



Comparación de tres métodos de riego del uso consuntivo (kc) en la Estación Experimental Tunshi

Comparison of three consumptive use (kc) irrigation methods at the Estación Experimental Tunshi

Comparaçãõ de três métodos de irrigaçãõ de uso consuntivo (kc) na Estaçãõ Experimental de Tunshi

Cristian Santiago Tapia-Ramírez ^I

cristians.tapia@epoch.edu.ec

<http://orcid.org/0000-0003-2104-5972>

Daniel Arturo Román-Robalino ^{II}

daniel.roman@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9172-3201>

Edmundo Danilo Guilcapi-Pacheco ^{III}

eguilcapi@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5072-1437>

Karla Milena González-Valdez ^{IV}

kgonzalez@yachaytech.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-6943-8823>

David Fernando Granja Guato ^V

dgranja@yachaytech.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0007-6438-2844>

Correspondencia: cristians.tapia@epoch.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

***Recibido:** 23 de marzo de 2023 ***Aceptado:** 17 de abril de 2023 * **Publicado:** 23 de mayo de 2023

- I. Máster en Riego y Drenaje, Ingeniero Agrónomo, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Máster en Agricultura Sustentable, Ingeniero Agrónomo, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Máster en Agricultura Sustentable, Especialista en Desarrollo Local y Regional, Ingeniero Agrónomo, Grupo de Investigación Transferencia de Tecnología de Recursos Hídricos, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- IV. Máster en Hidrología y Gestión de Recursos Hídricos, Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, Escuela de Ciencias de la Tierra, Energía y Ambiente, Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay, Urcuquí, Ecuador.
- V. Máster Universitario en Geofísica y Meteorología, Ingeniero en Geología, Escuela de Ciencias de la Tierra, Energía y Ambiente, Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay, Urcuquí, Ecuador.

Resumen

La presente investigación se enfocó en determinar el método de riego más eficiente y ajustar el coeficiente de cultivo (K_c) en la estación experimental Tunshi. Se utilizó un diseño completo al azar (DCA) con tres tratamientos (gravedad, goteo y aspersión) y tres repeticiones. Además, se utilizó un bloque de lisímetros con goteo para ajustar el coeficiente de cultivo.

Se tomaron medidas biométricas en 10 plantas seleccionadas al azar, como altura, diámetro del pseudotallo, conductancia estomática, potencial hídrico, contenido relativo de agua, materia seca de la planta, huella hídrica, rendimiento y eficiencia de aplicación. Se aplicaron fórmulas para calcular la eficiencia de riego y el coeficiente de uniformidad para los tratamientos de goteo y aspersión, mientras que para ajustar el coeficiente de cultivo (K_c) se observó directamente la evapotranspiración de cultivo (ET_c) y la evapotranspiración de referencia (ET_o) en campo.

En conclusión, el tratamiento de goteo (T2) mostró mejores resultados en comparación con los tratamientos de aspersión (T3) y gravedad (T1). El coeficiente de cultivo (K_c) varió según la etapa fenológica, siendo 0.2 en la etapa inicial, 0.71 en la etapa de desarrollo, 1.26 en la etapa intermedia y 0.83 en la etapa final.

Palabras Claves: Riego; Coeficiente de Cultivo; Etapas Fenológicas.

Abstract

The present investigation focused on determining the most efficient irrigation method and adjusting the crop coefficient (K_c) at the Tunshi experimental station. A complete randomized design (CRD) with three treatments (gravity, drip and sprinkler) and three replications was used. In addition, a lysimeter block with drip was used to adjust the crop coefficient.

Biometric measurements were taken on 10 randomly selected plants, such as height, pseudostem diameter, stomatal conductance, water potential, relative water content, plant dry matter, water footprint, yield and application efficiency. Formulas were applied to calculate irrigation efficiency and uniformity coefficient for the drip and sprinkler treatments, while crop evapotranspiration (ET_c) and reference evapotranspiration (ET_o) in the field were directly observed to adjust the crop coefficient (K_c).

In conclusion, the drip treatment (T2) showed better results compared to the sprinkler (T3) and gravity (T1) treatments. The crop coefficient (K_c) varied according to phenological stage, being

0.2 in the initial stage, 0.71 in the development stage, 1.26 in the intermediate stage and 0.83 in the final stage.

Keywords: Irrigation; Crop Coefficient; Phenological stages.

