

UCUENCA

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

Desarrollo radicular de la fase vegetativa del tomate (*Solanum lycopersicum*) cultivado en invernadero bajo diferentes láminas de riego

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma

Autora:

Fanny Alexandra Alvarado Peña

CI: 0105503841

alexalvarao@gmail.com

Director:

Ing. Agr. Eduardo José Chica Martínez PhD.

CI: 0912795101

Cuenca, Ecuador

30-noviembre-2022

Resumen:

Existe una estrecha relación entre el riego y la productividad, esto se debe a que el crecimiento y rendimiento de los cultivos están determinados por el transporte y acumulación de agua en la planta. A su vez, el transporte y acumulación de agua en la planta depende de la morfología y funcionamiento de las raíces que son el órgano a través del cual la planta absorbe agua desde el medio en el que se desarrolla. Así también el sistema radicular puede verse afectado por la dotación y la frecuencia de riego ya que se ha reportado una tendencia a que la densidad radicular, profundidad y la longitud de las raíces disminuyan en condiciones bien regadas. En los últimos años el interés en mejorar la eficiencia del uso de agua en los cultivos se ha incrementado y motivado a explorar la posibilidad de producir con menos agua a través del uso de técnicas como el riego deficitario. No obstante, en nuestro medio, no se han explorado los efectos que la reducción de las láminas de riego aplicadas pueda tener sobre la morfología y funcionamiento de las raíces. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la aplicación de diferentes láminas de riego en el desarrollo radicular del cultivo de tomate durante su fase vegetativa, simulando la aplicación de riego deficitario, así también se evaluó el efecto de esta reducción en la lámina de riego en el desarrollo de los órganos aéreos. El experimento se desarrolló bajo invernadero en el Campus Yanuncay de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca, usando un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con 3 tratamientos y 4 repeticiones con un total de 12 unidades experimentales y un sustrato a base de suelo, carbón y cascarilla de arroz en proporciones 4-1-1. Los tratamientos evaluados fueron: T1) Lámina de riego al 100% ET_c siendo este el tratamiento control, T2) Lámina de riego al 75% ET_c y T3) Lámina de riego al 50% ET_c . En el análisis de datos se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad en la distribución de datos y posteriormente se aplicó la prueba de Bartlett para corroborar si existe homogeneidad de varianzas. Al cumplirse estos dos principios se utilizó la prueba ANOVA seguida por la prueba de Tukey. Cuando no se cumplieron los supuestos de normalidad y homocedasticidad se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis. En general no se distinguieron diferencias significativas para las variables, lo que nos hace pensar que se puede disminuir la lámina de riego sin afectar al desarrollo de la planta, sin embargo, se puede observar que existe una tendencia clara para las variables biomasa seca foliar, longitud de raíces, floración y contenido relativo de agua, lo que sugiere que las láminas reducidas pudieran haber afectado a estas variables si el experimento hubiera continuado por más tiempo.

Palabras claves: Lámina de riego. Rizotróf. Riego deficitario. Tomate.

Abstract:

There is a close relationship between irrigation and productivity; This is because the growth and yield of crops are determined by the transport and accumulation of water in the plant. In turn, the transport and accumulation of water in the plant depends on the morphology and functioning of the roots, which are the organ through which the plant absorbs water from the medium in which it develops. So too, the root system can be affected by the amount and frequency of irrigation, since a tendency has been reported for root density, depth and length of the roots to decrease in well-watered conditions. Recently the interest in improving the efficiency of water use in crops has increased and motivated to explore the possibility of producing with less water through the use of techniques such as deficit irrigation. However, in our environment, the effects that the reduction of the applied irrigation layers may have on the morphology and functioning of the roots have not been explored. The objective of this study was to determine the effect of the application of different irrigation layers on the root development of the tomato crop during its vegetative phase, simulating the application of deficit irrigation, as well as the effect of this reduction in the irrigation sheet in the development of the aerial organs was evaluated. The experiment was carried out under a greenhouse at the Yanuncay Campus of the Faculty of Agricultural Sciences of the University of Cuenca, using a completely randomized block design (DBCA) with 3 treatments and 4 repetitions with a total of 12 experimental units and a substrate to soil base, charcoal and rice husk in proportions 4-1-1. The treatments evaluated were: T1) Irrigation sheet at 100% of ET_c , this being the control treatment, T2) Irrigation sheet at 75% of ET_c and T3) Irrigation sheet at 50% of ET_c . In data analysis, the Shapiro-Wilk test was used to assess normality in the distribution of data and subsequently the Bartlett test was applied to verify if there is homogeneity of variances. When these two principles were met, the ANOVA test was used followed by the Tukey test. When the assumptions of normality and homoscedasticity were not met, the non-parametric Kruskal Wallis. In general, no significant differences were distinguished for the variables, which makes us think that the irrigation layer can be reduced without affecting the development of the plant, however, we can observe that there is a clear trend for the variables dry foliar biomass, length of roots, flowering and relative water content, which suggests that the reduced sheets could have affected these variables if the experiment had continued for a longer time.

Keywords: Irrigation sheet. Rhizotron. Deficit irrigation. Tomato.

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	5
TABLA DE FIGURAS.....	6
TABLA DE IMÁGENES.....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. OBJETIVOS	13
2.1. General.....	13
2.2. Específicos	13
2.3. Hipótesis planteadas	13
2.3.1. Hipótesis nula	13
2.3.2. Hipótesis alternativa	13
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1. Generalidades del cultivo.....	13
3.2. Sistema radicular del tomate riñón.....	13
3.3. Fisiología de la raíz	13
3.4. Riego en el cultivo de tomate de mesa	14
3.5. El riego localizado en el desarrollo radicular	14
3.6. Riego deficitario	14
3.7. Técnicas utilizadas para medir densidad de raíces (Rizotrones).....	16
3.8. Atmómetro	17
4. Materiales y métodos	17
4.1. Materiales	17
4.2. Métodos	17
4.3. Área de estudio	18
4.4. Diseño experimental	19
4.5. Mediciones	20
4.5.1. Láminas de riego	20
4.5.2. Área foliar.....	20
4.5.3. Conductancia estomática	20
4.5.4. Contenido relativo de agua	20
4.5.5. Días a la primera floración	21
4.5.6. Diámetro y altura de la planta	21

4.5.7.	Longitud de raíces primarias y secundarias	21
4.5.8.	Masa seca de la raíz.....	21
4.5.9.	Masa seca del follaje	21
4.5.10.	Número de hojas.....	21
4.6.	Análisis estadístico	21
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
5.1.	Lámina de riego.....	23
5.2.	Altura de la planta.....	23
5.3.	Área foliar.....	24
5.4.	Conductancia estomática.....	25
5.5.	Contenido relativo de agua	27
5.6.	Días a la primera floración	29
5.7.	Longitud de las raíces.....	31
5.8.	Masa seca del follaje	32
5.9.	Masa seca de la raíz.....	33
5.10.	Número de hojas.....	34
6.	CONCLUSIONES	36
7.	RECOMENDACIONES	36
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	37
9.	ANEXOS	39

TABLA DE TABLAS

Tabla 1_	Descripción de tratamientos y distribución de bloques.....	19
Tabla 2_	ANOVA (5%) de la altura en las plantas de tomate bajo diferentes láminas de riego	23
Tabla 3_	ANOVA (5%) del área foliar en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego.....	24
Tabla 4_	ANOVA (5%) de la conductancia estomática ($\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) a los 10, 24 Y 45 días después del trasplante de plántulas de tomate bajo diferentes láminas de riego.....	26
Tabla 5_	ANOVA (5%) de contenido relativo de agua en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego.....	27
Tabla 6_	Resultado de la prueba de Kruskal Wallis para evaluar diferencias en el diámetro de las hojas (cm) en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego.....	28
Tabla 7_	ANOVA (5%) del número de días desde el trasplante hasta la primera floración en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego	30

Tabla 8. ANOVA (5%) de longitud de raíces en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego 31

Tabla 9. Resultado de la prueba de Kruskal Wallis para evaluar diferencias en la acumulación de biomasa seca foliar en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego 32

Tabla 10. Resultado de la prueba de Kruskal Wallis para evaluar diferencias en la acumulación de biomasa seca radicular en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego 33

Tabla 11. Resultado de la prueba de Kruskal Wallis para evaluar diferencias en el número de hojas en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego 35

Tabla I. Cálculo del volumen de agua evapotranspirada diaria y dosis de riego por rizotróon equivalente a las láminas experimentales para el cultivo de tomate 44

Tabla II. Valores de altura de la planta por tratamiento y repetición 48

Tabla III. Valores de área foliar para cada tratamiento y repetición 48

Tabla IV. Valores de la conductancia estomática a los 10, 24 y 45 días 49

Tabla V. Cálculo del contenido relativo de agua por tratamiento y repetición 49

Tabla VI. Valores de diámetro de la planta por tratamiento y repetición 50

Tabla VII. Valores de la primera floración por tratamiento y repetición 50

Tabla VIII. Valores de longitud de raíces primarias y secundarias por tratamiento y repetición 51

Tabla IX. Valores de peso seco foliar por tratamiento y repetición X51

Tabla X. Valores de peso seco radicular por tratamiento y repetición 52

Tabla XI. Valores de número de hojas por tratamiento y repetición 52

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Coeficiente de cultivo para diferentes etapas fenológicas del cultivo de tomate 23

Figura 2. Altura en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego 24

Figura 3. Área foliar en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego al final del experimento 25

Figura 4. Conductancia estomática a los 10, 24 y 45 días después del trasplante 27

Figura 5. Contenido relativo de agua en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego. .. 28

Diámetro del tallo 28

Figura 6. Diámetro en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego 29

Figura 7. Número de días a la floración desde el inicio de los tratamientos en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego 30

Figura 8. Longitud de raíces en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego 31

Figura 9. Biomasa seca foliar en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego al final del experimento	33
Figura 10. Biomasa seca de la raíz en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego al final del experimento	34
Figura 11. Número de hojas en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego	35

TABLA DE IMAGENES

Imagen 1: Modelo de rizotrófon	16
Imagen 2: Atmómetro de uso diario	17
Imagen 3: Campus Yanuncay de la Universidad de Cuenca.....	18
Imagen 4: Distribución de las unidades experimentales	19
Imagen 5: Adecuación del sitio experimental mediante la Instalación de un atmómetro e implementación de las unidades experimentales.	40
Imagen 6: Tutorado de las plantas de tomate de mesa.....	40
Imagen 7: Aplicación de fertilizantes	40
Imagen 8: Medición de la conductancia estomática mediante la utilización de un porómetro	41
Imagen 9: Aparición de los primeros brotes florales que marcan el final de experimento.....	41
Imagen 10: Imágenes ilustrativas de los sistemas radiculares	42
Imagen 11: Excavación, limpieza y lavado de raíces para pesaje	42
Imagen 12: Exposición de foliolo a saturación en cámara húmeda para obtención del contenido relativo de agua.....	43
Imagen 13: Pesaje de muestras etiquetadas después de ser expuestas a la estufa a 65°C para obtención de peso seco foliar y radicular	43

Cláusula de Propiedad Intelectual

Fanny Alexandra Alvarado Peña, autora del trabajo de titulación “Desarrollo radicular de la fase vegetativa del tomate (*Solanum lycopersicum*) cultivado en invernadero bajo diferentes láminas de riego”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 30 de noviembre de 2022

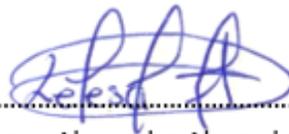


Fanny Alexandra Alvarado Peña

Yo, Fanny Alexandra Alvarado Peña, en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “ Desarrollo radicular de la fase vegetativa del tomate (*Solanum lycopersicum*) cultivado en invernadero bajo diferentes láminas de riego ”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 30 de noviembre de 2022



Fanny Alexandra Alvarado Peña

C.I: 0105503841

AGRADECIMIENTOS

Como primer punto quiero agradecer a Dios por brindarme salud e impulso para poder culminar con mis estudios.

