la ayuda de un acople de madera detrás del implemento rastra, para obtener un terreno uniforme evitando que la pendiente, cause alteración al realizar la investigación.

#### *2.4.2. Unidades experimentales*

Se procedió a delimitar las 9 parcelas que constituyeron el presente ensayo, quedando distribuidas en 3 unidades experimentales con 3 repeticiones cada una.

#### **2.4.3. *Instalación de los sistemas de riego***

Cabe recalcar que el diseño e instalación ya se lo realizó para investigaciones anteriores, pero con fines de preparación de suelo se lo retiró y se volvió a reinstalar, el diseño hidráulico estuvo instalado de la siguiente manera:

#### **2.4.4. *Cabecal de riego***

El mismo que estuvo conformado por: El equipo de bombeo, la línea de filtración y descarga, manómetros, inyectores de fertilizantes.

#### **Línea principal**

En la línea principal se localizan: una tubería pvc de diámetro de 5 pulgadas, montura con salida de 2 pulgadas, codos pvc de 2 pulgadas, válvula selenoide de 2 pulgadas.

#### **Línea secundaria**

Tubería ciega flex net de NETAFIM de 2 pulgadas, codos de 2 pulgadas, anillos de 2 pulgadas, tapón de 2 pulgadas.

#### **Válvulas-Cruceros**

Válvulas que comúnmente se les llama cruceros constan de una te de 2 pulgadas, codos de 2 pulgadas, válvulas selenoides de 2 pulgadas, esto se instaló para separar cada tratamiento y controlar el paso del agua.

#### **Línea lateral o terciaria**

Constó de tubería flex net de 2 pulgadas que son tuberías flexibles realizadas en polipropileno reforzado y están específicamente diseñadas para la conducción de agua en instalaciones de riego por goteo y aspersión con conectores integrales con espaciamentos según el método de riego.

**Riego por gravedad:** los conectores tenían un espaciamiento a 0.30 m, conectores de inicio con mini válvulas de encaje con junta de salida para cada surco a regar, para una mejor distribución del agua se dividió en dos bloques de riego.

**Riego por goteo:** los conectores de salida tenían un espaciamiento cada 0.30 m, conectores de inicio para cintas de riego stream line con goteros autocompensados a 30 cm de separación y un caudal de 1.6 L/hora.

**Riego por aspersión:** a partir de la línea lateral (tubería flex net de 2 pulgadas) se dividió en tres ramales cada uno constó de tres aspersores xcel. Wobler dando un total de 9 aspersores para todo el tratamiento.

#### 2.4.5. *Determinación de láminas y frecuencias*

Para la determinación de láminas y frecuencias se consideró la recolección de información obtenida a partir de los lisímetros de drenaje:

##### Lamina de riego (Lr)

$$Lr = \frac{Etc}{Efr}$$

**Ecuación 10**

Dónde:

Etc = Evapotranspiración del cultivo

Efr = Eficiencia de riego

La Etc se obtuvo de la diferencia entre volumen de agua aplicada en el lisímetro y el volumen drenado en los baldes de recolección dividida para el área del lisímetro, mientras que la eficiencia de riego dependió del método de riego.

(León, 2012,p. 89)

##### Volumen de riego (Vr)

$$Vr = Lr * A$$

**Ecuación 11**

Dónde:

Lr = Lamina de riego

A = Área a regar

El volumen de riego se obtuvo de la lámina de riego obtenida para el área del lisímetro luego se adecuó al área total a regar de cada tratamiento.

(León, 2012,p. 89)

##### Tiempo de riego (Tr)

$$Tr = Vr * Q$$

**Ecuación 12**

Dónde:

Vr = Volumen de riego

Q = Caudal requerido

El tiempo de riego se determinó a partir del volumen de riego adecuado para cada área de los tratamientos luego se multiplicó para el caudal de los diferentes emisores instalados en cada método de riego (León, 2012, p. 89).

Frecuencia de riego (Fr):

La frecuencia de riego dependió del tiempo en que el lisímetro dejó de drenar después de cada riego.

**Labores culturales.**

- **Siembra:** se procedió a poner los bulbillos en remojo por 1 hora antes de la siembra posteriormente se procedió a sembrar los bulbillos de ajo (*Allium sativum L.*) a una distancia de 0.4 m x 0,2 m.
- **Fertilización:** Esta labor se procedió con una fertilización edáfica de acuerdo a los requerimientos del cultivo, cuyas fertilizaciones se realizaron de forma fraccionada basándose en la fenología de la planta.
- **Control de malezas.**
- Se realizó de forma química y manual de acuerdo a la incidencia de los mismos.
- **Control fitosanitario.**
- Se realizó un control integrado de acuerdo a la incidencia en el cultivo.
- **Días a la cosecha:** se contabilizaron los días transcurridos desde el momento del trasplante hasta que el 75% pseudotallos y hojas presentaron un amarillamiento en la parcela neta.
- **Categoría del bulbo de ajo según su peso.**

**Tabla 2-2.** Categoría del ajo según su peso (g).

Tipo (tamaño)	Peso (g)	
	Mínimo	Máximo
(Gruesa)	109	≥175
(Pareja)	50	108

Realizado por: León J. & Tenesaca I. 2022.



## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados y discusión

##### 3.1.1. Identificación de las etapas fenológicas del ciclo del cultivo del ajo

Según Prato (2016), para la identificación de las etapas fenológicas del ciclo del cultivo de ajo se consideraron las etapas; inicial, desarrollo, intermedia y final, con la finalidad de determinar el crecimiento de la planta y las diferencias de desarrollo en los tres tratamientos de análisis de la presente investigación.

##### 3.1.1.1. Etapa inicial

La etapa inicial comenzó el día del trasplante hasta cuando el 30% de las plantas de la parcela neta emitieron sus nuevas hojas. Para lo cual, se identificó que este proceso inició a los 26 días, al utilizar aspersión comenzó a los 28 días y con goteo esta etapa inició a los 28 días, no se mostró algún grado de significancia entre los tratamientos como se indica en la Tabla 1-3. Al comparar estos resultados con los expuestos por Montenegro (2017), se identificó la validez de los resultados porque obtuvo un tiempo medio en la etapa inicial de 27 días.

**Tabla 1-3.** Resultados de la duración de la etapa inicial

Etapa inicial	Tratamiento	Duración de la etapa(días)
	T1	26
	T2	28,33
	T3	28,33

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

##### 3.1.1.2. Etapa de desarrollo

En el instante que terminó la etapa de inicio dio lugar a la etapa de desarrollo cuando el 30% de las plantas de la parcela comenzaron a formar los pequeños bulbos. En el cual se identificó que esta etapa culminó en un tiempo más extenso de 48 días al utilizar goteo como método de cultivo, mientras que los métodos de gravedad y aspersión obtuvieron tiempos de 43 y 46 días de culminación siendo los más cortos, como se indica en la Tabla 2-3. Según Rodríguez (2014),

identifico que en tres tipos de riego la media de tiempo de desarrollo del ajo fue de 47 días siendo el más extenso el de aspersión con 50 días de duración.

**Tabla 2-3.** Resultados de la duración de la etapa de desarrollo

Etapa de desarrollo	Tratamiento	Duración de la etapa(días)
	T1	46,33
	T2	48
	T3	43,33

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

### 3.1.1.3. Etapa intermedia

En el instante que termino la etapa de desarrollo dio lugar a la etapa intermedia cuando el 30% de las plantas de la parcela comenzaron a desarrollar los pequeños bulbos. En el cual se identificó que esta etapa culmino después en un tiempo más extenso de 40 días al utilizar goteo como método de Riego, mientras que los métodos de gravedad y aspersión obtuvieron tiempos de 31 y 37 días de culminación siendo los más cortos, como se indica en la Tabla 3-3. Según Torres (2018), determino en su estudio dedicado al uso consuntivo por goteo que la etapa intermedia terminada después de los 37 días de desarrollo de la planta, dato que es semejante al obtenido en la investigación y no diferente entre los tratamientos de estudio.

**Tabla 3-3.** Resultados de la duración de la etapa intermedia

Etapa intermedia	Tratamiento	Duración de la etapa(días)
	T1	31,67
	T2	40,67
	T3	37,33

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

### 3.1.1.4. Etapa final

Luego que termino la etapa intermedia del ciclo de crecimiento del ajo inicio la etapa final cuando el 75% de las plantas de la parcela presentaron pseudotallos amarillados y doblados. En el cual se identificó que esta etapa culmino a los 35 días al utilizar aspersión como método de riego, mientras que los métodos de gravedad y goteo obtuvieron tiempos de 25 y 29 días de culminación siendo los más cortos, como se indica en la Tabla 4-3. Según Huez (2019), observo en su estudio relaciona a la productividad del ajo bajo riego por goteo en la Costa de Hermosillo que esta fase

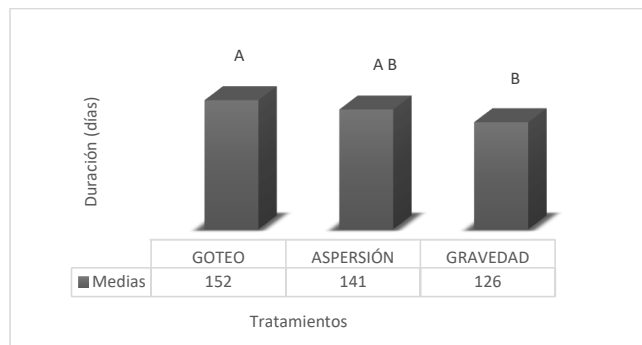
termina después de un tiempo medio de terminada después de los 28 días de desarrollo de la planta, dato que es igual al utilizar aspersión como método de riego y no tienen una diferencia amplia en los otros tratamientos de estudio.

**Tabla 4-3.** Resultados de la duración de la etapa final

Etapa intermedia	Tratamiento	Duración de la etapa(días)
	T1	25
	T2	35
	T3	29

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

### 3.1.1.5. Duración total del ciclo del cultivo

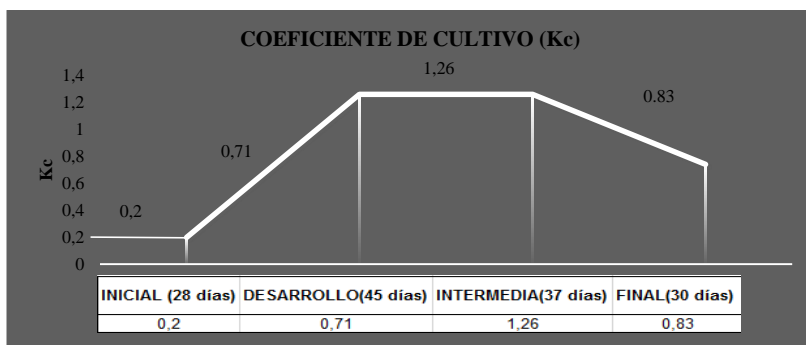


**Gráfico 1-3.** Diagrama de la duración de la etapa final

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En el Gráfico 1-3, se evidenció que la duración total del ciclo del cultivo del ajo tiene una duración de 126 dds, 141 dds y 152 dds en los métodos de riego por gravedad, aspersión y goteo respectivamente. En la investigación de Gavilanes (2018), identificó un comportamiento similar con la presente investigación, en la cual menciona que el ciclo del cultivo obtenido en su ensayo tuvo una duración de 146 días, también (Paguay, 2017) manifiesta que las diferencias en el ciclo del cultivo se deben a los diferentes volúmenes y frecuencias de riego aplicados al cultivo, diferencias en el consumo de agua y como consecuencia, variaciones en el crecimiento, desarrollo y por ende variación en la culminación de la etapa fenológica del cultivo.