Resumo

A presente pesquisa teve como objectivo determinar o método de irrigação mais eficiente e ajustar o coeficiente de cultura (K_c) na estação experimental de Tunshi. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado (CRD) com três tratamentos (gravidade, gotejamento e aspersão) e três repetições. Além disso, um bloco de lisímetro com gotejamento foi usado para ajustar o coeficiente de cultura.

Medidas biométricas foram tomadas em 10 plantas selecionadas aleatoriamente, tais como altura, diâmetro do pseudocaule, condutância estomática, potencial hídrico, conteúdo relativo de água, matéria seca da planta, pegada hídrica, produtividade e eficiência de aplicação. As fórmulas foram aplicadas para calcular a eficiência da irrigação e o coeficiente de uniformidade para os tratamentos de gotejamento e aspersão, enquanto a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o) no campo foram diretamente observadas para ajustar o coeficiente de cultura (K_c).

Em conclusão, o tratamento por gotejamento (T2) mostrou melhores resultados em comparação com os tratamentos por aspersão (T3) e gravidade (T1). O coeficiente de cultura (K_c) variou de acordo com o estágio fenológico, sendo 0,2 no estágio inicial, 0,71 no estágio de desenvolvimento, 1,26 no estágio intermediário e 0,83 no estágio final.

Palavras-chave: Irrigação; Coeficiente de Cultura; Estádios Fenológicos.

Introducción

Internacionalmente, el trabajo del agua y su gestión es 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 permitiendo que las variedades mejoradas, tanto de plantas como de animales utilicen elementos de producción que elevan los rendimientos (Anton, 2015). Al aumentar la productividad, la administración sustentable del agua auxilia a garantizar una mejor producción para el consumo directo como para el negocio o industrias; 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 Vázquez et al., 2017)

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%, con un caudal autorizado total de 687 m³/s (Sugawara & Nikaido, 2014)

El Ecuador tiene una población que crece aceleradamente, por consiguiente, la agricultura deberá ser la actividad productiva con más fortaleza para lograr alimentar a mayor número de personas, el riego es un componente de eficiencia que ayudará a mejorar los rendimientos de cultivos. La producción agropecuaria es dependiente más que antecedente de la irrigación, debido al calentamiento global (Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador, 2016)

El agua utilizada para regadío procede de fuentes naturales y alternativas, en el cual, las fuentes naturales integran agua de lluvia y la superficial (lagos y ríos), recursos que tienen que ser utilizados de forma sustentable (Martín & Justo, 2015). 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 integral de los recursos naturales (Sugawara & Nikaido, 2014)

(Sánchez et al., 2019) identificó 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.

(Orellana Salas & Lalvay Portilla, 2018) determinaron en su estudio lo importante que es la eficiente aplicación del agua, ya que es un recurso limitado que principalmente no alcanza para regar toda el área que quiere se desear, o para no crear inconvenientes en los sectores o predios que se localizan aguas abajo. La porción aprovechable de este componente por el cultivo será variable y dependerá de los componentes meteorológicos y edáficos; para lo cual se considera primordial resaltar las diversas funcionalidades que cumple el riego en la esfera de las ocupaciones humanas, tales funcionalidades permanecen con relación a los entornos benéfico, social, ambiental y económico (CEPAL, 2019)

(Muñoz, 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 (intercepción). Además, la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI), 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 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 está a su vez es influenciada por el nivel de cobertura que existe del cultivo y la disponibilidad de humedad en el suelo alrededor de su área (Cely Reyes, 2010). Por lo tanto, principalmente se llaman evapotranspiración del cultivo (ETc), estando sujetas a: los límites climáticos, disponibilidad de agua, tipo y diversidad de cultivo, densidad de siembra y estado de su desarrollo (Parrado Abad, 2015).

El riego representa el 71.2%, lo cual se convierte en el uso de agua que más caudal consume en nuestra región, algo que generalmente se muestra con una alta tendencia en Latinoamérica; además, 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 Jácome, 2021)

Los procedimientos de riego engloban las distintas maneras que existen en utilizar el agua con respecto al suelo, y que 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 declives de la cantidad 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 Rodríguez, 2017) Estos pueden ser por riego superficial o gravedad, por aspersión, por goteo y subterráneo.

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 recurso y maximizar la producción y calidad de los productos agrícolas la Corporación Nacional

de Desarrollo Indígena (CONADI). 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 la cantidad de agua aplicar a los cultivos (Quesada Rodríguez, 2017)

Según (Pallo, 2014) en su estudio identificó que en el Ecuador el clásico 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 el adecuado.

