



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Agronomía

Efecto de diferentes frecuencias de riego en el crecimiento de plántulas de café (*Coffea arabica* L.) bajo condiciones de invernadero en la Quinta Experimental LaArgelia.

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma.

AUTORA:

Carmen Elizabeth Castillo Jaramillo

DIRECTOR:

Ing. Max Enrique Encalada Córdova, PhD

Loja - Ecuador

2024

Certificación

Loja 26 de Marzo de 2024

PhD. Max Enrique Encalada Córdova

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Efecto de diferentes frecuencias de riego en el crecimiento de plántulas de café (Coffea arábica L.) bajo condiciones de invernadero en la Quinta Experimental La Argelia**, de la autoría de la estudiante **Carmen Elizabeth Castillo Jaramillo**, con cédula de identidad Nro. **1150642351** previa a la obtención de título de Ingeniera Agrónoma. Una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Nacional de Loja, apruebo y autorizo su presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



PhD. M x Enrique Encalada Córdova

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, Carmen Elizabeth Castillo Jaramillo, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1150642351

Fecha: 27/03/2024

Correo electrónico: carmen.e.castillo@unl.edu.ec

Teléfono: 0992472485

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Carmen Elizabeth Castillo Jaramillo** declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Efecto de diferentes frecuencias de riego en el crecimiento de plántulas de café (*Coffea arábica* L.) bajo condiciones de invernadero en la Quinta Experimental La Argelia**, como requisito para optar por el título de **Ingeniera Agrónoma**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veintisiete días del mes de marzo del dos mil veinticuatro.

Firma:



Autor: Carmen Elizabeth Castillo Jaramillo

Cédula: 1150642351

Dirección: Ciudadela la Cascarilla. Av Eugenio Espejo

Correo electrónico: carmen.e.castillo@unl.edu.ec

Teléfono: 0992472485

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Integración Curricular

Ing. Max Enrique Encalada Córdova PhD

Dedicatoria

La presente investigación se la dedico a Dios y a mi Virgen por brindarme salud, conocimiento y sabiduría durante toda la vida estudiantil y de forma especial a mi querida madre Carmen, a mi querido padre Máximo, quienes con su trabajo y esfuerzo me brindaron el apoyo incondicional, contribuyeron a culminar con éxito mi carrera universitaria, y a pesar de lo duro de sus jornadas nunca descuidaron la atención de su familia es por esto que este trabajo es gracias al apoyo que me han brindado ustedes.

A mis queridos hermanos gracias por creer en mis capacidades, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre me han brindado su amor y apoyo y quienes han sido los que han crecido en mi me han sabido dar sus sabios consejos y sus lecciones de vida.

De igual manera a amigos y docentes de la Universidad Nacional de Loja los cuales me brindaron sus conocimientos e hicieron posible mi formación durante la vida universitaria para seguir adelante.

Carmen Elizabeth Castillo Jaramillo.

Agradecimiento

Al finalizar esta etapa universitaria, agradezco primeramente a Dios y a mis padres Carmen y Máximo, gracias por ser mi pilar fundamental, mi guía, mi fortaleza, mi ejemplo, por dar todo por mí y mostrarme el mejor camino a seguir.

Gracias a mis queridos hermanos Junior y Verónica, quienes siempre estuvieron a mi lado apoyándome lo suficiente para no rendirme.

Gracias a la Universidad Nacional de Loja, a la carrera de Ingeniería Agronómica y a todos los docentes que compartieron sus valiosos conocimientos durante estos años de estudios, un agradecimiento muy especial al Ing. Max Enrique Encalada Córdova, Ing. Klever Cuenca por su dirección en la elaboración de este proyecto de investigación.

Carmen Elizabeth Castillo Jaramillo

Índice de contenido

Portada	i
Certificación	iii
Autoría	iii
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii
Índice de contenido	viii
Índice de Figuras	viii
Índice de Tablas	ix
Índice de Anexos.....	x
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción	4
3.1. Objetivos	5
3.1.2. Objetivos específicos	5
4. Marco teórico	6
4.2. Clasificación taxonómica del café	6
4.3. Descripción morfológica.....	7
4.3.1. Raíz	7
4.3.2. Hojas.....	7
4.3.3. Tallo.....	7
4.3.4. Ramas	8
4.4. Reproducción del cafeto.....	8
4.5. Crecimiento y desarrollo del café	8
4.6. Tipos de crecimiento vegetal	9
4.6.1. Crecimiento vegetal	9
4.6.2. Medición del crecimiento vegetal.....	10
4.7. Estados principales del crecimiento	10

4.8. Factores de la fisiología del café	10
4.8.1. Precipitación	11
4.8.2. Contenido de humedad.....	12
4.8.3. Frecuencia de riego.....	13
4.10. Propiedades físicas del suelo.....	14
5. Metodología.....	16
5.1. Ubicación	16
5.2. Condiciones climáticas	16
5.3. Metodología general	17
5.3.1. Diseño experimental	17
5.3.1.1. Descripción de tratamientos	17
5.3.1.2. Esquema de diseño experimental... ..	17
5.3.2. Hipótesis Estadística	18
5.3.3. Preparación del sustrato para las bolsas.....	19
5.3.4. Trasplante.....	19
5.4. Metodología para el primer objetivo.....	20
5.5. Metodología para el segundo objetivo.....	21
5.5.1. Altura de la planta.....	21
5.5.2. Diámetro del tallo	21
5.5.3. Área foliar	21
5.5.4. Clorofila	22
5.5.5. Densidad estomática	22
5.5.6. Masa seca de la parte aérea y radical	22
5.5.7. Masa seca total.....	22
5.6. Metodología para el tercer objetivo	23
6. Resultados	24
6.1. Densidad aparente	24
6.2. pH.....	24
6.3. Altura y diámetro del tallo.....	24
6.4. Área foliar	24

6.5. Número de hojas.....	25
6.6. Contenido de clorofía.....	25
6.7. Densidad estomática.....	26
6.8. Conductancia estomática.....	26
6.9. Contenido de humedad del sustrato.....	27
6.10. Masa seca de la parte aérea y radical.....	28
6.11. Masa seca total	28
7. Discusión	30
8. Conclusiones	33
9. Recomendaciones	34
10. Bibliografía	35
11. Anexos	39

Índice de Figuras

Figura 1. Diseño muestral probabilístico completamente al azar,	17
Figura 2. Efecto de tres frecuencias de riego en la altura y diámetro del tallo en plántulas de café.	25
Figura 3. Medidas del área foliar total en plántulas de café.....	25
Figura 4. Efecto de la aplicación de diferentes frecuencias de riego en el contenido de clorofila en plántulas de Café.....	26
Figura 5. Efecto de tres frecuencias de riego en la densidad estomática de plántulas de café.....	27
Figura 6. Efecto de tres frecuencias de riego en la conductancia estomática de plántulas de café	28
Figura 7. Medidas del contenido de humedad existente en las plántulas evaluadas.	29
Figura 8. Efecto de tres frecuencias de riego en la masa seca de la parte aérea y radical de plántulas de café al final del periodo de evaluación.	29
Figura 9. Efecto de tres frecuencias de riego en la masa seca total de plántulas de café al final del periodo de evaluación.	30

Índice de Tablas

Tabla 1. Descripción de los tratamientos referente a las diferentes frecuencias de riego del sustrato... ..	17
Tabla 2. Número de hojas de plántulas de café según aplicación de diferentes frecuencias de riego	26

Índice de Anexos

Anexo 1. Preparación y enfundado de sustrato y llenado de fundas plásticas	39
---	----

Anexo 2. Desinfección de sustrato	39
Anexo 3. Trasplante de plántulas de café. Homogenización de la cantidad de sustrato	40
Anexo 4. Medición de variables de crecimiento (altura, número de hojas, diámetro del tallo) y medición del contenido de humedad existente en el sustrato	40
Anexo 5. Determinación de capacidad de campo y punto de marchitez permanente mediante el método gravitatorio	41
Anexo 6. Fumigación de plántulas de café	41
Anexo 7. Medición de la clorofila.....	42
Anexo 8. Determinación masa seca aérea y radical	43
Anexo 9. Determinación de la densidad estomática	43
Anexo 10. Diferencia en variables morfológicas entre tratamientos	44
Anexo 11. Análisis de varianza de las variables analizadas en el estudio y análisis de supuestos.	46
Anexo 12. Condiciones climaticas del lugar de estudio	52
Anexo 13. Lamina de riego aplicarse en el cultivo	52
Anexo 14. Certificación de traducción de abstract	52

1. Título

Efecto de diferentes frecuencias de riego en el crecimiento de plántulas de café (*Coffea arabica* L.) bajo condiciones de invernadero en la Quinta Experimental La Argelia.