### 3.2.1. Coeficiente del cultivo (kc) ajustado para el cultivo de ajo (*Allium sativum* L.)



**Gráfico 2-3.** Coeficiente del cultivo (kc) por etapa fenológica del ciclo del cultivo de Ajo (*Allium sativum* L.), en La Estacion Experimental Tunshi, Provincia de Chimborazo, 2022.

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

Los resultados presentados en el Grafico 2-3 se pueden apreciar cada uno de los coeficientes de cultivo (Kc) por etapa fenológica del ciclo del cultivo de ajo determinada mediante el método de Lisimetría.

#### a. Etapa inicial

En el Grafico 2-3 se evidencia el valor de kc de 0,2 correspondiente a la etapa inicial que se consideró desde el momento de la siembra hasta el día 28 después de la siembra del cultivo de Ajo, en esta etapa se no influyó la cantidad de agua aplicada al cultivo, debido a que la cobertura del suelo es mínima y la evapotranspiración de las plantas en esta etapa es únicamente la evaporación del suelo. Según la FAO 56 (2006), el valor del Kc inicial en el cultivo de ajo es de 0,7 que difiere del Kc encontrado en la presente investigación diferencia que se atribuye a la zona, al tipo de suelo y clima, sin embargo la misma FAO 56 (2006) menciona que el valor de Kc durante el período inicial (Kc ini) es alto cuando el suelo se encuentra húmedo debido al riego o lluvia, y es bajo cuando la superficie del suelo se encuentra seca y la evaporación será restringida, traduciéndose en un valor de Kc pequeño, pudiendo incluso alcanzar valores tan bajos como 0,1 y ratifica que durante el período inicial el área foliar es pequeña y la evapotranspiración ocurre principalmente como evaporación en el suelo.

#### b. Etapa de desarrollo

En el Grafico 2-3 se puede observar que el Kc para la etapa de desarrollo es de 0,71, etapa que tuvo una duración de 45 días a partir del día 29 después de la siembra del cultivo de ajo, valor que concuerda en el rango del estudio realizado por (MARTÍNEZ ROMERO, et al., 2014) que

presentaron valores de Kc en la etapa de desarrollo o crecimiento vegetativo de 0,41 – 1,0. Además la FAO (2006) menciona que, durante la etapa de desarrollo del cultivo, el valor de Kc se corresponderá con la cantidad de la cobertura del suelo y el desarrollo de la planta, un valor de Kc = 0,7 generalmente se corresponderá con una cobertura del suelo de alrededor de 40-60%.

### **c. Etapa intermedia**

Se puede apreciar en el Grafico 2-3 que el valor del Kc del cultivo de Ajo para la etapa intermedia que tuvo una duración de 37 días a partir del día 74 después de la siembra del cultivo de ajo, es de 1,26 siendo este el valor de Kc más alto del ciclo de cultivo ya que en esta etapa el consumo de agua es mayor debido a que se forman los dientes en el bulbo del ajo, valor que se aproxima a los valores de Kc obtenidos por (MARTÍNEZ ROMERO, et al., 2014) de 1,0 – 1,0 en la etapa intermedia que comprende desde el inicio de la bulberización hasta la bulberización completa. Además, la FAO 56 (2006), reporta que, durante la etapa de mediados de temporada, el coeficiente Kc alcanza su valor máximo. El valor de Kc en esta etapa (Kc med) es relativamente constante para la mayoría de los cultivos y prácticas culturales. Las diferencias entre el valor de Kc med con respecto al valor de referencia '1', son debidas principalmente a las diferencias en la altura del cultivo y la resistencia, entre la superficie del pasto de referencia y el cultivo agrícola, además de diferencias en las condiciones climáticas.

### **d. Etapa final**

En el Grafico 2-3 se puede ver que el Kc de la etapa final que tuvo una duración de 30 días a partir del día 111 después de la siembra del cultivo de ajo, es menor que la etapa intermedia con un valor de 0.8 pero mayor que el Kc inicial, debido a que esta etapa se ve influenciada por el momento de la cosecha, este valor de Kc de 0.8 concuerda con la investigación de (MARTÍNEZ ROMERO, et al., 2014) que reportó valores de Kc de un rango de 1 – 0,5 en la etapa final comprendida desde la bulberización completa hasta la madurez comercial.

Según la FAO 56(2006) menciona que el valor de Kc para la etapa final del cultivo de ajo es de 0,7 valor que es aproximado, pero no similar a la presente investigación, al respecto la misma FAO 56(2006) reporta que el valor de Kc al finalizar la etapa final (Kc fin) refleja el efecto de las prácticas de cultivo y el manejo del agua. Si el cultivo es regado frecuentemente hasta el momento de su cosecha en fresco, el valor de Kc fin será alto. Si se permite la senescencia y secado del cultivo en el campo antes de la cosecha, el valor de Kc fin será bajo.

### **3.2.2. Eficiencia de riego**

En el análisis de varianza para la eficiencia de riego, (Tabla 5-3), presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 72,42 % y un

coeficiente de variación de 3,13 %.

**Tabla 5-3.** Anova de la eficiencia de riego.

F.V.	gl	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	0,00001	**
Error	6		
Total	8		
CV	3.13%		

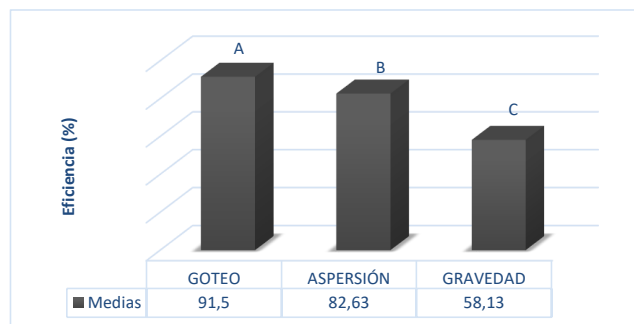
Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para la eficiencia de riego, (tabla 6-3); presentó dos rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 91,5 %, en el rango “B” se ubicó el Tratamiento 3 con una media de 82,63 % y en el rango “C” se ubicó el Tratamiento 1 con una media de 58,13 %.

**Tabla 6-3.** Prueba de tukey al 5% para la eficiencia de riego.

Tratamientos	Medias	Rango
T1(GOTEO)	91,50	A
T2(ASPERSIÓN)	82,63	B
T3(GRAVEDAD)	58,13	C

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.



**Gráfico 3-3.** Eficiencia de riego

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En el Grafico 3-3, se observan los resultados obtenidos en el análisis de la eficiencia de riego donde el tratamiento 2 (goteo) fue aquel que presentó una mejor eficiencia con un valor de 91,5 %, seguido por el Tratamiento 3 (aspersión) con un valor de 82,63 % y por el Tratamiento 1 (gravedad) con 58,13 %. La diferencia entre los tratamientos se debe a la diferencia física de sus

instalaciones, a los materiales utilizados para la conducción del agua desde el cabezal de riego hasta los emisores y de la cantidad de agua que se entrega a la planta en cada método de riego. Resultados que se encuentran dentro del rango de los mencionados por (HURTADO, 2004) que menciona que para el riego por surcos la eficiencia está alrededor del 30 al 60% debido a pérdidas por escurrimiento para uniformar la aplicación de agua; para aspersión permanente, del 75 al 85% alta uniformidad en su penetración en el perfil del suelo, el viento puede distorsionar por completo la distribución del agua en el suelo e igualmente disminuir el agua que llega al suelo, lo que implicaría una menor eficiencia de riego y las pérdidas de agua por evaporación son mayores que con métodos de riego superficiales; y para goteo, del 85 al 95% las pérdidas por evaporación son mínimas, no existe mayor movimiento de gotas de agua a través del aire, no se moja el follaje y no hay evaporación en la superficie, fuera de aquélla humedecida por el emisor.

### 3.2.3. *Altura de la planta*

#### 3.2.3.1. *Altura de la planta a los 30 DDS (Etapa inicial).*

En el análisis de la planta a los 30 DDS de la etapa inicial se identificó que en el tratamiento 1 se generó una altura de 19,43 cm, mientras que en los tratamientos 2 y 3 se obtuvieron alturas de 19,23 y 18,8 cm respectivamente siendo el riego por aspersión el de menor tamaño como se indica en la Tabla 7-3. Además, que al comparar este resultado por el obtenido por Sánchez (2015) que fue de 20.01 cm en el método de riego por goteo se identificó la semejanza del resultado obtenido en la parte experimental.

**Tabla 7-3.** Altura de la planta a la 30 DDS

<b>Altura planta de ajo a los 30 DDS</b>	
T1 (gravedad)	19,47
T2 (goteo)	19,23
T3 (aspersión)	18,8

**Realizado por:** Tenesaca, I. 2022.

#### 3.2.3.2. *Altura de la planta a los 60 DDS*

En el análisis de la planta a los 60 DDS correspondiente a la etapa de desarrollo, no presento diferencias estadísticas significativas, sin embargo, se identificó que en el tratamiento 2 se generó una altura de 31,3 cm, mientras que en los tratamientos 3 y 1 se obtuvieron alturas de 31.2 y 27,8

cm respectivamente siendo el riego por gravedad el de menor tamaño como se indica en la Tabla 8-3. Además, Huez et al (2019) obtuvieron un dato de 28,7 cm en el método por goteo y al compararlo con el obtenido en el estudio se identificó la semejanza.

**Tabla 8-3.** Altura de la planta a la 60 DDS

Altura planta de ajo a los 60 DDS	
<b>T1 (Gravedad)</b>	27,8
<b>T2 (Goteo)</b>	31,3
<b>T3 (Aspersión)</b>	31,2

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

### 3.2.3.3. Altura de la planta a los 120 DDS

En el análisis de varianza para altura de la planta a los 120 DDS correspondiente a la etapa intermedia (Tabla 9-3), presento diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 47,10 cm y un coeficiente de variación de 4,32%.

**Tabla 9-3.** Anova de la altura de la planta a la 120 DDS

F.V.	gl	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	0,01	*
Error	6		
Total	8		
CV	4.32%		

\*: significativo ns: no significativo

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

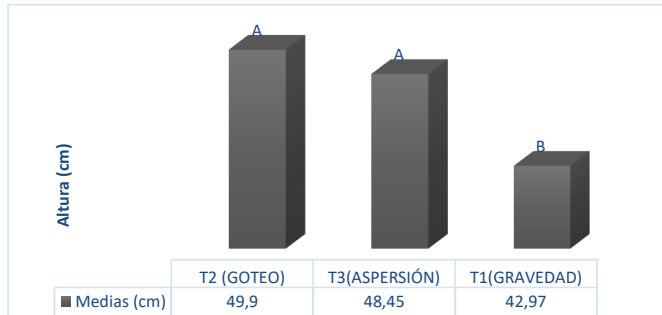
En la prueba de Tukey al 5% para altura de la planta a los 120 DDS (Tabla 10-3 y Gráfico 4-3); presentó dos rangos; en el rango "A" se ubicaron el Tratamiento 2 y 3 con una media de 49.9cm y 48.45 cm, y en el rango "B" se ubicó el tratamiento 1 con una media de 42.97 cm.

**Tabla 10-3.** Prueba de tukey al 5% para Altura de la planta a los 120 DDS.

Tratamientos	Medias (cm)	Rango
T2 (goteo)	49,9	A
T3(aspersión)	48,45	A
T1(gravedad)	42,97	B

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.





**Gráfico 4-3.** Diagrama de la altura de la planta a los 120 DDS

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

Los resultados presentados sobre altura de la planta a los 120 DDS, muestran que existen diferencias entre tratamientos, en la que el Tratamiento 2 sobresale con una media de 49.9 cm, seguido del Tratamiento 3 con una media de 48.45 cm y con menor altura el Tratamiento 1 con una media de 42.97, valores que se asemejan a los encontrados por Gavilanes (2018), que obtuvo un valor de 51,02 cm.

