

INTRODUCCIÓN

El pimiento, fruto de plantas del género *Capsicum* de la familia *Solanáceas* originarias de América, se ha dispersado globalmente gracias a su versatilidad culinaria y riqueza nutricional. Botánicamente, presenta una gran diversidad en formas, tamaños y colores, siendo bayas huecas con semillas. A nivel mundial, su producción es significativa, con China y México como principales exponentes. En Bolivia, el cultivo se concentra en diversas regiones, adaptándose a diferentes climas y suelos. (Bosland, 2012)

El pimiento es una planta herbácea que se cultiva en forma anual en zonas templadas, aunque puede presentarse como perenne en las áreas tropicales, ya que es sensible a las heladas. Su porte es erguido, con una altura y desarrollo muy variable en relación al cultivar. Si toma gran desarrollo de la parte aérea, se torna decumbente, ya que cae por su peso. (Pino, 2022)

El estrés hídrico es uno de los factores más determinantes en la agricultura moderna, especialmente en regiones donde la disponibilidad de agua es limitada o variable. En el caso del pimiento (*Capsicum annuum*), una de las hortalizas más cultivadas y consumidas en todo el mundo, los efectos del déficit hídrico pueden tener consecuencias significativas sobre su crecimiento, desarrollo y productividad. El valle central de Tarija, una región de alta producción agrícola en Bolivia, no es ajena a este desafío, ya que su clima y los patrones irregulares de precipitación pueden generar períodos de sequía que afectan la calidad y cantidad de los cultivos.

El objetivo de este estudio es investigar el impacto del estrés hídrico en el crecimiento y la morfología interna del pimiento en esta región. Se pretende evaluar cómo el estrés hídrico altera las características morfológicas de las plantas, tales como el tamaño, la estructura de las raíces, los tallos y las hojas, y cómo estos cambios inciden en la productividad del cultivo. Asimismo, se busca comprender los efectos fisiológicos del déficit de agua.

Este estudio es crucial para desarrollar estrategias de manejo del agua que permitan mejorar la resistencia del pimiento al estrés hídrico en el valle central de Tarija, contribuyendo así a la sostenibilidad de la agricultura en la región y a la seguridad alimentaria local.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Tarija, el principal problema que enfrenta es la escasez de agua para riego, obteniendo un turno de riego de 12 días aprox., limitando la producción ideal de algunos cultivos agrícolas.

En los últimos años, el cambio climático ha generado serios problemas en la agricultura, y uno de los más graves es la escasez de agua. Según (SENAMHI, 2024) *”En el (2008) se tenía una precipitación anual de 1094 mm/año y en (2017) bajo la precipitación anual a 596 mm/año”*. Este recurso es fundamental para el desarrollo de los cultivos, y su disponibilidad cada vez más limitada representa un gran desafío, especialmente en zonas como ser, El Portillo, Morros Blancos, Santa Ana. Donde se depende del riego para la producción agrícola. Entre los cultivos hortícolas más afectados está el pimiento (*Capsicum annuum*), una planta de mucha importancia económica y alimentaria, tanto a nivel local como nacional.

Cuando el pimiento no recibe el agua suficiente, su crecimiento puede verse afectado, lo que influye directamente en el rendimiento óptimo que va de 25 a 40 tn/ha y la calidad del fruto. Sin embargo, en Tarija, no hay suficientes estudios que expliquen cómo el estrés hídrico impacta específicamente en el crecimiento y en la morfología interna de esta planta. Esta falta de información limita a los agricultores a la hora de tomar decisiones sobre cómo manejar el riego de forma eficiente, especialmente en épocas donde el agua es escasa.

Por eso, es importante realizar este estudio, que busca evaluar de manera clara cómo el pimiento responde a diferentes niveles de estrés hídrico. Con esta información se pueden generar recomendaciones prácticas para un manejo del riego más racional, ayudando a conservar el agua sin afectar el desarrollo del cultivo. Además, los

resultados podrían servir como base para futuras investigaciones que busquen hacer frente a los efectos del cambio climático en la producción agrícola.

JUSTIFICACIÓN

El cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) es de gran importancia agrícola debido a su alto valor económico y su amplia demanda en la alimentación. Sin embargo, su producción se ve limitada por factores ambientales, siendo el estrés hídrico uno de los más importantes, especialmente en regiones donde la disponibilidad de agua es variable o limitada.

Por eso, este estudio es importante, ya que va a generar información experimental sobre cómo responde el pimiento al estrés hídrico en condiciones reales de nuestra región. Esto permitirá entender mejor cómo se ve afectado su desarrollo morfológico, lo cual es clave para tomar decisiones técnicas más acertadas.

Además, los resultados pueden ayudar a diseñar estrategias de manejo del riego más eficientes, que permitan ahorrar agua sin reducir la productividad del cultivo. Esto no solo beneficiará a los agricultores del campo de producción de Tarija, que muchas veces enfrentan restricciones de agua, sino también a instituciones que trabajan por una agricultura más sostenible.

Este estudio no solo se basa en analizar sobre el crecimiento externo del pimiento, (altura, biomasa, número de hojas, etc.), sino que también profundiza en analizar las alteraciones a nivel interno. Comprender cómo el estrés hídrico modifica la anatomía de la hoja, raíz y tallo como respuesta a diferentes niveles de estrés hídrico.

A nivel de crecimiento, el estrés hídrico puede observar en una reducción de altura de la planta, una disminución de área foliar, una menor acumulación de biomasa y en el color del área foliar. Estas limitaciones en el desarrollo vegetativo y reproductivo impactan directamente la rentabilidad del cultivo y la seguridad alimentaria local.

El estrés hídrico induce cambios a nivel anatómico y fisiológico interno. Se ha demostrado que la falta de agua puede alterar tejidos vasculares, la densidad estomática. Comprender estas modificaciones internas es crucial para evaluar

el mecanismo de respuesta de la planta a estrés hídrico y para identificar posibles estrategias de manejo que permiten mitigar sus efectos negativos.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto del estrés hídrico en el desarrollo y la morfología interna del pimiento (*Capsicum annum* L), con el fin de comprender su respuesta fisiológica y anatómica frente a diferentes niveles de déficit hídrico, mediante evaluaciones agronómicas y análisis microscópicas en laboratorio.

Objetivos específicos

- Determinar el efecto de diferentes niveles de riego sobre el crecimiento vegetativo del cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L) considerando variables como altura de planta, peso por hoja, diámetro del tallo y área foliar.
- Comparar las alteraciones anatómicas de los tejidos del pimiento sometido a niveles de estrés hídrico, mediante análisis microscópicos de cortes histológicos de tallo, hoja y raíz.
- Identificar el umbral de déficit hídrico a partir del cual se presentan efectos negativos significativos en el desarrollo del cultivo, tanto a nivel externo como interno.

HIPOTESIS

Hipótesis Nula (H_0)

El estrés hídrico no tiene un efecto significativo en el crecimiento vegetativo (biomasa, altura de la planta, número de hojas, etc.) ni sobre la morfología interna de los tejidos (hojas, tallo, raíz) del cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.)

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Origen y generalidades

Las hortalizas son alimentos nutritivos que brinda beneficios en la salud y se han considerado elementos básicos en la preparación de platos en la vida cotidiana de los seres humanos, el pimiento al igual que otros productos alimenticios toma un puesto importante en la dieta de las familias, sin embargo, en algunos casos se desconoce sus beneficios, y nutrientes que resulta necesario relatar las generalidades de su procedencia con el pasar de los años, como lo detalla (Peña, 2019).

El género *Capsicum*, de la familia de las solanáceas, tiene su centro de origen en las regiones tropicales y subtropicales de América (México, Perú y Bolivia). En el siglo XV fue introducido a Europa y luego al resto del mundo. A la fecha se han identificado sobre 25 especies, aunque las más conocidas se restringen sólo a cinco; *Capsicum annum* (pimiento y ajíes), *Capsicum chinense* (ají habanero), *Capsicum frutescens* (ají Tabasco), *Capsicum baccatum* (ají Andino), y *Capsicum pubescens* (Rocoto). (Pino, 2022).

1.2. Clasificación Taxonómica

Cuadro N° 1: Clasificación taxonómica

Reino	Vegetal
Phylum	Telemophytae
División	Tracheophytae
Sub división	Anthophyta
Clase	Angiospermae
Sub clase	Dicotyledoneae
Grado evolutivo	Metachlamydeae
Grupo de órdenes	Tetraciclicos

Orden	Polemoniales
Familia	Solanaceae
Nombre científico	<i>Capsicum annuum L.</i>
Nombre común	Pimentón

Fuente: Herbario Universitario, F.C.A y F. (2025) (T.B.).

1.3. Características botánicas del pimiento

1.3.1. Planta

“Herbácea perenne, con ciclo de cultivo anual de porte variable entre los 0,5 metros (en determinadas variedades de cultivo al aire libre) y más de 2 metros (gran parte de los híbridos cultivados en invernadero)” (Infoagro, 2009).

1.3.2. Sistema radicular

“Pivotante y profundo (dependiendo de la profundidad y textura del suelo), con numerosas raíces adventicias que horizontalmente pueden alcanzar una longitud comprendida entre 50 centímetros y 1 metro.” (Infoagro, 2009).

1.3.3. Tallo principal

De crecimiento limitado y erecto. A partir de cierta altura (“cruz”) emite 2 o 3 ramificaciones (dependiendo de la variedad) y continúa ramificándose de forma dicotómica hasta el final de su ciclo. Cada tallo del pimiento desarrolla una o dos hojas y culmina en una flor. Luego, se divide en dos nuevos tallos más pequeños, y este patrón de división en dos se repite hasta que la planta deja de crecer. Con el tiempo, el tallo se vuelve más duro y leñoso, y tiene una forma angulosa. (Agroquimicos Arca, 2021).

1.3.4. Hoja

Entera, lampiña y lanceolada, con un ápice muy pronunciado (acuminado) y un pecíolo largo y poco aparente. El haz es glabro (liso y suave al tacto) y de color verde más o menos intenso (dependiendo de la variedad) y brillante. El nervio principal parte de la base de la hoja, como una prolongación del pecíolo, del mismo modo que las nerviaciones secundarias que son pronunciadas y llegan casi al borde de la hoja. La inserción de las hojas en el tallo tiene lugar de forma alterna y su tamaño es variable en función de la variedad. (Agroquimicos Arca, 2021).

1.3.5. Flor

“Las flores aparecen solitarias en cada nudo del tallo, con inserción en las axilas de las hojas. Son pequeñas y constan de una corola blanca. La polinización es autógama, aunque puede presentarse un porcentaje de alogamia que no supera el 10%.” (Infoagro, 2009).

1.4.6. Fruto

Baya hueca, semicartilaginosa y deprimida, de color variable (verde, rojo, amarillo, naranja, violeta o blanco); algunas variedades van pasando del verde al anaranjado y al rojo a medida que van madurando. Su tamaño es variable, pudiendo pesar desde escasos gramos hasta más de 500 gramos. Las semillas se encuentran insertas en una placenta cónica de disposición central. Son redondeadas, ligeramente reniformes, de color amarillo pálido y longitud variable entre 3 y 5 mm. (Infoagro, 2009).

1.4. Requerimientos nutricionales del pimiento

Para que el suelo retenga mejor el agua y tenga una buena estructura, además de estimular la vida de los pequeños organismos que viven en él, se usan abonos orgánicos y estiércol. No obstante, hay que tener precaución con el estiércol, ya que puede ser muy rico en nutrientes y, si se aplica en exceso cerca de las raíces, podría salinizar el suelo y causar problemas con el equilibrio de los nutrientes. Usar entre 10 y 50 toneladas de estiércol por cada hectárea de terreno ayuda a cubrir una buena parte de lo que la planta necesita para nutrirse. El estiércol de pollo seco tiene más nutrientes

concentrados que el de vaca seco. Por dar un ejemplo, 10 toneladas de estiércol de pollo aportan 243 kilos de nitrógeno por hectárea, mientras que se necesitarían 50 toneladas de estiércol de vaca para conseguir aproximadamente 275 kilos de nitrógeno en la misma superficie. (Alexander, 2016).

Cuadro N° 2: Requerimientos nutricionales del cultivo de pimiento (Cruz, 2023).

Elementos	Nutrientes	Kg/ha
N	Nitrógeno	170
P ₂ O ₅	Fósforo	50
K ₂ O	Nitrato de potasio	120
Ca	Calcio	40
Mg	Magnesio	36
S	Azufre	30

Fuente: Cruz, 2023.

1.5. Importancia del riego

El agua del suelo es uno de los factores más importantes que afectan la producción de las cosechas. El agua constituye la fase líquida del suelo, la cual es requerida por las plantas en pequeñas cantidades para los procesos de metabolismo y transportación de los nutrimentos, y en grandes cantidades en el proceso fisiológico de la transpiración. (Rivera et. al. 2005).

1.6. Fenología del pimiento

1.6.1. Germinación

Debido a que los pimientos son plantas tropicales, germinan mejor en temperaturas cálidas del suelo. Las temperaturas entre 25 y 30 °C funcionan bien, la temperatura óptima es de 30 grados. Las semillas deben cubrirse con aproximadamente 1/4 de pulgada de tierra húmeda. Incluso las semillas de pimiento más saludables germinan lentamente. Aunque algunas semillas crecerán en una semana o 10 días, otras pueden demorar entre cuatro y seis semanas en germinar. (Krebs, 2020).