En territorio, tiene un periodo vegetativo entre la siembra y la cosecha de 4 a 6 meses. Las mismas que ofrecen el 87,39% de la producción nacional. Así mismo, en la investigación de (Jácome Espinosa, 2017) se determinó que la agricultura de hoy, pide más grande rendimiento con menos recursos esto gracias a pronósticos de un futuro de escasez, 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 al sector de análisis para la aplicación del riego mejorando su eficiencia (Steduto et al., 2012)

Se tiene presente la grave afectación de los suelos en el Ecuador por la mala aplicación del agua de riego, se podría optar a través de la presente investigación, 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 coeficiente de cultivo (Kc) en la zona de estudio, para cada etapa fenológica por medio de simetría, 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 fomentar la productividad agrícola sostenible adaptándose a la necesidad de mantener la energía y optimizar los recursos naturales, salvaguardando la calidad del medioambiente, salud pública y el desarrollo socioeconómico (Morales et al., 2015)

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 se obtiene 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)

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; sin embargo, por más cuidado que se tenga en el manejo del recurso, existirán pérdidas, que ocurren primordialmente a lo largo de la aplicación del agua al suelo y durante su conducción, tanto en la red de riego externa como en la red interna de repartición del agua a la parcela (Franco Ortega, 2018)

Por otro lado, la eficiencia de un sistema de riego consiste en la interacción entre la proporción de agua usada por las plantas y la proporción de agua suministrada a partir de la bocatoma.

La cantidad de agua tomada de una fuente natural en un sistema de riego es conducida por medio de un canal principal y después se dirige hacia un canal de repartición, derivando el agua a grado parcial para cualquier cultivo del productor agrario (Chique Mamani, 2013).

La eficiencia de riego está compuesta por la optimización de conducción en el canal primordial, eficiencia de repartición en los canales laterales y eficiencia de aplicación a grado de parcela, el producto de estas tres nos establece la eficiencia de riego de un sistema (H. Marlon. Mérida, 2017)

Los principales problemas que enfrentan los productores agrícolas en las áreas de riego por gravedad, es la baja optimización y deficiente uniformidad con que se aplica el agua. El primero repercute en la sustentabilidad del recurso y el segundo impacta en forma negativa al 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. 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, donde se mide la pérdida que se genera entre la toma lateral del canal principal, hasta la entrega a los usuarios de una región de riego (Dominguez Ramos, 2019)

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, mejorando la gestión de este recurso que es cada vez más limitado (Saltos Salazar, 2011. Por ende, la eficiencia provechosa del riego tecnificado se puede exteriorizar como la proporción de productos agrícolas conseguidos por cada metro cúbico aplicado de agua, el cual cambia según el cultivo, el clima, el costo de la producción obtenida y la cantidad 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 topográficas, lo que además de ahorrar tiempo, ayuda a mejorar la economía, debido a que cumple con ciertas funcionalidades como lo es regar, fertilizar y mantener el control de plagas, evitando el desarrollo de maleza, la existencia de plagas y patologías, lo que también ayuda a reducir las pérdidas (Sosa & Larrea, 2014)

Asimismo, beneficia el aumento y desarrollo de los cultivos, permitiendo conseguir una eficiencia del 95% comparativamente a otros mecanismos de riego, debido a que les aporta a los cultivos lo primordial, así como las condiciones óptimas para su producción con una frecuencia regulada. (Concha Tito et al., 2018)

Materiales y métodos

La presente investigación tuvo lugar en la Estación Experimental Tunshi ubicada en el Centro Experimental de Riego (CER), perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de la parroquia Licto del cantón Riobamba en la Provincia de Chimborazo.

En el estudio de campo los equipos para cultivar fueron fundamentales, considerando que el material vegetativo se encuentre en excelentes condiciones y así prevenir cualquier error. Se utilizó un tractor, azadones, baldes, estacas, piolas, rastrillos, tubería flexnet, 72 mini válvulas de encaje con junta de salida, 2500 m de cinta de goteo streamline 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

El diseño experimental utilizado durante la investigación fue un Diseño Completo al Azar (DCA) con tres tratamientos de estudio, riego por gravedad (T1), goteo (T2), y aspersion (T3), realizando tres repeticiones. Para el proceso de análisis funcional se utilizó el programa InfoStat con una prueba de Tukey al 5% de significancia ya que existe una diferencia significativa entre los tratamientos.