Las diferencia de alturas entre los tratamientos, se deben a la eficiencia de aplicación de las láminas de riego que presenta cada método de riego utilizado en la presente investigación hasta los 120 dds, el Tratamiento 1 presentó una lámina de riego de 603,67 mm, Tratamiento 2 con lamina de riego de 327,58 mm y Tratamiento 3 lamina de 416,29 mm, al respecto (Torres, 2018) menciona que un consumo ascendente de agua de riego, esta correlacionada directamente con la fenología de la planta y que esta demanda mayor agua en la fase de inicio del bulbeo con 3366 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, transformando este valor a milímetros da un valor de 336,6 mm, resultado que es aproximado a los de la presente investigación.

#### 3.2.3.4. Altura de la planta a los 150 DDS

En el análisis de varianza para altura de la planta a los 150 DDS correspondiente a la etapa final, (Tabla 11-3), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 57,76 cm y un coeficiente de variación de 3.96%.

**Tabla 11-3.** Anova de la altura de la planta a la 150 DDS

F.V.	gl	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	0,05	*
Error	6		
Total	8		
CV	3,96 %		

\*: significativo; ns: no significativo.

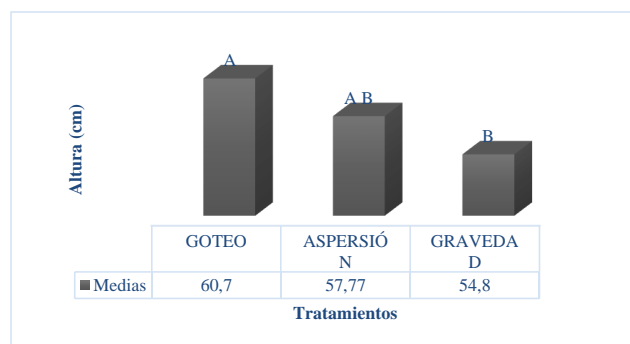
Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para la altura de la planta a la 150 DDS; presentó dos rangos; en el rango "A" se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 60,7 cm y en el rango "B" se ubicó el tratamiento 1 con una media de 54,8 cm.

**Tabla 12-3.** Prueba de tukey al 5% para Altura de la planta a los 150 DDS

Tratamientos	Medias	Rango
T2(goteo)	60,7	A
T3(aspersión)	57,77	A B
T1(gravidad)	54,8	B

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.



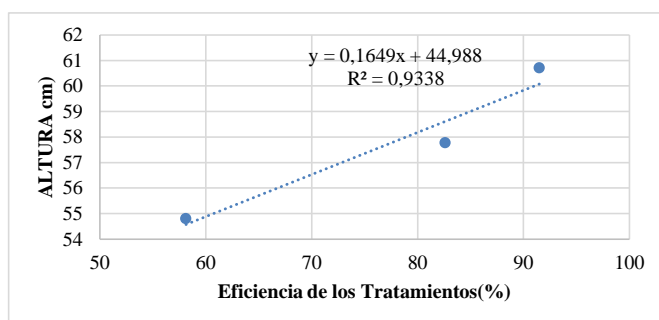
**Gráfico 5-3.** Diagrama de la altura de la planta a los 150 DDS

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En el análisis de la planta a los 150 DDS (etapa final) se identificó que en el tratamiento 2 se generó una altura de 60,7 cm, mientras que en los tratamientos 1 y 3 se obtuvieron alturas de 54,8 y 57,7 cm respectivamente siendo el riego por gravedad el de menor tamaño. Al comparar el resultado del tratamiento 2 (Pérez Moreno, et al., 2010), se determinó que fue semejante, ya que en su estudio de la Evaluación de rendimiento de compuestos de ajo tipo Taiwán realizado en México alcanzo alturas de 61,05 hasta 63,7 cm.

### 3.2.3.5. Correlación de la eficiencia de riego vs la altura final de la planta

En el análisis de correlación de la eficiencia de riego vs la altura de la planta se identificó un coeficiente de correlación positiva fuerte debido a que la dispersión de los resultados obtenidos fue bajo.



**Gráfico 6-3.** Correlación de la eficiencia de riego vs la altura de la planta

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En el gráfico se observa que la altura se incrementó a medida que la eficiencia de los Tratamientos asciende, siendo la mayor altura la alcanzada por el tratamiento 2 (Goteo) con un valor de 60,7 cm con una eficiencia de 91,5 %, seguido por el tratamiento 3 (Aspersión) con un valor de 57,77 cm con una eficiencia de 82,63% y el que tuvo menor altura fue el tratamiento 1 (Gravedad) con un valor de 54,8 cm y una eficiencia de 58,13%; con una alta eficiencia la lámina de riego que aprovecha el cultivo será mayor, siendo el tratamiento 1 (riego por gravedad) el menos eficiente al momento de entregar al cultivo la lámina de riego necesaria para el crecimiento y desarrollo del cultivo. Al respecto (O'Meara, 2018) menciona que las células crecen al absorber agua la división celular crea células adicionales, mientras que la expansión de células crea un aumento en el tamaño de la célula. Si el agua está limitada durante períodos de crecimiento, el tamaño final de las células disminuirá.

### 3.2.4. Diámetro del pseudotallo

#### 3.2.4.1. Diámetro del pseudotallo a los 30 DDS

En el análisis del diámetro del pseudotallo de la planta a los 30 DDS no se identificó diferencias estadísticas significativas sin embargo al utilizar el método de riego por goteo en la

experimentación se obtuvo una media de 2,93 mm, mientras que los tratamientos 1 y 3 obtuvieron medias de 2,9 y 2,67 mm respectivamente siendo el método de aspersión aquí que consiguió menor diámetro, como se indica en la Tabla 13-3, valores que coinciden en el estudio realizado por Terán, M. 2010 que presenta diámetros de 2,4, 3,4 y 2,6 mm para tres localidades del estado de Venezuela.

**Tabla 13-3.** Diámetro del pseudotallo a los 30 DDS

<b>Altura planta de ajo a los 30 DDS</b>	
<b>T1 (gravedad)</b>	2,9
<b>T2 (goteo)</b>	2,93
<b>T3 (aspersión)</b>	2,67

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

#### 3.2.4.2. Diámetro del pseudotallo a los 60 DDS

En el análisis de varianza del diámetro de pseudotallo a los 60 días no hubo diferencias significativas sin embargo en la Tabla 14-3, se observan los promedios del diámetro del pseudotallo se identificó un valor de 5,1, 5,3, 4,8 mm respectivamente en los tratamientos 1 2 y 3.

**Tabla 14-3.** Diámetro del pseudotallo a los 60 DDS

<b>Altura planta de ajo a los 60 DDS</b>	
<b>T1 (gravedad)</b>	5,1
<b>T2 (goteo)</b>	5,3
<b>T3 (aspersión)</b>	4,8

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

#### 3.2.4.3. Diámetro del pseudotallo a los 120 DDS

En el análisis de varianza para el diámetro del pseudotallo a los 120 DDS correspondiente a la etapa intermedia, (Tabla 15-3), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 13.26 mm y un coeficiente de variación de 6,85%.

**Tabla 15-3.** Anova del diámetro del pseudotallo a los 120 DDS

<b>F.V.</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>
Tratamientos	2	0,01	*
Error	6		
Total	8		
CV	6.85 %		

\*: significativo ns: no significativo.

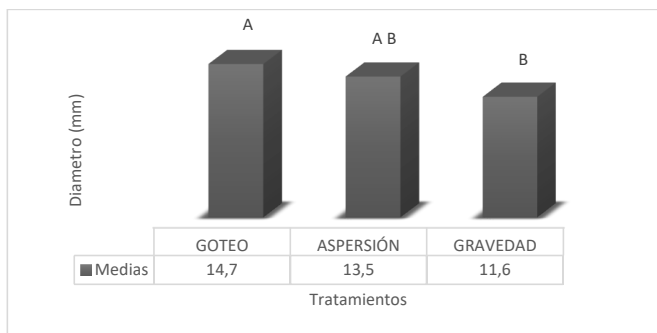
Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para el diámetro del pseudotallo a los 120 DDS; presentó dos rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 14,7 mm y en el rango “B” se ubicó el tratamiento 1 con una media de 11,6 mm.

**Tabla 16-3.** Prueba de tukey al 5% para el diámetro del pseudotallo a los 120 DDS.

Tratamientos	Medias(mm)	Rango
T2(goteo)	14,7	A
T3(aspersión)	13,5	Ab
T1(gravidad)	11,6	B

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.



**Gráfico 7-3.** Diagrama del diámetro del pseudotallo a los 120 DDS

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

Los resultados que se muestran en la tabla 16-3 y Grafico 7-3 indican las diferencias en los diámetros que presentan las plantas del cultivo de ajo en los diferentes tratamientos, presentando el mayor diámetro el Tratamiento 2 con una media de 14,7 mm, seguido del Tratamiento 3 con un diámetro de 13,5 mm, y finalmente el Tratamiento 1 con una media de 11,6 mm. valores que son superiores a los encontrados por (Montenegro Rosero, 2017) que registro valores de 9,4 mm hasta 10,27 mm en su investigación, la diferencia se debe a las variables climáticas y a la eficiencia de aplicación de láminas de riego entre los métodos de riego, ya que en el tratamiento 1 (riego por gravedad) se aplicó una lámina de riego mayor que en el tratamiento 2(goteo) y 3(aspersión), sin embargo según los resultados de los diámetros de los pseudotallos se observa que las plantas en el tratamiento 1 no utilizan eficientemente los volúmenes de agua de riego lo que repercute en el poco desarrollo del mismo, a esto añade (MURCIA, 2014) que el riego por inundación es el que más consume agua, el riego por aspersión utiliza menos agua que el anterior, pero por lo menos el doble que el sistema de goteo y el riego por Goteo es el más eficiente en el uso

del agua; consume poco y por ofrecer una distribución lenta los cultivos suelen aprovecharla mejor.

#### 3.2.4.4. Diámetro del pseudotallo a los 150 DDS

En el análisis de varianza para el diámetro del pseudotallo a los 150 DDS correspondiente a la etapa intermedia, (Tabla 17-3), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 16.98 mm y un coeficiente de variación de 5.68%.

**Tabla 17-3.** Diámetro del pseudotallo a los 150 DDS.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	18,23	2	9,11	9,79	0,01	*
Error	5,59	6	0,93			
Total	23,82	8				
CV	5,68					

\*: significativo ns: no significativo.

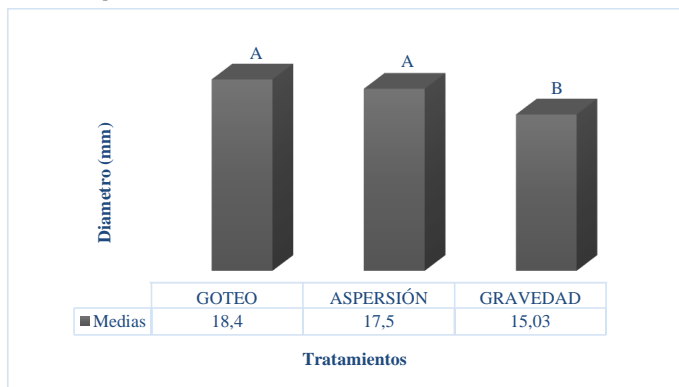
Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para el diámetro del pseudotallo a los 150 DDS; presentó dos rangos; en el rango "A" se ubicaron el Tratamiento 2 y 3 con una media de 18,4 mm y 17,5 mm respectivamente y en el rango "B" se ubicó el tratamiento 1 con una media de 15,03 mm.

**Tabla 18-3.** Prueba de tukey al 5% para el diámetro del pseudotallo a los 150 DDS.

Tratamientos	Medias	Rango
T2(goteo)	18,4	A
T3(aspersión)	17,5	A
T1(gravidad)	15,03	B

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.