1.6.2. Crecimiento

La germinación y el brote de la plántula en esta especie son procesos lentos y requieren temperaturas más elevadas que el tomate, entre 20 y 30 °C. La germinación ocurre mucho más rápido a 30 °C que a 20 °C, pero no sucede si la temperatura supera los 35 °C. La cubierta de la semilla (testa) y el tejido nutritivo (endosperma) representan obstáculos para la salida de la raíz primaria, lo que explicaría la lentitud en la germinación. La hormona ácida giberélico, tanto producida por la planta como aplicada externamente, favorece la emergencia de la radícula. En condiciones normales de almacenamiento, las semillas pueden mantenerse viables durante un periodo de 5 a 8 años. (Pino & S., 2018).

1.6.3. Floración y polinización

Algunos pimientos se autopolinizan; algunos polinizados cruzados. Según Samuel Contreras, del Departamento de Ciencias Vegetales de la Pontificia Universidad Católica de Chile, la polinización cruzada ocurre entre el 8% y el 37% de las veces. Los pimientos pueden autopolinizarse dejando caer polen directamente de las anteras al estigma. Sin embargo, cuando los insectos visitan las flores, pueden polinizarlas cruzando las flores, tomando polen de una flor y llevándola a otra flor. (Krebs, 2020).

1.6.4. Fructificación

En Tarija, la maduración de los pimientos suele ocurrir entre 120 y 180 días después del trasplante, aunque esto puede variar según las condiciones climáticas específicas de la región durante ese periodo. Para un crecimiento óptimo del fruto durante el día, se prefiere una temperatura de alrededor de 21°C. Sin embargo, las temperaturas nocturnas previas a la floración también influyen en la forma final del pimiento. En particular, las noches frescas (8-10°C) tienden a favorecer el desarrollo de frutos más grandes en comparación con noches más cálidas (18-20°C) en la etapa prefloral. La aparición de formas anormales en los frutos puede ser consecuencia de temperaturas desfavorables, tanto altas como bajas, durante la formación del ovario. Es más común

observar malformaciones cuando las temperaturas nocturnas se sitúan entre 12 y 15°C. (Pino & S., 2018).

1.6.5. Maduración del fruto

Una vez que la fruta ha crecido hasta su tamaño maduro, comienza a madurar. Los pimientos inmaduros son siempre verdes. A medida que la fruta madura, las semillas maduran, y los azúcares y los compuestos de sabor se acumulan en la carne de la pimienta. La clorofila en el pimiento también se descompone, haciendo que el pimiento cambie de verde a su color maduro, que puede ser desde rojo (el color más común) a amarillo, naranja o morado. Si el pimiento es una variedad de polinización abierta, las semillas maduras se pueden plantar para producir la próxima generación de pimientos. (Rodríguez, 2022)

1.7. Requerimientos edafoclimáticos del pimiento

Los requerimientos edafoclimáticos del pimiento son la temperatura, la humedad, la luminosidad y el suelo.

1.7.1. Temperatura

El cultivo de pimiento es una planta exigente en temperatura y varía según el estado de desarrollo que se encuentre la planta. Las temperaturas óptimas son entre 20 y 25 grados centígrados para la germinación, de 20 a 25 por el día y entre 16 a 18 por la noche durante su crecimiento, y de 26 a 28 durante el día y entre 18 a 20 durante la noche en época de floración y fructificación. (Flores, 2016).

1.7.2. Humedad

La humedad relativa óptima oscila entre el 50% y el 70%. Si es muy elevada, favorece el desarrollo de enfermedades aéreas y dificulta la fecundación. La coincidencia de altas temperaturas y baja humedad relativa puede ocasionar la caída de flores y de frutos recién cuajados. (Flores, 2016).

1.7.3. Luminosidad

“El pimiento es una planta muy exigente en luminosidad, sobre todo en los primeros estados de desarrollo y durante la floración. Por ello, su cultivo debe realizarse en zonas del huerto con máxima luminosidad, o en invernaderos poco encalados.” Flores (2016).

1.7.4. Suelo

Los suelos más adecuados para el cultivo del pimiento son los franco-arenosos, profundos, ricos en materia orgánica y bien drenados. El pH óptimo del suelo se sitúa entre el 6,5 y 7, y en el agua de riego entre el 5,5 a 7. (Martínez, 2005).

1.8. Requerimiento hídrico del pimiento

Las necesidades de agua para una producción potencial de plantas de pimiento están entre 600 y 1 250 mm según el año. Los pimientos son sensibles a la presión del agua, tanto por exceso como por defecto de humedad. (Montero Zúñiga, 2022).

1.9. Estrés hídrico en las plantas

El estrés hídrico se refiere a la falta de agua necesaria para el crecimiento y desarrollo óptimo de los cultivos. Esto puede deberse a la escasez de lluvias, o una mala gestión de los recursos hídricos. (Tecnología, 2023).

1.9.1. Impacto del estrés hídrico en los cultivos

- **Disminución del crecimiento:** La falta de agua restringe el crecimiento de los vegetales, lo que resulta en plantas más pequeñas y menos productivas.
- **Reducción de la producción:** Los cultivos sometidos a estrés hídrico producen menos frutos y granos, lo que reduce la cantidad de alimentos disponibles para la cosecha.
- **Vulnerabilidad a enfermedades y plagas:** Las plantas debilitadas por la falta de agua son más propensas a enfermedades y plagas, lo que puede requerir el uso de pesticidas y fungicidas adicionales.

- **Menor calidad del producto:** Los cultivos afectados por el estrés hídrico a menudo tienen una calidad inferior, lo que puede afectar su valor en el mercado.
- **Menos tolerancia a condiciones extremas:** Las plantas estresadas por la falta de agua son menos capaces de resistir condiciones climáticas extremas, como sequías prolongadas o temperaturas extremadamente altas. (Tecnología, 2023).

1.9.2. Efectos del déficit hídrico sobre el crecimiento vegetal

El estrés hídrico provoca diversos efectos negativos en las plantas, entre ellos la reducción del crecimiento celular, el cierre de las estomas, alteraciones en la presión de turgencia, menor contenido de agua en las hojas, acumulación de compuestos bioquímicos, dificultades en la absorción de agua por las raíces, disminución de la fotosíntesis, desórdenes metabólicos e incluso la muerte de la planta. Para enfrentar este tipo de estrés, las plantas activan mecanismos de respuesta a nivel molecular, bioquímico y fisiológico. (Oguz, 2023).

1.9.3. Respuesta de las plantas ante el estrés hídrico

Las plantas se han desarrollado varias estrategias ante el estrés hídrico que le permite resistir, tolerar y adaptarse.

Mecanismos evitadores. - las plantas minimizan el estrés en sus tejidos. Las especies que siguen esta estrategia maximizan la absorción de agua mediante los sistemas radicales más profundos, o minimizan la pérdida de agua a través del cierre de estomas, la formación de hojas pequeñas baja el nivel de transpiración y cambios de las propiedades hidráulicas de la xilema. Los mecanismos evitadores mantienen a la planta con los tejidos hidratados en plena sequía.

Mecanismos de tolerancia. - Estas especies tienen mecanismos que minimizan o eliminan la deformación que pueden sufrir como consecuencia del estrés, alcanzando un equilibrio termodinámico con el estrés sin sufrir daños. Un aspecto importante de esta estrategia son los mecanismos reparadores de ese estrés, que la planta tiene que

poner en funcionamiento cuando éste ha dejado de actuar. Los mecanismos que confieren tolerancia a la sequía están basados en la estabilización estructural por hidratación preferencial, mientras que los mecanismos que otorgan tolerancia a la desecación están basados en el reemplazo del agua por moléculas que forman puentes de hidrógeno. (Suárez et. al. 2021).

1.9.4. Mecanismos para tolerar la sequía: evitar y tolerar los déficits hídricos en la planta

Las plantas varían bastante en su capacidad para soportar la sequía, y esto se debe a distintas adaptaciones. Algunas afectan a toda la planta, como raíces muy largas y extendidas que buscan agua en lo profundo del suelo. Otras se presentan en ciertas partes, por ejemplo, hojas con una capa externa gruesa (cutícula) o con la habilidad de controlar bien la pérdida de agua cerrando sus estomas. También existen adaptaciones más pequeñas, que ocurren dentro de las células, como el ajuste osmótico (que ayuda a retener agua) o la resistencia a secarse. (José Beltrano, 2011).

En general, las plantas pueden usar distintos mecanismos para tolerar la falta de agua, y estos se agrupan en dos tipos principales:

Evitación de la sequía: Son estrategias que ayudan a reducir la pérdida de agua o a mejorar su absorción. Por ejemplo, cerrar las estomas, tener raíces profundas o producir hojas pequeñas.

Tolerancia a la sequía: Son mecanismos que permiten que la planta siga funcionando incluso cuando tiene poca agua. Como ajustar el equilibrio interno de sales y solutos (ajuste osmótico) o resistir daños cuando las células se deshidratan. (José Beltrano, 2011).

1.9.5. Evitación del estrés hídrico

Para mantener el equilibrio del agua y que las células no se deshidraten, las plantas usan distintas estrategias. Las más comunes son:

Cerrar las estomas rápido y por completo: Las estomas son pequeñas aberturas en las hojas que permiten el intercambio de gases. Algunas plantas pueden cerrarlos antes de que se dañen por la falta de agua.

Cutícula gruesa e impermeable: Muchas plantas tienen una capa externa muy resistente al agua, a veces recubierta de cera o resina, lo que reduce la pérdida de humedad.

Pérdida de hojas: Algunas especies, como *Fouquieria splendens* del desierto de Sonora, solo tienen hojas cuando hay agua disponible. Cuando el agua escasea, las hojas se caen y quedan solo las partes centrales, que se convierten en espinas.

Estomas en criptas: En algunas plantas adaptadas a ambientes secos (xerófitas), los estomas están en cavidades especiales llamadas criptas. Esto reduce la transpiración porque crea una barrera que retarda la salida del vapor de agua. Además, hay plantas que solo tienen estomas en una cara de la hoja, y cuando la hoja pierde turgencia (se pone flácida por falta de agua), se enrolla para proteger esas estomas y evitar que se escape más agua. (José Beltrano, 2011).

1.10. Efecto del estrés hídrico en el desarrollo y morfología interna

El estrés hídrico tiene un efecto directo y notable en la morfología externa de la planta y algunas series de cambios en la morfología interna de la planta.

1.10.1. Impacto en el crecimiento radicular y aéreo

El estrés hídrico, provocado por la escasez de agua, afecta profundamente el desarrollo de las plantas, especialmente en sus partes radicular (raíces) y aérea (tallos y hojas). Cuando el agua es limitada, las plantas ajustan su crecimiento como mecanismo de supervivencia. Por ejemplo, tienden a reducir el desarrollo de la parte aérea, limitando la expansión de hojas y tallos para disminuir la pérdida de agua por transpiración. (Pazmiño, 2019).

En contraste, muchas especies aumentan el crecimiento de las raíces en busca de fuentes de agua más profundas, priorizando la supervivencia sobre el crecimiento vegetativo, si el estrés hídrico es severo o prolongado, tanto el crecimiento radicular

como el aéreo pueden verse gravemente comprometidos, afectando la fotosíntesis, la absorción de nutrientes y, en consecuencia, el rendimiento de la planta. (Pazmiño, 2019).

1.10.2. Cambios anatómicos (grosor del parénquima, número y tamaño de estomas, xilema y floema)

Cuando una planta enfrenta estrés hídrico, no solo cambia su crecimiento, sino también su estructura interna para adaptarse. Uno de los primeros cambios se observa en el parénquima, donde se puede reducir su grosor, sobre todo en el parénquima esponjoso de las hojas, lo cual disminuye la superficie para el intercambio gaseoso y contribuye a conservar agua (Biología, 2018).

En cuanto a los estomas (los poros por donde se pierde agua y entra CO₂), las plantas suelen reducir su número y tamaño o mantenerlos cerrados por más tiempo. Esto minimiza la pérdida de agua, pero también puede limitar la fotosíntesis (Biología, 2018).

El xilema, que transporta agua desde las raíces, puede volverse más lignificado (más duro) y presentar vasos de menor diámetro para evitar el colapso por cavitación (formación de burbujas de aire), lo cual mejora la resistencia, pero reduce la eficiencia de transporte. Por su parte, el floema, que transporta nutrientes, también puede verse afectado, aunque tiende a ser más resistente que el xilema, priorizando el envío de azúcares hacia las raíces (Douglas, 2018).

1.10.3. Alteraciones en los tejidos vegetales (colénquima, esclerénquima y mesófilo)

El colénquima, que da soporte a los órganos jóvenes, puede disminuir en grosor o desarrollar una pared celular más delgada. Esto responde a que, bajo sequía, el crecimiento se ralentiza y se reduce la necesidad de soporte flexible .

En cambio, el esclerénquima tiende a reforzarse. Este tejido, compuesto por células con paredes lignificadas, puede aumentar su proporción para brindar mayor rigidez y

resistencia mecánica, ayudando a soportar la pérdida de turgencia en condiciones de poca agua (Macias, 2022).