Quiero agradecer a mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en durante todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que ahora soy. Es un orgullo y un privilegio el ser su hija.

A mi esposo e hija por ser parte indispensable de mis logros profesionales y personales, por ser el pilar fundamental y mis ganas de superación.

Un agradecimiento especial a mi tutor de tesis Ing. Agr. Eduardo Chica PhD por su gran contribución, apoyo y paciencia en esta etapa de formación académica. De la misma manera agradezco a cada uno de mis docentes los cuales me han impartido todos los conocimientos que poseo hasta hoy.

Dedico este trabajo de tesis a mis queridos Padres Manuel y Carmen, a mi esposo Cesar y mi hija Montserrat.

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

Eto: Evapotranspiración de referencia

Kc: Coeficiente de cultivo

ET_c : Evapotranspiración del cultivo

CC: Capacidad de campo

CRA: Contenido Relativo de Agua

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el tomate de mesa, conocido localmente como tomate riñón, es una de las hortalizas más cultivadas en el mundo, por su contenido nutricional y su demanda nacional e internacional. Según los datos de la ESPAC (2018) en Ecuador la superficie sembrada de tomate fue de 1.606 ha; mientras que la área cosechada fue de 1.547 ha con una producción de 31.891 Tm. El tomate de mesa consumido en el mercado nacional proviene en su totalidad de la producción nacional, las principales provincias productoras de tomate a nivel nacional son Guayas, Chimborazo, Tungurahua, Carchi y Azuay, con una producción combinada de 1.156 ha.

Existen factores determinantes en la producción del tomate, uno de ellos es la falta de acceso a sistemas de riego debido a que el riego es determinante para el desarrollo comercial del cultivo, considerando que el crecimiento y rendimiento de las plantas dependen en parte de la disponibilidad y el suministro de agua que se produce a través de la interacción entre el sistema radicular y el agua del suelo. La tasa de crecimiento radicular, las características del sistema radicular y las propiedades hidráulicas del suelo, constituyen factores importantes que afectan el proceso de absorción de agua. En el crecimiento radicular, como en cualquier otro proceso fisiológico que dependa de la elongación celular, el agua tiene participación fundamental al proporcionar la fuerza que produce la expansión. El sistema radicular puede verse afectado por la dotación y la frecuencia de riego ya que, según estudios realizados, las densidades de longitud de la raíz generalmente disminuyen exponencialmente con la profundidad en condiciones bien regadas (Klepper, 1991). El tamaño, la morfología o la arquitectura de un sistema raíz pueden controlar el tamaño relativo y la tasa de crecimiento del brote. Los sistemas de raíces óptimos a lo largo del ciclo de vida de la planta pueden garantizar un crecimiento óptimo, desarrollo de brotes y rendimientos posteriores (Leskovar & Stoffella, 1995). Por este motivo la utilización del recurso agua se vuelve un factor determinante en los procesos productivo (Berrueta et al., 2012). El riego deficitario controlado (RDC) que se basa en la idea de reducir los aportes de agua en los periodos fenológicos en los que un déficit hídrico controlado no afecta sensiblemente a la producción y calidad de la cosecha y cubra plenamente la demanda durante el resto del ciclo del cultivo (Mañas, 2005).

La presente investigación tuvo como finalidad determinar el efecto de la aplicación de tres diferentes láminas de riego deficitario, en el desarrollo del cultivo. El desarrollo del sistema radicular del tomate, durante su fase vegetativa, fue monitoreado mediante la utilización de rizotrones de vidrio, con el objetivo de encontrar la práctica de riego más eficiente.

1. OBJETIVOS

1.1. General

Caracterizar el desarrollo radicular y aéreo de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) en invernadero bajo diferentes láminas de riego durante su desarrollo vegetativo.

1.2. Específicos

- Describir el desarrollo y morfología del sistema radicular y partes aéreas bajo diferentes láminas de riego.
- Explorar posibles correlaciones entre el desarrollo radicular y el de los órganos aéreos de las plantas de tomate.

1.3. Hipótesis planteadas

1.3.1. Hipótesis nula

Las variaciones en las láminas de riego no afectan el desarrollo radicular y aéreo del tomate de mesa (*Solanum lycopersicum*).

1.3.2. Hipótesis alternativa

Las variaciones en las láminas de riego inciden en el desarrollo radicular y aéreo del tomate de mesa (*Solanum lycopersicum*), mejorando la eficiencia y el uso agua en las plantas

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Generalidades del cultivo

El tomate de mesa es una de las hortalizas más cultivadas a nivel mundial por su contenido nutricional y su demanda nacional e internacional, por lo que en los últimos años el incremento de la producción mundial ha influido en las exportaciones nacionales, ya que en el 2017 ha tenido un crecimiento de 166% con relación al 2016 (MAGAP, 2017). De acuerdo a los datos obtenidos por la ESPAC en Ecuador para el año 2018 se ha obtenido una producción nacional de 31.891 Tm, entre las principales provincias productoras de tomate de mesa a nivel nacional se encuentran Guayas, Chimborazo, Tungurahua, Carchi y Azuay, con una producción total de 1.156 ha.

2.2. Sistema radicular del tomate riñón

El sistema radicular del tomate presenta crecimiento vertical y está compuesto por una raíz principal corta y débil que puede alcanzar una profundidad de 0.5 m o más; así como también tiene raíces secundarias de las que ramifican numerosas raicillas adventicias y pelos absorbentes. El 70% del total radicular puede estar localizado en los primeros 0.2 m (Pérez et al., 2001).

2.3. Fisiología de la raíz

La raíz es la parte subterránea de una planta que se origina a través de la radícula, presenta un geotropismo positivo y cumple con funciones específicas como proporcionar sostén y fijación de la planta al suelo, así como la asimilación de agua y conducción de minerales (Rivera, 2016). En el sistema radicular se pueden distinguir diferentes zonas, entre ellas tenemos la zona apical o

denominada cofia de la cual se originan las demás células, esta presenta una tasa de división baja y crecimiento primario que se fundamenta en la longitud, a continuación se encuentra la zona de división celular, la zona de elongación en donde las raíces incrementan de tamaño, la zona de maduración es otra parte de la raíz en la que las células adquieren sus características funcionales y donde aparecen los pelos absorbentes que son los principales responsables de la absorción de agua y nutrientes (Megías et al., 2017).

Existe una estrecha interacción entre el agua y el sistema de raíces, que puede suministrar agua a las plantas. Son muchos los factores decisivos para la absorción de agua por parte de las plantas, entre los que podemos mencionar las características hidráulicas del suelo, las características radiculares y la tasa de crecimiento de la raíz. Por ejemplo, Proffitt (1985) en un estudio realizado en *Triticum aestivum* L. relacionó la respuesta del sistema de raíces a diferentes frecuencias de aplicación de agua con irrigación de alta (HF) y baja frecuencia (LF) y un tratamiento de cada uno como un control bien regado. De esta manera el contenido de agua del suelo, la longitud y distribución de las raíces, y el potencial de agua de la hoja (Ψ_L) se monitorearon antes y después de los riegos y durante el período de secado del suelo. Las plantas en los tratamientos HF y LF desarrollaron sistemas de enraizamiento menos profundos que las plantas en los tratamientos testigos. Los patrones de extracción de agua del suelo se correlacionaron con las distribuciones de enraizamiento. Las aplicaciones ligeras frecuentes de agua resultaron en fluctuaciones reducidas en Ψ_L , se obtuvieron rendimientos más altos y una eficiencia del uso de agua mejorada.

2.4. Riego en el cultivo de tomate de mesa

Según Chemonics (2008), las plantas adultas de tomate comestible pueden consumir entre 1,5 y 2 litros de agua por día, y la cantidad de agua dependerá de diferentes factores, como la zona donde se ubica el cultivo, el tipo de suelo y las condiciones climáticas, el consumo diario de agua aumentará según el crecimiento de las plantas. Dependiendo del tamaño de las plantas, la población existente y las diferentes estaciones, si se utiliza un sistema de riego por goteo, las plantas de tomate pueden consumir de 43 a 57 metros cúbicos de agua por hectárea en un día, ya que la forma más efectiva de este método de riego es reducir la pérdida de agua.

2.5. El riego localizado en el desarrollo radicular

El riego localizado implica proporcionar una cierta cantidad de agua a las plantas. La actividad estomática está relacionada con la tasa fotosintética ya que controla el equilibrio entre la pérdida de agua y la absorción de carbono, la planta regula la apertura de las estomas, de manera que el CO_2 en las hojas se encuentra bien distribuido, y se mantiene la tasa fotosintética en la planta (Schulze et al., 1987).

2.6. Riego deficitario

El riego deficitario es una herramienta utilizada en el manejo de los cultivos que consiste en reducir la dotación de agua aplicada a una planta a lo largo del ciclo de cultivo, en función a las exigencias fisiológicas de cada fase, produciendo un mínimo impacto sobre la futura producción, manteniendo el rendimiento (Mañas, 2005). Si la evapotranspiración del cultivo es mayor que el suministro de riego es necesario la utilización del riego deficitario que permita optimizar el uso de los recursos

hídricos limitados, reduciendo al mínimo las pérdidas de agua asociadas al riego y maximizando el uso de agua almacenada en el suelo (Villalobos & Fereres, 2017).

Desde hace algún tiempo se ha venido dando mayor importancia al enfoque biológico de las plantas, orientado a la fenología de los cultivos, así como la capacidad que tienen estos para resistir estrés hídrico, de allí nace el concepto del riego deficitario controlado (RDC), el mismo que se basa en reducir los déficits hídricos en las etapas fenológicas en las que el cultivo no se va afectado en una posible reducción en el rendimiento y calidad de la cosecha. De acuerdo con Mañas (2005) el tomate es uno de los cultivos hortícolas en los que se podría aplicar el riego deficitario. Este estudio demuestra que la etapa de menor sensibilidad para aplicación de déficit de agua en el cultivo de tomate es la fase de maduración tardía, ya que no se ve afectado el rendimiento del cultivo. La aplicación del riego deficitario en otras etapas fenológicas del cultivo podría producir reducción del crecimiento, la fructificación y el rendimiento, no obstante, esto no ha sido explorado en nuestras condiciones de producción en Ecuador.

Xu & Leskovar (2014) realizaron un estudio del crecimiento, la fisiología y las respuestas de rendimiento de la col (*Brassica oleracea L.*) al riego deficitario, utilizando láminas al 100%, 75% y 50% de la evapotranspiración del cultivo, pudiendo evidenciar que el riego reducido al 50% de la ET_c disminuyó temporalmente el tamaño de la planta, redujo el área foliar específica, el peso fresco del repollo y el rendimiento comercial y total; mientras que al aplicar un riego deficitario al 75% de ET_c se evidenció poca influencia en el crecimiento y la fisiología de las plantas, pero aun así redujo el rendimiento comercial y total. Se realizó un segundo estudio de en el cual se aplicó riego con 75% de ET_c el cual tuvo poca influencia en el crecimiento de las plantas, la tasa fotosintética, el peso y el tamaño del repollo. De la misma manera, se pudo observar un aumento temporal en el contenido de clorofila, así como también una disminución en la conductancia estomática. En ambas temporadas, los riegos deficitarios no influyeron en el peso seco del repollo, lo que indica que la mayor reducción del rendimiento con riegos deficitarios está relacionada con el contenido de agua.