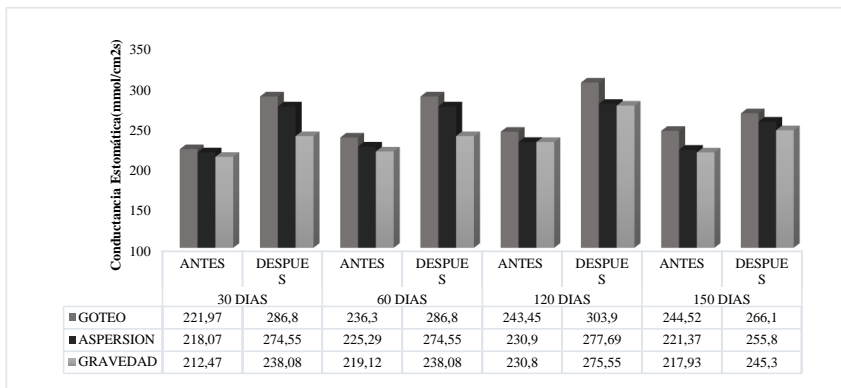
**Gráfico 8-3.** Diagrama del diámetro del pseudotallo a los 150 DDS

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En la Tabla 18-3 y Gráfico 8-3, se indica el análisis del diámetro del pseudotallo 150 DDS se identificó que al utilizar el método de riego por goteo fue el mejor con un valor de 18,4 mm, seguido por el tratamiento 3 (riego por aspersión) con un valor 17,5 mm y el tratamiento 1(riego por gravedad) tuvo el menor valor 15,03 mm, valores que se asemejan a lo mencionado por (Revelés-Hernández & Velásquez-Valle, 2017), las dimensiones del falso tallo son de 21.2 cm de altura y 18.4 mm de diámetro en su parte basal, mismas que generalmente son alcanzadas a los 110 días después de la siembra.

### 3.2.5. Conductancia estomática durante el ciclo de cultivo del ajo, en el Centro Experimental de Riego

En el grafico 9-3 se observan valores promedios de la conductancia estomática antes y después del riego para las etapas fenológicas del cultivo de ajo que se observa que el tratamiento 2 presentó una conductancia mayor antes y después del riego en todas las etapas, mientras que el tratamiento 3 fue menor que el tratamiento 2 pero superior al tratamiento 1 que presentó la menor conductancia estomática.



**Gráfico 9-3.** Análisis de la conductancia estomática antes y después del riego en las etapas fenológicas del cultivo de ajo.

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.



**Gráfico 17-3:** Escala referencial de valores de conductancia estomática para definir niveles de transpiración.

**Fuente:** (Greenspan, 2000).

Al comparar los valores obtenidos de conductancia estomática (Gráfico 9-3) con la escala referencial de conductancia estomática (Greenspan, 2000), se evidenció que todos los tratamientos se ubicaron dentro del rango óptimo de transpiración, con lo que se puede decir que ningún tratamiento se sometió a estrés hídrico, en este contexto el CER menciona que “una planta se encuentra libre de estrés hídrico con valores superiores a 300 mmol/m<sup>2</sup>/seg y estrés leve bajo los 200 mmol/m<sup>2</sup>/seg”.

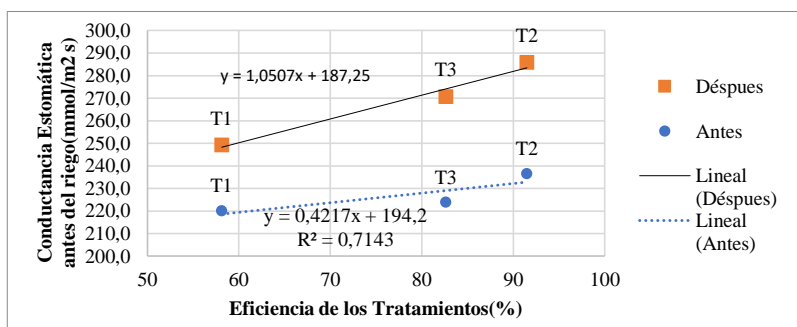
Además en el gráfico 9-3 se evidencia que en los tres Tratamientos existe un incremento de la conductancia estomática después de un riego en todas las etapas fenológicas, esto es corroborado por (Lakso, 1979) que menciona que la baja transpiración y la alta resistencia estomática a la difusión se deben al cierre estomático inducido por el déficit de agua, en el suelo, con ello se puede decir que el incremento de conductancia estomática depende de la cantidad de agua que hay en el suelo la cual se incrementa después de un riego.

Finalmente en el gráfico 9-3 se observa que en la etapa inicial de los tres tratamientos la conductancia estomática es baja debido a que la planta en esta etapa presenta un área foliar pequeña y el volumen de riegos es menor, en las etapas de desarrollo e intermedia se evidencia un incremento alcanzando los picos más altos, este incremento se dio debido a que el área foliar es mayor y por ende ocurre una mayor transpiración conllevando a un consumo alto de agua y en la etapa final se puede observar que la conductancia estomática vuelve a presentar un descenso debido a que la planta está próxima a ser cosechada y disminuye el consumo de agua. Al respecto la (FAO, 2006) menciona que durante el período inicial el área foliar es pequeña y la evapotranspiración ocurre principalmente como evaporación en el suelo a medida que el cultivo se desarrolla y sombrea cada vez más el suelo, la evaporación se verá cada vez más restringida y la transpiración gradualmente se convertirá en el proceso más importante y el estado de senescencia es generalmente asociado a una conductancia menos eficiente de los estomas debido a los efectos del envejecimiento.



3.2.5.1. Correlación de la eficiencia de riego vs conductancia estomática promedio del ciclo del cultivo de ajo antes y después del riego, en el Centro Experimental de Riego

En el Gráfico 10-3 de la correlación de la eficiencia de riego vs el promedio de conductancia estomática antes del riego durante el ciclo del cultivo de ajo, se identificó un coeficiente de correlación positiva significativa antes del riego y después del riego se identifica un coeficiente de correlación positiva perfecta debido a que la dispersión de los resultados obtenidos fue muy baja.



**Gráfico 10-3.** Correlación de la eficiencia de riego vs conductancia estomática antes y después del riego.

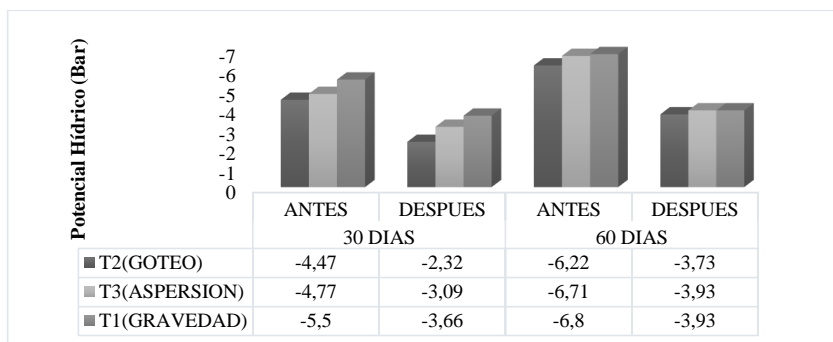
Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

Además en el gráfico 10-3 se observó que la pendiente de la recta indicó que la conductancia estomática antes del riego se incrementa cuando la eficiencia de los Tratamientos es mayor, es así que se observa que la conductancia estomática antes del riego fue mayor en el tratamiento 2 (Goteo) con un valor de 236.6 mmol/m<sup>2</sup> s con una eficiencia de 91,5 %, seguido por el tratamiento 3 (Aspersión) con un valor de 223.9 mmol/m<sup>2</sup> s con una eficiencia de 82,63% y el que tuvo una menor conductancia estomática antes del riego durante el ciclo del cultivo de ajo fue el tratamiento 1 (Gravedad) con un valor de 220,1 mmol/m<sup>2</sup> s con una eficiencia de 58,13% y a su vez estos valores de conductancia estomática se incrementaron después de dotar al cultivo de riego: en el tratamiento 2 (Goteo) un valor de 285.9 mmol/m<sup>2</sup> s, el tratamiento 3 (Aspersión) con un valor de 270,7 mmol/m<sup>2</sup> s y el tratamiento 1 (Gravedad) con un valor de 220,1 mmol/m<sup>2</sup> s, esto se puede explicar según (Riveros, 2002) que menciona que la conductancia estomática es la velocidad a la cual se produce el flujo del agua transpirada desde las hojas hacia la atmósfera a través de los estomas y mientras más abiertos se mantengan los estomas la velocidad será mayor, por el contrario al presentarse un estrés hídrico los estomas tienden a cerrarse provocando una disminución drástica de la conductancia estomática; con ello se puede decir que el tratamiento 2 la conductancia es mayor debido a que el aporte de agua fue más eficiente para el

aprovechamiento de la planta que es menos susceptible a sufrir estrés por sequía, en el tratamiento 3 fue menor que el Tratamiento 2 debido a la menor eficiencia del método de riego, pero fue mayor que la conductancia estomática en el tratamiento 1 donde la eficiencia es menor reduciendo el aporte del agua que aprovechó el cultivo haciéndolo más susceptible a sufrir estrés por sequía. Esto es corroborado por (Intagri, 2016), manifiesta que bajo estrés por sequía la conductancia estomática disminuye, reduciendo tanto la difusión externa de agua y hacia el interior la difusión de CO<sub>2</sub>. El elevado uso de agua por la planta es síntoma de una alta fotosíntesis y por tanto de un mayor rendimiento.

### 3.2.5.2. *Potencial Hídrico foliar en el cultivo de Ajo en la etapa inicial y desarrollo del cultivo de Ajo, en el Centro Experimental de Riego*

En el gráfico 11-3 se observan valores del Potencial Hídrico foliar en el cultivo de Ajo en la etapa inicial y desarrollo del cultivo de Ajo, donde se observa que el tratamiento 1 presentó un valor de Potencial Hídrico mayor antes y después del riego en las etapas inicial y de desarrollo, mientras que el tratamiento 3 el Potencial Hídrico fue menor que el tratamiento 1 pero superior al tratamiento 2.



**Gráfico 11-3.** Análisis del Potencial Hídrico en el cultivo de ajo en la etapa inicial y de desarrollo.

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En la investigación realizada por el “CER” menciona que una planta está libre de estrés con valores de -9 y -7 bares y estrés ligero sobre -10 bares, valores que difieren de la presente investigación debido a que a todos los tratamientos se otorgó una lámina de riego acorde a la etapa de desarrollo por tanto no se sometió en ningún caso a un estrés hídrico.

Sin embargo, se puede observar que existe una disminución del Potencial Hídrico foliar después de un riego en los tres tratamientos y en las etapas fenológicas analizadas, esto concuerda con lo reportado por Godoy et al. (2005) e Ismail (2010), quienes indicaron que a menor disponibilidad del agua en el suelo es menor también el potencial hídrico. Además, se puede observar que existe

diferencias entre los tratamientos lo cual puede deberse a que la eficiencia de riego en el tratamiento 1 fue menor y por ende no entrega agua a la planta en las cantidades adecuadas haciendo que esta se exponga a sufrir estrés hídrico y tenga mayores valores de potencial Hídrico, esto concuerda con la investigación realizada por CER que menciona que mientras mayor sea el potencial hídrico de la planta, es decir, la tensión con la que se retiene el agua dentro de la planta, mayor será el estrés.

### 3.2.6. Análisis de la materia seca de la planta

#### 3.2.6.1. Materia seca del bulbo

En el análisis de varianza para materia seca del bulbo, (Tabla 19-3), presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 21,15 % y un coeficiente de variación de 12,78 %.