2. Resumen

El cultivo de café es considerando de mayor importancia agrícola, incidiendo notoriamente en la economía de los países en desarrollo como producto de exportación. El presente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de la aplicación de diferentes frecuencias de riego en el crecimiento de las plántulas de café (*Coffea arabica* L.) en condiciones de invernadero en la Quinta Experimental La Argelia; se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos y cuatro repeticiones, las evaluaciones se realizaron mensualmente a partir de los 30 días después del trasplante (DDT), las variables evaluadas fueron: altura, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar, clorofila, densidad estomática y conductancia estomática. Al final del periodo experimental se evaluó la masa seca de la parte aérea, radical y total, longitud de la raíz, contenido relativo de agua. Al analizar las variables morfológicas, el tratamiento T2 (riego cada 6 días) obtuvo el mayor promedio en altura de planta (13 cm), diámetro del tallo (0,28 cm), área foliar (119,47 cm²), y clorofila (60 ug/mL) respectivamente. Con respecto al número de hojas en todos los tratamientos obtuvieron 10 hojas al final del experimento. En cuanto a la densidad estomática, los valores más altos se presentaron en el T1 (riego cada 4 días) con 120 mm²; y una conductancia estomática de 135,59 mmol/m²s respectivamente. El volumen de agua aplicado en cada tratamiento se calculó en base al contenido de humedad del sustrato determinado mediante el método gravimétrico (en base a peso) y a la profundidad radical de las plántulas. Se concluyó que el crecimiento, expresado en indicadores como la altura, diámetro del tallo, área foliar, longitud de la raíz, masa seca de las plántulas en todos los tratamientos presentó una relación directa con el contenido de humedad del sustrato.

Palabras clave:

Coffea arabica L; riego; frecuencia; morfología; crecimiento.

2.1. Abstract

Coffee cultivation is considered to be the most important agricultural crop, having a significant impact on the economy of developing countries as an export product. The objective of the present study was to determine the effect of the application of different irrigation frequencies on the growth of coffee seedlings (*Coffea arabica* L.) under greenhouse conditions at the Quinta Experimental La Argelia; a completely randomized design (CRD) was used with three treatments and four replications. The evaluations were carried out monthly starting 30 days after transplanting (DDT), the variables evaluated were: height, stem diameter, number of leaves, leaf area, chlorophyll, stomatal density and stomatal conductance. The irrigation frequencies evaluated were T1 (irrigation every 4 days); T2 (irrigation every 6 days); T3 (irrigation every 8 days). At the end of the experimental period, the dry mass of the aerial, root and total parts, root length, and relative water content were evaluated. When the morphological variables were analyzed, the T2 treatment obtained the highest average plant height (13 cm), stem diameter (0.28 cm), leaf area (119.47 cm²), and chlorophyll (60 ug/mL), respectively. With respect to leaf number, all treatments obtained 10 leaves at the end of the experiment. The highest values for dry mass were found in the T2 treatment followed by T1. In terms of density, the highest values were found in T1 with 120 mmol/m²s; and a stomatal conductance of respectively.

The volume of water applied in each treatment was calculated based on the moisture content of the substrate determined by the gravimetric method (weight basis) and the root depth of the seedlings.

It was concluded that growth, expressed in indicators such as height, stem diameter, leaf area, root length, and dry mass of the seedlings in all treatments showed a direct relationship with the moisture content of the substrate.

Keywords:

Coffea arabica L; irrigation; frequency; morphology; growth.

3. Introducción

El café se originó en África en diferentes regiones geográficas y climáticas. Se introdujo en Ecuador en 1830, empezándose a cultivar en la provincia de Manabí (Consuelo, 2010). De acuerdo a la región y clima de origen se desarrollan diferentes tipos de cafetos con constituciones genéticas diversas; el género *Coffea* comprende aproximadamente 70 especies, de las cuales la más importante y cultivada con fines comerciales es la *C. arabica* (ANACAFE, 2013). En Loja el 96 % de los caficultores producen café arábigo, el 3 % la especie robusta (Guerrero, 2017).

La caficultura constituye uno de los productos más comercializados y es consumido en todos los países, por ello, influye en las economías de los principales productores, generando fuentes de empleo a millones de personas (Ramírez et al., 2010). El café es uno de los principales productos de exportación en el ámbito mundial; más del 80 % de su producción se destina al comercio internacional (Quintero y Rosales, 2014).

Con frecuencia las plántulas de cafeto durante su crecimiento se ven afectadas por el mal uso del riego, ya que de este importante factor depende el manejo de la cantidad de humedad que se debe aplicar en especies vegetales, por lo que esto produce pérdidas de agua y la propagación de enfermedades transmitidas por la misma (FAO, 2010).

Siendo el agua uno de los factores más importantes para el desarrollo de las plántulas su carencia constituye una de las principales fuentes de estrés por lo que la ejecución de este proyecto se fundamenta en la evaluación del crecimiento de plántulas en invernadero con la humedad controlada. El riego es clave para asegurar una producción estable y sostenible en las plántulas de café, por lo que el riego suplementario a menudo es necesario para satisfacer las necesidades de agua del café en diferentes etapas de crecimiento.

El crecimiento es afectado por la disponibilidad hídrica; la humedad del suelo es uno de los factores que más influye en el cultivo de café, ya que se considera que cuando se tiene índices de humedad de suelo entre 1,0 y 0,8 no existen limitaciones del crecimiento por deficiencias de agua en el suelo; entre 0,8 y 0,6 hay deficiencia moderada y puede ocurrir alguna limitación del crecimiento; para valores inferiores a 0,6 se presenta deficiencia de agua que si se prolonga por mucho tiempo afecta el crecimiento de la planta (Cenicafe, 2012).

El manejo adecuado del suministro de agua posibilitará ahorro de agua y crecimiento en la máxima expresión morfológica de los cultivos reduciendo los costos de inversión en el uso del agua; más aún si se considera que en el futuro el agua será un recurso cada vez más escaso.

En Ecuador y particularmente en la provincia de Loja, no se han encontrado referencias que informen de estudios enfocados en determinar diferentes frecuencias de riego en el crecimiento de plántulas de café. Por lo antes mencionado se planteó la siguiente investigación con base en los siguientes objetivos.

3.1. Objetivos

3.1.1. Objetivo general

- Determinar el efecto de la aplicación de diferentes frecuencias de riego en el crecimiento de las plántulas de café (*Coffea arábica* L.) en condiciones de invernadero en la Quinta Experimental La Argelia.

3.1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades físicas del sustrato en plántulas de café (*Coffea arábica* L.) bajo condiciones de invernadero.
- Describir el crecimiento de plántulas de café (*Coffea arábica* L.) con la aplicación de tres frecuencias de riego en condiciones de invernadero.
- Determinar la frecuencia de riego óptima para el crecimiento de plántulas de café (*Coffea arábica* L.) en condiciones de invernadero.

4. Marco teórico

4.1. Generalidades del cultivo del café

El café representa una actividad con importancia económica a nivel mundial considerándose el cultivo de mayor importancia agrícola, incidiendo notoriamente en la economía de los países en desarrollo como producto de exportación. Es reconocido como producto bandera por su importancia económica, ecológica, social y por ser uno de los principales productos de agroexportación, del cual dependen más de 200 mil familias de pequeños y medianos productores (INIA, 2011).

4.2. Clasificación taxonómica del café

El café es una planta arbustiva perenne que se da en el trópico del planeta, la taxonomía del café puede considerarse de la siguiente manera:

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Rubiales
Familia:	Rubiáceas
Genero:	<i>Coffea</i>
Nombre científico:	<i>Coffea arabica</i> L.

Fuente: (Alvarado & Rojas 2007).

4.3. Descripción morfológica

La especie de café más extensamente cultivada en el mundo es el *Coffea arabica* L. Por tal razón ha sido seleccionada para describirla morfológicamente en este escrito. Aunque los cafetos de la especie arábica generalmente se clasifican como arbustos en otras especies estos pueden denominarse árboles. Los arbustos y árboles de café son del tipo perenne, leñoso y de un tallo resistente cubierto de corcho ((FUNDESYRAM, 2010).