En nuestro país ha habido pocas experiencias con el manejo de riego deficitario en cultivos hortícolas. Entre ellos está el estudio realizado por León et al. (2020) en el cual se evaluó el efecto de diferentes láminas de riego controlado, aplicado en el cultivo de pimiento al 40, 60, 80, 100 y 120% de la ET_c , sobresaliendo el tratamiento al 80% de la ET_c ya que obtuvo los mejores rendimientos. De la misma manera Alcivar & Zambrano (2018) realizaron otro estudio en pimiento aplicando láminas de riego deficitario al 70, 80 y 90%, comparando con un 100% de la ET_c , en el cual se pudo apreciar que las láminas reducidas abaratan los costos de producción y estadísticamente los rendimientos del fruto son mayores comparados con la lámina al 100% utilizada como testigo, siendo la lámina al 80% de la ET_c la que obtuvo la mejor producción, así como también en la eficiencia en el uso del agua. De forma similar, Ormaza & Rosado (1981) con el objetivo de evaluar el efecto del riego deficitario en el cultivo de pimiento, realizaron un estudio en el cual aplicaron láminas al 70, 80, 90 y 100% de la ET_o , pudiendo evidenciarse que el tratamiento con la lámina al 80% presentó el mayor rendimiento del cultivo, demostrando que es posible reducir la lámina de riego en un 20% sin causar la reducción en la producción del cultivo. No obstante, no hay reportes

de la evaluación de esta técnica en el cultivo del tomate bajo invernadero en condiciones de valles interandinos.

2.7. Técnicas utilizadas para medir la densidad de raíces (Rizotrones)

El estudio del sistema radicular a pesar de ser un tema interesante del desarrollo fisiológico de las plantas no ha tenido la atención necesaria, esto se debe a que existen factores limitantes como la inversión de tiempo y arduo trabajo, así como también la ubicación y la actividad de las raíces bajo suelo. A pesar de estas dificultades a lo largo de los últimos años se han desarrollado técnicas nuevas con enfoques experimentales, en las que incluyen evaluaciones indirectas que aportan resultados significativos que contribuyen valiosamente a la comprensión de la dinámica y comportamiento de las raíces (Acevedo, 1979).

Una de las técnicas utilizadas por Böhm (1979) y citado por Díaz (2013), para el estudio del crecimiento y distribución de las raíces en los suelos fue la de los rizotrones, técnica descrita por Sachs (1873), uno de los pioneros en el estudio de las raíces de plantas, la cual consistía en rellenar con tierra una caja de vidrio que permitiera la observación del crecimiento de las raíces en el suelo. De esta forma se da a conocer el concepto de rizotróon que proviene del vocablo griego “rhizo” (raíz) y “tron” (dispositivo para estudio), un contenedor de paredes de vidrio transparente que permite al investigador observar las raíces y la rizosfera de la planta durante su desarrollo. Klepper & Kaspar (1994) cultivaron plantas en un espacio adyacente de los vidrios de rizotróon y de esta manera pudieron observar la dinámica que presentan las raíces que se interceptan por las ventanas transparentes. Así mismo Smie et al., (2000) aplicaron el mismo principio al utilizar rizotrones con el objetivo de observar la interfaz in situ de las raíces entre el vidrio y el suelo, pudiendo registrar datos del crecimiento y la descomposición de las raíces, revelando de esta manera la dinámica del crecimiento de las raíces.

Un pro de este tipo de técnica es que estas instalaciones incluyen el control del drenaje y pueden incluir microcámaras que faciliten las observaciones macro y microscópicas de las raíces. De la misma manera arrojan resultados con altos niveles de confiabilidad en los datos descriptivos y semicuantitativos sobre los cambios que ocurren en los sistemas radiculares en respuesta a los diferentes tratamientos aplicados a un cultivo (Klepper & Kaspar, 1994).



Imagen 1: Modelo de rizotróon

2.8. Atmómetro

Conocido también como evaporímetro, es un instrumento que nos permite estimar la evapotranspiración de referencia (ET_o) diaria o semanal de una forma fácil y directa, su diseño está adaptado para realizar el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos y una correcta planificación de los riegos diarios (Rodríguez, 2016).



Imagen 2: Atmómetro de uso diario

3. Materiales y métodos

3.1. Materiales

- Plántulas de tomate
- Pipetas graduadas
- Rizotrones de vidrio
- Fertilizante (Solución nutritiva Hoagland modificado)
- Equipos medidores (Atmómetro, balanzas, calibrador, flexómetro y porómetro)

3.2. Métodos

Para evaluar el comportamiento de la raíz de plantas de tomate desarrollada bajo la aplicación de diferentes láminas de riego bajo invernadero se utilizó la técnica del rizotróon la misma que fue expuesta por Sachs (1873) y utilizada por Böhm (1979) como método para el estudio del crecimiento y distribución de las raíces en los suelos. Este experimento fue realizado bajo un invernadero de

ventilación pasiva con condiciones de suelo y clima controlados, utilizando rizotrones de 4 x 40 x 60 cm (ancho, largo y profundidad) llenos con sustrato a base de suelo, carbón y cascarilla de arroz en proporciones 4-1-1, ya que este sustrato se ha utilizado en estudios previos y funciona adecuadamente para este sistema, se utilizaron 12 plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* var. *Pierre*) de crecimiento indeterminado, la fertilización se la realizó semanalmente con una solución nutritiva de Hoagland modificado en dosis de 5 g/planta, la misma fue aplicada directamente en el suelo alrededor del vástago. Se utilizó una estructura de madera para sostener los rizotrones, estos se colocaron una inclinación de 45° para obtener una mejor visualización de las raíces y se cubrió con plástico negro una de las caras del rizotrón para evitar el ingreso de luz a la cámara radicular.

Posteriormente en la etapa vegetativa se registró el crecimiento de los órganos aéreos a través de las variables diámetro del tallo, altura de planta, número de hojas, así también semanalmente se evaluó la longitud y la densidad de raíces mediante la utilización de un software informático (ImageJ). El estado hídrico de la planta se evaluó usando el contenido relativo de agua y la conductancia estomática. Al finalizar el experimento, con la aparición de las primeras flores, se evaluó el peso seco de los órganos aéreos y terrestres.

3.3. Área de estudio



Imagen 3: Campus Yanuncay de la Universidad de Cuenca

El presente estudio se realizó bajo invernadero de ventilación pasiva con condiciones de suelo controlado, pertenecientes a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca, en el sector Yanuncay, provincia del Azuay. La localidad se encuentra ubicada a 2560 msnm, cuyas coordenadas UTM son -2.920 1568, -79.025173.

3.4. Diseño experimental

Se empleó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con 3 tratamientos y 4 repeticiones con un total de 12 unidades experimentales, las variables dependientes a evaluar fueron la longitud de raíces primarias y secundarias, la masa seca de las raíces, el número de hojas, la masa foliar seca, el diámetro y altura de la planta, días a la primera floración, el área foliar, la conductancia estomática y el contenido relativo de agua.



Imagen 4: Distribución de las unidades experimentales

Tabla 1

Descripción de tratamientos y distribución de bloques

Bloque 4	T2	T3	T1
Bloque 1	T1	T2	T3
Bloque 3	T2	T3	T1
Bloque 2	T3	T1	T2

ET_c : Evapotranspiración del cultivo

T1: 100% ET_c (Testigo)

T2: 75% ET_c

T3: 50% ET_c

El factor de variación previsto entre los bloques fue la proximidad a las ventanas del invernadero.

3.5. Mediciones

3.5.1. Láminas de riego

Se partió en base a la capacidad de campo (CC) del sustrato y la evapotranspiración del cultivo (ET_c) que se calculó en base a un Atmómetro de uso diario mediante el cual se obtuvieron los datos de la evapotranspiración de referencia (ET_o). En función de estos parámetros se aplicó las siguientes láminas al 100, 75, 50% de la ET_c en base a la metodología utilizada por Xu & Leskovar (2014). El método de riego utilizado fue riego manual con una aplicación diaria según la ET_o marcada por el atmómetro.

Para el cálculo de la lámina de riego se utilizó la lectura de ET_o del atmómetro, la misma que se multiplicó por el K_c del tomate, luego esa lámina fue convertida a volumen considerando un área de 0.015 m^2 que tiene la superficie del rizotrón y la equivalencia de $1 \text{ mm/m}^2 = 1 \text{ L/m}^2$

3.5.2. Área foliar

El área foliar fue estimada a partir de ecuaciones alométricas considerando el ancho de la hoja, en todas las hojas expandidas, estos valores expresados en cm^2 , para el cálculo del área foliar se utilizó la siguiente formula:

$$A_{leaf} = aL_w^b$$

Donde:

$a = 0,2031$

$b = 1,6738$

3.5.3. Conductancia estomática

Para este parámetro se utilizó un porómetro, los datos se tomaron quincenalmente con tomas al medio día, de esta manera se pudo deducir si la reducción de la lámina influye en el cierre prematuro de estomas.

3.5.4. Contenido relativo de agua

Este parámetro se midió al final del experimento mediante el método descrito por González & González-Vilar (2006) a partir de la proporción entre la diferencia del peso fresco de un foliolo al momento del muestreo y el peso seco del mismo foliolo, sobre la diferencia entre el peso saturado del foliolo y su peso seco usando la siguiente fórmula:

$$CRA = \frac{(Peso_{fresco} - Peso_{seco})}{(Peso_{saturado} - Peso_{seco})} \times 100$$

Para obtener la saturación de los tejidos se alcanzó un peso constante en el tejido.

3.5.5. Días a la primera floración

Esta variable se evaluó contando desde el trasplante hasta la primera floración, en donde la antesis de la primera flor marcó el fin del experimento.

3.5.6. Diámetro y altura de la planta

La medición del diámetro de la planta se pudo realizar con la ayuda de un calibrador, la medida fue tomada en centímetros, las mediciones se realizaron cada dos semanas, iniciando 15 días después del trasplante y finalizaron con la antesis de la primera floración.

3.5.7. Longitud de raíces primarias y secundarias

Para la medición de las raíces primarias y secundarias, se utilizó el software ImageJ que procesa y analiza imágenes digitales, mediante el cual se pudo monitorear el crecimiento semanal de las raíces, los datos se compararon en base a los valores de las variables longitud y densidad de raíces.

3.5.8. Masa seca de la raíz

Esta variable se la midió una vez finalizado el ensayo, mediante la ayuda de una balanza digital, partiendo con el peso fresco radicular y posteriormente el peso seco de las muestras expuestas a una estufa a 65 °C hasta obtener un peso constante.

3.5.9. Masa seca del follaje

Esta variable se la midió una vez finalizado el ensayo, mediante la ayuda de una balanza digital, partiendo con el peso fresco foliar y posteriormente el peso seco de las muestras expuestas a una estufa a 65°C hasta obtener un peso constante.

3.5.10. Número de hojas

Se consideró únicamente las completamente expandidas, los datos se tomaron semanalmente.

3.6. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico primero se realizó un análisis descriptivo de cada una de las variables y se caracterizaron las respuestas de acuerdo con la normalidad y distribución de varianzas, para esto se utilizó el test de Shapiro-Wilk ($p \leq 0.05$) para estimar la normalidad de los datos, mientras que para la homogeneidad de varianzas se utilizó el test de Bartlett ($p \leq 0.05$). A partir de este análisis descriptivo se seleccionó la prueba estadística más adecuada para evaluar las hipótesis de trabajo respecto al efecto de la lámina de agua aplicada en cada una de las variables registradas. Para las que cumplieron las condiciones de normalidad y homocedasticidad se utilizó un análisis de varianza (ANOVA), conjuntamente con la prueba post hoc de Tukey ($P \leq 0.05$) y para las variables que no cumplieron estas condiciones se utilizó la pruebas de Kruskal Wallis (0.05).