**Tabla 19-3.** Anova de la Materia seca del bulbo

F.V.	gl	p-valor	Significancia
<b>Tratamientos</b>	2	0,004	**
<b>Error</b>	6		
<b>Total</b>	8		
<b>CV</b>	12.78 %		

\*\* : altamente significativo ns: no significativo

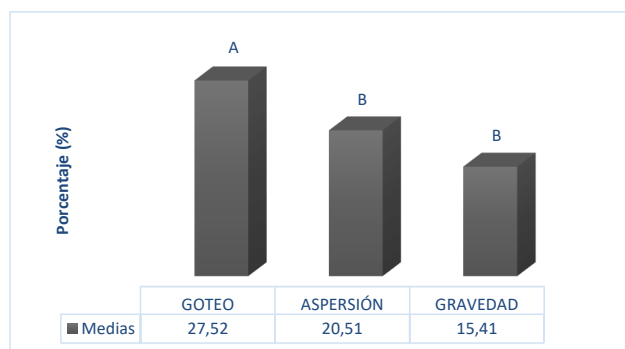
Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para materia seca del bulbo; presentó dos rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 27,52 % y en el rango “B” se ubicaron el tratamiento 3 y 1 con una media de 20,52 % y 15,41% respectivamente.

**Tabla 20-3.** Prueba de tukey al 5% para materia seca del bulbo.

Tratamientos	Medias	Rango
<b>GOTEO</b>	27,52	A
<b>ASPERSIÓN</b>	20,51	B
<b>GRAVEDAD</b>	15,41	B

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.



**Gráfico 12-3.** Materia seca del bulbo

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En la tabla 20-3 y Gráfico 12-3 se obtuvo medias de 15,41; 27,52; 20,51 % en los tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente, en donde se identificó que en el tratamiento 2 (goteo) se obtuvo una mayor cantidad de materia seca en el bulbo, debido a que con este método de riego la eficiencia fue mayor y la distribución de agua en las plantas fue proporcional favoreciendo al desarrollo del bulbo, en el tratamiento 3 (aspersión) y el tratamiento 1 (gravedad) se obtuvieron valores menores de materia seca del bulbo debido a que las eficiencias de estos métodos de riego son menores y el volumen de agua que aprovecha el cultivo fue menor provocando bulbos de menor tamaño, esto concuerda con lo mencionado por (Hanson, et al., 2003, p. 89) que reportaron un incremento lineal del peso promedio de bulbo fresco, con el incremento del agua aplicada, en el cultivo de ajo.

### 3.2.6.2. Materia seca de la planta.

En el análisis de varianza para materia seca de la planta, (Tabla 21-3), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 34.47 % y un coeficiente de variación de 5.43 %.

**Tabla 21-3.** Anova de la Materia seca de la planta.

F.V.	gl	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	0,05	*
Error	6		
Total	8		
CV	5.43 %		

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

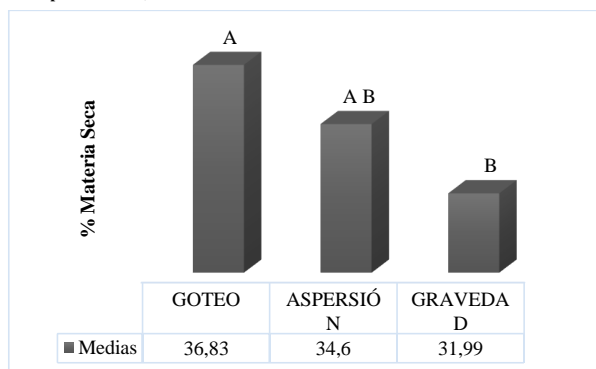
Las comparaciones ortogonales para la materia seca presentaron diferencias significativas al comparar el tratamiento de goteo vs gravedad, mientras que, al comparar los tratamientos de aspersión vs gravedad, no se presentaron diferencias significativas, es decir que ambos tratamientos tienen similar cantidad de materia seca.

**Tabla 22-3.** Comparaciones ortogonales para la materia seca de la planta.

Tratamientos	gl	F	p-valor	Significancia
<b>Aspersión vs</b>				
<b>Gravedad</b>	1	2,91	0,14	ns
<b>Goteo vs</b>				
<b>Gravedad</b>	1	10,02	0,02	*
<b>Total</b>	2	5,02	0,05	

\*: significativo ns: no significativo

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.



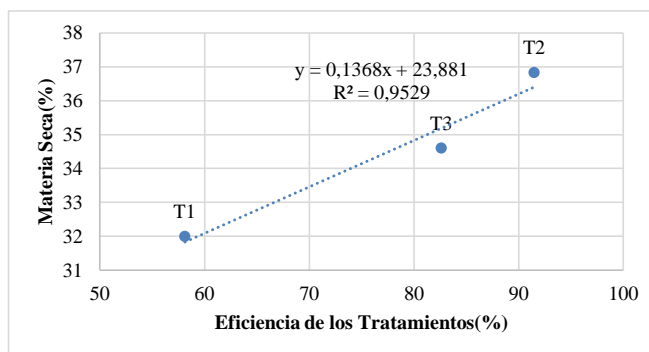
**Gráfico 13-3.** Porcentaje de materia seca de la planta

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En el gráfico 13-3 se identificó que el de mayor porcentaje fue el tratamiento 2 al utilizar el método de riego por goteo (36,83%), seguido por el riego por aspersión (34,6 %) y el método por gravedad que obtuvo el menor porcentaje (31,99 %), resultados que variaron debido a la cantidad de agua que aprovechó el cultivo en cada método de riego para el crecimiento y desarrollo de los parámetros biométricos medidos como altura y diámetro del pseudotallo, comportamiento que se corroboró con el estudio de (Hunt et al., 2002) que menciona que la acumulación de materia seca depende del tamaño del área foliar, de la tasa a la cual funcionan las hojas y el tiempo que el follaje persiste.

### 3.2.6.3. Correlación de la eficiencia de riego vs Materia Seca.

En el análisis de correlación de la eficiencia de riego vs materia seca se identificó un coeficiente de correlación positiva fuerte debido a que la dispersión de los resultados obtenidos fue bajo y que la materia seca de la planta se incrementó a medida que la eficiencia de los Tratamientos asciende, como se indica en la Gráfico 14-3.



**Gráfico 14-3.** Correlación de la eficiencia de riego vs Materia Seca.

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En el gráfico 14-3 se observa que la materia seca de la planta se incrementó a medida que la eficiencia de los Tratamientos asciende, es así que se observa que el porcentaje de materia seca fue mayor en el tratamiento 2 (Goteo) con un valor de 36,83 % con una eficiencia de 91,5 %, seguido por el tratamiento 3 (Aspersión) con un valor de 34,6 % con una eficiencia de 82,63% y el que tuvo un menor porcentaje de materia seca fue el tratamiento 1 (Gravedad) con un valor de 31,99 % con una eficiencia de 58,13%, esto puede deberse a que en el tratamiento 2 la eficiencia fue mayor es decir que del 100 % de agua aplicada el cultivo tuvo a disposición 91,5 % lo que permite mantener una humedad adecuada en el suelo, comportamiento que se corroboró con el estudio hecho en el cultivo de alfalfa de (Rivera, et al., 2007) que mencionan que el rendimiento de materia seca en riego por goteo subsuperficial comparado con sistemas de riego por gravedad es 59.7 % mayor, mientras que, comparado con sistemas de riego por aspersión es 4.3% mayor. Al respecto, (Salisbury y Ross 2000) indicaron que en una planta sometida a déficit hídrico las hojas se desarrollan menos y tienen menos área foliar. Es decir, la producción del cultivo se correlaciona directamente con la disponibilidad de agua en el suelo, como señalaron (Gencoglan et al. 2006), con esto se puede decir que el tratamiento 1 acumuló menor cantidad de materia seca debido a la baja eficiencia de riego lo que le acercó a un déficit hídrico y por ende menor crecimiento y desarrollo.

### 3.2.7. Contenido relativo de agua

En el análisis de varianza para contenido relativo de agua, (Tabla 23-3), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 62,5 % y un coeficiente de variación de 7.79 %.

**Tabla 23-3.** Anova del contenido relativo de agua

F.V.	gl	p-valor	Significancia
<b>Tratamientos</b>	2	0,01	*
<b>Error</b>	6		
<b>Total</b>	8		
<b>CV</b>	7.79 %		

\*: significativo; ns: no significativo.

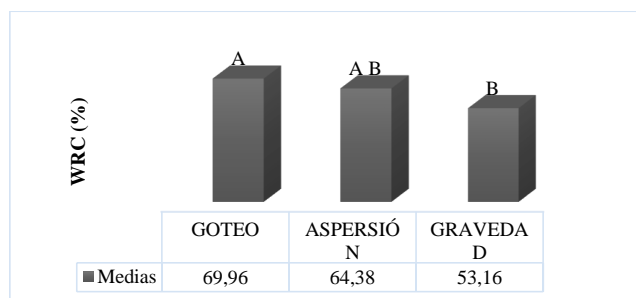
Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En la prueba de Tukey al 5% para contenido relativo de agua; presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 69,96 %, en el rango “AB” se ubicó el tratamiento 3 con una media de 64,38 % y en el rango “B” se ubicó el tratamiento 1 con una media de 53,16 %.

**Tabla 24-3.** Prueba de tukey al 5% para contenido relativo de agua.

Tratamientos	Medias	Rango
<b>GOTEIO</b>	69,96	A
<b>ASPERSIÓN</b>	64,38	A B
<b>GRAVEDAD</b>	53,16	B

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.



**Gráfico 15-3.** Contenido relativo de agua

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

La valoración del contenido relativo de agua en la parte foliar de la planta, en la Estación experimental Tunshi, se realizó a los 120 DDS.

En la Tabla 24-3 y Grafico 15-3, identifican los resultados obtenidos en el análisis del contenido relativo de agua en el cual el tratamiento 2 al utilizar el riego por goteo obtuvo mayor porcentaje con un valor de 69,96 % seguido por el tratamiento 3 y 1 en donde se obtuvieron resultados de 64,38 % y 53,16 % respectivamente, determinando el contenido de agua que tenían los tejidos de las plantas siendo esta favorable para el tratamiento 2 esta diferencia se puede deber a la eficiencia de aplicación del agua de riego que presenta cada tratamiento, ya que el tratamiento 2(riego por goteo) entrega agua junto a la zona de las raíces y la planta la aprovecha mejor y se mantiene alejada de un posible estrés hídrico, mientras que en el tratamiento 3 (riego por aspersión) el agua se distribuye en forma dispersa en la zona de las raíces y en todo el surco, lo que reduce el contenido de agua aprovechable y el tratamiento 1(riego por gravedad) la entrega de agua se realizó en el surco por ende pierde eficiencia presentando un menor contenido de agua en la planta y la acerca a un estrés hídrico, esto es corroborado por (Maillard et al. 1974) quienes mencionan que es posible que, bajo condiciones de estrés hídrico alto, disminuya la capacidad de mantener un alto contenido relativo de agua.

A esto añaden (Abbey y Joyce. 2004), En su investigación observaron que en plántulas de *Allium cepa* regadas a 25% de la capacidad de campo el contenido relativo de agua se redujo, mientras que con riegos de reposición de la evapotranspiración semanal el contenido relativo de agua se incrementó.

### 3.2.8. Rendimiento por categoría

#### 3.2.8.1. Rendimiento por categoría grande.

En el análisis de varianza para rendimiento por categoría grande, (Tabla 25-3), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 6760,44 Kg/Ha y un coeficiente de variación de 15,34 %.

**Tabla 25-3.** Anova del rendimiento por categoría grande.

F.V.	gl	p-valor	Significancia
<b>Tratamientos</b>	2	0,01	*
<b>Error</b>	6		
<b>Total</b>	8		
<b>CV</b>	15.34 %		

\*: significativo; ns: no significativo.