- **Raíz**

El sistema radical del café es relativamente superficial, encontrándose el 52% de las raíces absorbentes en los primeros 10 centímetros de profundidad; el 80% de ellas en los primeros 30 centímetros de suelo; y el 96% en los primeros 50 centímetros de profundidad del suelo (Arcila et al., 2007). La planta del café tiene intrincadas raíces en la parte inferior del tallo, a pocos centímetros de profundidad. Entre esta compleja estructura se encuentra la raíz principal: una más larga y gruesa que va de forma vertical desde el final del tallo hasta el final de la raíz (Monroig, 2010).

- **Hojas**

Las hojas de la planta de café, al igual que sus frutos, cambian de color según la etapa en la que estén. Al comienzo, son de color verde claro, pero luego ese tono se oscurece con el tiempo. Las hojas del cafeto son cruciales para su supervivencia. Esto se debe a que son las hojas las que forman la planta y le dan su estructura (Flores et al., 2013).

- **Tallo**

El crecimiento de la parte aérea del cafeto se genera a partir de las células meristemáticas ubicadas en el ápice del tallo y de las yemas apicales en las ramas. El ápice del tallo es el responsable de la formación de nudos, hojas y del crecimiento en altura de la planta (crecimiento ortotrópico) y en el ápice de las ramas ocurre la formación de nudos, hojas y la expansión lateral de la planta (crecimiento plagio trópico) (Arcila et al., 2007). El tallo es leñoso, erecto y de longitud variable de acuerdo con el clima y el tipo de suelo; en las variedades comerciales varía entre 2 y 5 m de altura (Alvarado & Rojas, 2007).

- **Ramas**

Las ramas laterales primarias se originan de yemas en las axilas de las hojas en el tallo central. Estas ramas se alargan continuamente y son producidas a medida que el eje central se alargay madura. Las ramas primarias plagiotrópicas dan origen a otras ramas que se conocen comosecundarias y terciarias En estas ramas se producen hojas, flores y frutos. Si a una rama lateralse le poda su ápice, no se induce la formación de otras ramas laterales en la misma axila, o sea, no tiene poder de renovación (Flores et al., 2013).

En el caso de la propagación vegetativa, si se enraíza o se injerta una rama ortotrópica se obtiene una planta normal; de lo contrario, si fuere una rama plagiotrópica se obtendrá una planta baja y compacta con sólo ramas laterales. Es decir, que una rama plagiotrópica no da origen a una rama ortotrópica. Esta diferencia es de mucha importancia práctica cuando se propaga por injertos o esquejes y cuando se aplican los sistemas de poda. (Sotomayor, 2012).

4.4. Reproducción del cafeto

El cafeto se lo propaga sexualmente mediante el empleo de semilla producto de la autofecundación; es la manera de propagación comúnmente utilizada en nuestro medio. Además, puede propagarse asexualmente por estaca, injertos de yemas y mediante el empleode cultivos de tejidos in vitro (micro estacas, embriogénesis somática y cultivo de ápices). Esta última técnica de reproducción asexual se realiza a partir de pequeñas secciones de tejidovegetal, denominadas explantes (Monroig, 2010).

4.5. Crecimiento y desarrollo del café

El crecimiento de la planta de café se genera a partir de células meristematicas ubicadas en el ápice del tallo y las ramas y en las axilas de las hojas. A partir de estos meristemas se desarrollan los primordios de nudos, hojas y del crecimiento en altura de la planta.

A los dos meses después de la germinación, la planta forma el primer par de hojas verdaderas y luego, en la fase de almácigo, la planta adquiere de seis a ocho pares de hojas verdaderas. El primer par de ramas se forma entre los siete y los ocho meses aproximadamente, y a partirdel momento de la siembra en el sitio definitivo, la planta comienza la formación de las ramasque van a ser responsables de la producción (Arcila et al., 2010).

En el tallo, un par de hojas o un nudo se origina en promedio cada veinticinco o treinta días, en un año se forman aproximadamente de doce a catorce pares de ramas primarias o cruces. En general, el crecimiento es más activo cuando hay buen suministro de energía solar, agua y nutrientes, encontrándose que un aumento de la radiación (plena exposición solar) induce la formación de plantas más bajas, en las cuales ha ocurrido mayor diferenciación y que son más productivas, mientras que la sombra estimula la formación de plantas más altas con menor diferenciación y menos productivas (Arcila et al., 2007).

4.6. Tipos de crecimiento vegetal

El crecimiento de los diferentes órganos de las plantas, es un proceso fisiológico complejo, que depende directamente de la fotosíntesis, la respiración, la división celular, la elongación, la diferenciación, entre otros, y que además está influenciada por factores como temperatura, intensidad de luz, densidad de población, calidad de la semilla, disponibilidad de agua y de nutrientes. Un primer nivel de estudio, el crecimiento de las plantas, se centra en el aumento de materia seca en el tiempo (Barrera et al., 2010).

4.6.1. Crecimiento vegetal

El crecimiento se define como un aumento en volumen, el componente principal del crecimiento de las plantas es la expansión. La célula está controlada por la presión de hinchamiento. El crecimiento celular lento en el meristema apical y más allá rápidamente en las subregiones. El aumento de masa resultante puede ser devastador desde unas pocas veces hasta 100 veces, según el tipo y el entorno. La tela no es uniforme ni aleatoria. Las células derivadas de meristemas se convierten en ubicaciones específicas predecibles, así como patrones de expansión en esas áreas. Las inclusiones secundarias determinan el tamaño y la forma del cuerpo primario de la planta. (Tognetti, 2016).

El crecimiento es uno de los procesos más sensibles a la sequía fisiológica, esto se debe a la reducción de la presión de turgencia. La expansión celular solo puede ocurrir cuando la presión de la incubadora por encima del umbral de rendimiento de la pared celular. Prevenir el

fuerte estrés hídrico mediante la medición de la expansión y el crecimiento celular debido a la reducción de la presión de turgencia. (Benedetto, 2016).

Taiz (2006), indica que las células aumentan de tamaño lentamente en el meristemo apical y más rápidamente en las regiones subapicales. El aumento de volumen resultante puede asolar entre unas pocas y hasta 100 veces, dependiendo de la especie y entorno. El crecimiento del tejido no es uniforme ni al azar. Las células derivadas de los meristemos se expanden en los sitios predecibles y de manera específica, y los patrones de expansión en estas regiones subapicales determinan el tamaño y forma del cuerpo vegetal primario.

La altura es importante porque indica el crecimiento ortotrópico de la planta, lo que va a proporcionar bandolas que garantizaran la producción en los próximos años. El crecimiento es uno de los procesos más sensibles a la sequía fisiológica, debido a la reducción de la presión de turgencia. La expansión de células sólo puede ocurrir cuando la presión de turgencia es mayor que el umbral de rendimiento de la pared celular. El estrés hídrico suprime en gran medida la expansión celular y el crecimiento celular debido a la presión de turgencia baja (Sánchez, 2008).

4.6.2. Medición del crecimiento vegetal

El crecimiento se mide por el cambio en el peso fresco, es decir, el peso del tejido vivo en periodos de tiempo específicos. A pesar de ello, el peso fresco de las plantas varía de acuerdo al estado hídrico del sustrato y es un mal indicador del crecimiento de la planta. El análisis de crecimiento es una estimación cuantitativa la que usa datos netamente básicos para realizar una descripción de las plantas. El patrón de crecimiento de un organismo se representa mediante una curva sigmoide las cuales son tres fases:

- Fase de retardación: ocurre cuando las plantas comienzan a perder masa seca durante el proceso de germinación. A medida que se desarrolla el embrión se van agotando las reservas de la semilla.
- Fase logarítmica: en ella el crecimiento se da rápidamente y de forma lineal.
- Fase de envejecimiento: el crecimiento comienza a decrecer disminuyendo por ende la masa seca. (Paine et al., 2012).

4.7. Estados principales del crecimiento

Según la escala BBCH ampliada incluye 10 estados principales los cuales se codifican de 0 a 9 y se inician con la germinación de la semilla o el desarrollo de brotes en las estacas. La germinación tiene una duración de aproximadamente 9 semanas. Después de la primera semana se completa la inhibición y la semilla aparece hinchada, de color blanquecino y la radícula no es visible. Después de 3 semanas se observa que la radícula brota de la semilla y aparece curvada. Luego hay elongación de la radícula y empiezan a formarse los pelos de la raíz. A las 7 semanas cerca del 90% de los hipocotíleos emergen del suelo y se observan los cotiledones encerrados en el pergamino (Arcila et al., 2001).