Durante el transcurso del ensayo se perdieron dos unidades experimentales por lo tanto se tuvo que realizar la estimación de los datos perdidos mediante el siguiente modelo de estimación:

$$x = \frac{rB+tT-G}{(r-1)(t-1)}$$

Donde

- X = Estimación del dato perdido
- R = Numero de repeticiones
- B = Total del bloque donde falta el dato
- T = Total del tratamiento donde falta el dato
- T = Numero de tratamientos
- S = Gran total General

Una vez estimado los valores perdidos se procedió con el cálculo de la ANOVA, en forma normal, sustrayendo un grado de libertad del error y consecuentemente del total, por cada dato perdido. De esta manera se recalcularon los valores de la media cuadrática y el valor F. Para la estimación del valor P se realizó una comparación del valor F calculado y el valor de F teórico (Tabla de Fisher).

Para el caso de los datos no paramétricos se aplicó la prueba H de Kruskal Wallis, clasificando los valores del más pequeño al más grande y utilizando la siguiente formula:

$$H = \frac{\frac{12}{N(N+1)} \sum_i^K 1 \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1)}{1 - \frac{\sum T}{N^3 - N}}$$

Donde:

- N = Número total de casos
- R = Suma de los rangos de cada muestra
- n_i = Número de cada muestra.
- T = Valores empatados o repetidos

Una vez obtenido el valor de H calculado se procedió a compararlo con H teórico (Tabla Chi Cuadrado).

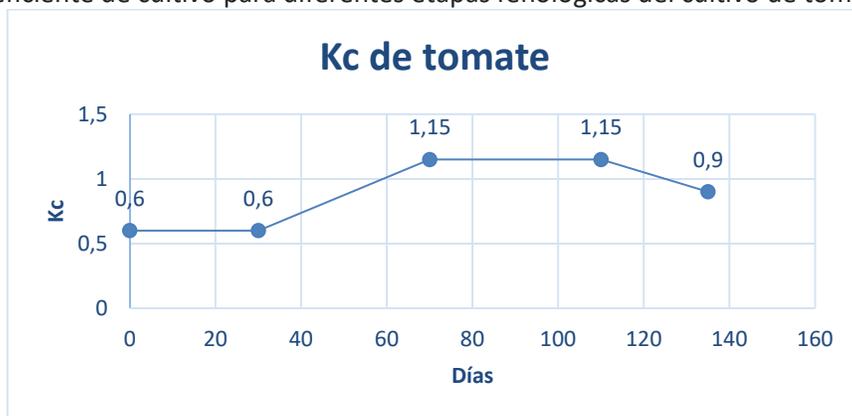
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Lámina de riego

La lámina de riego se calculó en base a la siguiente curva del coeficiente de cultivo

Figura 1

Coeficiente de cultivo para diferentes etapas fenológicas del cultivo de tomate



4.2. Altura de la planta

La altura de las plantas de tomate no mostró diferencias estadísticamente significativas, entre los diferentes tratamientos (Tabla 2, Figura 2), sin embargo, las plantas sometidas al tratamiento control 100% ET_c presentaron una altura promedio alta (42,85 cm) en comparación con los tratamientos 75% ET_c y 50% ET_c, 34,7 cm y 31,55 cm, respectivamente. Estos datos no concuerdan con los obtenidos por Mamani (2015) y Mamani (2017), donde se menciona que las láminas de riego aplicadas en papa (*Solanum tuberosum*), tuvieron diferencias estadísticamente significativas al 5% de probabilidad, en la altura de la planta, al usar 100% de la lámina de riego y dos tratamientos restrictivos al 75% y 50% por debajo de la lámina de riego, donde se observa que el tratamiento con 100% ET_c muestra valores más altos con respecto a los tratamientos 75% ET_c y 50% ET_c.

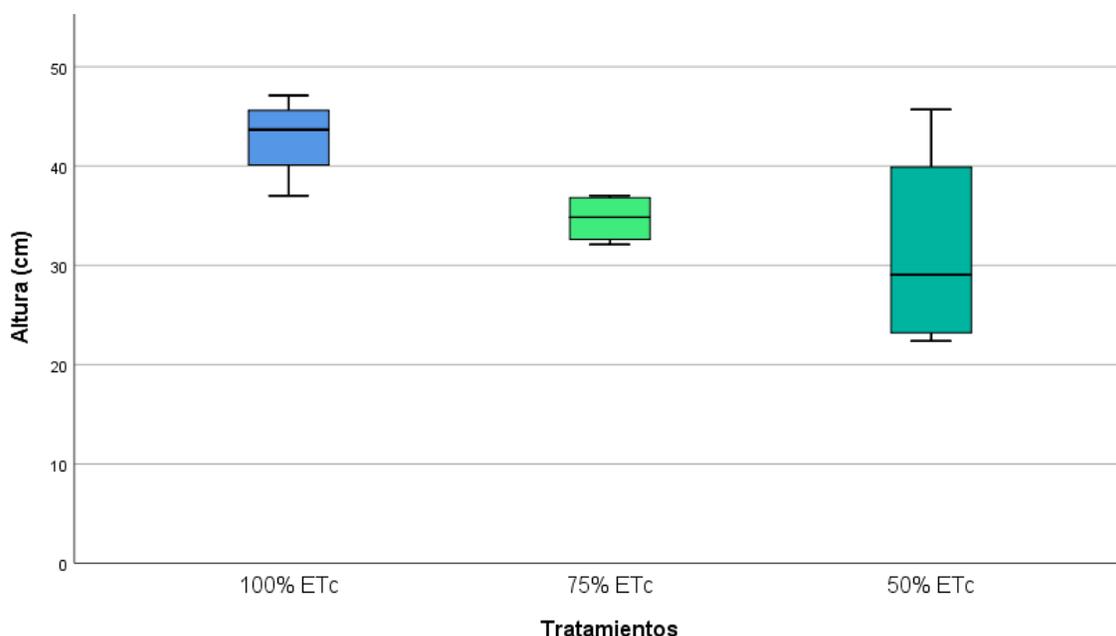
Tabla 2

ANOVA (5%) de la altura en las plantas de tomate bajo diferentes láminas de riego

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media Cuadrática	F Calculado	F Tabulado	Sig.
Tratamientos	208,37	3	69,46	1,32	6,59	NS
Bloques	272,05	2	136,03	2,58	6,94	NS
Error Experimental	211,27	4	52,82			
Total	691,69	9				

Figura 2

Altura en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego



4.3. Área foliar

El área foliar del tomate no fue afectada significativamente por las diferentes láminas de riego aplicadas después del trasplante (Tabla 3, Figura 3), sin embargo, las láminas con menor aporte de humedad, al 75% y 50% ET_c, presentaron los valores más bajos de área foliar (107,25 cm²) y (87,12 cm²) respectivamente frente al control 100% ET_c (124,65 cm²). Estos datos concuerdan con Hooshmand et al. (2019) en su experimento al aplicar 85% y 70% del requerimiento hídrico en plantas de tomate, donde se menciona que no hubo diferencias significativas entre tratamientos, para la variable área foliar, se manifiesta que la mayor área foliar se halló en la lámina al 85% ET_c de la planta en comparación con 70% ET_c y el control.

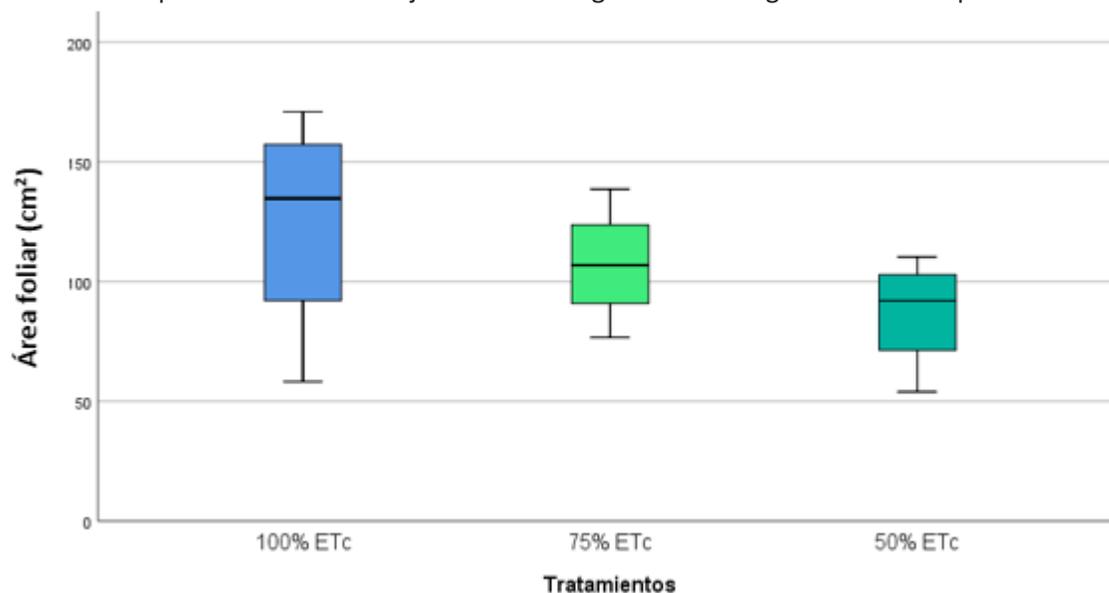
Tabla 3

ANOVA (5%) del área foliar en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media Cuadrática	F Calculado	F Tabulado	Sig.
Tratamientos	1.920,25	3	640,08	0,30	6,59	NS
Bloques	2.820,78	2	1.410,39	0,65	6,94	NS
Error Experimental	8.632,54	4	2.158,14			
Total	13.373,57	9				

Figura 3

Área foliar en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego al final del experimento



4.4. Conductancia estomática

Las plántulas de tomate sometidas a diferentes láminas de riego 100%, 75% y 50% ET_c no presentaron diferencias estadísticamente significativas en su conductancia estomática en ninguna de las fechas de muestreo (10, 24 y 45 días, Tabla 4, Figura 4). Estos datos concuerdan con estudios previos realizados por Hashem et al. (2018) en tomate, donde se aplicaron láminas de riego deficitario regulado (RDI) y riego de secado parcial de la raíz (PRD), al 70% del volumen de agua requerido por la planta, frente a un tratamiento control 100% de la lámina requerida, demuestran que no hubo cambios significativos entre los tratamientos para la mayoría de las lecturas tomadas durante el experimento, sin embargo el tratamiento control presentó valores más altos de conductancia estomática frente a los demás tratamientos, lo que podría significar que los tratamientos (PRD y RDI) no afectan la tasa fotosintética de la planta de tomate mejorando así el uso de agua de riego.

Tabla 4

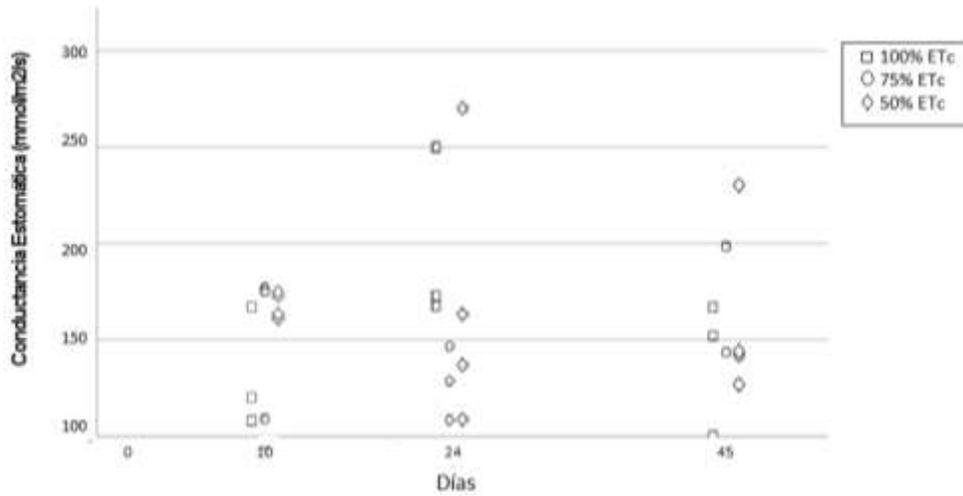
ANOVA (5%) de la conductancia estomática ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a los 10, 24 Y 45 días después del trasplante de plántulas de tomate bajo diferentes láminas de riego.