El mesófilo, especialmente el parénquima clorofílico de las hojas, suele verse reducido en espesor. Las células pueden colapsar parcialmente y los espacios intercelulares disminuir, lo que reduce el intercambio gaseoso y la fotosíntesis. En algunos casos, también se observa una reorganización celular para minimizar la pérdida de agua (Chaves, 2003).

1.11. Técnicas de evaluación del estrés hídrico

Las técnicas utilizadas para evaluar el estrés hídrico son las siguientes:

1.11.1. Potencial hídrico

Se mide con una cámara de presión (cámara de Scholander). Esta técnica permite conocer cuánta energía necesita la planta para absorber agua desde el suelo. Un potencial hídrico más negativo indica mayor estrés (Douglas, 2018).

1.11.2. Índice de área foliar (IAF)

Evalúa la superficie de hojas por unidad de suelo. Una disminución del IAF suele relacionarse con pérdida de hojas o menor crecimiento foliar por falta de agua (Chaves, 2003).

1.11.3. Conductancia estomática y transpiración

Se mide con un pirómetro. Permite saber si los estomas están abiertos o cerrados. Bajo estrés, las plantas cierran estomas para ahorrar agua, lo que se refleja en una baja conductancia .

1.11.4. Contenido relativo de agua (CRA)

Evalúa cuánta agua tienen los tejidos en comparación con su capacidad máxima. Es un indicador rápido del estado hídrico de las hojas.

1.11.6. Termografía infrarroja

“Evalúa la temperatura de la hoja. Cuando hay estrés, las plantas transpiran menos y se calientan más, lo que puede detectarse con cámaras térmicas” (Biología, 2018).

1.12. Suelos francos

Disponen de una textura media y una buena capacidad de retención de agua, pero también de liberación de esa agua para la planta. Están a medio camino entre arcilloso y arenoso, por su fertilidad media, capacidad media de erosión y una capacidad de mineralización de la materia orgánica también media. (Coarval 2022).

1.12.1. Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua de los suelos, se puede calcular con la diferencia entre los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Estos dos parámetros son indicadores de la fuerza con que está siendo retenida el agua por el suelo, expresada en kilopascal, que corresponde a una unidad de presión (kPa).

La capacidad de retención de agua de los suelos o el agua disponible, está relacionada con la textura de suelo, ya que ésta, expresa las proporciones relativas de cada componente, es decir partículas de arena, limo y arcilla y que en definitiva da origen a la distribución y tamaño de los poros. (Arribillaga, 2012)

1.12.2. Relación entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente en los suelos

Se denomina Capacidad de Campo (CC) a la cantidad de agua el suelo es capaz de retener luego de ser saturado y dejado drenar libremente evitando evapotranspiración y hasta que el potencial hídrico se estabilice (tras 24 a 48 horas de la lluvia o riego). El agua ocupando el espacio de los poros más grandes (macroporos) drena hacia capas inferiores bajo la fuerza de gravedad. Los poros más pequeños (microporos) se llenan de agua y los más grandes de aire y agua. El punto Capacidad de Campo corresponde a una succión de 1/3 bar. Las plantas deben producir una succión hasta 15 bares como máximo. A los 15 bares de succión la cantidad de agua en el suelo se denomina por el Punto de Marchitez Permanente (PMP). A ese punto las plantas pierden la capacidad

de succión y siguen perdiendo agua mediante la transpiración. Se pierde la turgencia de la planta resultando en su marchitez. Gráficamente la diferencia entre el Punto de Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente resulta en el agua disponible para cultivo en mm o expresado porcentualmente. La textura del suelo influencia en la cantidad de agua en un suelo drenado hasta el punto de capacidad de campo y la cantidad que está disponible para las plantas. (FAO, 2025).

En un experimento con cuatro cultivares de *Capsicum annuum* y *Capsicum chinense*, se evaluó el efecto del déficit hídrico (14 días sin riego) en comparación con riego cada tres días. Se observó que el estrés hídrico redujo significativamente el contenido relativo de agua, el volumen radicular, el crecimiento total y la concentración de nitrógeno foliar en ambas especies. En *Capsicum annuum*, también se afectó la producción, con diferencias entre cultivares. Algunos, como el ECU-2254b, mostraron una posible adaptación mediante la movilización de fotoasimilados hacia los frutos, aunque presentaron menor contenido de agua en las hojas. (Fernández, 2022).

CAPITULO II MARCO METODOLÓGICO

2.1. Localización

La presente investigación se desarrolló en la ciudad de Tarija, Provincia Cercado en los predios de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” (Zona El Tejar).

2.2. Ubicación del trabajo

Está ubicado geográficamente entre los paralelos $21^{\circ} 32' 34,06''$ de latitud sur, y los meridianos $64^{\circ} 43' 21,08'$ de latitud oeste con una altura promedio 1858 m.s.n.m, específicamente en las instalaciones del laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

$21^{\circ}32'34''\text{S } 64^{\circ}43'21''\text{W}$

Tarija se encuentra en la latitud -21.53549 y longitud -64.72956 . Hace parte del continente de América del Sur y está ubicado en el hemisferio sur.

Latitud $21^{\circ}32'7.8''\text{ S}$ Longitud $64^{\circ}43.774'\text{ O}$

Figura N° 1: Mapa de ubicación



FUENTE: SIG F.C.A.y F (2025)

2.3. Límites territoriales

Tarija es ciudad capital de departamento Tarija que está ubicada en parte sur de Bolivia. Se encuentra a orillas del río Guadalquivir, o Nuevo Guadalquivir, en el centro de un ameno valle y a 1,854 msnm. La provincia cercada área donde se ubica la presente investigación limita: Al norte con provincia Méndez; al sur con la provincia Arce; al este, con la provincia Burdet O'Connor; y al oeste, con la provincia Avilés.

2.4. Características climáticas

El valle de Tarija se halla localizado en un clima Semiárido que se caracteriza por una precipitación media anual entre 400-750 mm con 3-6 meses húmedos con una precipitación > 80 mm/mes. Se subdivide en dos subtipos: semiárido con temperaturas altas y semiárido con temperaturas bajas Y sud andino con temperaturas medias anuales de 21 a 23 °C, mientras que el segundo corresponde a los valles de la Cordillera Oriental (Valle Central de Tarija, Padcaya, San Lorenzo), con temperaturas medias anuales entre 13 y 18 °C.

En Tarija, los veranos son largos, calurosos, húmedos y mayormente nublados y los inviernos son cortos, frescos y mayormente despejados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 5 °C a 25 °C y rara vez baja a menos de 1 °C o sube a más de 29 °C.

La temporada templada dura 4,2 meses, del 30 de septiembre al 7 de febrero, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 24 °C. El mes más cálido del año en Tarija es diciembre, con una temperatura máxima promedio de 24 °C y mínima de 16 °C.

La temporada fresca dura 2,5 meses, del 15 de mayo al 30 de julio, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 21 °C. El mes más frío del año en Tarija es julio, con una temperatura mínima promedio de 5 °C y máxima de 20 °C.

Cuadro N° 3: Temperaturas de la zona de estudio

Promedio	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Máxima	24 °C	24 °C	23 °C	23 °C	21 °C	20 °C	20 °C	22 °C	23 °C	24 °C	24 °C	24 °C
Temp.	20 °C	20 °C	19 °C	18 °C	15 °C	13 °C	12 °C	14 °C	16 °C	19 °C	19 °C	20 °C
Mínima	16 °C	16 °C	15 °C	13 °C	9 °C	6 °C	5 °C	7 °C	10 °C	13 °C	15 °C	16 °C

2.4.1. Precipitación

Un día húmedo es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días húmedos en Tarija varía considerablemente durante el año.

La temporada con más precipitación dura 4,1 meses, de 19 de noviembre a 23 de marzo, con una probabilidad de más del 40 % de que cierto día será un día con lluvia. El mes con más días húmedos en Tarija es enero, con un promedio de 19,1 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

La temporada más seca dura 7,9 meses, del 23 de marzo al 19 de noviembre. El mes con menos días con precipitación en Tarija es junio, con un promedio de 5,6 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

Entre los días húmedos, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. El mes con más días con solo lluvia en Tarija es enero, con un promedio de 19,1 días. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 63 % el 11 de enero.

Cuadro N° 4: Precipitación de la zona de estudio

Días con	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Lluvia	19,1 dd.	15,8 dd.	13,7 dd.	8,3 dd.	7,2 dd.	5,5 dd.	6,0 dd.	6,3 dd.	6,8 dd.	8,7 dd.	12,0 dd.	16,0 dd.
Precipitación	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Lluvia	154,8 mm	127,8 mm	100,8 mm	59,8 mm	48,6 mm	41,5 mm	38,6 mm	45,4 mm	48,8 mm	61,9 mm	82,3 mm	124,8 mm

En lo que se refiere al tema de las precipitaciones, Tarija tiene una precipitación promedio de 615.4 milímetros (24.25 pulgadas) por año, además se tiene como dato que el mes más cálido en promedio en esta región, es el mes de noviembre, mientras que el mes más frío en promedio, es considerado el mes de julio.

2.4.2. Viento

Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.

La velocidad promedio del viento por hora en Tarija tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año.

La parte más ventosa del año dura 5,5 meses, del 17 de julio al 1 de enero, con velocidades promedio del viento de más de 10,7 kilómetros por hora. El mes más ventoso del año en Tarija es noviembre, con vientos a una velocidad promedio de 11,7 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 6,5 meses, del 1 de enero al 17 de julio. El mes más calmado del año en Tarija es abril, con vientos a una velocidad promedio de 9,7 kilómetros por hora.

2.4.3. Descripción del suelo

El sustrato analizado presenta una textura franco-arenosa, determinada por una composición de 72% arena, 16% limo y 12% arcilla. Esta distribución granulométrica indica un predominio de partículas gruesas, lo que favorece una alta permeabilidad y una adecuada aireación, aunque con limitada capacidad de retención de agua y nutrientes.

El pH de 8,16 clasifica al suelo como moderadamente alcalino, lo que puede influir en la disponibilidad de ciertos nutrientes, particularmente micronutrientes como hierro, zinc y manganeso, cuya solubilidad tiende a disminuir en estas condiciones. La conductividad eléctrica de 149 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sugiere un nivel bajo de salinidad, por lo que no se evidencian restricciones significativas para el desarrollo vegetal desde el punto de vista osmótico.

En cuanto a la materia orgánica (4,1%), el suelo presenta un contenido medio, lo cual contribuye positivamente a la estructura, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad microbiológica. El contenido de nitrógeno total (0,401%) es relativamente adecuado, indicando una reserva importante de este nutriente esencial, posiblemente asociada al nivel de materia orgánica presente.

2.5. MATERIALES

2.5.1. Material vegetal

El presente estudio de investigación se realizó con plantines de pimiento (morrón) de la variedad 4 esquinas de Bonanza, con un aproximado de 40 plantas.

2.5.2. Materiales

- Macetas de 8 litros.
- Tablero.
- Cámara fotográfica.
- Reglas.
- Cinta métrica.
- Regadera.
- Atomizador.
- Estilete.

2.5.3. Materiales de laboratorio

- Balanza de precisión.
- Navajas.
- Microscopio óptico.
- Placa porosa (01 Bar 15 Bar).
- Porta objetos.
- Cubre objetos.
- Micrótopo.

2.5.4. Equipos

- Extractor de presión de placas.
- Microscopio biológico.

3.3.5. Reactivos

- Agua ultra pura.
- Cristal violeta.
- Decolorante
- Safranina.
- Aceite de inmersión.

2.6. METODOLOGÍA

2.6.1. Diseño de la investigación

El diseño que se utilizó en el presente trabajo de investigación por ser el que más se ajusta, diseño completamente al azar, con 5 repeticiones haciendo un total de 4 tratamientos y 20 unidades experimentales.

2.6.2. Descripción de los tratamientos

Para los tratamientos se utilizó distintos niveles de riego. Se replanteo 4 tratamientos

T1= riego cada 2 día

T2= riego cada 6 días

T3= riego cada 10 días

T4= riego cada 14 días

2.6.3. Descripción de las unidades experimentales

Cada unidad experimental consistió de una maceta de 8 litros con 2 plantas por cada maceta.

Cuadro N° 5: Caracterización del diseño

Factores en estudio	Niveles del factor	Tratamientos	N° Replicas	N°Unid. Experim.
Diferentes niveles de estrés hídrico	1	T1	5	20
	2	T2		
	3	T3		
	4	T4		

Fuente: Elaboración propia.

2.6.4. Croquis de campo

Diseño completamente al azar				
T1	T3	T4	T1	T4
T3	T2	T2	T3	T1
T4	T2	T3	T2	T2
T1	T4	T3	T1	T3

Fuente: Elaboración propia.

2.7. Procedimiento experimental

Primero se compró las macetas 20 unidades de 8 litros cada unidad, para después obtener los plantines, 2 plantas por maceta.

2.7.1. Preparación del sustrato

El objetivo principal de la preparación del sustrato es conseguir una textura adecuada de franco arenosa, para el buen desarrollo de las plantas con las mejores condiciones posibles requeridas por el cultivo.

Para la preparación del sustrato se buscó 2 bolsas de arena del río, también una media bolsa de limo y 1 bolsa de materia vegetal para mezclar y llegar a una textura franco arenosa.