4.8. Factores de la fisiología del café

- **Temperatura**

Las temperaturas altas inhiben el crecimiento del cafeto, porque a los 24 °C la fotosíntesis comienza a decrecer y se hace casi imperceptible a los 34 °C. Por esta razón, en las zonas muy calientes la sombra es un factor muy importante para moderar las altas temperaturas que producen los rayos directos del sol.

Varios autores han demostrado que las hojas tienen mecanismos por los cuales pueden disminuir el incremento de la temperatura que provoca exceso de energía lumínica. Este grupo de investigación ha obtenido evidencia indirecta de que el carotenoide de la hoja actúa como mediador en la disminución del exceso de energía. Este carotenoide, se forma rápidamente de otro carotenoide al momento en que se provoca un estímulo de exceso de energía, que puede ser causado por varios factores como alta intensidad lumínica, la falta de agua que provoca una baja en la función fotosintética, o algún otro tipo de estrés con el mismo efecto como la falta de anhídrido carbónico CO₂ (Sotomayor, 2011).

- **Precipitación**

La cantidad de lluvia necesaria para un buen cultivo es un asunto algo controversial, pues los límites de máximo a mínimo varían mucho dependiendo de varios factores como temperatura estructura del suelo, pendiente, drenaje, tipo de asociación, etc., que hace muy variables estas cifras. De un estudio de varios artículos científicos al respecto, se puede concluir que los límites

bajos para un buen desarrollo del cafeto fluctúan de 760 a 1780 mm bien distribuidos, mientras los límites altos varían de 990 a 3.000 milímetros. Bajo ambas condiciones, el factor más importante es la adecuada distribución, pues el período seco ideal debe estar alrededor de los 3 meses, variando también debido al suelo, temperatura, etc. Cuando hay lluvias muy intensas que rompen estos periodos secos, entonces la planta desequilibra su fisiología y pueden ocurrir efectos negativos, como una floración fuera de época (Sotomayor, 2011).

- **Evapotranspiración**

La evapotranspiración local es uno de los factores que más influencia tiene de la humedad relativa. Esta a su vez depende de varios factores entre los que se destaca la temperatura que también influye sobre la presión de vapor. Aparentemente la humedad relativa ideal es variable para cada especie o variedad de café. Se dice que para "Arábica" varía del 70 al 95 %, mientras que para los "Robustas" de 80 a 90 por ciento. En general, se prefiere una Humedad Relativa baja para un mejor cultivo del cafeto, pues se conoce que la Humedad Relativa tiene una fuerte influencia sobre el desarrollo de enfermedades fungosas y la proliferación de plagas. Si la humedad relativa es alta permanentemente, entonces, los problemas sanitarios pueden ser los limitantes más fuertes para un alto rendimiento, como sucede en el país en las estribaciones de las cordilleras tanto oriental como occidental o en lugares por efecto a la cantidad de lluvia (Huertas, 2008).

4.7. Contenido de humedad

El contenido de humedad de una planta se visualiza en la representación de la absorción y la transpiración y esto se refleja en un balance integrado, el cual está en un estado de cambio durante el día. La diferencia entre la absorción de agua y la pérdida de humedad, crea tensión hídrica, la cual es una condición fisiológica normal durante las horas del día; si se permite que esta tensión alcance niveles extremos durante largos periodos, la tasa de crecimiento de la planta se reduce y eventualmente esta muere. En los viveros forestales que producen en contenedor, la tensión hídrica de las plantas se mantiene a niveles bajos durante la etapa de cultivo, mediante el uso de riego para estimular el crecimiento (Abab, 2015).

4.9. Frecuencia de riego

La frecuencia y la cantidad de riego están dadas por las necesidades hídricas de cada especie, el tipo de contenedor, sustrato utilizado y la combinación de estos. Los riegos se deben aplicar en cantidad suficiente para saturar el sustrato y permitir una pequeña lixiviación (10 % aproximadamente) de modo que arrastre las sales sobrantes de la solución del medio de cultivo. Diversos autores señalan que el agua de riego se puede manejar según la fase de desarrollo de las plantas (Escobar, 2007):

- **Fase de establecimiento:** El sustrato debe humedecerse al colocarse en el área de cultivo y debe manejarse sólo para compensar el agua perdida por evaporación en la parte superior del contenedor que es la principal pérdida en esta fase, por lo que se suelen dar riegos cortos y frecuentes (Escobar, 2007).

Los principales errores en esta etapa es que se suele mantener un riego con alta frecuencia (hasta dos veces al día) con baja intensidad, por más tiempo del requerido.

- **Fase de crecimiento rápido:** El consumo de agua en este periodo es superior al que podría deducirse de la aplicación de las fórmulas de evapotranspiración potencial. El cálculo de las necesidades de riego, debe considerar la necesidad de los lavados entre fases de fertilización. Durante esta fase se debiera utilizar un tamaño de gota mayor al de la fase anterior y los tiempos de riego deben ser más prolongados para dejar al sustrato en capacidad de contenedor (Abab, 2015).
- **Fase de endurecimiento:** La reducción de la frecuencia y cantidad de riego en esta etapa del manejo de las plantas es muy importante para detener su crecimiento, endurecerlas o forzar la aparición de yemas. En esta fase hay que tener cuidado con la falta de uniformidad del riego. Además de la disminución del riego como herramienta para endurecer las plantas se utiliza la disminución brusca del nitrógeno en el fertirriego, así como la reducción de las fertilizaciones a la mitad hasta desaparecer al final del periodo de endurecimiento (Abab, 2015).

4.10. Propiedades físicas del suelo

- **Estructura del suelo:** Las partículas texturales del suelo como arena, limo y arcilla se asocian para formar agregados y a unidades de mayor tamaño nombrados por pedasos. La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. El agua es el componente elemental que afecta la estructura del suelo con mayor importancia debido a su solución y precipitación de minerales y sus efectos en el crecimiento de las plantas (FAO,2022).
- **Textura del suelo:** La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades (FAO, 2022).
- **Densidad del suelo:** Se refiere al peso por volumen del suelo. Existen dos tipos de densidad, real y aparente. La densidad real constituye la densidad de la fase sólida del suelo. Es un valor muy permanente pues la mayor parte de los minerales arcillosos presentan una densidad que está alrededor de 2.65 gramos por centímetro cúbico. La densidad aparente refleja la masa de una unidad de volumen de suelo seco y no perturbado, para que incluya tanto a la fase sólida como a la gaseosa englobada en ella.

Una densidad aparente alta indica un suelo compacto o tenor elevado de partículas granulares como la arena. Una densidad aparente baja no indica necesariamente un ambiente favorecido para el crecimiento de las plantas (León, 2011).

- **Porosidad del suelo:** La porosidad total se refiere a todo el espacio que no está ocupado por fracciones sólida, mineral u orgánica; diferentemente si este está ocupado por agua o por aire en el momento del muestreo (Castillo, 2005). Los macroporos no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje,aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los micro poros retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas (FAO, 2022).

4.12. El agua en el suelo

Según Thompson y Troeh (2002), la presencia de agua en el suelo es vital para el crecimiento de las plantas, no solo porque éstas necesitan de aquella para realizar sus procesos fisiológicos, sino que también porque el agua contiene nutrientes en solución. La capacidad del suelo para almacenar agua depende de su profundidad, textura, estructura y otras propiedades fundamentales.

Se divide en subdivisiones como:

4.12.1. Saturación

Es el grado en el cual todos los poros están llenos de agua, si se permite que un suelo saturado drene libremente, el contenido de agua comienza a descender vaciándose los poros mas grandes los cuales son ocupados por aire (Fuente, 2006).

4.12.2. Capacidad de campo

Es cuando el perfil del suelo esta lleno de agua y alcanza la capacidad de campo, se dice que este perfil esta al 100% de su contenido. En el punto de capacidad de campo existe una tensión de 0,1 bar es ahí cuando el agua no es retenida por las partículas del suelo y es fácil para las plantas extraer agua. Es decir que a medida que las plantas agotan el agua, la tensión en el suelo aumenta. (Edward,2010).

4.12.3. Punto de marchitez permanente

Es el contenido de humedad del suelo al cual las plantas no logran extraer agua para compensar sus necesidades de transmisión, manifestándose así síntomas de marchitamiento como caída de hojas, escaso desarrollo o crecimiento. Este punto se logra cuando la tensión del agua en el suelo alcanza entre 10 y 15 bars (Hidalgo 2008).