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

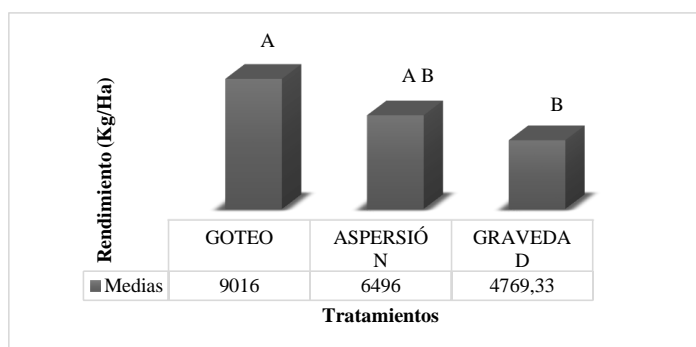


En la prueba de Tukey al 5% para rendimiento por categoría Grande; presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 9016 Kg/Ha, en el rango “AB” se ubicó el tratamiento 3 con una media de 6496 Kg/Ha y en el rango “B” se ubicó el tratamiento 1 con una media de 4769,33 Kg/Ha.

**Tabla 26-3.** Prueba de tukey al 5% para rendimiento por categoría gruesa

Tratamientos	Medias(kg/Ha)	Rango
<b>GOTEO</b>	9016	A
<b>ASPERSIÓN</b>	6496	A B
<b>GRAVEDAD</b>	4769,33	B

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.



**Gráfico 16-3.** Rendimiento por categoría Grande.

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En el análisis del rendimiento por categoría en los tres tratamientos de estudio en el cual se identificó que el Tratamiento2 (riego por goteo) fue aquel que obtuvo mayor rendimiento de bulbos de categoría gruesa al obtener una media total de 9016 kg/Ha seguido por el riego de aspersión y gravedad con valores de 6496 y 4769,33 kg/Ha respectivamente. Esta diferencia entre los tratamientos se debe a la diferencia en los parámetros biométricos registrados en la investigación como altura y diámetro del tallo donde el tratamiento 2 obtuvo los valores más altos esto sumado a la alta eficiencia se traduce en bulbos de mayor tamaño.

Al respecto (Marcial & Suquilanda. 2003) citados por (Paguay, 2017), en la que mencionan el mejor uso del agua, buena fertilización y un adecuado manejo del cultivo, se obtiene mayor altura promedio por planta y por lo tanto al tener una mayor área foliar se desarrollan de mejor manera los bulbos.

### 3.2.8.2. Rendimiento por categoría pequeña

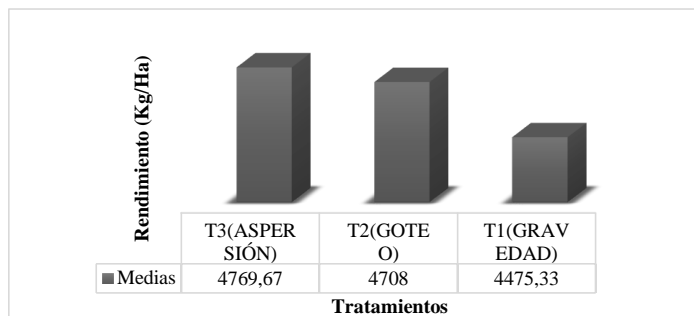
En el análisis de varianza para rendimiento por categoría pequeña, (Tabla 27-3), no presentó

diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 46,51 Kg/Ha y un coeficiente de variación de 21,47 %.

**Tabla 27-3.** Anova del rendimiento por categoría pequeña.

F.V.	gl	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	0,93	ns
Error	6		
Total	8		
CV	21,47 %		

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.



**Gráfico 17-3.** Rendimiento por categoría pequeña.

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En el Gráfico 17-3 se indica los valores obtenidos en el rendimiento por categoría pequeña en el cual se determinó que los tratamientos 2 y 3 fueron casi semejantes con una diferencia mínima haciéndole al tratamiento 3 el que obtuvo mayor cantidad de bulbos de categoría pequeña con un valor de 4769,67 kg, pero no tan alejado del valor obtenido en el tratamiento 2 que fue de 4708 kg siendo el tratamiento 1 aquel que obtuvo el valor más bajo con un valor de 4475,33 kg.

### 3.2.8.3. Rendimiento total

En el análisis de varianza para rendimiento total, (Tabla 28-3), presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 11411,45 Kg/Ha y un coeficiente de variación de 8,35 %.

**Tabla 28-3.** Anova del rendimiento total de los métodos de riego

F.V.	gl	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	0,0036	**
Error	6		
Total	8		
CV	8,35 %		

\*\* : Altamente significativo ns: no significativo

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

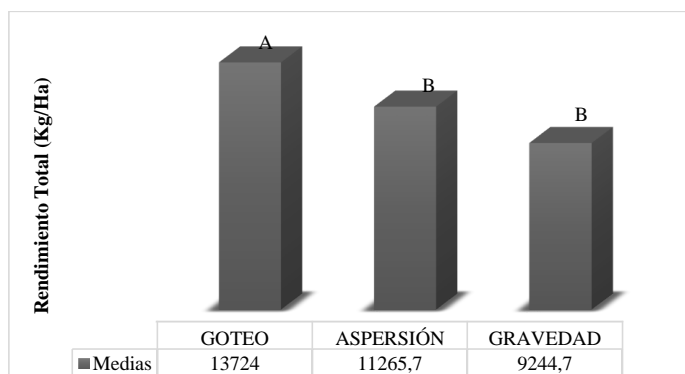
Las comparaciones ortogonales para el rendimiento total, mostro diferencias significativas entre el tratamiento de goteo vs el tratamiento de aspersión y al comparar los tratamientos de goteo vs el tratamiento de gravedad se presentó diferencias altamente significativas.

**Tabla 29-3.** Comparaciones ortogonales para el rendimiento total en kilogramos por hectárea.

Tratamientos	gl	F	p-valor	Significancia
Goteo vs Aspersión	1	9,98	0,02	*
Goteo vs Gravedad	1	33,13	0	**
Total	2	16,62	0	

\*: significativo (p <0.05); \*\*: altamente significativo (p <0.01); ns: no significativo (P >0.05).

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.



**Gráfico 18-3.** Rendimiento total de los métodos de riego

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

**Tabla 30-3.** Superficie de ajo (*Allium sativum L.*) sembrados en el Ecuador.

AÑO	SUPERFICIE Ha	PRODUCCIÓN TM	RENDIMIENTO (TM/ha)
1969	694	3830	5.52
1973	704	3867	5.29
1990	680	1389	2.04
1999	359	3027	8.43

Fuente: Estadística del servicio Ecuatoriano de Sanidad Agropecuaria (SESA) 2000.

En el análisis del rendimiento total se identificó que el tratamiento 2 (goteo) fue aquel que consiguió el mejor rendimiento total con un valor de 13724 Kg/Ha, seguido por el tratamiento 3 (aspersión) con un valor de 11265,67 Kg/Ha y en el tratamiento 1 (gravedad) con 9244,67 Kg/Ha como se indica en la Tabla 30-3 y gráfico 25-3, valores que son superiores a los de la tabla 31-3 en el que se observa que se cosechó una superficie de 359 hectáreas con una producción de 3027 toneladas métricas y un rendimiento de 8.43 TM/ha.

Al respecto (Torres, 2018), en su investigación realizada en Arequipa – Perú alcanzó un rendimiento de 15 000 kg/ ha -1 bajo riego por goteo en el cultivo de ajo, valor al que se aproxima la presente investigación en el tratamiento 2, pero es muy superior al tratamiento 3 y 1 al respecto (Escribano & Cabañas. W. , 2000), reportan un rendimiento entre 6.9 y 12 t ha<sup>-1</sup> para densidades de 200,000 y 400,000 plantas ha<sup>-1</sup> respectivamente en ajo regado con aspersión, es decir que mientras menor es la eficiencia del riego menor es el rendimiento.

### 3.2.9. Huella hídrica

En el análisis de varianza para la huella hídrica de los tratamientos (Tabla 31-3), presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 908,52 L/Kg y un coeficiente de variación de 1,13%.

**Tabla 31-3.** Anova de la huella Hídrica.

F.V.	gl	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	2E-10	**
Error	6		
CV	1.13 %		

\*\* : Altamente significativo ns: no significativo

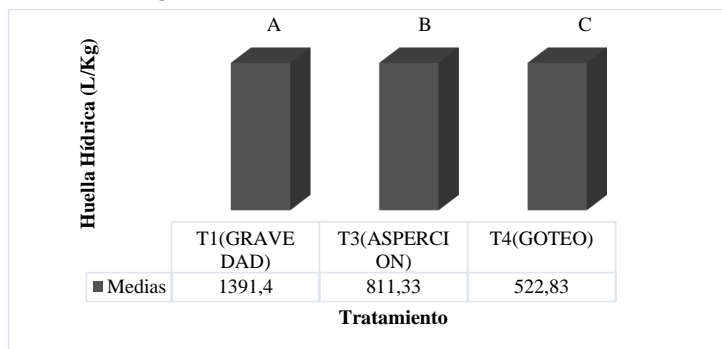
Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

Las comparaciones ortogonales para la huella hídrica presentaron diferencias altamente significativas al comparar los tratamientos siendo el que presentó una menor huella hídrica el Tratamiento 2 con 522.83 L/Kg, y seguido por el tratamiento 3 con un valor de 811 L/Kg y con una huella hídrica mayor se ubicó el tratamiento 1 (Gravedad) con una media de 1391,4 L/Kg.

**Tabla 32-3.** Comparaciones ortogonales para la huella hídrica.

Tratamientos	gl	F	p-valor	Significancia
<b>Aspersión vs</b>				
<b>Gravedad</b>	1	4786,66	1E-09	**
<b>Goteo vs</b>				
<b>Aspersión</b>	1	1184,05	0,00000004	**
<b>Total</b>	2	5567,59	0	

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.



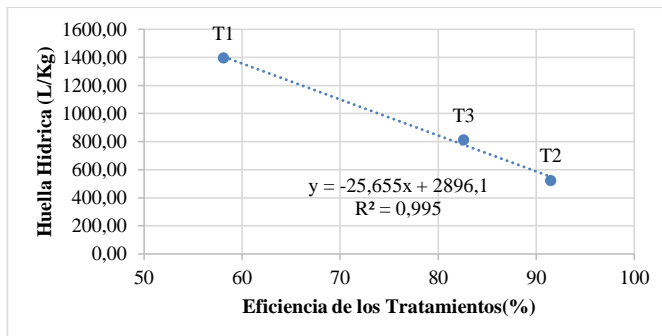
**Gráfico 19-3.** Huella Hídrica a los 150 DDS de los tratamientos en el Centro Experimental del Riego - Tunshi- Espoch.

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En el análisis de la huella hídrica por tratamiento se identificó que el tratamiento 1 (Gravedad) fue aquel que consumió mayor cantidad de agua y tuvo un menor rendimiento con un valor de huella hídrica de 1391 L/Kg, seguido por el Tratamiento 3 (aspersión) con un valor de 811,33 L/Kg y el Tratamiento 2 (Goteo) consumió menos agua y obtuvo un mejor rendimiento obteniendo una huella hídrica de 522,83 L/Kg como se indica en la Tabla 32-3 y Gráfico 24-3. Al respecto (BAUTISTA & al., 2020) en su investigación menciona que “la huella hídrica total que van desde 133 L/Kg reportados para la remolacha y 214 m<sup>3</sup>/t para el jitomate hasta 578 L/Kg para el ajo”, valor que es comparable únicamente con el tratamiento 2 (Goteo) debido a su alta eficiencia lo que le permitió el uso menor de cantidad de agua con mayor rendimiento y muy diferente al tratamiento 1 y 3 que utilizaron mayores volúmenes agua y menor rendimiento esto es corroborado por (Rivera, et al., 2007) que mencionan que la eficiencia del aprovechamiento del agua en el caso de sistemas de riego por goteo, la eficiencia es superior a la obtenida con gravedad o aspersión; ésta fluctúa en un rango de 0.9 a 3.5 kg de materia seca por metro cúbico de agua aplicada.