La textura del suelo se determina en laboratorio con el método del densímetro.

Se pesa 50 gramos de muestra de suelo.

Se agrega 10 ml hexametáfosfato al 10%.

Se agita durante 7 minutos.

Se debe enraizar en una probeta de 1 litro con agua.

Agitar con la mano para que las partículas se levanten con el agua.

A los 40 segundos hacer la primera lectura con el densímetro

Y a las 2 horas hacer la segunda lectura.

$$\% \text{Arena} = 100 - 1^{\circ} \text{Lc} * 2$$

$$\% \text{Arena} = 100 - 14 * 2$$

$$\% \text{Arena} = 72$$

$$\% \text{arcilla} = 2^{\circ} \text{Lc} * 2$$

$$\% \text{Arcilla} = 6 * 2 = 12$$

$$\% \text{Limo} = 100 - 72 - 12 = 16$$

2.7.3. Plantación del pimiento

Los plantines de pimiento se obtuvieron el 13 de septiembre, cuando las condiciones sean adecuadas para el crecimiento y desarrollo del cultivo, se realizó una plantación de 2 plantas por maceta.

2.7.4. Riego

El riego constituyó el factor principal de este estudio y se aplicó de manera controlada mediante el uso de un vaso graduado, con el fin de regular la cantidad de agua suministrada. Se estableció una dosis de 2 litros por maceta de 8 litros, considerando que el sustrato presentaba una textura franco arenosa.

T1= riego cada 2 día

T2= riego cada 6 días

T3= riego cada 10 días

T4= riego cada 14 días

2.7.5. Tutorado

En caso de que el cultivo necesite el tutorado se realizó con una caña natural, para mantener a la planta en perfectas condiciones y evitar las caídas del tallo.

2.8. Variables respuestas a evaluar

2.8.1. Crecimiento vegetativo

Área foliar (cm²)

El área foliar se determinó por el método Gravimétrico, Se relaciona el área foliar con el peso de la hoja. Se mide el peso fresco de la hoja y se toma una muestra de área conocida para determinar el peso por unidad de área y después calcular el área total de la hoja en (cm²). Para obtener un dato más representativo se sacó el área foliar de 3 hojas jóvenes y bien desarrolladas y después sacar una media del resultado.

Peso de las hojas (g)

El peso de las hojas se determinó mediante el uso de una balanza digital, registrando los valores en gramos (g). Para ello, se recolectaron las hojas de cada planta y se procedió a su pesaje inmediato para obtener el peso fresco.

Altura de la planta (cm)

Se realizó el sacado de datos de altura de la planta en el momento de inicio de la floración. Con una regla o flexómetro se midió la altura de las plantas de cada tratamiento

Diámetro del tallo (mm)

El diámetro del tallo se evaluó utilizando un vernier (calibrador digital o pie de rey), el cual permite obtener mediciones precisas en milímetros (mm).

Las mediciones se realizaron en la parte media del tallo, aproximadamente a 2–5 cm por encima del nivel del suelo, para asegurar uniformidad entre las plantas. En cada planta se tomó una lectura, procurando no ejercer presión excesiva que pudiera alterar el diámetro real del tallo.

Las evaluaciones se efectuaron en los tiempos establecidos dentro del experimento, registrando los datos en milímetros (mm) para su posterior análisis.

2.8.2. Anatomía interna

2.8.2.1. Raíz

- **Diámetro del cilindro vascular (µm)**

El diámetro del cilindro vascular se determinó mediante observación microscópica. Para ello, se realizaron cortes transversales finos del tallo, los cuales fueron teñidos

con safranina para resaltar los tejidos vasculares. Posteriormente, las muestras se lavaron con agua desionizada para eliminar el exceso de colorante.

Una vez preparadas, las secciones fueron colocadas sobre un portaobjetos, se añadió una gota de aceite de inmersión y se cubrieron con cubreobjetos. Las observaciones se realizaron utilizando un microscopio biológico.

El diámetro del cilindro vascular se midió en micrómetros (μm) mediante el uso de un ocular micrométrico previamente calibrado. Se tomaron varias mediciones por muestra y se calculó el promedio para su análisis.

- **Número de xilemas primario por (mm^2)**

El número de xilemas por mm^2 en la raíz se determinó a partir de cortes transversales finos, siguiendo el mismo procedimiento de tinción con safranina. Las muestras se observaron en el microscopio y, con ayuda de un software, se seleccionó un área conocida donde se contaron los xilemas visibles. Finalmente, mediante una regla de tres simple, se calculó el número de xilemas por mm^2 .

- **Tamaño de las xilemas primarias (μm^2)**

El área del xilema medido desde Microsoft con imagen J, se debe medir 2 xilemas visibles de tamaño promedio, después sacar la media del área en μm^2 .

Un mayor tamaño de los xilemas facilita un transporte más eficiente de agua, lo que favorece el crecimiento, mientras que xilemas más pequeños pueden ser una adaptación al estrés hídrico, ayudando a reducir el riesgo de pérdida de agua. Por lo tanto, esta variable es clave para entender cómo la planta responde y se adapta a diferentes condiciones de disponibilidad de agua.

2.8.2.2. Tallo

Diámetro de vasos conductores (xilema y floema).

Medida del diámetro interno promedio de los vasos de xilema y de los elementos cribosos del floema presentes en un corte transversal del tallo, expresado en micrómetros (μm).

Mediante un corte anatómico transversal fino a mano alzada y utilizando safranina para colorear los tejidos vasculares, mejorando la calidad de la imagen para ver en el microscopio.

2.8.2.3. Hoja

- **Espesor del mesófilo foliar (μm).**

Medida del grosor total del tejido mesofílico de la lámina foliar, comprendido entre la epidermis abaxial (superior) y la epidermis abaxial (inferior), expresada en micrómetros (μm). Con una corte transversal fina y la ayuda de un microtomo, se colocó la solución de safranina para mejorar la visión en el microscopio.

- **Número de estomas por mm^2**

Para tomar el dato de la variable número de estomas y tamaño de estomas se utilizó esmalte transparente de gorma uniforme en la parte del envés de hoja, esperar secar el mismo y después poner una cinta transparente para separar la epidermis de la hoja, para después utilizar en el microscopio y observar los estomas de la planta.

Cantidad de estomas presentes por unidad de área (mm^2) de la superficie epidérmica de la hoja, observados mediante microscopía biológica.

- **Tamaño de estomas (μm)**

El tamaño de los estomas es importante porque permite entender cómo la planta regula la pérdida de agua y el intercambio de gases, especialmente bajo condiciones de estrés hídrico. Estomas más grandes favorecen la fotosíntesis, mientras que estomas más pequeñas ayudan a reducir la pérdida de agua.

Para obtener este dato, en cada unidad experimental se midió el área de tres estomas y luego se calculó el promedio. Este valor promedio se utilizó como dato representativo, permitiendo obtener resultados más confiables.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos registrados, fueron analizados de acuerdo a la metodología estadística establecida por la investigación, y luego de haber obtenido los datos se presenta los siguientes resultados:

3.1. ALTURA DE LA PLANTA (cm)

Medir la altura de la planta del pimiento es crucial para determinar el impacto que causa el déficit hídrico, ya que este permite a optimizar de mejor manera el riego y obtener una mejor eficacia en el crecimiento del pimiento.

Cuadro N° 6: Altura media de la planta

Altura de la planta (cm)							
Tratamientos	Replicas					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV	V		
T1	48	47,5	45,5	44,5	44,5	230	46
T2	36,5	40,5	41,5	41	46	205,5	41,1
T3	38,5	35	36	42,5	38,5	190,5	38,1
T4	34,5	35,5	31,5	36	23,5	161	32,2
SUMA	157,5	158,5	154,5	164	152,5	787	

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro número 6 se refleja los datos de la altura media de planta donde se observa que el tratamiento 1 (T1= riego cada 2 días) obtuvo el mayor promedio de altura de planta con 46 cm en segundo lugar está el tratamiento 2 (T2= riego cada 6 días) con 41,1 cm, tercer lugar está el tratamiento 3 (T3= riego cada 10 días) con 38,1 cm, el tratamiento 4 (T4= riego cada 14 días) se encuentra en el cuarto lugar con 32,2 cm como el tratamiento con más bajo promedio en la altura de la planta.

Estos resultados indican que el T1 Riego cada 2 días tuvieron mejor comportamiento, obteniendo un mayor crecimiento de planta en este tratamiento.

Según (Discomgrup) La planta de pimiento tiene unas raíces que se extienden en bastante superficie. Además, necesita algo de profundidad, ya que, según la variedad, la planta puede alcanzar alturas cercanas a 1 metro.

Cuadro N° 7: Análisis de varianza ANVA para la altura media de la planta

Fuente de variación	GL	suma de cuadrados	cuadrado medio	f-calculada	f-tabulada	
					5%	1%
Total	19	697,05				
Tratamientos	3	499,85	166,62	**	2,85	4,44
Error	16	197,20	12,33			

Fuente: Elaboración propia.

NS= No es significativo

*** = Significativo**

**** = Altamente significativo**

Según el cuadro número 7 se puede observar el análisis de varianza, en el cual presenta diferencias altamente significativas en los tratamientos, ya que f-calculada es mayor a f-tabulada al 5% y 1%. Para poder determinar, se debe realizar una prueba de comparación de medias.

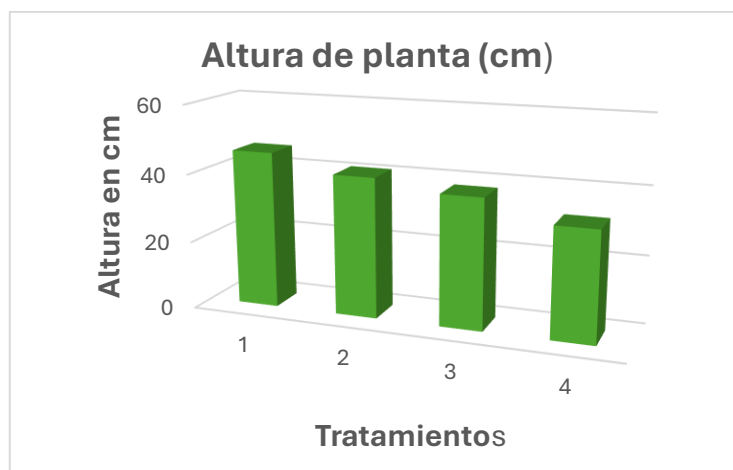
Cuadro N° 8: Prueba de Tukey para los tratamientos

Tratamientos	5%	1%
T1(R. 2 días)	46 a	46 a
T2(R. 6 días)	41,1 ab	41,1 a
T3(R. 10 días)	38,1 b	38,1 ab
T4(R. 14 días)	32,2 c	32,2 b

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro número 8 presenta los resultados de la prueba de Tukey de comparación de medias aplicada para los 4 tratamientos del experimento, se concluye que el tratamiento 1 (T1) produjo una altura media mayor (tiene una media más alta, 46 cm) obteniendo una diferencia significativa a los demás tratamientos T3, T4, solo al T4 muestra una diferencia altamente significativa, mostrando una diferencia solo estadística al tratamiento T2. El tratamiento T4 (tiene la media más baja 32,2 cm), mostrando una diferencia altamente significativa menos a los tratamientos T1, T2, solo una diferencia significativa al T3.

Figura N° 2: Gráfica de altura media de la planta



Fuente: Elaboración propia.

La figura número 2, gráfica de altura media de planta, muestra una variabilidad en la respuesta de la altura de la planta de pimiento a los diferentes tratamientos aplicados, el tratamiento 1 (T1) es el que obtuvo el mejor rendimiento en altura media de la planta, seguido por el tratamiento 2 (T2) son claramente los más efectivos para promover el crecimiento de la planta, el tratamiento 3 (T3), obtuvo el tercer lugar en altura de la planta y el tratamiento 4 (T4), resultó en altura media considerablemente más bajo.

3.2. PESO DE LAS HOJAS (g)

Medir el peso de las hojas (especialmente el peso fresco) está estrechamente relacionado con la cantidad de agua que contienen.

Cuando hay suficiente agua, las hojas están turgentes y pesan más.

Bajo estrés hídrico, pierden agua, se deshidratan y su peso disminuye.

Cuadro N° 9: Peso medio de hoja

Peso de las hojas (g)							
Tratamientos	Replicas					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV	V		
T1	2,61	2,23	2,09	1,56	2,3	10,79	2,16
T2	1,85	2,4	1,61	1,8	1,83	9,49	1,90
T3	1,5	1,28	2,12	1,56	2,23	8,69	1,74
T4	1,52	1,5	1,09	1,07	0,93	6,11	1,22
SUMA	7,48	7,41	6,91	5,99	7,29	35,08	

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro número 9 se refleja los datos del peso medio de la hoja donde se observa que el tratamiento 1 (T1= riego cada 2 días) obtuvo el mayor promedio de peso de hoja con 2,16 g, en segundo lugar, está el tratamiento 2 (T2= riego cada 6 días) con 1,90 g, tercer lugar está el tratamiento 3 (T3= riego cada 10 días) con 1,74 g, el tratamiento 4 (T4= riego cada 14 días) se encuentra en el cuarto lugar con 1,22 g, como el tratamiento con más bajo promedio en peso de la hoja.