4.12.4. Agua útil

Es la cantidad de agua comprendida entre los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente y comprende la humedad del suelo que puede ser utilizada por los cultivos (Fuente 2006).

- **El agua gravitacional o agua drenable**

Es aquella que drene libremente del suelo debido a la fuerza de gravedad. Ocupa un límite por encima de la capacidad de campo, por lo que en presencia de suelos bien drenados, esta agua drene sin causar daño directo a las plantas. El límite superior corresponde al estado de saturación, en el cual el agua ocupa toda la porosidad. Aunque el agua gravitacional

permanece períodos cortos en suelos bien drenados, puede ser disponible para las plantas, si durante ese tiempo el suelo tiene una aireación adecuada (Calvache, 2002).

- **El agua disponible o agua capilar**

Es la porción de agua almacenada en el suelo que puede ser absorbida por las raíces de las plantas para su crecimiento, desarrollo y producción; es la parte de la humedad total retenida entre la capacidad de campo y el punto de marchitez. El agotamiento de la humedad del suelo no es lineal, sino exponencial. A medida que disminuye la humedad, aumenta el esfuerzo o succión que necesita realizar la planta para extraer agua, por ese motivo algunos autores dividen la reserva hídrica del suelo en fácilmente aprovechable y difícilmente disponible (cierre progresivo de estomas debido al déficit hídrico) (Calvache, 2002).

5. Metodología

5.1. Ubicación

El trabajo de investigación se realizó en la Quinta Experimental de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, ubicada en el sector Sur Occidental de Loja, con las siguientes coordenadas.

Longitud: 79° 12'40''

Latitud: 04° 02'47'' a 04° 02'32'' S

Altitud: 2235 m s n m

5.2. Condiciones climáticas

Según datos registrados las principales características meteorológicas del sitio de la investigación son las siguientes:

- **Humedad relativa:** 40 %
- **Temperatura media:** 26°C

5.3. Metodología general

5.3.1. Tipo de investigación

Se realizó una investigación de tipo experimental, con enfoque cuantitativo y alcance descriptivo y causal, recopilando datos correspondientes para los respectivos análisis estadísticos para establecer resultados y conclusiones generalizadas y específicas.

5.3.2. Diseño experimental

Se utilizó un diseño con distribución completamente aleatorizada; este diseño se utilizó considerando a cada parcela como una población, cuyos resultados obtenidos por el muestreo se generalizaron para toda la población.

5.3.2.1. Descripción de tratamientos

Tabla 1. Descripción de los tratamientos referente a las diferentes frecuencias de riego del sustrato.

Frecuencia		Repeticiones
T1	Riego cada 4 días	4
T2	Riego cada 6 días	4
T3	Riego cada 8 días	4

5.3.2.1. Esquema del diseño experimental

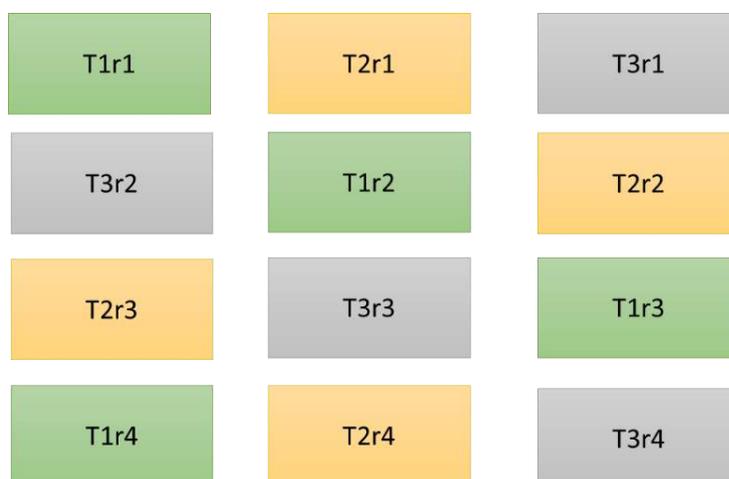


Figura 1. Diseño muestral probabilístico completamente al azar, tomando como muestra 15 plántulas de café por cada una de las repeticiones (r1-r4) en cada uno de los tratamientos (T1 = riego cada 4 días, T2 = riego cada 6 días, T3 = riego cada 8 días) en las Quintas Experimentales La Argelia, Loja.

Para la evaluación se establecieron 12 parcelas, cada una con 15 plántulas de café (*Coffea arabica* L) de la variedad típica obteniendo 180 plántulas en el lote de investigación. (Figura 1).

5.3.3.3. Hipótesis Estadística

Ho: El efecto de las tres frecuencias de riego del sustrato en el crecimiento y fisiología de las plántulas es igual al nivel de significancia de 5%.

H1: El efecto de las tres frecuencias de riego del sustrato en el crecimiento y fisiología de las plántulas son diferentes al nivel de significancia de 5%.

5.4. Análisis estadístico

Los datos que se obtuvieron fueron analizados con el software estadístico InfoStat. Primero, se realizó el análisis de supuestos para determinar si existe distribución normal de los datos en cada variable evaluada. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza, para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos para lo que se aplicó un Test de Tukey (95%) para determinar el mejor tratamiento.

5.5. Metodología General

5.5.1. Preparación del sustrato para las bolsas

Se procedió a preparar el sustrato en una proporción 1:1:1 (tierra agrícola, arena, turba) estamezcla permitió tener un sustrato con características físicas requeridas para el buen desarrollo de las plántulas de café, para posteriormente desinfectarlo con Terracloro (1g/L) (Anexo 2).

5.4. Trasplante

Para el establecimiento del cultivo se utilizaron 180 plántulas de café arábica variedad típica en estado de chapola se realizó el trasplante en bolsas de polietileno de 15x30 cm, las cuales fueron llenadas previamente con el sustrato preparado (Anexo 1).

5.5. Determinación de la lámina de agua

Se determinó la lámina de riego a aplicarse en todos los tratamientos, a partir de la siguiente fórmula:

$$Lam = \frac{CH}{100} * da * profundidad\ radical$$

En donde:

Lam = lámina de agua

da = densidad aparente del sustrato

Posteriormente se transformó a volumen (ml), previo el cálculo de la superficie de la bolsa, para ello se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$V = S * Lam \quad S = \pi * D^2 / 4$$

En donde:

V = volumen

S = superficie de la funda

Lam = lámina de agua

D = diámetro de la bolsa

5.5. Metodología para el primer objetivo

- Caracterizar las propiedades físicas del sustrato en plántulas de café (*Coffea arabica* L.) bajo condiciones de invernadero.

Las propiedades físicas del sustrato se caracterizaron al inicio de la investigación. Para determinar la capacidad de campo del sustrato se utilizó el método gravimétrico, el cual se lo realizó de la siguiente manera mencionada por Jiménez (2016):

- Se colocó una muestra del sustrato utilizado, se procedió a saturarlo con agua.
- Se pesó la muestra obteniendo así el peso húmedo.
- Se colocó la muestra en la estufa a 105 °C por un lapso de 24 horas, transcurrido este tiempo se pesó y se determinó el peso seco (Anexo 5).

Una vez obtenidos los datos de peso tanto húmedo como seco se procedió a determinar el contenido de humedad mediante la siguiente fórmula:

$$CC (\%) = \frac{W_m}{W_s} \times 100$$

CC: contenido de humedad

Wm: peso húmedo

Ws: peso seco

La diferencia del peso húmedo y seco es el contenido de humedad del sustrato en el momento de muestreo.

Para la determinación del PMP se lo realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{PMP (\%)} = \frac{(\text{peso húmedo} - \text{Tara}) - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}}$$

5.2. Metodología para el segundo objetivo

- Describir el crecimiento de plántulas de café (*Coffea arabica* L.) con aplicación de tres frecuencias de riego del sustrato en condiciones de invernadero.

Las variables de crecimiento se evaluaron cada 30 días. Estas variables fueron evaluadas hasta 6 meses después del trasplante.

- **Altura de la planta**

La altura de la planta se evaluó mediante la utilización de una regla graduada, la medición se la realizó a partir del cuello de la planta hasta el ápice de la hoja los datos que se obtuvieron fueron expresados en centímetros (cm) (Anexo 4).