### 3.2.9.1. Correlación de la eficiencia de riego vs Huella Hídrica

En el análisis de correlación de la eficiencia de riego vs Huella Hídrica se identificó un coeficiente de correlación negativa perfecta debido a que la dispersión de los resultados obtenidos fue bajo, como se indica en Grafico 31-3.



**Gráfico 20-3.** Correlación de la eficiencia de riego vs Huella Hídrica.

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En el gráfico 20-3 se observó que la pendiente de la recta indicó que la huella hídrica disminuyó a medida que la eficiencia de los tratamientos se incrementó, es así que se observa que la huella hídrica fue mayor en el tratamiento 1 (Gravedad) con un valor de 1395,40 L/ Kg con una eficiencia de 58,13%, seguido por el tratamiento 3 (Aspersión) con un valor de 811,33 L/Kg con una eficiencia de 82,63% y el que tuvo una menor huella hídrica fue el tratamiento 2 (Goteo) con un valor de 522,83 L/Kg con una eficiencia de 91,5 %, esto es corroborado por (Torres, 2018) en su investigación obtuvo un rendimiento de 15 t ha<sup>-1</sup>, con un volumen de agua aplicado de 8191 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, obteniendo una productividad de agua de riego de 1.83 kg m<sup>3</sup> en el cultivo de ajo variedad Napurí, bajo riego por goteo.

### 3.2.10. Análisis económico

#### 3.2.10.1. Relación beneficio/costo (B/C)

En el análisis de beneficio y costo se consideraron los ingresos totales y el costo total en cada uno de los tratamientos de experimentación.

**Tabla 33-3.** Relación beneficio/costo y rentabilidad de los tratamientos.

TRATAMIENTOS	INGRESO	COSTO	B/C	RENTABILIDAD
	TOTAL	TOTAL		(%)
<b>T1(GRAVEDAD)</b>	800	784,89	1,02	0,2
<b>T2(GOTEO)</b>	1750	904,89	1,93	93
<b>T3(ASPERSIÓN)</b>	1260	844,89	1,49	49

Realizado por: Tenesaca, I. 2022.

En la tabla 33-3 se observa que el tratamiento 2 (riego por goteo) fue aquel que generó un mayor beneficio en el análisis económico debido a que se consiguió una rentabilidad de 1,93 USD esto quiso decir que por cada dólar invertido se conseguirían 0,93 USD más obteniendo una ganancia del 97%, mientras que en los tratamientos 1 (gravedad) y Tratamiento 3(aspersión) se consiguieron ganancias del 0,2 y 49% respectivamente.

## CONCLUSIONES

El mejor método de riego para el cultivo de ajo es del Tratamiento de riego por goteo con un coeficiente de uniformidad de 91,7 %, ahorra un volumen de agua hasta en un 44% con respecto al tratamiento de gravedad y tiene el rendimiento más alto de 13724 Kg/ha.

Al correlacionar la eficiencia de aplicación de los métodos de riego con los parámetros biométricos (altura, diámetro del pseudotallo, conductancia estomática, potencial hídrico), el Tratamiento 2 (riego por goteo) tuvo el mejor desempeño y se determinó que existe influencia directa para los parámetros biométricos estudiados.

Se determinó que el Kc ajustado para el cultivo de ajo (*Allium sativum L*), en la Estación Experimental Tunshi, provincia de Chimborazo son: para la etapa inicial de 0.2, etapa de desarrollo de 0.71, en la etapa intermedia con 1.26 y en la etapa final de 0.83, resultado de los datos obtenidos en los lisímetros de drenaje del CER.

El tratamiento que presentó menor huella hídrica es el Tratamiento 2 (riego por Goteo) con la aplicación de 522,83 litros de agua por cada kg de rendimiento.

Se determinó que con el Tratamiento 2 (riego por Goteo), se obtiene mayor relación beneficio/costo de 1,93 con una rentabilidad del 93%.



## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda, realizar el mismo experimento en otra temporada del año para observar cuales son los posibles cambios en el cultivo de ajo y su desarrollo.

También se recomienda establecer un programa de riego donde consideren los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) determinados en la investigación para la estación experimental Tunshi para determinar las láminas de riego a aplicar.

Se recomienda utilizar el método de riego por goteo en la producción de ajo con la finalidad de obtener el beneficio que se calculó en la investigación y de esta manera generar posibles empleos para las personas interesadas en este cultivo.

## BIBLIOGRAFÍA

Comentado [UdW3]: Nombres no van con mayúscula, revise la guía

Comentado [CM4R3]:

**AGROPECUARIA, Mosquer,** *Manual del cultivo de papa en Chile*. [En línea] 2017. <http://www.inia.cl/wpcontent/uploads/ManualesdeProduccion/10%20Manual%20Papa.pdf>.

**ALEGRIA, Waldemar.** *Texto básico para profesional en Ingeniería Forestal*. En el área de fisiología vegetal. Perú : FCF-UNAP, 2016.

**ALOMOTO, Segundo.** *Agronomía del riego por goteo en el cultivo de fréjol arbustivo en el CADET, 2018*. Quito : Universidad Central del Ecuador, 2020.

**ANDRADE, Carlos.** *Evaluación de diferentes tipos de riego en cultivos agrícolas*. Manabí : Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, 2018.

**ALVAREZ, A, et. al.** Productividad del ajo bajo riego por goteo en la Costa de Hermosillo, México. 2, México : BIOtecnia, 2019, Vol. 11.

**ARTEAGA, Ramón, et. al.** *Evapotranspiración de referencia estimada con Fao-Penman-Monteith, Priestley-Taylor, Hargreaves y RNA*. México : Revista mexicana de ciencias agrícolas, 2017, Vol. 3.

**BAEZA, R.** *Boletín Trimestral de Información al Regante n° 27*. Sevilla : Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, 2014. [https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/30489/boletin\\_sar\\_n27\\_jul\\_sep\\_2014%20\(1\).pdf;jsessionid=97689CF6F2153E166CF1A3CB7B655FAE?sequence=1](https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/30489/boletin_sar_n27_jul_sep_2014%20(1).pdf;jsessionid=97689CF6F2153E166CF1A3CB7B655FAE?sequence=1).

**BAROJA, Gustavo.** *Hablemos de riego*. Hablemos de riego. Quito : CONGOPE, 2016.

**BASANTES, Emilio.** *Manejo de cultivos andinos del Ecuador*. Quito : Universidad de la Fuerzas Armadas del Ecuador, 2015.

**BAUTISTA, Juan.** *Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas : CEPAL, 2015.

**BIZKAIA.** *Estrategía para la protección, mejora y gestión de la biodiversidad en Bizkaia.* Estrategía para la protección, mejora y gestión de la biodiversidad en Bizkaia. s.l. : BIZKAIA, 2015.

**CÁCERES, José.** *Determinación del coeficiente (Kc) para el cultivo de paprika bajo condiciones de la irrigación majes.* Arequipa : Universidad Nacional San Agustín, 2017.

**CADERÓN, Efraín, et. al.** *Aportaciones a la mecanización ed la siembra del ajo de una sembradora neumática de presión.* Valencia : Universitat Politècnica de Valencia, 2015.

**CAMPAÑA, Artuto, et.al.** *Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019-2027.* Ecuador : Secretaria del agua, 2019.

**CANABIO.** *Solanum tuberosum.* [En línea] 2008. [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/20914\\_sg7.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/20914_sg7.pdf).

**CELY, German.** *Determinación de parámetros de riego para el cultivo de cebolla de bulbo en el distrito de riego del alto Chicamocha.* Colombia : Universidad Nacional de Colombia, 2010.

**CENICANA.** *Riego por aspersión.* [En línea] 2015. <http://www.cenicana.org/web/programas-de-investigacion/agronomia/manejo-de-aguas/metodos-de-aplicacion-del-riego/riego-por-aspersion>.

**CHIMBORAZO, Diana.** *Evaluación del rendimiento de cebolla de bulbo (Allium cepa L.) Var. RED NICE a partir de plantulas obtenidas mediante la poda de sus hojas.* Ambato : Universidad Técnica de Ambato, 2015.

**CHIQUE, Nestor.** *Evaluación técnica para el mejoramiento de la eficiencia del sistema de riego Jaruni Carimbico-Juli.* Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2018.

**CISNEROS, Rodolfo.** *Apuntes de la materia de Riego y drenaje.* Potosi : Universidad Autonoma de San Luis Potosi, 2019.

**CONADI.** *Promoción, elaboración y evaluación de proyectos de riego para organizaciones y personas indígenas de la región de Atacama.* Santiago de Chile : CONADI, 2017.

**CONCHA, Carlos, ROMAN, Juan & VELIZ, Miguel.** *Evaluación de diseño del proyecto de la asociación de productores agrícolas Santa Elena para la instalación de sistema de riego por*

goteo para cultivos de exportación (quinua y paprika) en el distrito de Supe, Barranca, entre 2013 y 2018. Perú : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2018.

**CONTRERAS, Juan.** *Análisis comparativo de cuatro modelos de evapotranspiración de referencia en la microcuenca del Rio Quinuas.* Cuenca : Universidad de Cuenca, 2015.

**CORREA, Karla.** *Evaluación de la evapotranspiración del cultivo de banano utilizando la ecuación de la FAO PENMAN-MONTEITH.* Guayaquil : Universidad de Guayaquil, 2015.

**DE Juan, POCORNELL, María & TARJUENO, José.** *El riego y sus tecnología.* La Mancha : Universidad de Castilla - La Mancha, 2020.

**DOMINGUEZ, Teed.** *Mejora de la eficiencia de riego por gravedad en las comisionas de riego del distrito de Chupaca 2019.* Huancayo : Universidad Continental, 2019.

**DUKEZ, Michael, MORGAN, Kelly & ZOTARELLI, Lincoln.** *Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar la capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad.* Florida : Agricultural and Biological Engineering, 2019.

**EDMUNDO, Alirio.** *Riego por goteo .* [En línea] 2013.  
<http://www.centa.gob.sv/docs/guias/riego/Riego%20por%20goteo.pdf>.

**ESPÍN, Enrique.** *Análisis de un sistema de tratamiento de aguas grises procedentes del lavabo y ducha con el uso de técnicas alternativas en viviendas unifamiliares en la parroquia Atahualpa, cantón Ambato, provincia Tungurahua.* Ambato : Universidad Técnica de Ambato, 2021.

**ESPIN, Rosa.** *Evaluación de diferentes niveles de fertilización foliar agro hormonas en la producción de primaria forrajera de alfalfa en la estación experimental Tunshi .* [En línea] 2011.  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1559/1/17T01060.pdf>.

**FAO.** *Respuesta del rendimiento de los cultivos de agua.* Roma : Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2021.

**FERNÁNDEZ, R. et al.** *Manual de Riego para Agricultores.* [En línea] 2010.  
[https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego\\_por\\_aspersion.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersion.pdf).

**FERNÁNDEZ, Rafael.** *Módulo 3. Riego por aspersión. Agricultores, Manual de riego para.* Sevilla : Consejería de Agricultura y Pesca, 2010.

**FRANCO, Verónica.** *Evaluación de la eficiencia del método de riego por goteo.* Ambato : Universidad Técnica de Ambato, 2018.

**GARCIA, Mario.** *Eficiencia del riego .* [En línea] 2009.  
<http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/EFICIENCIA.pdf>.

**GARZÓN, Javier, RAMÍREZ, Ivan & RUILOVA, Bismark.** *Innovación tecnológica en el sector agropecuario.* Machala : Universidad Nacional de Machala, 2015.

**GAVILANES, Marco.** *Inducción a la producción de unibulbos con la aplicación de un complejo hormonal en planta de ajo nacional o criolla.* Ambato : Universidad Técnica de Ambato, 2018.

**GUACHIZACA, Iván.** *Fortalecimiento de modos de vida local sostenibles de las comunidades asentadas en la zona de amortiguamiento del parque Nacional Podocarpus y conservación del oso de anteojos en el cantón Palanda provincia de Zamora Chimchipe.* Quito : Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2018.