Días después del trasplante	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F Calculado	F Tabulado	Sig.
10 días	Tratamientos	3.644,60	3	1.214,87	1,43	6,59	NS
	Bloques	2.955,09	2	1.477,55	1,74	6,94	NS
	Error Experimental	3.394,49	4	848,62			
	Total	9.994,18	9				
24 días	Tratamientos	3.827,01	3	1.275,67	0,30	6,59	NS
	Bloques	10.803,45	2	5.401,73	1,25	6,94	NS
	Error Experimental	17.227,36	4	4.306,84			
	Total	31.857,82	9				
45 días	Tratamientos	13.455,94	3	4.485,31	6,23	6,59	NS
	Bloques	4.784,08	2	2.392,04	3,32	6,94	NS
	Error Experimental	2.880,41	4	720,10			
	Total	21.120,43	9				

A continuación, en la Figura 3 se puede observar la conductancia estomática a los 10, 24 y 45 días de iniciado el riego deficitario en los tres tratamientos.

Figura 4

Conductancia estomática a los 10, 24 y 45 días después del trasplante



4.5. Contenido relativo de agua

El contenido relativo de agua (CRA) nos puede dar una idea del estado hídrico en el que se encuentra la planta, las plantas sometidas a los tratamientos 75% ET_c y 50% ET_c mostraron un contenido relativo de agua de 81,08% y 74,17% respectivamente, mientras que el tratamiento control 100% ET_c presentó un valor inferior, en comparación con los anteriores, de 42,11%, en la Tabla 5, Figura 5 se puede observar que no existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, estos valores concuerdan con estudios previos realizados por Abdelhady et al. (2017), los mismos que demuestran que el riego deficitario no afectó el contenido relativo de agua de la hoja, al aplicar láminas al 100%, 80% y 60% ET_c, sin embargo, se pudo apreciar que el tratamiento con 60% ET_c fue mayormente afectado por el déficit de agua, en comparación con los valores de control (100% ET_c). Cabe recalcar que en el desarrollo del ensayo se presentaron plantas viróticas en el tratamiento control lo cual afectar la expresión de esta variable.

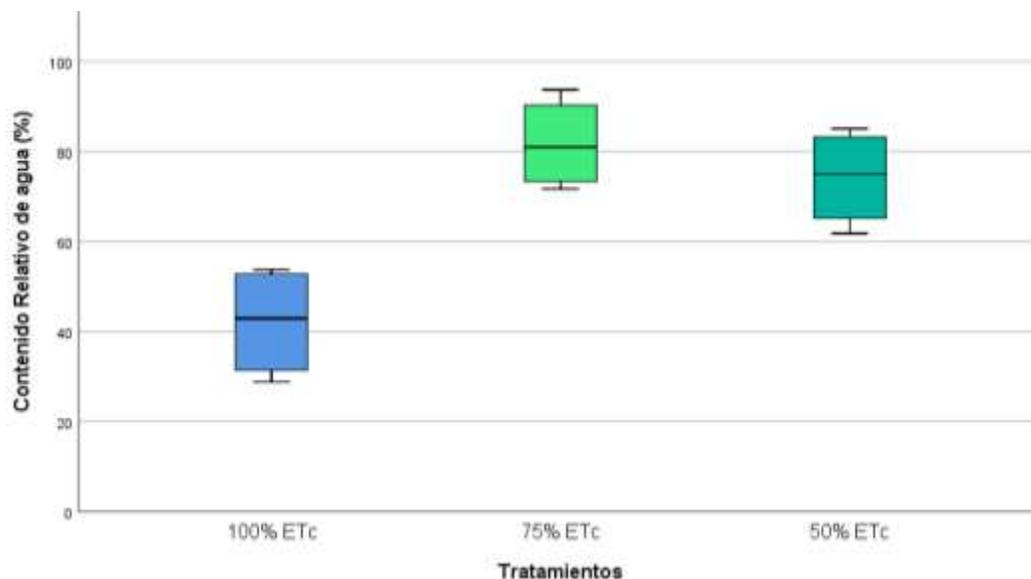
Tabla 5

ANOVA (5%) de contenido relativo de agua en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media Cuadrática	F Calculado	F Tabulado	Sig.
Tratamientos	2.120,12	3	706,71	0,82	6,59	NS
Bloques	2.934,58	2	1.467,29	1,71	6,94	NS
Error Experimental	3.442,08	4	860,52			
Total	8.496,78	9				

Figura 5

Contenido relativo de agua en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego.



Diámetro del tallo

No se observan diferencias significativas entre las medias de los tratamientos según la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 6, Figura 6), sin embargo, se puede observar que el tratamiento 75% ET_c y 50% ET_c presentan valores promedio bajos 54 mm y 61 mm respectivamente frente al control 100% ET_c 70 mm. Estos datos no concuerdan con estudios recientes en tomate donde se encontraron diferencias significativas entre las láminas de riego para la variable diámetro del tallo, aplicando láminas al 80, 100 y 120% de la ET_c diaria, siendo las láminas 120 y 100% ET_c las que presentan un mayor diámetro con 13,34 y 13,19 mm, respectivamente, mientras que, la lámina con 80% ET_c los valores más bajos 10,40 mm. (Colimba et al., 2021).

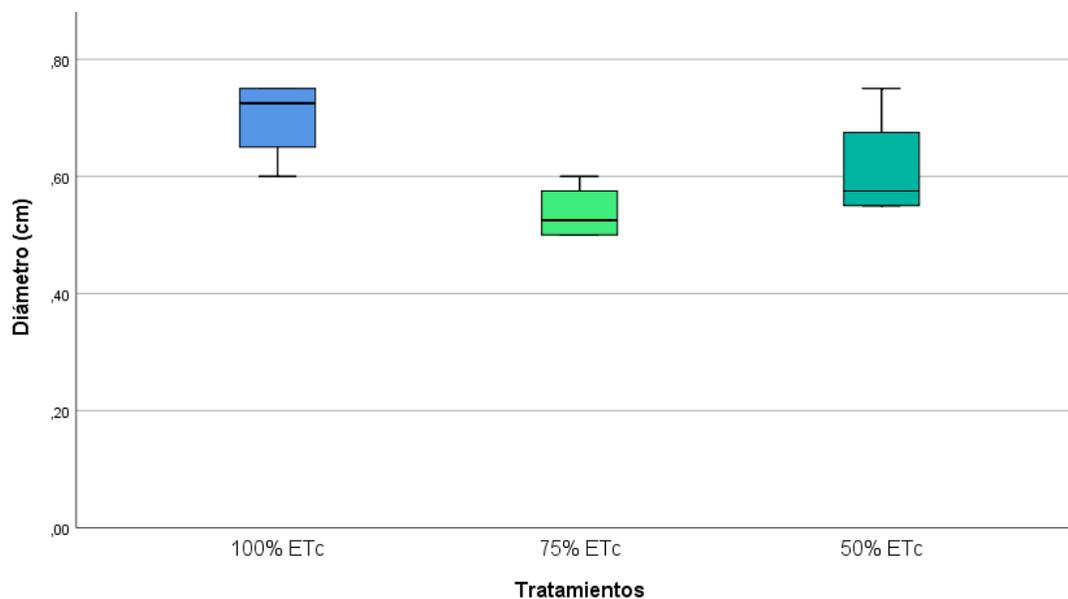
Tabla 6

Resultado de la prueba de Kruskal Wallis para evaluar diferencias en el diámetro de las hojas (cm) en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego.

Variable	Media	Mediana
100% ET _c	0,70	0,72
75% Et _c	0,54	0,53
50% Et _c	0,61	0,58
Valor H (Kruskal Wallis) Calculado	1,86	
Valor H (Chi cuadrado) Tabulado	5,99	
Sig.	NS	

Figura 6

Diámetro en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego



4.6. Días a la primera floración

En el siguiente cuadro se puede observar que no existen diferencias significativas entre los tres tratamientos para la variable días a la primera floración de acuerdo con los resultados del ANOVA (Tabla 7). La floración inició a los 45 días en algunas repeticiones, pero los valores promedio por tratamiento fueron de 51 a 62 días para los tratamientos 75% y 50% ET_c, siendo el control más tardío que los demás con un promedio de 76 días (Figura 7). Estos datos no concuerdan con el estudio realizado por Patanè et al. (2020), donde se menciona que la floración se vio afectada significativamente por el régimen de riego según los resultados del ANOVA ($p \leq 0,05$), en donde las plantas que recibieron 50% ET_c mostraron un comportamiento similar al de las plantas completamente irrigadas 100% ET_c.

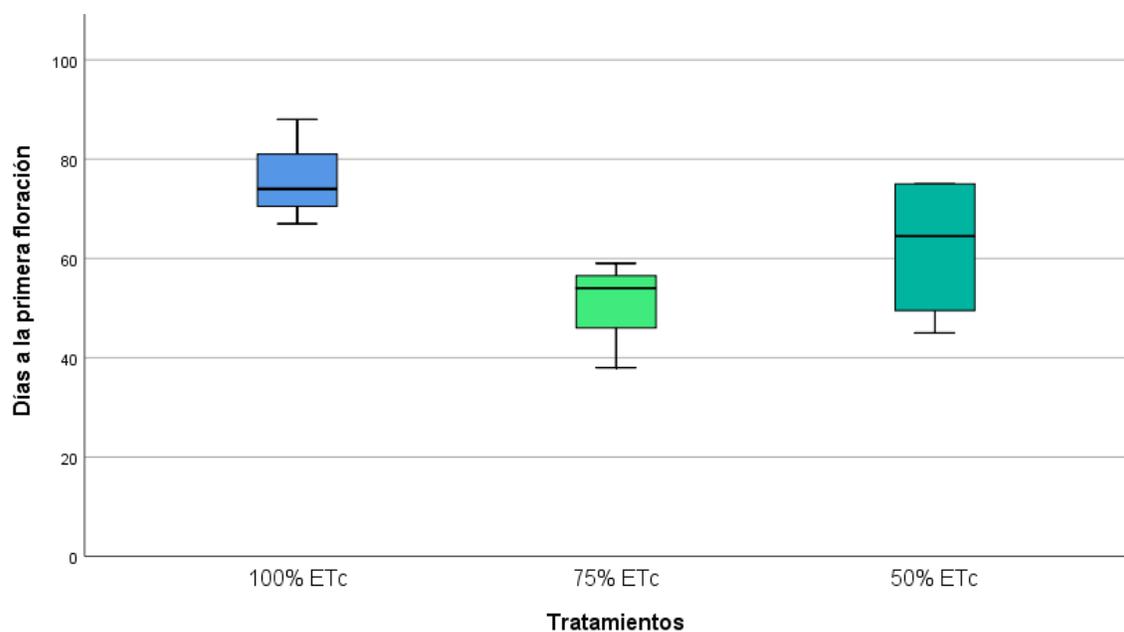
Tabla 7

ANOVA (5%) del número de días desde el trasplante hasta la primera floración en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media Cuadrática	F Calculado	F Tabulado	Sig.
Tratamientos	685,58	3	228,53	1,87	6,59	NS
Bloques	1.204,67	2	602,33	4,93	6,94	NS
Error Experimental	488,67	4	122,17			
Total	2.378,92	9				

Figura 7

Número de días a la floración desde el inicio de los tratamientos en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego



4.7. Longitud de las raíces

La longitud de raíces del tomate no se vio afectada estadísticamente por las diferentes láminas de riego (Tabla 8, Figura 8), no obstante, los tratamientos al 75% ET_c (545,1 cm) y 50% ET_c (602,6 cm) presentan valores bajos en comparación con el control 100% ET_c (588,8cm). Estos datos no concuerdan con un estudio reciente realizado por Wang et al. (2019) donde se aplicaron láminas de riego al 100%, 80% y 60% ET_c, en el cual se menciona que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos para la variable longitud total de la raíz, donde se puso observar que la lámina 60 % ET_c refleja los valores más bajos en relación al 100% ET_c.