- **Diámetro del tallo**

Para la medición del diámetro del tallo se utilizó un calibre digital tomando el dato en el cuello de las plántulas, estos datos son expresados en milímetros.

- **Área foliar**

Para la determinación del área foliar se utilizó medidas lineales de las hojas, largo y ancho máximo, estos datos se expresaron en cm². Para calcular el área foliar se utilizó la siguiente fórmula (Soto, 1980):

$$AF = 0,64 \times (Lh \times Ah) + 0,49$$

En donde:

AF = área foliar

Lh = largo máximo de la hoja

Ah = ancho máximo de la hoja

0,64 = coeficiente de corrección

0,49= coeficiente de corrección

- **Masa seca de la parte aérea y radical**

La determinación de esta variable se la realizó al final de la fase experimental para lo que setomaron 5 muestras por unidad experimental, posteriormente se procedió a cortar en la base del cuello de la planta, se etiquetó cada una de las muestras y; posteriormente se llevaron las muestras a la estufa a una temperatura de 75 °C durante 72 horas. Finalmente se sacaron las muestras de la estufa y se pesó la parte aérea (tallo y hojas) y la parte radical (la raíz) (Anexo 8).

- **Masa seca total**

Se la determinó sumando los pesos de la parte aérea y radical de la plántula estos datos fueron expresados en gramos. La fórmula que se utilizó fue:

$$Ms = \frac{Pf - B}{Pf} * 100$$

Donde:

Ms= materia seca

Pf= peso fresco

Ps= peso seco

- **Clorofila**

Para determinar el contenido de clorofila fue realizada mediante el dispositivo SPAD, donde se etiquetó tres plantas por unidad experimental, se tomaron los datos de tres hojas a las cuales se les sacó un promedio, esto se realizó cada semana al medio día (Anexo 7).

- **Densidad estomática**

Para determinar la densidad estomática se aplicó la técnica de la impronta para lo que se obtuvieron impresiones epidérmicas de las hojas completamente maduras; la técnica consistió en

la aplicación de barniz de uñas transparente en un área pequeña cerca de 0,5 x 0,4 mm, el valor de 0,4 mm correspondió a la banda en la zona central del envés de la hoja (Salas et al., 2001). Después de que el barniz se secó, por aproximadamente 90 s, la capa fue removida con cinta adhesiva y montada en un portaobjetos. Se tomó muestras representativas de cada hoja y se observaron 8 campos en un microscopio con el objetivo 40X. Con dicha información se calculó la densidad estomática, de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$DE = (0,5 * 0,4) * N^{\circ} \text{ de estomas}$$

Donde:

DE = densidad estomática

N° de estomas = número de estomas (Anexo 9).

- **Conductancia estomática**

Para la medición de la conductancia estomática se utilizó un porómetro tomando el dato de dos plantas por unidad experimental, estos datos son expresados en mmol/m²s.

5.3. Metodología para el tercer objetivo

- Determinar la frecuencia de riego óptima para el crecimiento de plántulas de café (*Coffea arabica* L.) en condiciones de invernadero.

El riego se lo realizó cada 4, 6 y 8 días. La lámina de agua a reponer fue tomada en cuenta en función de la demanda hídrica que necesito la planta.

Al final de la fase experimental se realizó una comparación estadística entre tratamientos (variable independiente) y el desarrollo de las plantas (variable dependiente) para determinar

la mejor frecuencia de riego bajo condiciones de invernadero.

Los datos fueron procesados mediante el análisis de varianza simple (paramétrico o no paramétrico si se cumplen los supuestos), con la utilización del programa Infostat y Microsoft Excel.

6. Resultados

6.1. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente

En base al análisis realizado por el método gravitatorio la capacidad de campo obtenida fue de 25%. Con respecto al punto de marchitez permanente es de 12%.

6.2. Densidad aparente

Se determinó que la densidad aparente del sustrato utilizado fue de 0,89 g/cm³, aplicando la fórmula: masa seca del sustrato (86,09 g) sobre el volumen total del cilindro (95,81 cm³).

6.3. pH

En base en el análisis realizado de pH del sustrato utilizado fue de 7,1.

6.4. Altura y diámetro del tallo

De acuerdo al análisis estadístico realizado la altura y el diámetro del tallo en plántulas de café no existen diferencias significativas entre los tratamientos (pvalue = 0,59; $p > 0,05$); además, el tratamiento con frecuencia de riego cada seis días logró un mayor crecimiento tanto en altura como en diámetro del tallo, seguido del T3 (riego cada 8 días); sin embargo, el tratamiento T1 (riego cada 4 días) obtuvo los valores más bajos en las variables de estudio.

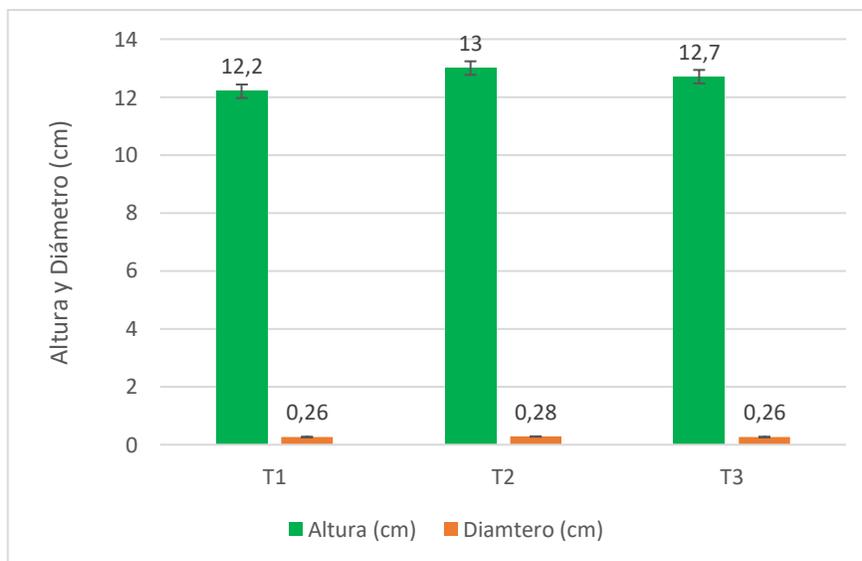


Figura 2. Efecto de tres frecuencias de riego en la altura y diámetro del tallo en plántulas de café.

6.5. Área foliar

En la figura 3 se muestra el área foliar, en donde no hay diferencia significativa entre tratatamientos ($pvalue=0,50$; $p > 0,05$); sin embargo, el tratamiento T2 logró un mayor crecimiento en cuanto al área foliar, seguido del tratamiento T1; por lo contrario, el tratamiento T3 obtuvo el promedio más bajo.

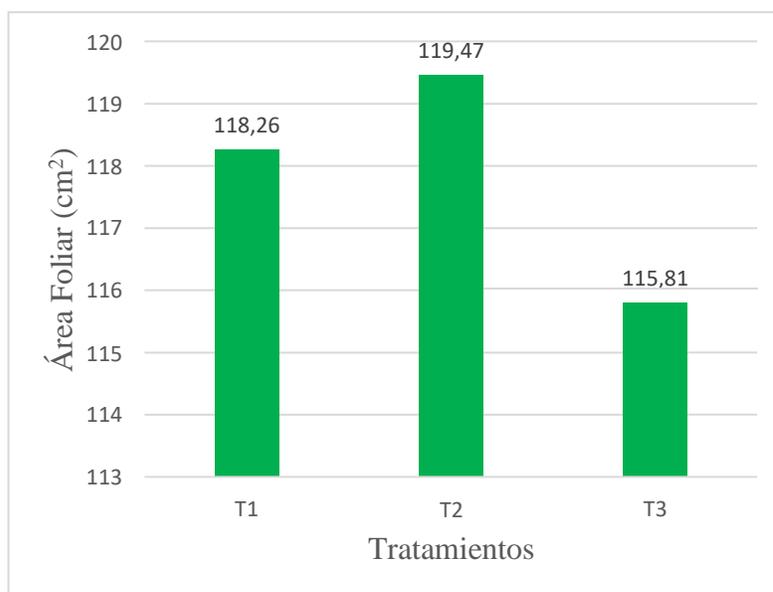


Figura 3. Medidas del área foliar total en plántulas de café.