Estos resultados indican que el T1 Riego cada 2 días tuvieron mejor comportamiento, obteniendo un mayor peso de hoja de planta en este tratamiento, el tratamiento T4 riego cada 14 días obtuvo un bajo comportamiento de peso de hoja.

Cuadro N° 10: Análisis de varianza ANVA para el peso medio de la hoja

Fuente de variación	grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	f-calculada	f-tabulada	
					5%	1%
Total	19	228,01				
Tratamientos	3	225,17	75,06	**	2,85	4,44
Error	16	2,84	0,18			

Fuente: Elaboración propia.

NS= No es significativo

* = Significativo

** = Altamente significativo

Según el cuadro número 10 se puede observar el análisis de varianza, en el cual presenta diferencias altamente significativas en los tratamientos, ya que f-calculada es mayor a f-tabulada al 5% y 1%. Para poder determinar, se debe realizar una prueba de comparación de medias.

Cuadro N° 11: Prueba de Tukey para los tratamientos

Tratamientos	5%	1%
T1(R. 2 días)	2,2 a	2,2 a
T2(R. 6 días)	1,9 ab	1,9 a
T3(R. 10 días)	1,7 ab	1,7 a
T4(R.14 días)	1,2 b	1,2 a

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 11 muestra los resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias del peso de hojas en los cuatro tratamientos. Al nivel de significancia del 5%, el tratamiento T1 presentó el mayor peso promedio (2,2 g), siendo significativamente superior al tratamiento T4 (1,2 g). Sin embargo, no presentó diferencias significativas

con los tratamientos T2 (1,9 g) y T3 (1,7 g), ya que comparten letras en común. Por otro lado, el tratamiento T4 mostró el valor más bajo y fue significativamente inferior a T1, pero similar estadísticamente a T2 y T3.

Al nivel del 1% de significancia, no se observaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos, ya que todos comparten la misma letra, lo que indica que los promedios son estadísticamente iguales en este nivel.

Figura N° 3: Gráfica del peso por hoja



Fuente: Elaboración propia.

La figura 3 muestra el peso por hoja en los cuatro tratamientos. El tratamiento 1 (T1) presentó el mayor peso con 2,2 g, seguido del tratamiento 2 (T2) con 1,9 g. El tratamiento 3 (T3) obtuvo un valor de 1,7 g, mientras que el tratamiento 4 (T4) registró el menor peso con 1,2 g. Esto indica que el T1 fue el más efectivo y el T4 el menos favorable.

3.3. DIÁMETRO DEL TALLO (mm)

Medir el diámetro del tallo permite cuantificar, comparar y entender cómo distintos niveles de estrés hídrico afectan el crecimiento y funcionamiento del pimiento, siendo una variable clave para interpretar los resultados del experimento.

Cuadro N° 12: Diámetro medio del tallo

Diámetro del tallo (mm)							
Tratamientos	Replicas					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV	V		
T1	6	5,5	5,5	5,5	5,5	28	5,6
T2	5	4,5	4,5	4	4	22	4,4
T3	4,5	3	3	4,5	3,5	18,5	3,7
T4	3	3,5	3	3	3	15,5	3,1
SUMA	18,5	16,5	16	17	16	84	

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 12 número se refleja los datos del diámetro medio del tallo donde se observa que el tratamiento 1 (T1= riego cada 2 días) obtuvo el mayor promedio de diámetro con 5,6 mm, en segundo lugar, está el tratamiento 2 (T2= riego cada 6 días) con 4,4 mm, tercer lugar está el tratamiento 3 (T3= riego cada 10 días) con 3,7 mm, el tratamiento 4 (T4= riego cada 14 días) se encuentra en el cuarto lugar con 3,1 mm como el tratamiento con más bajo promedio en diámetro del tallo.

Estos resultados indican que el T1 Riego cada 2 días tuvieron mejor comportamiento, obteniendo un mayor diámetro del tallo de planta en este tratamiento, el tratamiento T4 riego cada 14 días obtuvo un bajo comportamiento de diámetro del tallo.

Cuadro N° 13: Análisis de varianza ANVA para el diámetro medio del tallo

Fuente de variación	grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	f-calculada	f-tabulada	
					5%	1%
Total	19	1279,20				
Tratamientos	3	1271,70	423,90	**	2,85	4,44
Error	16	7,50	0,47			

Fuente: Elaboración propia.

NS= No es significativo

*** = Significativo**

**** = Altamente significativo**

Según el cuadro número 13 se puede observar el análisis de varianza, en el cual presenta diferencias altamente significativas en los tratamientos, ya que f-calculada es mayor a f-tabulada al 5% y 1%. Para poder determinar, se debe realizar una prueba de comparación de medias.

Cuadro N° 14: Prueba de Tukey para los tratamientos

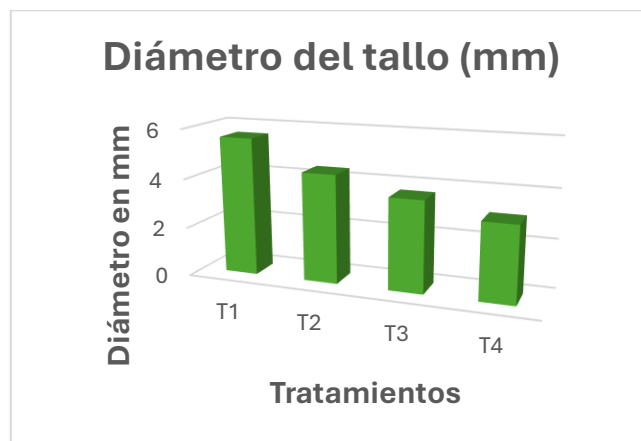
Tratamientos	5%	1%
T1(R. 2 días)	5,6 a	5,6 a
T2(R. 6 días)	4,4 ab	4,4 ab
T3(R. 10 días)	3,7 b	3,7 b
T4(R. 14 días)	3,1 c	3,1 b

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 14 presenta los resultados de la prueba de Tukey para el diámetro del tallo en los cuatro tratamientos. Al nivel de significancia del 5%, el tratamiento T1 mostró el mayor diámetro (5,6 mm), siendo significativamente superior a los tratamientos T3 (3,7 mm) y T4 (3,1 mm), mientras que con T2 (4,4 mm) no presentó diferencias significativas. El tratamiento T4 registró el menor valor y fue significativamente inferior a todos los demás tratamientos.

Al nivel del 1%, el tratamiento T1 se mantuvo como el de mayor diámetro, diferenciándose de T3 y T4, mientras que T2 no presentó diferencias significativas con T1 ni con T3. Por su parte, T3 y T4 resultaron estadísticamente similares entre sí.

Figura N° 4: Gráfica para el diámetro medio del tallo



Fuente: Elaboración propia.

La figura 4 muestra el diámetro del tallo en mm en los diferentes tratamientos. El tratamiento 1 (T1) presentó el mayor diámetro con 5,6 mm, seguido del tratamiento 2 (T2) con 4,4 mm. El tratamiento 3 (T3) obtuvo 3,7 mm, mientras que el tratamiento 4 (T4) presentó el menor diámetro con 3,1 mm. Esto indica que el T1 favoreció un mejor desarrollo del tallo, mientras que el T4 fue el menos efectivo.

3.4. ÁREA FOLIAR (cm²)

El área foliar por hoja sirve para evaluar el impacto del estrés hídrico en la capacidad fotosintética, el crecimiento y la adaptación de la planta, siendo clave para interpretar las diferencias entre niveles de estrés.

Cuadro N° 15: Media de área foliar por hoja

Area foliar (cm ²)							
Tratamientos	Replicas					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV	V		
T1	73,86	63,11	65,72	55,19	54,24	312,12	62,42
T2	52,36	56,60	50,63	50,94	57,94	268,47	53,69
T3	47,17	40,25	45,56	49,05	63,11	245,14	49,03
T4	47,80	47,17	38,56	33,65	32,90	200,08	40,02
SUMA	221,19	207,13	200,47	188,83	208,19	1025,81	

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro número 15 se refleja los datos del área foliar por hoja donde se observa que el tratamiento 1 (T1= riego cada 2 días) obtuvo el mayor promedio de área foliar con 62,42 cm², en segundo lugar, está el tratamiento 2 (T2= riego cada 6 días) con 53,69 cm², tercer lugar está el tratamiento 3 (T3= riego cada 10 días) con 49,03 cm², el tratamiento 4 (T4= riego cada 14 días) se encuentra en el cuarto lugar con 40,02 cm² como el tratamiento con más bajo promedio en área foliar por hoja.

Estos resultados indican que el T1 Riego cada 2 días tuvieron mejor comportamiento, obteniendo una mayor área foliar por hoja en este tratamiento, el tratamiento T4 riego cada 14 días obtuvo un bajo promedio en área foliar por hoja.

Cuadro N° 16: Análisis de varianza ANVA para el área foliar

Fuente de variación	grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	f-calculada	f-tabulada	
					5%	1%
Total	19	193383,08				
Tratamientos	3	192283,28	64094,43	**	2,85	4,44
Error	16	1099,80	68,74			

Fuente: Elaboración propia.

NS= No es significativo

*** = Significativo**

**** = Altamente significativo**

Según el cuadro número 16 se puede observar el análisis de varianza, en el cual presenta diferencias altamente significativas en los tratamientos, ya que f-calculada es mayor a f-tabulada al 5% y 1%. Para poder determinar, se debe realizar una prueba de comparación de medias.

Cuadro N° 17: Prueba de Tukey para los tratamientos

Tratamientos	5%	1%
T1(R. 2 días)	62,4 a	62,4 a
T2(R. 6 días)	53,7 ab	53,7 ab
T3(R. 10 días)	49 bc	49 ab
T4(R. 14 días)	40 c	40 b

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 17 muestra los resultados de la prueba de Tukey para el área foliar por hoja en los cuatro tratamientos. Al nivel de significancia del 5%, el tratamiento T1 presentó el mayor valor (62,4 cm²), siendo significativamente superior a los tratamientos T3 (49 cm²) y T4 (40 cm²), mientras que no mostró diferencias significativas con T2 (53,7 cm²). El tratamiento T4 registró el menor valor, siendo significativamente inferior a T1 y T2, pero similar a T3.

Al nivel del 1%, el tratamiento T1 se mantuvo como el de mayor área foliar, diferenciándose únicamente de T4. Los tratamientos T2 y T3 no presentaron diferencias significativas entre sí ni con T1, mientras que T3 también resultó estadísticamente similar a T4.

Figura N° 5: Gráfica del área foliar



Fuente: Elaboración propia.

La figura 5 muestra el área foliar por hoja en cm² en los diferentes tratamientos. El tratamiento 1 (T1) tuvo el valor más alto con 62,4 cm², seguido del tratamiento 2 (T2) con 53,7 cm². El tratamiento 3 (T3) obtuvo 49 cm² y el tratamiento 4 (T4) presentó el valor más bajo con 40 cm². Esto muestra que el T1 ayudó a que las hojas sean más grandes, mientras que el T4 fue el que menos favoreció el crecimiento.

3.5. NÚMERO DE ESTOMAS POR (mm²)

Medir el número de estomas por mm² permite evaluar cómo la planta ajusta su fisiología y anatomía para equilibrar la fotosíntesis y la conservación de agua bajo diferentes niveles de estrés hídrico, es importante para observar cómo influye la falta de agua en el desarrollo de estomas.

Cuadro N° 18: Media de número de estomas por mm²

N° de estomas (mm ²)							
Tratamientos	Replicas					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV	V		
T1	454,00	492,00	501,00	571,00	531,00	2549,00	509,80
T2	588,00	577,00	584,00	556,00	721,00	3026,00	605,20
T3	582,00	612,00	753,00	618,00	521,00	3086,00	617,20
T4	667,00	857,00	642,00	713,00	959,00	3838,00	767,60
SUMA	2291,00	2538,00	2480,00	2458,00	2732,00	12499,00	

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro número 18 se refleja los datos de número de estomas por mm² donde se observa que el tratamiento 4 (T4= riego cada 14 días) obtuvo el mayor promedio de estomas con 767estomas/mm², en segundo lugar, está el tratamiento 3 (T3= riego cada 10 días) con 617 estomas /mm², tercer lugar está el tratamiento 2 (T2= riego cada 6 días) con 605 estomas/mm², el tratamiento 1 (T1= riego cada 2 días) se encuentra en el cuarto lugar con 509 estomas/mm² como el tratamiento con más bajo promedio en número de estomas por mm².

Estos resultados indican que el T1 Riego cada 2 días tuvieron mejor comportamiento, obteniendo una menor densidad estomática en este tratamiento, el tratamiento T4 riego cada 14 días obtuvo una mayor densidad estomática a los demás tratamientos.

Cuadro N° 19: Análisis de varianza ANVA para el número de estomas

Fuente de variación	grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	f- calculada	f-tabulada	
					5%	1%
Total	19	30336762,95				
Tratamientos	3	30115813,35	10038604,45	**	2,85	4,44
Error	16	220949,60	13809,35			

Fuente: Elaboración propia.