Para la ejecución de este diseño de estudio fue importante considerar las especificaciones de campo que se indican en la **Tabla 1**.

Tabla 1.- Especificaciones de campo

Descripción	Unidad
Forma de la parcela	Rectangular
Área total	4000 m ²
Número de tratamientos	3
Número de repeticiones	3
Largo de la parcela	100m ²
Ancho de la parcela	40m ²
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	0.4m
Distancia de siembra entre planta	0.15m
Densidad de plantas	60 000

Realizado por: Equipo de investigación (2023)

Para determinar la eficiencia del método de riego por gravedad (T1) se empleó la metodología descrita por (Esperanza et al., 2021)

- Selección de tres surcos ubicados al inicio, medio y final de cada repetición.
- Registro de las medidas del surco tales como ancho (As), largo (Ls), altura (Ps) y espaciamiento entre surcos (w).
- Aforar en la cabecera y pie del surco, con el uso de un balde y un cronómetro para determinar el caudal de ingreso y el caudal de salida. (método volumétrico)
- Señalar 4 puntos cada 10 m a lo largo del surco con el uso de estacas.
- Permitir el ingreso del agua al surco y anotar la hora correspondiente al punto cero.
- Registrar el tiempo acumulado que tarda el agua en atravesar cada uno de los puntos de observación establecidos, luego medir la profundidad de infiltración con la ayuda de la varilla de humedad, que es de superficie lisa y en uno de sus extremos cuenta con un ruliman el cual permite que la varilla ingrese únicamente hasta donde se humedece el surco en cada punto.
- Anotar 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, suspender la entrada del agua en la cabecera y registrar la hora de corte.
- Posteriormente, se continúa haciendo seguimiento al surco evaluado mientras se almacena el agua, hasta observar que ésta desaparece de la superficie del suelo en cada uno de los puntos establecidos. Luego proceder a medir la profundidad de infiltración con la ayuda de la varilla de humedad en cada punto.

Para determinar la eficiencia del riego por goteo (T2) se empleó la metodología descrita por (León, 2012)

- Realizar una medición a los 10 DDS.
- Seleccionar tres surcos ubicados al inicio, medio y final de cada repetición. Marcar 3 goteros al inicio, en el medio y al final cada surco seleccionado.
- Colocar debajo de cada gotero seleccionado un vaso plástico de 250 ml, encender el sistema de riego y posteriormente registrar el tiempo.
- Luego de 10 minutos se apaga el sistema de riego y se realiza 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 y se aplicó la siguiente ecuación.

$$\text{Coeficiente de uniformidad} = \frac{\text{Volumen medio recibido del 25\% de vasos con menor volumen}}{\text{Volumen medio del total de vasos}} \times 100 \quad (\text{ecuación 1})$$

Para determinar la eficiencia del riego por aspersión (T3) se empleó la metodología descrita por (Esperanza et al., 2021)

- Se realizó una medición a los 10 DDS
- Se seleccionaron 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 alrededor del aspersor a evaluar con la ayuda de una piola.
- Se colocaron 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 1.

Resultados

Según (Castro et al., 2014) para la identificación de las etapas fenológicas del ciclo del cultivo de ajo se consideraron las siguientes 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.

- **Etapas inicial**

La etapa inicial comenzó el día del trasplante hasta cuando el 30% de las plantas de la parcela neta emitieron sus nuevas hojas. Este proceso inició a los 26 días, la utilización de aspersión comenzó a los 28 días y la etapa mediante goteo inició a los 28 días; no se identificó algún grado de significancia entre los tratamientos como se indica en la Tabla 2. Al comparar estos resultados con los expuestos por (Montenegro Rosero, 2017) se identificó la validez de los resultados porque obtuvo un tiempo medio en la etapa inicial de 27 días.