**GUATAPI, Nataly.** *Estudio investigativo del ajo, análisis de sus propiedades y difusión de su aplicación en la ciudad de Quito.* Quito : Universidad Tecnológica Equinoccial, 2019.  
hidroponia mx. 2015. Riego tecnificado. [En línea] 19 de noviembre de 2015. [hidroponia.mx/ques-es-el-riego-tecnificado/](http://hidroponia.mx/ques-es-el-riego-tecnificado/).

**IFAPA.** *Boletín Trimestral de información al regante.* [En línea] 2009.  
<https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/-/action/90004fc0-93fe-11df-8d8b-f26108bf46ad/e5747030-1bb8-11df-b7e2-35c8dbbe5a83/es/02f9e190-faff-11e0-929f-f77205134944/alfrescoDocument?i3pn=contenidoAlf&i3pt=S&i3l=es&i3d=e5747030-1bb8-11df-b7e2>.

**INIA.** *Antecedentes técnicos para el cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) en la región de Aysén.* [En línea] 2013. <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR39137.pdf>.

**INIFAP.** *El cultivo de chile serrano en la zona media de San Luis Potosí.* México : INIFAP, 2018.

**INTA.** *Riego en papa: un complemento imprescindible para estabilizar rindes.* [En línea] 2013.  
<http://intainforma.inta.gov.ar/?p=15204>.

**INTAGRI.** *Requerimientos de Clima y Suelo para el Cultivo de la Papa.* [En línea] 2017.  
<http://cipotato.org/wpcontent/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>.

**JÁCOME, Raul.** *Calidad sanitaria del material vegetal utilizado como semilla y su relación con la productividad del cultivo de ajo.* Ambato : Universidad Técnica de Ambato, 2016.

**LARREA, Diego & SOSA, Byron.** *La tecnificación de la agricultura familiar bajo riesgo en Ecuador.* La tecnificación de la agricultura familiar bajo riesgo en Ecuador. Quito : CESA, 2017.

**LEÓN, Juan.** *Riegos y drenajes.* Riobamba : Riegos y drenajes. Riobamba : E-COPYCENTER, 2012.

**LIOTTA, Mario.** *Riego por goteo.* [En línea] 2015.  
[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).

**LLERENA, Sandra.** *La huella hídrica de Ambato y el derecho de vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.* Ambato : Universidad Técnica de Ambato, 2014.

**LÓPEZ, Ligia.** *Manual Técnico del cultivo de tomate.* San José : Handerson Bolívar Restrepo, 2016.

**LÓPEZ, Oscar.** *Efecto del calentamiento global en la evapotranspiración de los cultivos.* Córdoba : Universidad de Córdoba, 2021.

**MACEDO, Paula.** *Respuesta del riego parcial en el cultivo de camote mediante el sistema de riego por goteo subterráneo.* Lima : Universidad Nacional Agraria La Molina, 2021.

**MANCHENO, Andrea.** *Estimación de la huella hídrica personal y sus implicaciones socioeconómicas en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.* Quito : Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2017.

**MASQUIZA, Paola.** *Manejo de población de insectos en pepino bajo producción limpia en el sector La Isla, Cumanda.* Ambato : Universidad Técnica de Ambato, 2016.

**MENA, Marco.** *Diseño de un sistema de riego parcelario para el sistema de riego Pastora Alomia*, en el cantón Montufar, parroquia La Paz, Provincia del Carchi. Carchi : Universidad Internacional SEK, 2019.

**MENDOZA, Alirio.** *Riego por goteo. Ecuador* : Riego por goteo. Ecuador : CENTA, 2018.

**MÉRIDA, Hector.** *Análisis de la eficiencia de distribución de agua del sistema de riego por aspersión de la aldea Quilínco*, Chiantla, Huehuetenango. Quetzaltenango : Universidad Rafael Landívar, 2017.

**MINAGRI.** *Manual de cálculo de eficiencia para sistema de riego.* [En línea] 2015. [http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manualriego/manual\\_determinacion\\_eficiencia\\_riego.pdf](http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manualriego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf).

**MOLINA, J. SANTOS, B. AGUILAR, L.** *Manejo interado de plagas en el cultivo de papa.* INTA. [En línea] 2014. <http://www.inta.gob.ni/biblioteca/images/pdf/guias/GUIA%20MIP%20papa%202014.pdf>.

**MONTENEGRO, Oscar.** *Respuesta del cultivo de ajo a tres frecuencias de aplicacion de abonod orgánicos.* Babahoyo : Universidad Técnica de Babahoyo, 2017.

**MONTEROS, A.** *Rendimientos de papa en el Ecuador primer ciclo 2016.* [En línea] 2016. [http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/papa/rendimiento\\_papa\\_2016.pdf](http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/papa/rendimiento_papa_2016.pdf)

**MORALES, E.** *Manejo de cultivos andinos del ecuador.* [En línea]2015.<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10163/4/Manejo%20Cultivos%20Ecuador.pdf>.

**MULLO, Josué.** *Diseño de un sistema de riego parcelario para la comunidad San Pedro*, ubicada en la Parroquia La Matriz, cantón Guamote. Quito : Universidas San Fracisco, 2016.

**NIETO, Carlos, et.al.** *Estudio del aprovechamiento de agua de riego disponible por unidad de producción agropecuaria, con base en el requerimiento hídrico de cultivos y el área regada*, en dos localidades de la Sierra ecuatoriana. Quito : Universidad Central del Ecuador, 2019.

**OCWUS.** *Bases del riego tenificado* . [En línea] 2007. [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial\\_02.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial_02.htm).

**OJEDA, Carlos.** *Efecto de un producto bioactivo compuesto por oligogalacturonidos como mitigador del estrés hídrico en variedades de albahaca.* La Paz : Centro de Investigaciones biológicas del Noroeste, 2015.

**OLMEDO, Victor.** *Determinación de indicadores de gestión en los módulos del distrito de riego n° 041, Río Yaqui (Sonora, México).* Córdoba : Universidad de Córdoba, 2018.

**OÑATE, Lissette.** *Duración de las etapas fenológicas y profundidad radicular del cultivo de maíz blanco harinoso criollo, bajo condiciones climáticas del cantón Cevallos.* Ambato : Universidad Técnica de Ambato, 2016.

**PACHECO, Julia. & CABRERA, Armando** *Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas 2, Mexico* : Ingeniería Revista Académica, 2018, Vol. 7.

**PALLO, Juan.** *Adaptación de cuatro variedades de ajo con tres niveles de abono orgánico en el cantón la Maná.* Latacunga : Universidad Técnica de Cotopaxi, 2014.

**PARRADO, Carlos.** *Determinación de las necesidades hídricas para el riego de apoyo de la VID de vinificación en la denominación de origen protegida Utiel-Requeña.* Valencia : Universidad Politécnica de Valencia, 2015.

**PUCA, Fernanda.** *Evaluación de bioestimulantes orgánicos como alternativa ecológica para accionar la germinación de semillas de Citrus x limón variedad Rampur, en el cantón Ambato, parroquia Izamba.* Ambato : Universidad Técnica de Ambato, 2016.

**PUMISACHO, Manuel & SHERWOOD, Stephen.** *El cultivo de la papa en el Ecuador.* Ecuador : INIAP-CIP, 2017.

**QUESADA, Jeffry.** *Determinación de los requerimientos de agua para diferentes cultivos de la zona Norte Cartago.* Cartago : Instituto Tecnológico de Costa, 2017.

**RAMOS, José, et. al.** *Germinación y manejo de especies forestales tropicales.* Germinación y manejo de especies forestales tropicales. Mexico : PROAFT. AC., 2017.

**REGABER.** *Gotero autocompensante.* [En línea] 2002 .  
[https://previa.uclm.es/area/ing\\_rural/Catalogos/HidraulicaRiegos/RegaberGoterosAutocompensantes.pdf](https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Catalogos/HidraulicaRiegos/RegaberGoterosAutocompensantes.pdf).



**RODRÍGUEZ, Percy.** *Efecto de tres técnicas de riego por aspersión en el cultivo de ajo, en el caserío de Chupicaloma-Baños del Inca Cajamarca.* Cajamarca : Universidad de Cajamarca, 2014.

**SAILEMA, Karla.** *Análisis de los consumos históricos de agua potable en el cantón Ambato.* Riobamba : Universidad Nacional de Chimborazo, 2021.

**SALTOS, Diego.** *El agua de riego y su incidencia en la producción agrícola de un terreno en la parroquia Santa Rosa de la ciudad de Ambato,* provincia Tungurahua. Ambato : Universidad Técnica de Ambato, 2018.

**SÁNCHEZ, Elizabeth.** *Estudio del ajo de monte y sus propiedades: su uso gastronómico y medicinal en la comuna Chiguilpe de Santo Domingo de los Tsáchilas.* Santo Domingo de los Tsáchilas : Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2015, Vol. 2.

**SAMANIEGO, Jose.** *Cambio climático y desarrollo en América Latina.* Santiago de Chile : CEPAL, 2019.

**SÁNCHEZ, Jeannette.** *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad.* Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad. Alemania : CEPAL, 2019.

**SANTANA, Rita.** *Evaluación de métodos de extracción y dosis de aplicación de cola de caballo para el control ecológico de roya en el cultivo de cebolla blanca.* Ambato : Universidad Técnica Ambato, 2016.

**SENINGER.** *xcel wobbler.* [En línea] 2012. [http://fabianisrl.com.ar/wp-content/uploads/2012/06/XcelWob\\_Span.pdf](http://fabianisrl.com.ar/wp-content/uploads/2012/06/XcelWob_Span.pdf).

**SIFUENTES, E. et al.** *Predicción de la fenología de la papa.* [En línea] 2009. <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1644/Prediccion%20de%20la%20fenologia%20de%20papa%20principios%20y%20aplicaciones%20practicas.pdf?sequence=1>.

**SOTO, H.** *Introducción y ecuación de parámetros de rendimiento de 4 variedades del cultivo de ajo en condiciones de la provincia de Acobamba.* Acobamba : Universidad Nacional DE Huancavelica, 2018.

**TEJEDA, Adalberto.** *La humedad en la atmosfera. Bases físicas, instrumentos y aplicaciones.* México : Universidad de Colima, 2018. 978-607-8549-50-4.

**TORRES, Hernán.** *Determinacion del uso consuntivo del ajo Var. Napuri con riego por goteo en la irrigación majes-Arequipa.* Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2018.

**UCLM.** *Riego por aspersión.* [En línea] 2009.  
[https://previa.uclm.es/area/ing\\_rural/Hidraulica/PresentacionesPDF\\_STR/TemaRiegoAspersion.pdf](https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Hidraulica/PresentacionesPDF_STR/TemaRiegoAspersion.pdf).

**VARGAS A, J.** *Evaluación de la uniformidad de distribución del agua de seis cintas de goteo en condiciones de El Zamorano.* [En línea] 2008.  
<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5481/1/CPA-2008-T073.pdf>.

**VEGA, Victor.** *Diseño de un sistema de riego a gravedad.* Quito : Universidad de San Francisco, 2011.

**VILLCA, Lucio.** *Riesgo deficitado en el cultivo de tomate *Lycopersicum esculentum* Mill en el Municipio de Lurbay La Paz.* La Paz : Universidad Mayor de San Andrés, 2013.

**YANANGÓMEZ, Luis.** *Evaluación del requerimiento hídrico del cultivo de maíz morado en la parroquia Malacatos sector "San José".* Loja : Universidad Nacional de Loja, 2018.

**YESID, Mariño.** *arborea a sitios potenciales de plantación.* Bogotá : Pontificia *Evaluación del punto de marchitez permanente bajo condiciones de invernadero como variable para la asignación de clones de Gmelina* Universidad Javeriana, 2016.