NS= No es significativo

*** = Significativo**

**** = Altamente significativo**

Según el cuadro número 19 se puede observar el análisis de varianza, en el cual presenta diferencias altamente significativas en los tratamientos, ya que f-calculada es mayor a f-tabulada al 5% y 1%. Para poder determinar, se debe realizar una prueba de comparación de medias.

Cuadro N° 20: Prueba de Tukey para los tratamientos

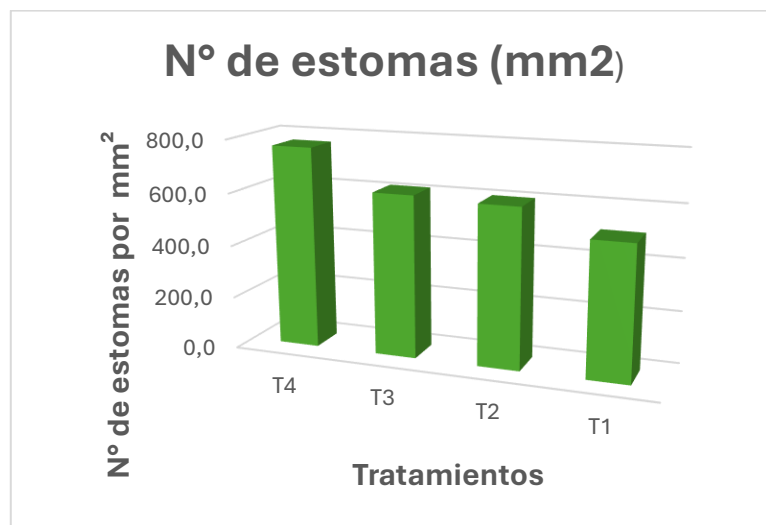
Tratamientos	5%	1%
T4(R. 14 días)	767,6 a	767,6 a
T3(R. 10 días)	617,2 ab	617,2 a
T2(R. 6 días)	605,2 ab	605,2 a
T1(R. 2 días)	509,8 b	509,8 a

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 20 muestra los resultados de la prueba de Tukey para la densidad estomática en los cuatro tratamientos. Al nivel de significancia del 5%, el tratamiento T4 presentó el mayor valor (767 estomas/mm²), siendo significativamente superior al tratamiento T1 (509 estomas/mm²). Sin embargo, no mostró diferencias significativas con los tratamientos T2 (605 estomas/mm²) y T3 (617 estomas/mm²). Por otro lado, el tratamiento T1 registró la menor densidad estomática, siendo significativamente inferior a T4, pero similar a T2 y T3.

Al nivel del 1%, no se observaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos, ya que todos comparten la misma letra, lo que indica que sus medias son estadísticamente iguales en este nivel.

Figura N° 6: Gráfica para el número de estomas



Fuente: Elaboración propia.

La figura 6 muestra la cantidad de estomas por mm² en los distintos tratamientos. Se observa que el tratamiento 4 (T4) tiene el mayor número con 767 mm², seguido del tratamiento 3 (T3) con 617 mm² y el tratamiento 2 (T2) con 605 mm². Por otro lado, el tratamiento 1 (T1) presenta la menor cantidad con 509 mm². Esto quiere decir que el T4 produjo más estomas, mientras que el T1 fue el que menos desarrolló.

3.6. TAMAÑO DE LOS ESTOMAS (μm²)

El tamaño de las estomas es clave porque permite evaluar la capacidad de la planta para regular el intercambio de gases y la pérdida de agua, siendo un indicador importante de adaptación al estrés hídrico.

Cuadro N° 21: Media para el Tamaño de estomas

Tamaño de estomas (μm^2)							
Tratamientos	Replicas					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV	V		
T1	157,62	150,99	145,22	134,50	157,04	745,37	149,07
T2	122,70	121,99	110,84	127,27	135,04	617,84	123,57
T3	114,25	107,42	114,25	109,93	129,60	575,45	115,09
T4	91,01	102,42	94,64	96,39	82,93	467,39	93,48
SUMA	485,58	482,82	464,95	468,09	504,61	2406,05	

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro número 21 se refleja los datos de tamaño de estomas en μm^2 donde se observa que el tratamiento 1 (T1= riego cada 2 días), obtuvo el mayor promedio de tamaño con 149,07 μm^2 , en segundo lugar, está el tratamiento 2 (T2= riego cada 6 días) con 123,57 μm^2 , tercer lugar está el tratamiento 3 (T3= riego cada 10 días) con 115,09 μm^2 , el tratamiento 4 (T4= riego cada 14 días) se encuentra en el cuarto lugar con 93,48 μm^2 , como el tratamiento con más bajo promedio en tamaño de estomas μm^2 .

Cuadro N° 22: Análisis de varianza ANVA para el tamaño de estomas

Fuente de variación	grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	f-calculada	f-tabulada	
					5%	1%
Total	19	1056446,84				
Tratamientos	3	1054625,97	351541,99	**	2,85	4,44
Error	16	1820,87	113,80			

Fuente: Elaboración propia.

NS= No es significativo

* = Significativo

** = Altamente significativo

Según el cuadro número 22 se puede observar el análisis de varianza, en el cual presenta diferencias altamente significativas en los tratamientos, ya que f -calculada es mayor a f -tabulada al 5% y 1%. Para poder determinar, se debe realizar una prueba de comparación de medias.

Cuadro N° 23: Prueba de Tukey para los tratamientos

Tratamientos	5%	1%
T1(R. 2 días)	149,1 a	149,1 a
T2(R. 6 días)	123,6 b	123,6 b
T3(R. 10 días)	115,1 b	115,1 bc
T4(R. 14 días)	93,5 c	93,5 c

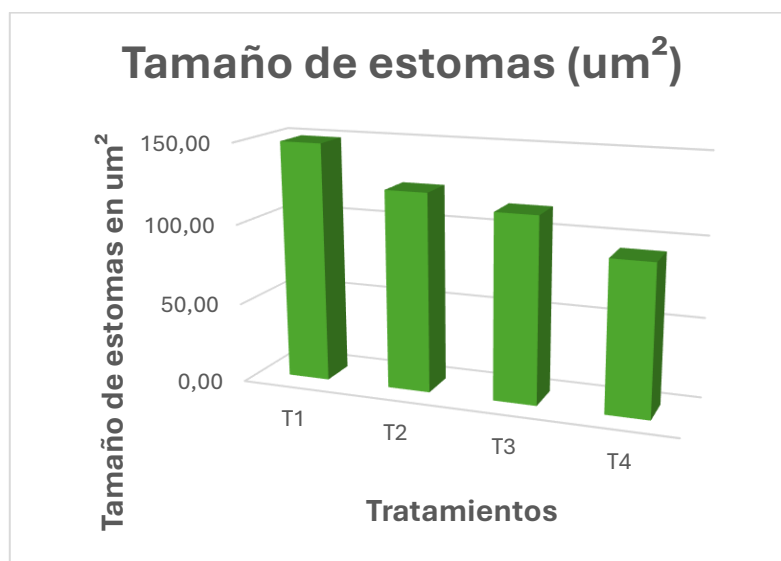
Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 23 presenta la comparación de medias mediante la prueba de Tukey al 5% y 1%.

Al 5%, el tratamiento T1 ($149,1 \mu\text{m}^2$) muestra el mayor tamaño de estomas y es significativamente diferente de los demás tratamientos. Los tratamientos T2 ($123,6 \mu\text{m}^2$) y T3 ($115,1 \mu\text{m}^2$) no presentan diferencias entre sí, pero sí son diferentes de T1 y T4. El tratamiento T4 ($93,5 \mu\text{m}^2$) presenta el menor valor y difiere significativamente de todos.

Al 1%, T1 sigue siendo el tratamiento con mayor media y diferente de los demás. T2 es intermedio, mientras que T3 (bc) no difiere de T2 ni de T4. T4 mantiene el valor más bajo, siendo diferente de T1.

Figura N° 7: Gráfica para el tamaño de estomas



Fuente: Elaboración propia.

La figura muestra el tamaño de los estomas en μm^2 para cada tratamiento. El tratamiento 1 (T1) tuvo los estomas más grandes con 149,1 μm^2 , seguido del tratamiento 2 (T2) con 123,6 μm^2 . El tratamiento 3 (T3) presentó estomas de tamaño intermedio con 115,1 μm^2 , mientras que el tratamiento 4 (T4) tuvo los estomas más pequeños con 93,5 μm^2 . Esto significa que el T1 permitió que los estomas crecieran más, y el T4 fue el que menos favoreció su tamaño.

3.7. DIÁMETRO DE LA LAMINA FOLIAR (μm)

El grosor de la lámina foliar sirve para evaluar las adaptaciones estructurales que la planta desarrolla para conservar agua y mantener su funcionamiento bajo diferentes niveles de estrés hídrico.

Cuadro N° 24: Media para el diámetro de la lámina foliar

Diámetro de la lámina foliar (μm)							
Tratamientos	Replicas					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV	V		
T1	211,52	168,62	256,00	175,29	243,58	1055,01	211,00
T2	230,75	159,50	129,17	180,67	135,59	835,68	167,14
T3	193,03	152,41	191,20	168,01	125,80	830,45	166,09
T4	100,99	107,57	145,65	169,46	148,02	671,69	134,34
SUMA	736,29	588,10	722,02	693,43	652,99	3392,83	

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro número 24 se refleja los datos de diámetro de la lámina foliar en μm , donde se observa que el tratamiento 1 (T1= riego cada 2 días), obtuvo el mayor promedio de diámetro con 211,00 μm , en segundo lugar, está el tratamiento 2 (T2= riego cada 6 días) con 167,14 μm , tercer lugar está el tratamiento 3 (T3= riego cada 10 días) con 166,09 μm , el tratamiento 4 (T4= riego cada 14 días) se encuentra en el cuarto lugar con 134,34 μm , como el tratamiento con más bajo promedio en diámetro de la lámina foliar en μm .

Cuadro N° 25: Análisis de varianza ANVA para el diámetro de la lámina foliar

Fuente de variación	grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	f-calculada	f-tabulada	
					5%	1%
Total	19	2122081,44				
Tratamientos	3	2094529,46	698176,49	**	2,85	4,44
Error	16	27551,98	1722,00			

Fuente: Elaboración propia.

NS= No es significativo

* = Significativo

** = Altamente significativo

Según el cuadro número 25 se puede observar el análisis de varianza, en el cual presenta diferencias altamente significativas en los tratamientos, ya que f -calculada es mayor a f -tabulada al 5% y 1%. Para poder determinar, se debe realizar una prueba de comparación de medias.

Cuadro N° 26: Prueba de Tukey para los tratamientos

Tratamientos	5%	1%
T1(R. 2 días)	211 a	211 a
T2(R. 6 días)	167,1 b	167,1 a
T3(R. 10 días)	166,1 b	166,1 a
T4(R. 14 días)	134,3 b	134,3 a

Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 26 presenta los resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias entre los cuatro tratamientos del experimento. Se concluye que el tratamiento T1 produjo el mayor diámetro de estomas, con una media de 211 μm , mostrando una diferencia significativa respecto a los tratamientos T2, T3 y T4 al nivel del 5%.

Los tratamientos T2 (167,1 μm), T3 (166,1 μm) y T4 (134,3 μm) no presentan diferencias significativas entre sí al 5%, ya que comparten la misma letra (b), aunque T4 presenta la media más baja.

Al nivel del 1%, no se observan diferencias significativas entre los tratamientos, debido a que todos pertenecen al mismo grupo (a), indicando un comportamiento estadísticamente similar en condiciones más estrictas.

Figura N° 8: Gráfica para el diámetro de la lámina foliar



Fuente: Elaboración propia.

La figura 8 muestra el grosor de la lámina foliar en μm para cada tratamiento. El tratamiento 1 (T1) presentó la lámina más gruesa con 211,0 μm , mientras que el tratamiento 2 (T2) y el tratamiento 3 (T3) tuvieron valores similares, 167,1 μm y 166,1 μm respectivamente. El tratamiento 4 (T4) mostró la lámina más delgada con 134,3 μm . Esto indica que el T1 ayudó a que las hojas fueran más gruesas, mientras que el T4 tuvo menos impacto en este aspecto.

3.8. DIÁMETRO DE LOS TEJIDOS VASCULARES DEL TALLO (μm)

Medir el diámetro de los tejidos vasculares del tallo sirve para evaluar cómo el estrés hídrico afecta el sistema de conducción de la planta, lo que es fundamental para entender su crecimiento, supervivencia y producción.

Cuadro N° 27: Media para el diámetro de los tejidos vasculares del tallo

Diámetro de los tejidos vasculares del tallo (um)							
Tratamiento s	Replicas					SUMA	MEDI A
	I	II	III	IV	V		
T1	491,82	561,89	533,67	737,00	499,22	2823,60	564,72
T2	408,64	399,58	479,62	490,30	410,76	2188,90	437,78
T3	359,24	254,72	391,00	362,32	362,70	1729,98	346,00
T4	360,50	264,81	236,55	253,58	232,30	1347,74	269,55
SUMA	1620,20	1481,00	1640,84	1843,20	1504,98	8090,22	

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro número 27 se refleja los datos de diámetro de los tejidos vasculares del tallo en μm , donde se observa que el tratamiento 1 (T1= riego cada 2 días), obtuvo el mayor promedio de diámetro con 564,72 μm , en segundo lugar, está el tratamiento 2 (T2= riego cada 6 días) con 437,78 μm , tercer lugar está el tratamiento 3 (T3= riego cada 10 días) con 346 μm , el tratamiento 4 (T4= riego cada 14 días) se encuentra en el cuarto lugar con 269,55 μm , como el tratamiento con más bajo promedio en diámetro de los tejidos vasculares del tallo en μm .