6.5. Número de hojas

En cuanto al número de hojas en los diferentes momentos de evaluación, no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos ($pvalue = 0,79$; $p > 0,05$); además se observó que a los (30 DDT) existieron un numero de 2 hojas en todos los tratamientos, 4 hojas a los (60 DDT), 6 hojas a los 90 DDT, 8 hojas a los 120 DDT y 10 hojas a los 150 DDT (Tabla 1).

Tabla 2. Número de hojas de plántulas de café según aplicación de diferentes frecuencias de riego.

N° hojas					
Tratamientos	30 DDT	60 DDT	90 DDT	120 DDT	150 DDT
T1	2	4	6	8	10
T2	2	4	6	8	10
T3	2	4	6	8	10

6.6. Contenido de clorofila

Con respecto al contenido de clorofila no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($pvalue = 0.61$) respectivamente; $p > 0,05$), sin embargo, los tratamientos T2 (riego cada 6 días) y T1 (riego cada 4 días) obtuvieron mayores valores respectivamente sin diferencias significativas entre sí; el menor valor se presentó en el T3 (riego cada 8 días).

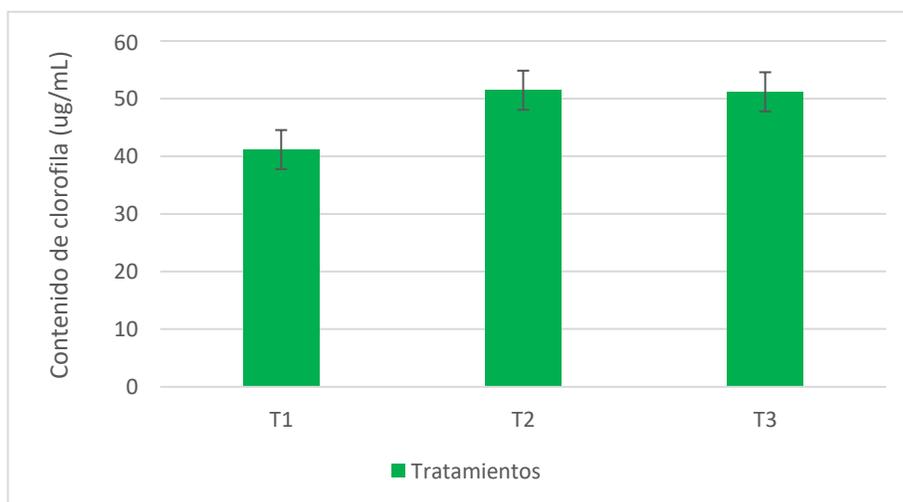


Figura 4. Efecto de la aplicación de diferentes frecuencias de riego en el contenido de clorofila en plántulas de Café.

6.7. Densidad estomática

En la figura 5 se muestra la densidad estomática a los 90 y 150 DDT. El tratamiento T3 logró una mayor densidad estomática por mm²; seguido del tratamiento T1; los menores valores se presentaron en los tratamientos T2, los mismos que no se diferenciaron significativamente entre sí.

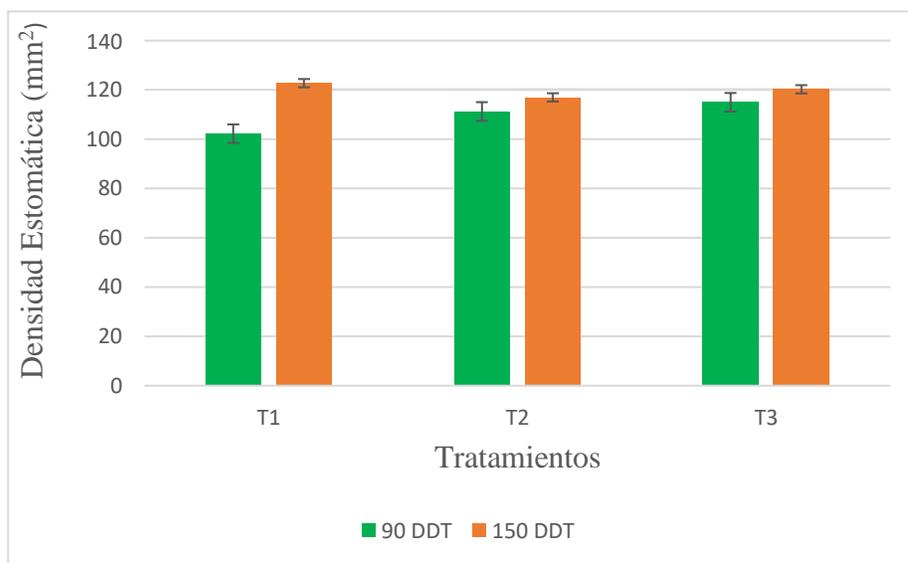


Figura 5. Efecto de tres frecuencias de riego en la densidad estomática de plántulas de café.

6.8. Conductancia estomática

En la figura 6 se muestra la conductancia a los 90 y 150 DDT. Donde no se encontraron diferencias significativas en los momentos de evaluación ($pvalue = 0,64; 0,06$; respectivamente; $p > 0,05$). La aplicación del tratamiento T2 (riego cada 6 días) mejoró sustancialmente la conductancia estomática en las plantas de café, en todos los casos los valores fueron superiores ante los demás tratamientos. Sin embargo, donde se aplicó el tratamiento T1 (riego cada 4 días) y T3 (riego cada 6 días) se presentaron los valores más bajos.

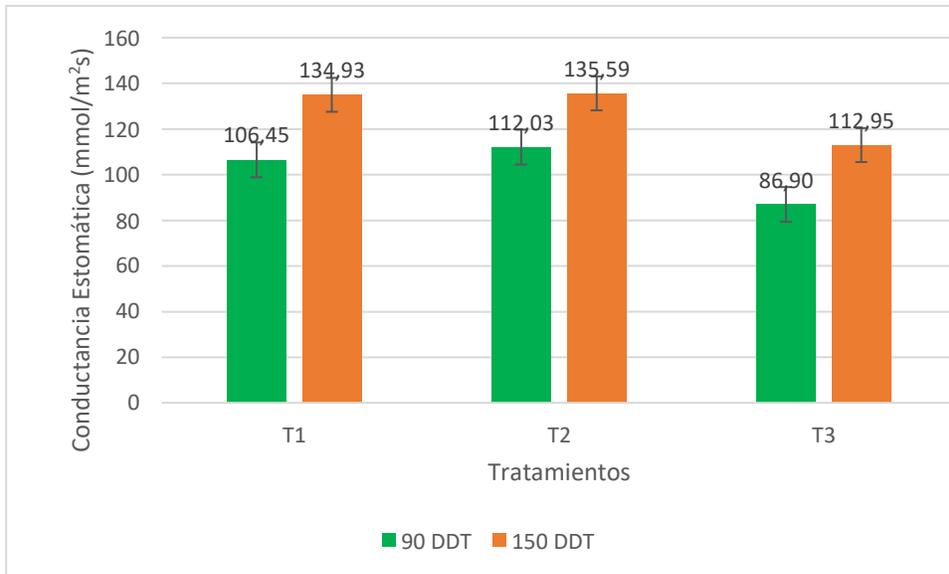


Figura 6. Efecto de tres frecuencias de riego en la conductancia estomática de plántulas de café.

6.9. Contenido de humedad del sustrato

El contenido de humedad en el primer y último muestreo el tratamiento T1 fue mayor a diferencia de los T2 y T3. El volumen de agua acumulado en cada una de las plántulas evaluadas en los tratamientos se incrementó en función de la profundidad radical, aplicando así un mayor volumen en el T1 durante los tres momentos de evaluación. Las frecuencias aplicadas en las plántulas evaluadas en cada uno de los tratamientos se incrementaron en función a la profundidad radical aplicándose una mayor frecuencia en el tratamiento T1 y una menor frecuencia en el T3 durante los momentos de evaluación.