Tabla 2.- Resultados etapa inicial

Tratamiento	Duración de la etapa inicial (días)
T1	26
T2	28.33
T3	28.33

Realizado por: Equipo de investigación (2023)

- **Etapa de desarrollo**

En el instante que terminó la etapa inicial, dio lugar a la etapa de desarrollo cuando el 30% de las plantas de la parcela comenzaron a formar los pequeños bulbos. Se identificó que la etapa inicial culminó en un tiempo más extenso, 48 días, al utilizar goteo como método de riego, 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 3. (Rodríguez López, 2014) identificó 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 3.- Resultados etapa de desarrollo

Tratamiento	Duración de la etapa inicial (días)
T1	46.33
T2	48
T3	43.33

Realizado por: Equipo de investigación (2023)

- **Etapa intermedia**

En el instante que terminó 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. Esta etapa culminó 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 4. (Torres Torres, 2018) determinó en su estudio dedicado al uso consuntivo por goteo que la etapa intermedia termina 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 4.- Resultados etapa intermedia

Tratamiento	Duración de la etapa inicial (días)
T1	31.67
T2	40.67
T3	37.33

Realizado por: Equipo de investigación (2023)

- **Etapa final**

Al concluir la etapa intermedia del ciclo de crecimiento del ajo inició la etapa final cuando el 75% de las plantas de la parcela presentaron pseudotallos amarillados y doblados. Se identificó que esta etapa culminó a los 35 días al utilizar aspersion 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 5.

(Huez-López et al., 2009) observó en su estudio relacionado 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 aspersion como método de riego y no tienen una diferencia amplia en los otros tratamientos de estudio.

Tabla 5.- Resultados etapa final

Tratamiento	Duración de la etapa inicial (días)
T1	22
T2	35
T3	29

Realizado por: Equipo de investigación (2023)

- **Duración total del ciclo de cultivo**

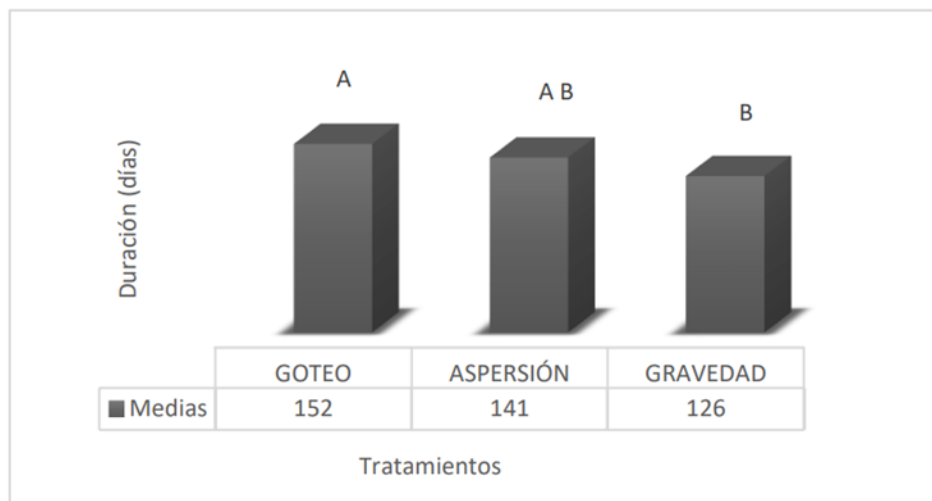


Gráfico 1. Diagrama de la duración de la etapa final

Realizado por: Equipo de investigación (2023)

El Gráfico 1 muestra que el 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, 2013) 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.