Cuadro N° 28: Análisis de varianza ANVA para el diámetro de los tejidos vasculares del tallo

Fuente de variación	grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	f- calculada	f-tabulada	
					5%	1%
Total	19	11850287,36				
Tratamientos	3	11737852,37	3912617,46	**	2,85	4,44
Error	16	112434,99	7027,19			

Fuente: Elaboración propia.

NS= No es significativo

* = Significativo

**** = Altamente significativo**

Según el cuadro número 28 se puede observar el análisis de varianza, en el cual presenta diferencias altamente significativas en los tratamientos, ya que f-calculada es mayor a f-tabulada al 5% y 1%. Para poder determinar, se debe realizar una prueba de comparación de medias.

Cuadro N° 29: Prueba de Tukey para los tratamientos

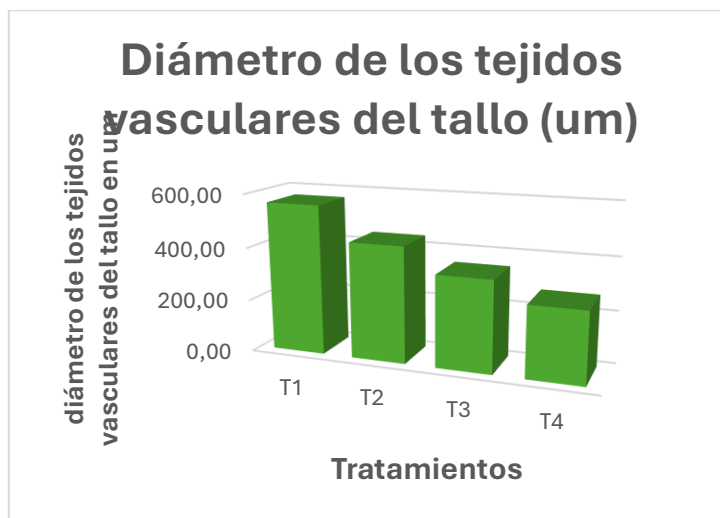
Tratamientos	5%	1%
T1(R. 2 días)	564,7 a	564,7 a
T2(R. 6 días)	437,8 ab	437,8 ab
T3(R. 10 días)	346 bc	346 b
T4(R. 14 días)	269,5 c	269,5 b

Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 29 muestra los resultados de la prueba de Tukey para el diámetro de los tejidos vasculares en los cuatro tratamientos. Al nivel de significancia del 5%, el tratamiento T1 presentó el mayor valor (564,7 μm), siendo significativamente superior a los tratamientos T3 (346 μm) y T4 (269,5 μm), mientras que no mostró diferencias significativas con T2 (437,8 μm). El tratamiento T4 registró el menor valor, siendo inferior a T1, pero sin diferencias significativas con T2 y T3.

Al nivel del 1%, el tratamiento T1 se mantuvo como el de mayor diámetro, diferenciándose de los demás tratamientos. Los tratamientos T2, T3 y T4 no presentaron diferencias significativas entre sí, al pertenecer al mismo grupo estadístico.

Figura N° 9: Gráfica para el diámetro de los tejidos vasculares del tallo



Fuente: Elaboración propia.

La figura 9 muestra el diámetro de los tejidos vasculares del tallo en μm para cada tratamiento. El tratamiento 1 (T1) presentó los tejidos vasculares más grandes con $564,7 \mu\text{m}$, lo que puede indicar una mejor capacidad para transportar agua y nutrientes. El tratamiento 2 (T2) tuvo un diámetro menor con $437,8 \mu\text{m}$, seguido por el tratamiento 3 (T3) con $346,0 \mu\text{m}$. El tratamiento 4 (T4) mostró el diámetro más pequeño con $269,5 \mu\text{m}$, lo que sugiere un desarrollo menos favorable de estos tejidos.

3.9. DIÁMETRO DEL CILINDRO VASCULAR DE LA RAÍZ (μm)

El diámetro del cilindro vascular de la raíz sirve para evaluar la capacidad de la planta para absorber y conducir agua bajo condiciones de estrés hídrico, siendo clave para entender su adaptación, crecimiento y rendimiento.

Cuadro N° 30: Media para el diámetro del cilindro vascular de la raíz

Diámetro del cilindro vascular de la raíz (um)							
Tratamientos	Replicas					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV	V		
T1	905,17	1002,97	843,82	764,62	660,54	4177,12	835,42
T2	728,01	562,15	618,36	654,88	643,82	3207,22	641,44
T3	605,63	425,53	682,24	645,80	582,17	2941,37	588,27
T4	491,56	475,92	441,86	528,08	434,26	2371,68	474,34
SUMA	2730,37	2466,57	2586,28	2593,38	2320,79	12697,39	

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro número 30 se refleja los datos de diámetro del cilindro vascular de la raíz en μm , donde se observa que el tratamiento 1 (T1= riego cada 2 días), obtuvo el mayor promedio de diámetro con 835,42 μm , en segundo lugar, está el tratamiento 2 (T2= riego cada 6 días) con 641,44 μm , tercer lugar está el tratamiento 3 (T3= riego cada 10 días) con 588,27 μm , el tratamiento 4 (T4= riego cada 14 días) se encuentra en el cuarto lugar con 474,34 μm , como el tratamiento con más bajo promedio en diámetro del cilindro vascular de la raíz en μm .

Cuadro N° 31: Análisis de varianza ANVA para el diámetro del cilindro vascular de la raíz

Fuente de variación	grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	f-calculada	f-tabulada	
					5%	1%
Total	19	29250100,84				
Tratamientos	3	29096113,65	9698704,55	**	2,85	4,44
Error	16	153987,20	9624,20			

Fuente: Elaboración propia.

NS= No es significativo

* = Significativo

**** = Altamente significativo**

Según el cuadro número 31 se puede observar el análisis de varianza, en el cual presenta diferencias altamente significativas en los tratamientos, ya que f-calculada es mayor a f-tabulada al 5% y 1%. Para poder determinar, se debe realizar una prueba de comparación de medias.

Cuadro N° 32: Prueba de Tukey para los tratamientos

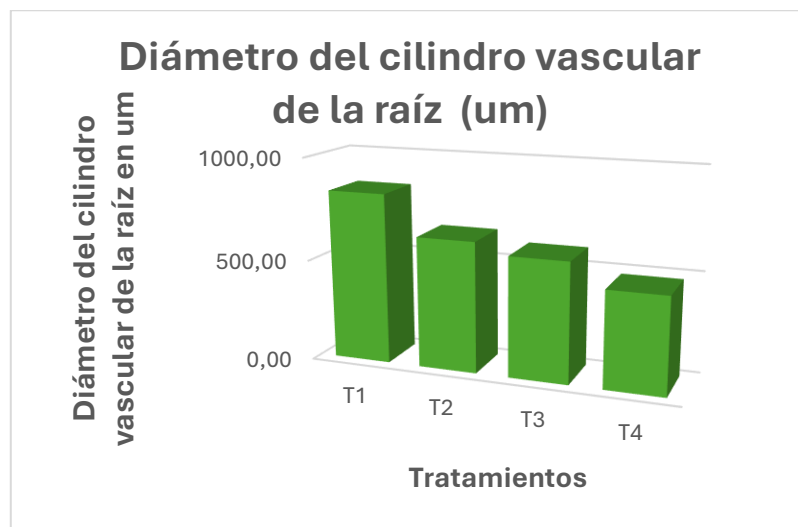
Tratamientos	5%	1%
T1(R. 2 días)	835,4 a	835,4 a
T2(R. 6 días)	641,4 b	641,4 ab
T3(R. 10 días)	588,3 b	588,3 b
T4(R. 14 días)	474,3 b	474,3 b

Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 32 presenta los resultados de la prueba de Tukey para el diámetro del cilindro vascular de la raíz en los cuatro tratamientos. Al nivel de significancia del 5%, el tratamiento T1 presentó el mayor valor (835,4 μm), siendo significativamente superior a los tratamientos T2 (641,4 μm), T3 (588,3 μm) y T4 (474,3 μm). El tratamiento T4 registró la media más baja, siendo significativamente inferior a T1, pero mostrando diferencias solo estadísticas con T2 y T3.

Al nivel del 1%, T1 se mantuvo como el tratamiento con mayor diámetro, diferenciándose de todos los demás. Los tratamientos T2, T3 y T4 no mostraron diferencias significativas entre sí, al compartir el mismo grupo estadístico.

Figura N° 10: Gráfica del diámetro del cilindro vascular de la raíz



Fuente: Elaboración propia.

La figura 10 muestra el diámetro del cilindro vascular de la raíz en μm para cada tratamiento. El tratamiento 1 (T1) tuvo el mayor diámetro con 835,4 μm , lo que puede reflejar una mejor estructura para el transporte de agua y nutrientes. Los tratamientos 2 (T2) y 3 (T3) presentaron diámetros intermedios con 641,4 μm y 588,3 μm respectivamente. El tratamiento 4 (T4) registró el diámetro más pequeño con 474,3 μm , lo que indica un desarrollo menos eficiente del sistema vascular en la raíz.

3.10. NÚMERO DE XILEMAS PRIMARIOS DE LA RAÍZ POR (mm^2)

El número de xilemas primarios por mm^2 sirve para evaluar la capacidad y estrategia de la planta para transportar agua bajo estrés hídrico, siendo un indicador clave de adaptación y funcionamiento interno.

Cuadro N° 33: Media para el número de xilemas

Numero de xilemas primario (mm²)							
Tratamientos	Replicas					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV	V		
T1	344,00	255,00	251,00	281,00	332,00	1463,00	292,60
T2	347,00	396,00	342,00	320,00	291,00	1696,00	339,20
T3	382,00	452,00	365,00	435,00	419,00	2053,00	410,60
T4	490,00	512,00	560,00	390,00	509,00	2461,00	492,20
SUMA	1563,00	1615,00	1518,00	1426,00	1551,00	7673,00	

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro número 33 se refleja los datos de número de xilemas primario por mm² donde se observa que el tratamiento 4 (T4= riego cada 14 días) obtuvo el mayor promedio de xilemas con 492 xilemas/mm², en segundo lugar, está el tratamiento 3 (T3= riego cada 10 días) con 410 xilemas/mm², tercer lugar está el tratamiento 2 (T2= riego cada 6 días) con 339 xilemas/mm², el tratamiento 1 (T1= riego cada 2 días) se encuentra en el cuarto lugar con 292 xilemas/mm² como el tratamiento con más bajo promedio en número de xilemas por mm².

Cuadro N° 34: Análisis de varianza ANVA para el numero de xilemas

Fuente de variación	grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	f-calculada	f-tabulada	
					5%	1%
Total	19	11507382,55				
Tratamientos	3	11460788,55	3820262,85	**	2,85	4,44
Error	16	46594,00	2912,13			

Fuente: Elaboración propia.

NS= No es significativo

* = Significativo

**** = Altamente significativo**

Según el cuadro número 34 se puede observar el análisis de varianza, en el cual presenta diferencias altamente significativas en los tratamientos, ya que f-calculada es mayor a f-tabulada al 5% y 1%. Para poder determinar, se debe realizar una prueba de comparación de medias.

Cuadro N° 35: Prueba de Tukey para los tratamientos

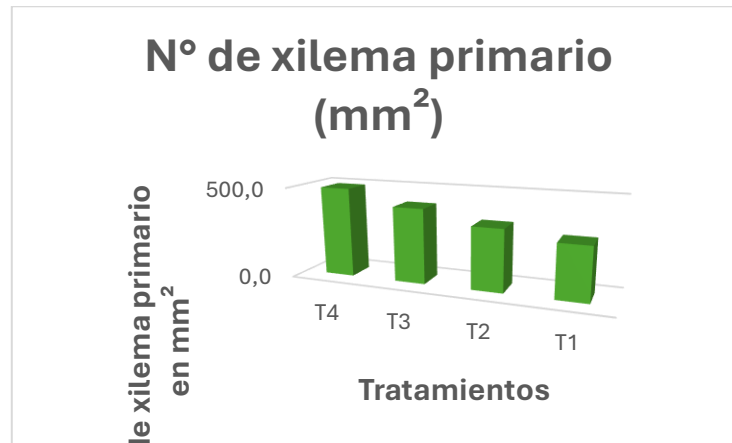
Tratamientos	5%	1%
T4(R. 14 días)	492,2 a	492,2 a
T3(R. 10 días)	410,6 ab	410,6 ab
T2(R. 6 días)	339,2 bc	339,2 b
T1(R. 2 días)	292,6 c	292,6 b

Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 35 presenta los resultados de la prueba de Tukey para la densidad de xilemas en los cuatro tratamientos. Al nivel de significancia del 5%, el tratamiento T4 presentó la mayor densidad de xilemas (492 xilemas/mm²), siendo significativamente superior a los tratamientos T3 (410 xilemas/mm²) y T1 (292 xilemas/mm²), mientras que mostró diferencias solo estadísticas con T2 (339 xilemas/mm²). El tratamiento T1 presentó la media más baja, siendo significativamente inferior a T3 y T4, y mostrando únicamente diferencias estadísticas respecto a T2.