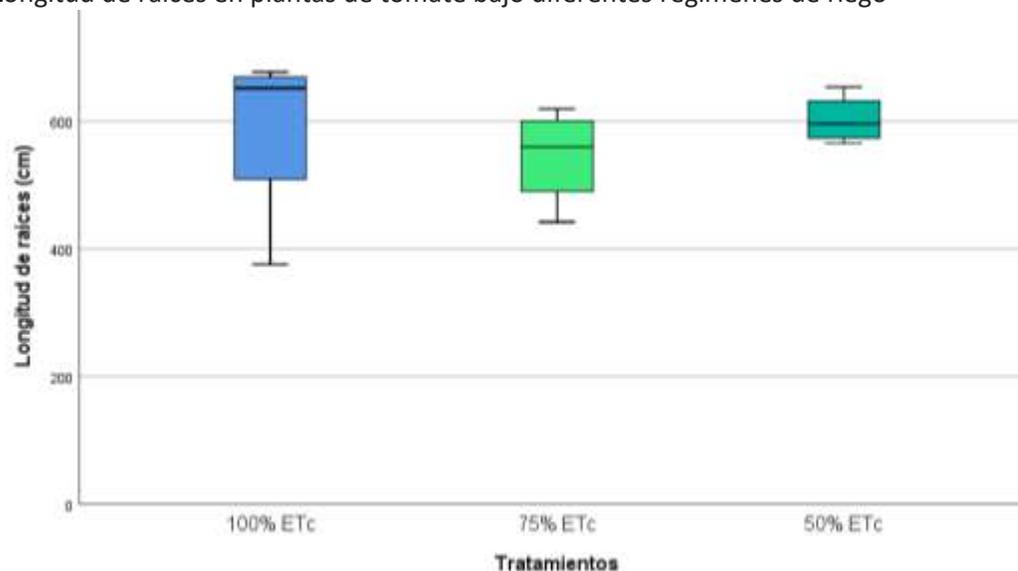
Tabla 8

ANOVA (5%) de longitud de raíces en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media Cuadrática	F Calculado	F Tabulado	Sig.
Tratamientos	43.863,20	3	14.621,07	1,48	6,59	NS
Bloques	7.201,24	2	3.600,62	0,37	6,94	NS
Error Experimental	39.420,74	4	9.855,18			
Total	90.485,18	9				

Figura 8

Longitud de raíces en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego



4.8. Masa seca del follaje

Las diferentes láminas de riego aplicadas en las plantas de tomate no afectaron significativamente a la masa seca del follaje según la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 9, Figura 9), los tratamientos al 75% ET_c (2,65 g) y 50% ET_c (3,14 g) presentan valores bajos en comparación con el control 100% ET_c (6,95 g). Estos resultados concuerdan con Hooshmand et al. (2019) donde se cita que no se encontró diferencias significativas entre las varianzas de sus grupos, pero se observó que el tratamiento 70% del requerimiento hídrico de la planta manifestó un mayor peso seco de hoja en comparación con el tratamiento 85% del requerimiento hídrico.

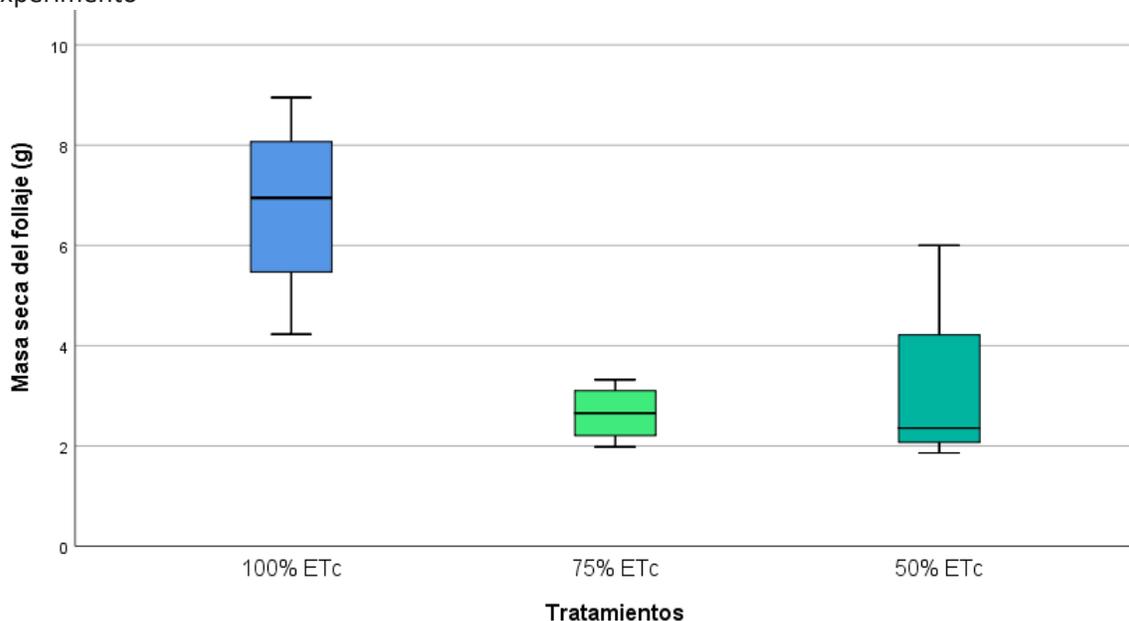
Tabla 9

Resultado de la prueba de Kruskal Wallis para evaluar diferencias en la acumulación de biomasa seca foliar en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego

Variable	Media	Mediana
100% ET_c	6,77	6,95
75% ET_c	2,65	2,65
50% ET_c	3,14	2,35
Valor H (Kruskal Wallis) Calculado	1,46	
Valor H (Chi cuadrado) Tabulado	5,99	
Sig.	NS	

Figura 9

Biomasa seca foliar en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego al final del experimento



4.9. Masa seca de la raíz

La masa seca de la raíz mostró los valores más altos en el tratamiento control 100 % ET_c (2,85 g) frente a los tratamientos 75% ET_c (1,12 g) y 50% ET_c (1,76 g) respectivamente; aunque no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos según la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 10, Figura 10). De manera contraria en el estudio realizado por Patané et al. (2020) según el análisis estadístico se evidenció un efecto significativo de las láminas de riego sobre la biomasa seca radicular de plantas de tomate, el crecimiento de las raíces fue bastante proporcional al de los brotes en plantas completamente regadas 100 % ET_c durante toda la temporada de crecimiento, mientras que el crecimiento de raíces fue escaso en condiciones secas 50% ET_c.

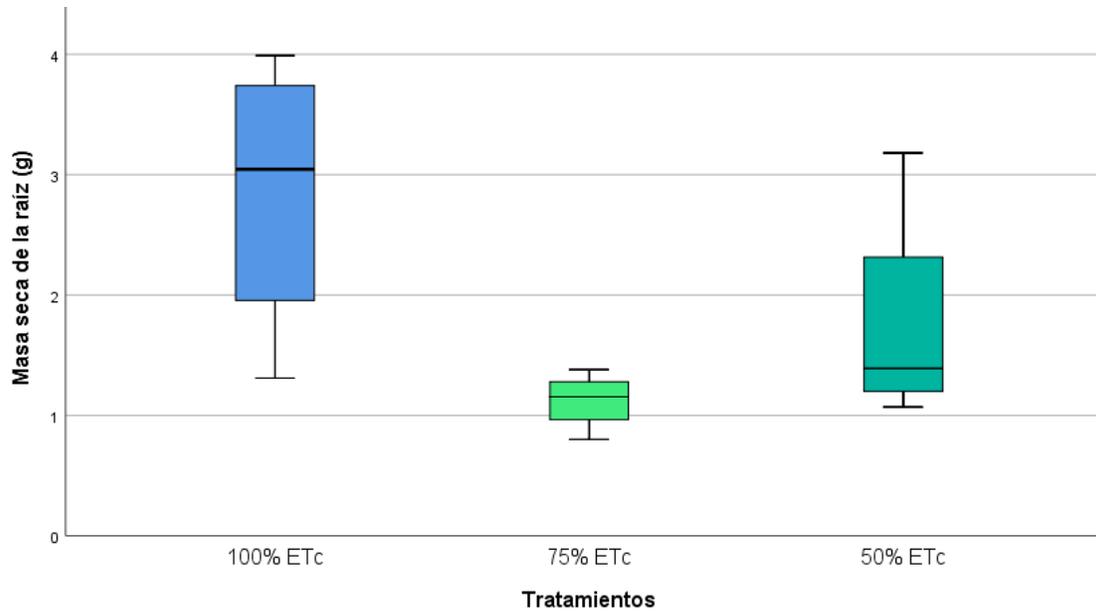
Tabla 10

Resultado de la prueba de Kruskal Wallis para evaluar diferencias en la acumulación de biomasa seca radicular en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego

Variable	Media	Mediana
100% ET _c	2,85	3,05
75% ET _c	1,12	1,15
50% ET _c	1,76	1,39
Valor H (Kruskal Wallis) Calculado	4,65	
Valor H (Chi cuadrado) Tabulado	5,99	
Sig.	NS	

Figura 10

Biomasa seca de la raíz en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego al final del experimento



4.10. Número de hojas

En el número de hojas no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos según la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 11 y Figura 11), estos resultados concuerdan con Rodríguez et al. (2020), estudio en el cual aplicaron ocho tratamientos que oscilaron entre el 10 y el 100 % del volumen de agua, con el objetivo de evaluar diferentes láminas de riego en el cultivo del tomate y su efecto en el rendimiento y calidad del fruto, aquí no se pudo apreciar diferencias estadísticamente significativas en el número de hojas entre los tratamientos evaluados. Así mismo Zambrano, L & Zambrano, A. (2019) en un estudio realizado en pimiento (*Capsicum annuum* L), al aplicar láminas al 100%, 90%, 80%, y 70% ET_c, demuestran que no existen diferencias significativas en la variable número de hojas ($p > 0,05$), pero se observa que una reducción del 30% de la lámina de riego presenta los promedios más bajos en comparación con 100% y 90% ET_c.

Tabla 11

Resultado de la prueba de Kruskal Wallis para evaluar diferencias en el número de hojas en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego.