- **Coefficiente de cultivo (kc) ajustado para el cultivo de ajo**

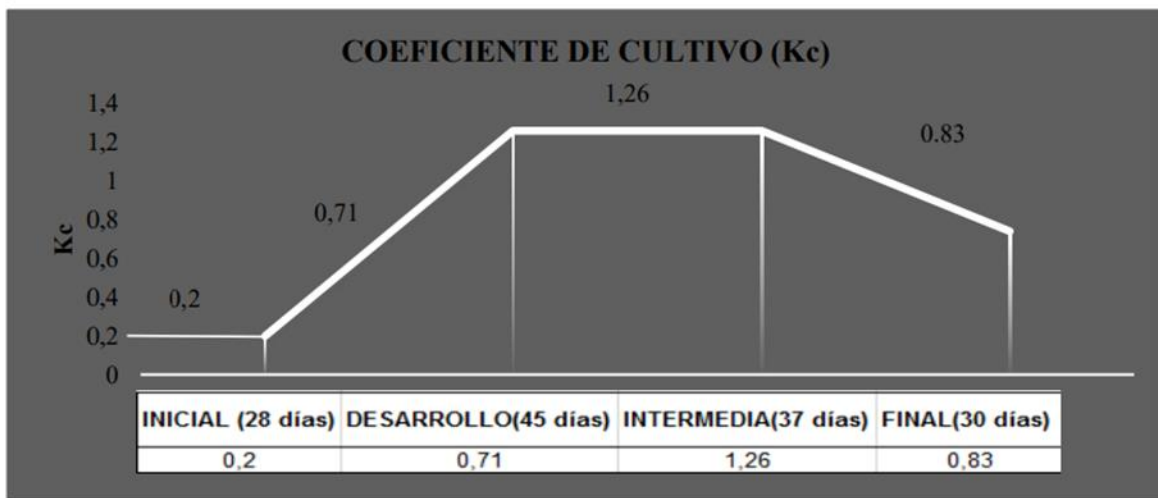


Gráfico 2. Coeficiente del cultivo (kc) por etapa fenológica del ciclo del cultivo de Ajo (*Allium sativum* L.), en La Estación Experimental Tunshi, Provincia de Chimborazo, 2022.

Realizado por: Equipo de investigación (2023)

Los resultados presentados en el gráfico 2 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 simetría.

- **Etapa inicial**

En el Gráfico 2 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 del cultivo de Ajo, en esta etapa 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 (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 ratificó que durante el período inicial el área foliar es pequeña y la evapotranspiración ocurre principalmente como evaporación en el suelo.

- **Etapa de desarrollo**

En el Gráfico 2 muestra 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 (Montenegro Rosero, 2017) 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%.

- **Etapa intermedia**

Se puede apreciar en el Gráfico 2 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 (Montenegro Rosero, 2017) de 1,0 – 1,0 en la etapa intermedia que comprende desde el inicio de la pulverización hasta la pulverización 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.

- **Etapa final**

En el Gráfico 2 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 (H. Mérida, 2017) que reportó valores de Kc de un rango de 1 – 0,5 en la etapa final comprendida desde la pulverización 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.

- **Eficiencia de riego**

En el análisis de varianza para la eficiencia de riego, (Tabla 6), presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 72,42 % y un coeficiente de variación de 3,13 %.

Tabla 6.- 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: Equipo de investigación (2023)

En la prueba de Tukey al 5% para la eficiencia de riego, (tabla 7); 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 7.- 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: Equipo de investigación (2023)

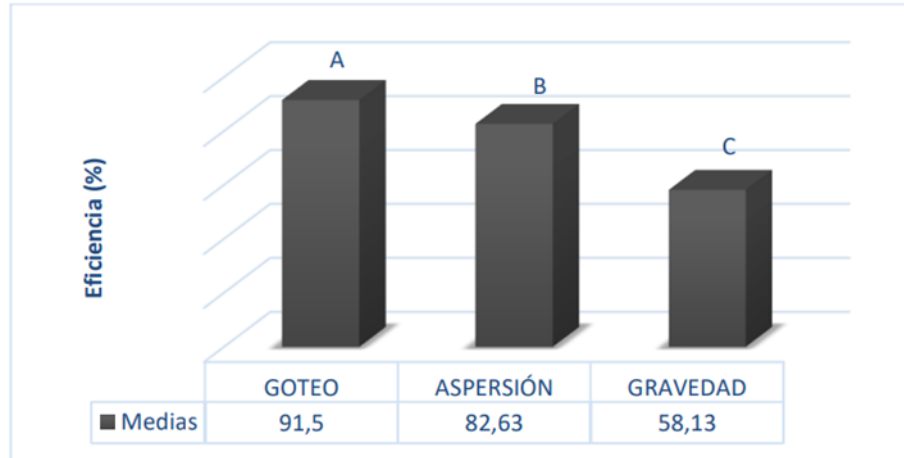


Gráfico 3. Eficiencia del riego

Realizado por: Equipo de investigación (2023)

En el Gráfico 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 aquella humedecida por el emisor.

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.