Al nivel del 1%, T4 se mantuvo como el tratamiento con mayor densidad de xilemas, mientras que T1, T2 y T3 no mostraron diferencias significativas entre sí, al compartir el mismo grupo estadístico.

Figura N° 11: Gráfica para número de xilemas



Fuente: Elaboración propia.

La figura 11 muestra el número de xilemas primarios por mm² en los distintos tratamientos. El tratamiento 4 (T4) presentó la mayor cantidad con 492, seguido del tratamiento 3 (T3) con 410 y el tratamiento 2 (T2) con 339. El tratamiento 1 (T1) registró el valor más bajo con 292. Esto sugiere que el T4 favoreció una mayor formación de estructuras de conducción en la planta, mientras que el T1 mostró el menor desarrollo en este aspecto.

3.11. TAMAÑO DE LOS XILEMAS PRIMARIOS (μm²)

El tamaño de las xilemas primarias sirve para evaluar el equilibrio entre eficiencia y seguridad en el transporte de agua, siendo un indicador clave de la respuesta anatómica de la planta al estrés hídrico.

Cuadro N° 36: Media para el tamaño de xilemas

Tamaño del xilema primario (μm^2)							
Tratamientos	Replicas					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV	V		
T1	748,77	1011,35	963,71	559,47	561,65	3844,95	768,99
T2	483,80	744,51	366,82	435,19	640,52	2670,84	534,17
T3	368,48	346,83	432,28	475,89	406,74	2030,22	406,04
T4	369,32	297,23	431,83	532,74	322,27	1953,39	390,68
SUMA	1970,37	2399,92	2194,64	2003,29	1931,18	10499,40	

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro número 36 se refleja los datos de tamaño del xilema primario de la raíz en μm^2 donde se observa que el tratamiento 1 (T1= riego cada 2 días), obtuvo el mayor promedio de tamaño con 768,99 μm^2 , en segundo lugar, está el tratamiento 2 (T2= riego cada 6 días) con 534,17 μm^2 , tercer lugar está el tratamiento 3 (T3= riego cada 10 días) con 406,04 μm^2 , el tratamiento 4 (T4= riego cada 14 días) se encuentra en el cuarto lugar con 390,68 μm^2 , como el tratamiento con más bajo promedio en tamaño del xilema μm^2 .

Cuadro N° 37: Análisis de varianza ANVA para el tamaño del xilema

Fuente de variación	grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	f-calculada	f-tabulada	
					5%	1%
Total	19	19845464,81				
Tratamientos	3	19549776,71	6516592,24	**	2,85	4,44
Error	16	295688,10	18480,51			

Fuente: Elaboración propia.

NS= No es significativo

* = Significativo

**** = Altamente significativo**

Según el cuadro número 37 se puede observar el análisis de varianza, en el cual presenta diferencias altamente significativas en los tratamientos, ya que f-calculada es mayor a f-tabulada al 5% y 1%. Para poder determinar, se debe realizar una prueba de comparación de medias.

Cuadro N° 38: Prueba de Tukey para los tratamientos

Tratamientos	5%	1%
T1(R. 2 días)	769 a	769 a
T2(R. 6 días)	534,2 ab	534,2 ab
T3(R. 10 días)	406 b	406 b
T4(R. 14 días)	390,7 b	390,7 b

Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 38 presenta los resultados de la prueba de Tukey para el tamaño de xilemas en los cuatro tratamientos. Al nivel de significancia del 5%, el tratamiento T1 presentó el mayor tamaño de xilemas ($769 \mu\text{m}^2$), siendo significativamente superior a los tratamientos T3 ($406 \mu\text{m}^2$) y T4 ($390,7 \mu\text{m}^2$), mientras que mostró diferencias solo estadísticas con T2 ($534,2 \mu\text{m}^2$). El tratamiento T4 presentó la media más baja, siendo significativamente inferior a T1, y mostrando diferencias solo estadísticas respecto a T2 y T3.

Al nivel del 1%, T1 se mantuvo como el tratamiento con mayor tamaño de xilemas, mientras que T2, T3 y T4 no presentaron diferencias significativas entre sí, al compartir el mismo grupo estadístico.

Figura N° 12: Gráfica para el tamaño del xilema



Fuente: Elaboración propia.

La figura 12 muestra el tamaño del xilema primario en μm^2 en los diferentes tratamientos. El tratamiento 1 (T1) presentó el mayor tamaño con $769,0 \mu\text{m}^2$, seguido del tratamiento 2 (T2) con $534,2 \mu\text{m}^2$. El tratamiento 3 (T3) y el tratamiento 4 (T4) mostraron valores menores, con $406,0 \mu\text{m}^2$ y $390,7 \mu\text{m}^2$ respectivamente. Esto indica que el T1 promovió un mayor desarrollo de los vasos del xilema, mientras que el T4 presentó el menor tamaño.

3.12. ANÁLISIS GENERAL DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De manera general, los resultados obtenidos en el experimento muestran que el déficit hídrico influye significativamente en el crecimiento, desarrollo y adaptación anatómica de la planta de pimiento. A partir de todas las variables evaluadas, se evidencia un comportamiento claro en función de la frecuencia de riego aplicada en cada tratamiento.

El tratamiento 1 (T1: riego cada 2 días) presentó consistentemente los mejores resultados en la mayoría de las variables de crecimiento, como altura de la planta, peso de hojas, diámetro del tallo y área foliar. Esto indica que una mayor disponibilidad de

agua favorece el desarrollo vegetativo, permitiendo a la planta alcanzar un mayor tamaño, mayor biomasa y estructuras más robustas.

Por otro lado, el tratamiento 4 (T4: riego cada 14 días) mostró los valores más bajos en variables de crecimiento, lo que evidencia que el estrés hídrico severo limita el desarrollo de la planta.

Los resultados demuestran que el estrés hídrico induce una modificación en la arquitectura de los estomas. En el tratamiento (T4 riego 14 días), la densidad estomática aumentó a 767 estomas/mm², mientras que el área de los mismos se redujo a 93.5 μm², en comparación con el tratamiento (T1 riego 2 días) que presentó 509 estomas/mm² y un área de 149.1 μm².

Esta respuesta se fundamenta por Oguz (2023), quien señala que el cierre estomático y la reducción de su tamaño son las primeras líneas de defensa para minimizar la pérdida de agua por transpiración. Sin embargo, este mecanismo que ayuda a la planta a cuidar el agua también tiene un costo. Cuando los estomas se cierran o se hacen más pequeños, entra menos CO₂, lo que hace que la fotosíntesis disminuya bastante. Por eso, las plantas que están bajo más estrés tienen hojas más pequeñas (alrededor de 40 cm²). En otras palabras, la planta prefiere reducir el tamaño de sus hojas y crecer menos, pero así logra conservar agua y sobrevivir en condiciones difíciles.

El sistema vascular del pimiento demostró ser muy sensible frente al déficit hídrico. En el tratamiento (T4 riego 14 días), el diámetro de los vasos se redujo notablemente: un 48% en el tallo (269,5 μm) y un 43% en la raíz (474,3 μm) en comparación con el tratamiento (T1 riego 2 días).

Este cambio influye directamente en el funcionamiento de la planta. Al tener vasos más pequeños, disminuye el riesgo de cavitación (formación de burbujas de aire), lo que permite que el agua siga circulando incluso en condiciones de estrés. Sin embargo, esto también hace que el transporte de agua y nutrientes sea más lento, afectando procesos como el crecimiento y el desarrollo general de la planta. Es decir, la planta gana seguridad en su sistema de conducción, pero pierde eficiencia.

Además, se observó un aumento en la densidad de vasos de xilema bajo estrés (492 vasos/mm² en T4 riego 14 días frente a 292 vasos/mm² en T1 riego 2 días), aunque estos eran más estrechos (390,7 μm^2 T4 frente a 769 μm^2 T1). Esta adaptación ayuda a compensar la menor capacidad de transporte individual de cada vaso, pero no logra mantener el mismo nivel de eficiencia que en condiciones normales.

Como resultado de todos estos ajustes, la planta presenta un menor crecimiento, alcanzando una altura final de 32,2 cm. Estos resultados muestran que el pimiento, bajo estrés hídrico, prioriza mantener el flujo de agua y evitar daños en su sistema vascular antes que crecer normalmente, lo cual coincide con lo señalado por Pinter et al. (2003) y Oguz (2023), quienes describen que las plantas, en condiciones de sequía, tienden a favorecer la seguridad hidráulica sobre el crecimiento vegetativo.

La lámina foliar también se vio afectada por el estrés hídrico, mostrando una disminución del 36% en su espesor, al pasar de 211,0 μm en el tratamiento control (T1 riego 2 días) a 134,3 μm en el tratamiento con mayor estrés (T4 riego 14 días).

Este adelgazamiento ocurre porque las células del mesófilo se expanden menos, lo que en cierta forma ayuda a la planta a gastar menos energía en la formación de tejido. Sin embargo, este ajuste tiene consecuencias importantes. Al ser la hoja más delgada, se dificulta la entrada y difusión del CO₂ dentro del tejido, lo que reduce la eficiencia de la fotosíntesis.

Como señala Oguz (2023), esta disminución en la biomasa foliar no solo limita la producción de energía de la planta, sino que también acelera el envejecimiento de las hojas (senescencia) y afecta negativamente el crecimiento y desarrollo del cultivo. En otras palabras, la planta ahorra recursos a corto plazo, pero a costa de reducir su capacidad productiva.

CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- ✓ El presente estudio permitió evidenciar que el estrés hídrico, generado por diferentes frecuencias de riego, influye significativamente en el desarrollo del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.), afectando tanto sus características morfológicas como anatómicas. Los resultados obtenidos muestran que a medida que se incrementa el intervalo entre riegos, se produce una disminución progresiva en el crecimiento de las plantas.
- ✓ En cuanto al crecimiento vegetativo, se observó que las plantas sometidas a mayores periodos sin riego (10 y 14 días) presentaron una reducción significativa en la altura de planta, diámetro de tallo, peso por hoja y área foliar por hoja, en comparación con aquellas regadas con mayor frecuencia. Esto indica que la disponibilidad de agua es un factor determinante para el adecuado desarrollo del cultivo.
- ✓ El pimiento mostró una clara capacidad de adaptación al déficit hídrico severo, modificando su estructura para asegurar su supervivencia. Se registró un aumento del 50,7% en la densidad estomática (de 509 a 767 estomas/mm²), acompañado de una reducción en el tamaño de los estomas (de 149,1 μm^2 a 93,5 μm^2), lo que disminuye la pérdida de agua, pero también limita la entrada de CO₂ y la fotosíntesis.
- ✓ A nivel vascular, se evidenció una reducción del diámetro de los tejidos de conducción: 48% en el tallo (de 564,7 μm a 269,5 μm) y 43% en la raíz (de 835,4 μm a 474,3 μm). Además, aunque el tamaño de los vasos del xilema disminuyó (de 769 μm^2 a 390,7 μm^2), su densidad aumentó de 292 a 492 vasos/mm², como mecanismo de compensación para mantener el flujo de agua.
- ✓ Por otro lado, el espesor de la lámina foliar se redujo en un 36% (de 211,0 μm a 134,3 μm), lo que afecta la difusión de CO₂ y acelera la senescencia. En conjunto, estos resultados evidencian que, bajo estrés hídrico, la planta prioriza la conservación de agua y la seguridad de su sistema de transporte, aunque esto implique una disminución en el crecimiento y la productividad.

- ✓ Con base en los resultados obtenidos, se logró identificar un umbral de déficit hídrico a partir del cual se presentan efectos negativos significativos en el desarrollo del cultivo, el cual corresponde a la frecuencia de riego de cada 6 días. A partir de este punto, las plantas comienzan a mostrar limitaciones tanto en su crecimiento externo como en su estructura interna.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda no espaciar demasiado los riegos en el cultivo de pimiento, ya que intervalos largos como cada 10 o 14 días afectan negativamente su crecimiento y desarrollo. Lo más adecuado es mantener frecuencias de riego menores a 6 días para evitar cambios en la planta.
- ✓ Es importante realizar un manejo adecuado del riego, considerando las condiciones del clima y del suelo, para evitar que las plantas entren en estrés hídrico y así asegurar un buen desarrollo del cultivo.
- ✓ Se recomienda evitar condiciones de estrés hídrico severo, debido a que estas no solo afectan el tamaño y crecimiento de la planta, sino también su estructura interna, como se observó en los tejidos y estomas.
- ✓ Para futuros trabajos, se sugiere seguir evaluando tanto variables externas como internas, ya que esto permite entender mejor cómo responde la planta frente a la falta de agua.
- ✓ También se recomienda incluir otras variables fisiológicas en futuras investigaciones, como la fotosíntesis o el contenido de agua en la planta, para complementar los resultados obtenidos.
- ✓ Este trabajo puede servir como base para futuras investigaciones sobre estrés hídrico en pimiento u otros cultivos, especialmente en condiciones similares a la zona de estudio.