Variable	Media	Mediana
100% ET _c	12,00	12,00
75% ET _c	11,38	11,25
50% ET _c	11,75	12,00
Valor P (Kruskal Wallis)	5,31	
Valor p (Chi cuadrado) Tabulado	5,99	
Sig.	NS	

Figura 11

Número de hojas en plantas de tomate bajo diferentes regímenes de riego



En general no se distinguieron diferencias significativas para las variables, lo que nos hace pensar que se puede disminuir la lámina de riego sin afectar al desarrollo de la planta, sin embargo, se puede observar que existe una tendencia clara para las variables biomasa seca, longitud de raíces, floración y contenido relativo de agua, lo que sugiere que las láminas reducidas pudieran haber afectado a estas variables si el experimento hubiera continuado por más tiempo. En estudios previos, Chai et al. (2016) mencionan que al aplicar riego moderado (no menor a 50 a 60 % ET_c) durante las primeras etapas de crecimiento puede proporcionar grandes beneficios para el crecimiento y desarrollo de las plantas, como estimular el desarrollo de la raíz y aumentar la relación raíz-brote, que proporciona beneficios para la absorción de agua y nutrientes; no obstante, en este estudio no se distinguieron diferencias ni para el número de raíces ni para la biomasa de la parte aérea de la planta. Cabe recalcar que esto depende de la especie de cultivo, así como también una variedad de mecanismos bioquímicos y fisiológicos que han evolucionado para controlar el estado hídrico de la planta, regular la pérdida de agua, mantener la presión de turgencia y reducir el transporte de agua fuera de la planta.

5. CONCLUSIONES

Los resultados reportados en este trabajo indican que, si bien no se observaron cambios que pudiesen ser ventajosos para el desempeño del cultivo (ej. mayor cantidad de raíces), tampoco se observaron cambios potencialmente desfavorables, permitiendo que las plantas que recibieron láminas de riego inferiores a su ET_c, tengan un desempeño equivalente a aquellas que recibieron su lámina completa. Esto podría implicar mayor eficiencia en el uso de agua de riego al producir cantidades equivalentes de biomasa con menos agua aplicada. No obstante, si bien en el experimento no se detectaron diferencias estadísticamente significativas para las variables, una tendencia hacia un menor crecimiento es clara, lo cual podría acentuarse durante la fase reproductiva del cultivo que no fue parte de este proyecto. Por este motivo, antes de alcanzar conclusiones definitivas, será necesario repetir este experimento incluyendo otras fases de desarrollo del cultivo.

6. RECOMENDACIONES

- Continuar la investigación por un tiempo más prolongado, enfocados en la etapa reproductiva y el rendimiento del cultivo.
- Evaluar la aplicación de otras laminas por debajo de la capacidad de campo.
- Trabajar con un mayor número de repeticiones para disminuir el error estadístico de los datos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Abdelhady, S. A., El-Azm, N. A., & El-Kafafi, E. S. H. (2017). Effect of deficit irrigation levels and NPK fertilization rates on tomato growth, yield and fruits quality. *Middle East J*, 6(3), 587-604.
- Acevedo, E. (1979). Interacciones suelo-agua-raíz en el proceso de absorción de agua por las plantas.
- Alcívar Pinargote, J. A., & Zambrano Solórzano, A. I. (2018). *Efecto del riego deficitario en la etapa de desarrollo del cultivo de pimienta (Capsicum Annuum L.)* (Doctoral dissertation).
- Berrueta, C., Dogliotti, S., & Franco, J. (2012). Analysis and hierarchy of yield determinant factors on tomato for processing in Uruguay. *Agrociencia (Montevideo)*, 16(2), 39-48.
- Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H. L., Waskom, R. M., Niu, Y., & Siddique, K. H. (2016). Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agronomy for sustainable development*, 36(1), 1-21.
- Colimba, J. E. L., Zubelzu, S. M., & Rodríguez, L. S. Manejo del riego para mejorar la producción y la eficiencia en el uso del agua en el cultivo de tomate.
- Díaz, M. (2013). Desarrollo de metodologías para el estudio de raíces. ESPAC. (2017). *Módulo de tecnificación Agropecuaria ESPAC 2017*.
- ESPAC. (2018). *Tabulados de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2018*.
- FAO. (1977). Estudio fao riego y drenaje. *Serie Didactica, Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucuman*, 45.
- González, L., & González-Vilar, M. (2001). Determination of relative water content. *Handbook of Plant Ecophysiology Techniques*, 207–212. https://doi.org/10.1007/0-306-48057-3_14
- Hashem, M. S., El-Abedin, T. Z., & Al-Ghobari, H. M. (2018). Assessing effects of deficit irrigation techniques on water productivity of tomato for subsurface drip irrigation system. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(4), 156-167.
- Hooshmand, M., Albaji, M., & zadeh Ansari, N. A. (2019). The effect of deficit irrigation on yield and yield components of greenhouse tomato (*Solanum lycopersicum*) in hydroponic culture in Ahvaz region, Iran. *Scientia horticultrae*, 254, 84-90.
- Klepper, B. (1991). Crop root system response to irrigation. *Irrigation Science*, 12(3), 105-108.
- Klepper, B., & Kaspar, T. C. (1994). Rhizotrons: Their development and use in agricultural research. *Agronomy journal*, 86(5), 745-753.

- León, A., Arzube Mayorga, M., Orrala Borbor, N., & Drouet Candell, A. (2020). Efecto del riego deficitario controlado en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) utilizando la tina de evaporación clase A, en Río Verde, Santa Elena, Ecuador. *Journal of Science and Research*, 5(1), 114–124.
- Leskovar, D. I., & Stoffella, P. J. (1995). Vegetable seedling root systems: morphology, development, and importance. *HortScience*, 30(6), 1153-1159.
- Mamani, I. (2017). *Evaluación del comportamiento del cultivo de papa bajo condiciones de riego deficitario con tres láminas de agua en la comunidad Barco Belén-Municipio de Achacachi* (Doctoral dissertation, Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz–Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía).
- Mamani, W. (2015). Riego deficitario en el cultivo de papa (*Solanum Tuberosum* L.), En el municipio de Achacachi - La Paz. 108.
- Mañas, F. (2005). Agua y agronomía. Madrid: Ediciones Mundi Prensa Libros.
- Megías, M., Molist, P., & Pombal, M. (2017). Atlas de histología animal y vegetal. *Vigo, España: Universidad de Vigo*.
- Ormaza, R. V., & Rosado, R. I. (2018). *Efecto del riego deficitario en la etapa inicial del cultivo de pimiento (capsicum annuum L.)* (Doctoral dissertation).
- Patanè, C., Corinzia, S. A., Testa, G., Scordia, D., & Cosentino, S. L. (2020). Physiological and agronomic responses of processing tomatoes to deficit irrigation at critical stages in a semi-arid environment. *Agronomy*, 10(6), 800.
- Pérez, J., Hurtado, G., Aparicio, V., Argueta, Q., & Larín, M. A. . (2001). Cultivo De Tomate. *Centa*, 1–68.
- Proffitt, A. P. B., Berliner, P. R., & Oosterhuis, D. M. (1985). A Comparative Study of Root Distribution and Water Extraction Efficiency by Wheat Grown Under High-and Low-Frequency Irrigation 1. *Agronomy Journal*, 77(5), 655-662.
- Rivera, P. (2016). *Morfoanatomía vegetal*. Retrieved from https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjOkYm41OXvAhWaSzABHb1ACEIQFjABegQlAxAD&url=http%3A%2F%2Fwww.saber.ula.ve%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F42855%2Fmorfoanatomia_vegetal.pdf%3Fsequence%3D2%26isAllowed%3Dy&usg=AOvV
- Rodríguez, D. F. (2016). *Evaluación de la lámina y frecuencia de riego en el cultivo de gypsophila variedad million star para determinar el rendimiento bajo condiciones de invernadero* (Doctoral dissertation).
- Rodríguez, J., Pérez, A., Ortega, L., & Arteaga, M. (2020). Estudio hidrosostenible en el cultivo del

tomate, su efecto en el rendimiento y calidad del fruto. *Cultivos Tropicales*, 41(2).

Schulze, E. D., Turner, N. C., Gollan, T., & Shackel, K. A. (1987). Stomatal responses to air humidity and to soil drought. *Stomatal function*, 804713472, 311-321.

Smit, A. L., George, E., & Groenwold, J. (2000). Root observations and measurements at (transparent) interfaces with soil. In *Root methods* (pp. 235-271). Springer, Berlin, Heidelberg.

Velenzuela, T. (1975). Seminario sobre Riego por Goteo . Buenos Aires.

Villalobos, F. J., & Fereres, E. (2017). *Fitotecnia: Principios de agronomía para una agricultura sostenible*. Madrid-España: Ediciones Mundi-Prensa .

Wang, X., Yun, J., Shi, P., Li, Z., Li, P., & Xing, Y. (2019). Root growth, fruit yield and water use efficiency of greenhouse grown tomato under different irrigation regimes and nitrogen levels. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(2), 400-415.

Xu, C., & Leskovar, D. I. (2014). Growth, physiology and yield responses of cabbage to deficit irrigation. *Horticultural Science*, 41(3), 138-146.

Zambrano, L. M., & Zambrano, A. (2019). *Efecto del riego deficitario en la etapa de inicio y desarrollo del cultivo de pimiento (Capsicum annum L)*. (Doctoral dissertation).

8. ANEXOS

Anexo A. Instalación del sitio experimental



Imagen 5: Adecuación del sitio experimental mediante la Instalación de un atmómetro e implementación de las unidades experimentales.

Anexo B. Labores de cultivo



Imagen 6: Tutorado de las plantas de tomate de mesa



Imagen 7: Aplicación de fertilizantes

Anexo C: Recopilación de datos



Imagen 8: Medición de la conductancia estomática mediante la utilización de un porómetro



Imagen 9: Aparición de los primeros brotes florales que marcan el final de experimento



Imagen 10: Imágenes ilustrativas de los sistemas radiculares



Imagen 11: Excavación, Identificación y lavado de raíces para pesaje



Imagen 12: Exposición de foliolo a saturación en cámara húmeda para obtención del contenido relativo de agua



Imagen 13: Pesaje de muestras etiquetadas después de ser expuestas a la estufa a 65°C para obtención de peso seco foliar y radicular

Anexo D. Tablas de cálculo para diferentes variables

Las dosis de riego aplicadas diariamente durante el experimento se muestran a continuación en la Tabla I.

Tabla I

Cálculo del volumen de agua evapotranspirada diaria y dosis de riego por rizotróon equivalente a las láminas experimentales para el cultivo de tomate.