Referencias

1. Anton, A. (2015). Estrategia Para La Biodiversidad En Bizkaia. *Foral de Bizaka*, 1–131. file:///C:/Users/USERTS/Downloads/Ortegaetal.2014RetosConservacionFaunaEMFSM.pdf
2. Castro, H., Cely, G., & Santos, Y. (2014). Determinación de los requerimientos hídricos del ajo y su relación con estados fenológicos. *Cultura Científica JDC*, 56–64. https://www.jdc.edu.co/revistas/index.php/Cult_cient/article/view/153
3. Cely Reyes, G. E. (2010). Determinación de parámetros de riego para el cultivo cebolla de bulbo en el Distrito de riego del Alto Chicamocha. *Escuela de Posgrados*.
4. CEPAL, N. U. (2019). *Cambio climático y derechos humanos: contribuciones desde y para América Latina y el Caribe*.
5. Chique Mamani, N. (2013). *Evaluación técnica para el mejoramiento de eficiencia del sistema de riego Jaruni Carimbico-Juli*.
6. Concha Tito, C. D., Roman Alvarado, J. C., & Veliz Meza, M. A. (2018). *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 páprika) en el distrito de Supe, Barranca, entre 2013 y 2018*.
7. Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador. (2016). *Hablemos De Riego Con Los Agricultores. In 2014*.

8. Dominguez Ramos, T. R. (2019). *Mejora de la eficiencia de riego por gravedad en las comisiones de riego del distrito de Chupaca-2018*.
9. Esperanza, D.-R. T., Arias-Arias, N. A., & Ladino-Tabarquino, G. S. (2021). *Evaluación de sistemas de riego utilizados en el cultivo de palma de aceite*.
10. Espín Jácome, E. G. (2021). *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 de Tungurahua*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica
11. Franco Ortega, V. A. (2018). *Evaluación de la eficiencia del método de riego por goteo*.
12. Gavilanes, M. (2013). *Inducción a la producción de unibulbos con la aplicación de un complejo hormonal en plantas de ajo (Allium sativum L.) CV nacional o criolla*. 52.
13. Huez-López, M. A., Preciado, F. A., López-Elías, J., Álvarez, A., Jiménez, J., & Valenzuela, P. (2009). PRODUCTIVIDAD DE AJO (*Allium sativum L.*) BAJO RIEGO POR GOTEO EN LA COSTA DE HERMOSILLO, MÉXICO. *BIOtecnia*, 11(2), 3. <https://doi.org/10.18633/bt.v11i2.58>
14. Jácome Espinosa, R. F. (2017). *Calidad sanitaria del material vegetal utilizado como semilla y su relación con la productividad del cultivo de ajo (Allium sativum L.)*.
15. León, J. (2012). *Riegos y drenajes*. Editorial E-COPYCENTER. Riobamba Ecuador.
16. Martín, L., & Justo, J. (2015). Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe. *Recursos Naturales e Infraestructura*. CEPAL, 64. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37877/1/S1500220_es.pdf
17. Mérida, H. (2017). Análisis De La Eficiencia De Distribución De Agua Del Sistema De Riego Por Aspersión De La Aldea Quilenco, Chiantla, Huehuetenango. In *ufsc*. (Vol. 87, Issue 1,2, pp. 149–200).
18. Mérida, H. Marlon. (2017). *ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN DE LA ALDEA QUILINCO, CHIANTLA, HUEHUETENANGO* (Issue 1) [Universidad Rafael Landívar]. <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/186602/PPAU0156-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y%0Ahttp://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/12>

68/1127%0Ahttp://www.scielo.br/pdf/rae/v45n1/v45n1a08%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j

19. Montenegro Rosero, O. F. (2017). *Respuesta del cultivo de ajo (Allium sativum L.) a tres frecuencias de aplicación de abonos orgánicos*. El Ángel: 2017.
20. Morales, I. R., Reyes, B. R., & Montealegre, J. G. (2015). *Innovación tecnológica en el sector agropecuario*. tesis de grado) Universidad Técnica de Machala.
21. Muñoz, W. (2016). Texto básico para profesional en ingeniería forestal. en el área de fisiología vegetal. *Departamento de Ecología y Conservacion de La Facultad Deficiencias Forestales*.
22. Olmedo Vázquez, V. M., Poyato, E. C., Rodríguez Díaz, J. A., Minjares Lugo, J. L., & Hernández, M. L. H. (2017). Determinación de indicadores de gestión en los módulos del distrito de riego no. 041, río yaqui (Sonora, México). *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(2), 149–168.
23. Orellana Salas, J. A., & Lalvay Portilla, T. D. C. (2018). Uso e importancia de los recursos naturales y su incidencia en el desarrollo turístico. Caso Cantón Chilla, El Oro, Ecuador. In *Revista interamericana de ambiente y turismo* (Vol. 14, Issue 1, pp. 65–79). scielocl. <https://doi.org/10.4067/s0718-235x2018000100065>

© 2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).