Día	Fecha	Eto (ml)	Kc	Área	Volumen de agua evapotranspirada en el rizotróon	Dosis de riego equivalente a lámina 100% ET _c (ml/rizotróon)	Dosis de riego equivalente a lámina 75% ET _c (ml/rizotróon)	Dosis de riego equivalente a lámina 50% ET _c (ml/rizotróon)
1	20-jul	1	0,60	0,015	15	9,02	6,86	4,51
2	21-jul	2	0,62	0,015	30	18,46	14,03	9,23
3	22-jul	2	0,63	0,015	30	18,87	14,34	9,44
4	23-jul	2	0,64	0,015	30	19,29	14,66	9,64
5	24-jul	1	0,66	0,015	15	9,85	7,49	4,93
6	25-jul	4	0,67	0,015	60	40,23	30,57	20,12
7	26-jul	1	0,68	0,015	15	10,26	7,80	5,13
8	27-jul	3	0,70	0,015	45	31,41	23,88	15,71
9	28-jul	3	0,71	0,015	45	32,04	24,35	16,02
10	29-jul	2	0,73	0,015	30	21,77	16,55	10,89
11	30-jul	3	0,74	0,015	45	33,28	25,29	16,64
12	31-jul	4	0,75	0,015	60	45,20	34,35	22,60
13	1-ago	1	0,77	0,015	15	11,51	8,74	5,75
14	2-ago	1	0,78	0,015	15	11,71	8,90	5,86
15	3-ago	2	0,79	0,015	30	23,84	18,12	11,92
16	4-ago	2	0,81	0,015	30	24,26	18,43	12,13
17	5-ago	3	0,82	0,015	45	37,00	28,12	18,50
18	6-ago	2	0,84	0,015	30	25,08	19,06	12,54
19	7-ago	3	0,85	0,015	45	38,25	29,07	19,12
20	8-ago	4	0,86	0,015	60	51,82	39,38	25,91
21	9-ago	5	0,88	0,015	75	65,81	50,02	32,91
22	10-ago	4	0,89	0,015	60	53,48	40,64	26,74
23	11-ago	2	0,91	0,015	30	27,15	20,64	13,58
24	12-ago	2	0,92	0,015	30	27,57	20,95	13,78
25	13-ago	3	0,93	0,015	45	41,97	31,90	20,99

Día	Fecha	Eto (ml)	Kc	Área	Volumen de agua evapotranspirada en el rizotrón	Dosis de riego equivalente a lámina 100% ET _c (ml/rizotrón)	Dosis de riego equivalente a lámina 75% ET _c (ml/rizotrón)	Dosis de riego equivalente a lámina 50% ET _c (ml/rizotrón)
26	14-ago	2	0,95	0,015	30	28,40	21,58	14,20
27	15-ago	3	0,96	0,015	45	43,21	32,84	21,61
28	16-ago	2	0,97	0,015	30	29,22	22,21	14,61
29	17-ago	2	0,99	0,015	30	29,64	22,52	14,82
30	18-ago	3	1,00	0,015	45	45,08	34,26	22,54
31	19-ago	2	1,02	0,015	30	30,47	23,15	15,23
32	20-ago	1	1,03	0,015	15	15,44	11,73	7,72
33	21-ago	3	1,04	0,015	45	46,94	35,67	23,47
34	22-ago	2	1,06	0,015	30	31,71	24,10	15,85
35	23-ago	2	1,07	0,015	30	32,12	24,41	16,06
36	24-ago	3	1,08	0,015	45	48,80	37,09	24,40
37	25-ago	4	1,10	0,015	60	65,90	50,08	32,95
38	26-ago	3	1,11	0,015	45	50,04	38,03	25,02
39	27-ago	4	1,13	0,015	60	67,55	51,34	33,78
40	28-ago	4	1,14	0,015	60	68,38	51,97	34,19
41	29-ago	5	1,15	0,015	75	86,51	65,75	43,26
42	30-ago	1	1,15	0,015	15	17,25	13,11	8,63
43	31-ago	2	1,15	0,015	30	34,50	26,22	17,25
44	1-sep	2	1,15	0,015	30	34,50	26,22	17,25
45	2-sep	2	1,15	0,015	30	34,50	26,22	17,25
46	3-sep	2	1,15	0,015	30	34,50	26,22	17,25
47	4-sep	3	1,15	0,015	45	51,75	39,33	25,88
48	5-sep	4	1,15	0,015	60	69,00	52,44	34,50
49	6-sep	5	1,15	0,015	75	86,25	65,55	43,13
50	7-sep	3	1,15	0,015	45	51,75	39,33	25,88

Día	Fecha	Eto (ml)	Kc	Área	Volumen de agua evaporada en el rizotrón	Dosis de riego equivalente a lámina 100% ET _c (ml/rizotrón)	Dosis de riego equivalente a lámina 75% ET _c (ml/rizotrón)	Dosis de riego equivalente a lámina 50% ET _c (ml/rizotrón)
51	8-sep	2	1,1 5	0,01 5	30	34,50	26,22	17,25
52	9-sep	2	1,1 5	0,01 5	30	34,50	26,22	17,25
53	10-sep	3	1,1 5	0,01 5	45	51,75	39,33	25,88
54	11-sep	3	1,1 5	0,01 5	45	51,75	39,33	25,88
55	12-sep	4	1,1 5	0,01 5	60	69,00	52,44	34,50
56	13-sep	3	1,1 5	0,01 5	45	51,75	39,33	25,88
57	14-sep	1	1,1 5	0,01 5	15	17,25	13,11	8,63
58	15-sep	4	1,1 5	0,01 5	60	69,00	52,44	34,50
59	16-sep	3	1,1 5	0,01 5	45	51,75	39,33	25,88
60	17-sep	2	1,1 5	0,01 5	30	34,50	26,22	17,25
51	8-sep	2	1,1 5	0,01 5	30	34,50	26,22	17,25
52	9-sep	2	1,1 5	0,01 5	30	34,50	26,22	17,25
53	10-sep	3	1,1 5	0,01 5	45	51,75	39,33	25,88
54	11-sep	3	1,1 5	0,01 5	45	51,75	39,33	25,88
55	12-sep	4	1,1 5	0,01 5	60	69,00	52,44	34,50
56	13-sep	3	1,1 5	0,01 5	45	51,75	39,33	25,88
57	14-sep	1	1,1 5	0,01 5	15	17,25	13,11	8,63
58	15-sep	4	1,1 5	0,01 5	60	69,00	52,44	34,50
59	16-sep	3	1,1 5	0,01 5	45	51,75	39,33	25,88
60	17-sep	2	1,1 5	0,01 5	30	34,50	26,22	17,25

Día	Fecha	Eto (ml)	Kc	Área	Volumen de agua evapotranspirada en el rizotrón	Dosis de riego equivalente a lámina 100% ET _c (ml/rizotrón)	Dosis de riego equivalente a lámina 75% ET _c (ml/rizotrón)
61	18-sep	3	1,15	0,015	45	51,75	39,33
62	19-sep	2	1,15	0,015	30	34,50	26,22
63	20-sep	4	1,15	0,015	60	69,00	52,44
64	21-sep	2	1,15	0,015	30	34,50	26,22
65	22-sep	2	1,15	0,015	30	34,50	26,22
66	23-sep	2	1,15	0,015	30	34,50	26,22
67	24-sep	2	1,15	0,015	30	34,50	26,22
68	25-sep	4	1,15	0,015	60	69,00	52,44
69	26-sep	2	1,15	0,015	30	34,50	26,22
70	27-sep	4	1,15	0,015	60	69,00	52,44
71	28-sep	3	1,15	0,015	45	51,75	39,33
72	29-sep	4	1,15	0,015	60	69,00	52,44
73	30-sep	2	1,15	0,015	30	34,50	26,22
74	1-oct	4	1,15	0,015	60	69,00	52,44
75	2-oct	2	1,15	0,015	30	34,50	26,22
76	3-oct	4	1,15	0,015	60	69,00	52,44
77	4-oct	5	1,15	0,015	75	86,25	65,55
78	5-oct	4	1,15	0,015	60	69,00	52,44
79	6-oct	2	1,15	0,015	30	34,50	26,22
80	7-oct	2	1,15	0,015	30	34,50	26,22
81	8-oct	3	1,15	0,015	45	51,75	39,33
82	9-oct	3	1,14	0,015	45	51,30	38,99
83	10-oct	5	1,13	0,015	75	84,75	64,41
84	11-oct	2	1,12	0,015	30	33,60	25,54
85	12-oct	3	1,11	0,015	45	49,95	37,96
86	13-oct	2	1,10	0,015	30	33,00	25,08
87	14-oct	3	1,09	0,015	45	49,05	37,28
88	15-oct	2	1,08	0,015	30	32,40	24,62
89	16-oct	2	1,07	0,015	30	32,10	24,40
90	17-oct	2	1,06	0,015	30	31,80	24,17

Tabla II

Valores de altura de la planta por tratamiento y repetición

Altura de la planta		
Tratamiento	Repetición	Altura (cm)
100% ET _c	1	43,2
	2	44,1
	3	37,0
	4	47,1
75% ET _c	1	37,0
	2	36,6
	3	33,1
	4	32,1
50% ET _c	1	45,7
	2	34,1
	3	22,4
	4	24,0

Tabla III

Valores de área foliar para cada tratamiento y repetición

Área Foliar		
Tratamiento	Repetición	Área foliar (cm²)
100% ET _c	1	143,55
	2	125,88
	3	58,21
	4	170,95
75% ET _c	1	76,68
	2	108,65
	3	105,07
	4	138,61
50% ET _c	1	110,34
	2	88,68
	3	95,50
	4	53,97

Tabla IV

Valores de la conductancia estomática a los 10, 24 y 45 días

CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA				
Tratamiento	Repetición	30/7/2021	13/8/2021	3/9/2021
		10 días	24 días	45 días
100% ET _c	1	120,2	173,0	100,2
	2	153,5	175,0	186,1
	3	108,1	250,0	166,8
	4	167,1	167,6	152,2
75% ET _c	1	108,5	108,5	143,6
	2	182,4	95,2	249,8
	3	175,1	146,7	198,4
	4	176,6	128,7	198,7
50% ET _c	1	174,1	270,2	142,2
	2	202,6	137,1	230,4
	3	163,4	108,8	126,9
	4	161,2	163,3	143,8

Tabla V

Cálculo del contenido relativo de agua por tratamiento y repetición

CONTENIDO RELATIVO DE AGUA					
Tratamiento	Repetición	Peso fresco	Peso seco	Peso saturado	CRA %
100% ET _c	1	3,44	0,64	6,04	51,78
	2	0,90	0,74	1,29	34,06
	3	3,81	0,68	6,50	28,84
	4	-	-	-	53,76
75% ET _c	1	2,06	0,26	2,18	93,65
	2	3,43	0,44	4,61	75,00
	3	4,40	0,49	4,99	71,68
	4	-	-	-	86,89
50% ET _c	1	4,18	0,13	6,69	61,76
	2	2,90	0,38	4,05	68,62
	3	2,45	0,29	2,95	81,25
	4	2,33	0,26	2,69	85,03

Tabla VI

Valores de diámetro de la planta por tratamiento y repetición

Diámetro de la planta		
Tratamiento	Repetición	Diámetro (cm)
100% ET _c	1	0,75
	2	0,69
	3	0,60
	4	0,75
75% ET _c	1	0,55
	2	0,50
	3	0,60
	4	0,50
50% ET _c	1	0,75
	2	0,60
	3	0,55
	4	0,55

Tabla VII

Valores de la primera floración por tratamiento y repetición

Primera Floración		
Tratamiento	Repetición	Floración (Días)
100% ET _c	1	74
	2	67
	3	88
	4	74
75% ET _c	1	54
	2	38
	3	59
	4	54
50% ET _c	1	75
	2	45
	3	54
	4	75

Tabla VIII

Valores de longitud de raíces primarias y secundarias por tratamiento y repetición

Longitud de raíces primarias y secundarias		
Tratamiento	Repetición	Longitud (cm)
100% Et _c	1	676,706
	2	375,297
	3	642,131
	4	661,053
75% Et _c	1	538,038
	2	441,957
	3	581,257
	4	619,168
50% Et _c	1	653,182
	2	609,774
	3	565,244
	4	582,081

Tabla IX

Valores de peso seco foliar por tratamiento y repetición

Peso seco foliar		
Tratamiento	Repetición	Peso foliar (g)
100% Et _c	1	6,71
	2	7,19
	3	4,23
	4	8,95
75% Et _c	1	1,98
	2	2,43
	3	2,88
	4	3,32
50% Et _c	1	6,00
	2	2,28
	3	2,43
	4	1,86

Tabla X

Valores de peso seco radicular por tratamiento y repetición

Peso seco radicular		
Tratamiento	Repetición	Peso radicular (g)
100% Et _c	1	3,49
	2	2,60
	3	1,31
	4	3,99
75% Et _c	1	1,18
	2	0,80
	3	1,13
	4	1,38
50%Et _c	1	3,18
	2	1,33
	3	1,45
	4	1,07

Tabla XI

Valores de numero de hojas por tratamiento y repetición

Numero de hojas		
Tratamiento	Repetición	Número de hojas
100% Et _c	1	12
	2	12
	3	12
	4	12
75% Et _c	1	12
	2	12
	3	11
	4	11
50% Et _c	1	12
	2	12
	3	11
	4	12