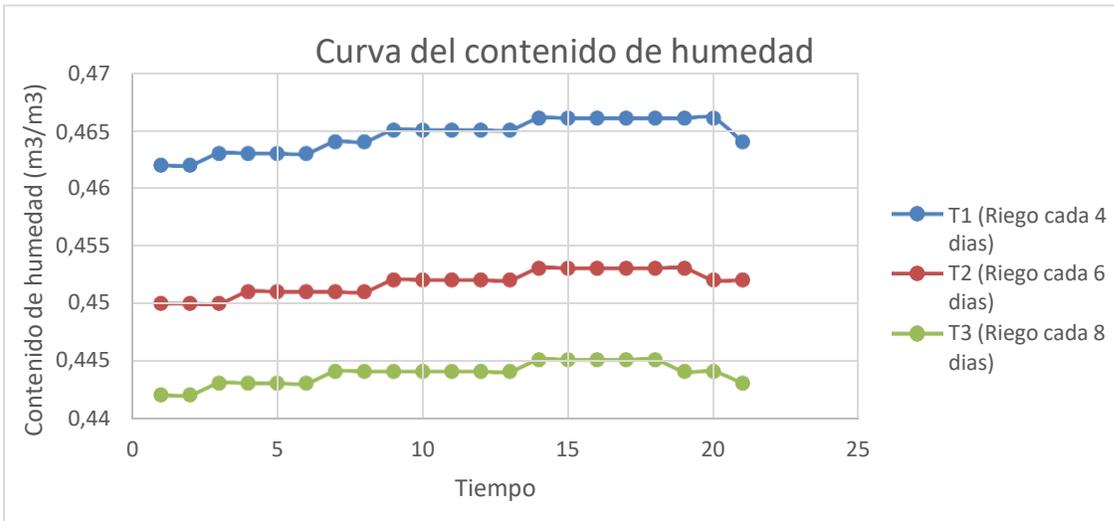


Figura 7. Medidas del contenido de humedad existente en las plántulas evaluadas.

6.10. Masa seca de la parte aérea y radical

El tratamiento T1 (riego cada 4 días) logró un mayor peso en cuanto a masa seca de la parte aérea y radical, seguido del tratamiento T2 (riego cada 6 días); el menor valor se presentó en el tratamiento T3 (riego cada 8 días), pese a la diferencia de datos no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($pvalue = 0,42$; $p > 0,05$).

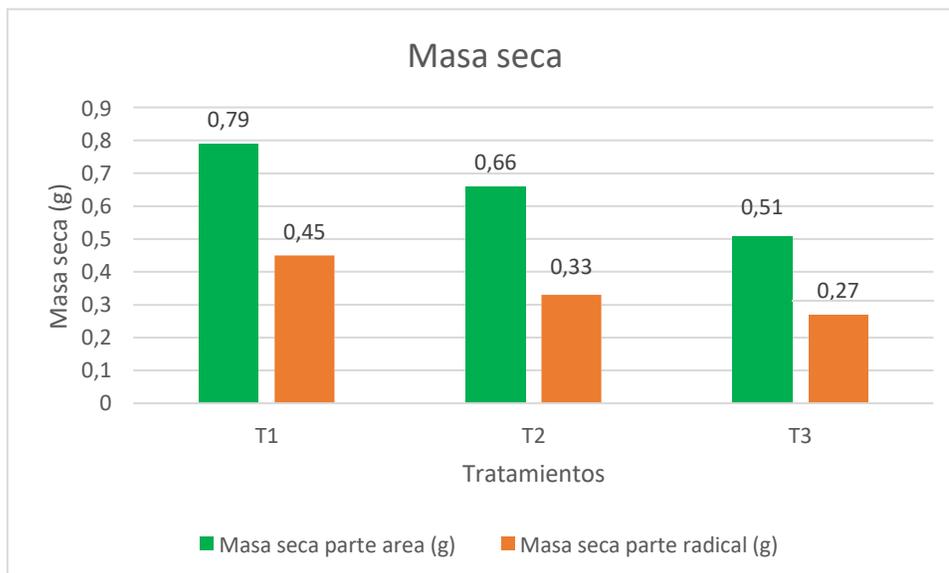


Figura 8. Efecto de tres frecuencias de riego en la masa seca de la parte aérea y radical de plántulas de café al final del periodo de evaluación.

6.11. Masa seca total

El tratamiento T2 logró un mayor peso con respecto a la masa seca total, seguido del tratamiento T1; los menores valores se presentaron en el tratamiento T3 en donde no se observaron diferencias significativas entre sí.

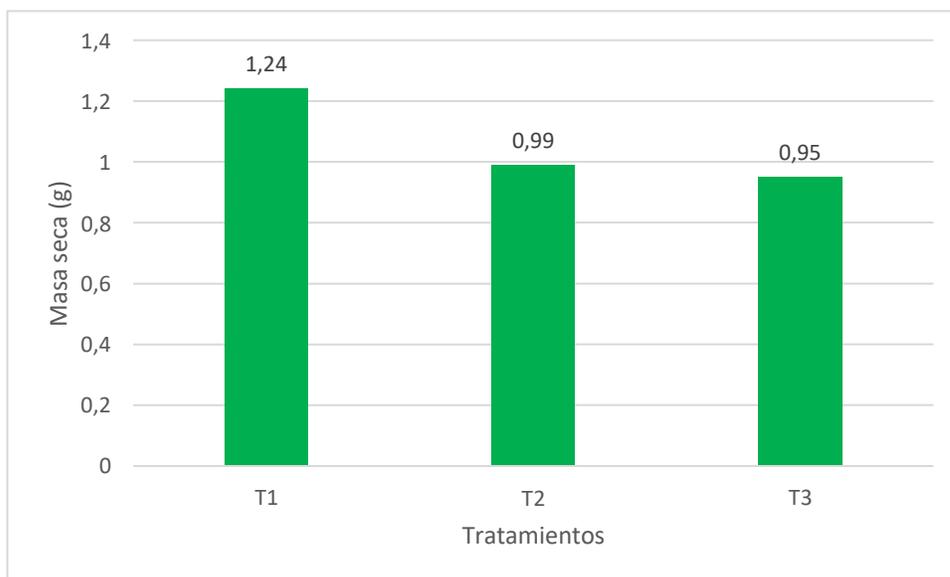


Figura 9. Efecto de tres frecuencias de riego en la masa seca total de plántulas de café al final del periodo de evaluación.

7. Discusión

La densidad aparente del sustrato $0,89 \text{ g/cm}^3$ es considerada baja por lo que concuerda con Pascale (2016), quien menciona que la mayor parte de variación de la densidad aparente proviene de diferencia del volumen de poros y mayor cantidad de materia orgánica la cual hace descender la densidad aparente.

El volumen de agua aplicado por cada planta fue mayor en el T1 (riego cada 4 días), en comparación con el T3 (riego cada 8 días) esto es debido a que existió un mayor número de contenido de humedad ya que la frecuencia de riego aplicada fue mayor esto se debió que en el tratamiento T2 existió un mayor contenido de humedad en el sustrato y un mayor desarrollo de la parte aérea de la plántula mientras que en el T3 se observó lo contrario, estos resultados coinciden con (Alvarez, 2010), quien realizó un estudio de láminas y frecuencias de riego en romero en donde comprobó que al aplicar bajas frecuencias de riego se crean condiciones de estrés hídrico prolongado afectando el desarrollo de la plántula, mientras que al aplicar una

frecuencia de riego menor la planta absorbe una mayor cantidad de agua haciendo así que el agua sea más eficiente en la planta.

Según Fournier (2000), los crecimientos vegetativos no se pueden mantener en condiciones de un bajo potencial hídrico lo que indica que las plantas para obtener un crecimiento adecuado requieren de la aplicación de una mayor lámina y frecuencia de riego. Lo que indica que en el presente ensayo las plantas para obtener un crecimiento adecuado deben de tener una mayor frecuencia de riego, lo cual se vio reflejado en la frecuencia que tuvo mejor comportamiento la cual corresponde a las unidades experimentales que tuvieron una aplicación de frecuencia cada 6 días.

Según Sánchez y Vera (2013), la altura es importante ya que indica el crecimiento ortotrópico de la planta y por ende garantizará la producción en los próximos años. Las plántulas sometidas a estrés hídrico manifiestan síntomas de marchitez en diferentes periodos dependiendo de la especie. Los síntomas de marchitez dependen de la intensidad y duración del estrés, así como de la fase de crecimiento en que se encuentre la planta.

En lo que respecta al diámetro del tallo de las plántulas no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos esto se debe a que estos tratamientos presentaban déficit hídrico en comparación a lo primero manifestándose esta descompensación de agua en el grosor del tallo esto concuerda con Méndez et al. (2007) quien menciona que la dosis de agua del 100% en tres cultivares de algodón produjo las 64 plantas con tallos más gruesos, mientras que la dosis de 40% produjo plantas con un grosor menor de los tallos.

En lo que respecta al área foliar de las plántulas de café los tratamientos T2 y T1 presentaron los mayores valores, mientras que el T3 obtuvo el menor valor, lo cual se debe a este último tratamiento tiene una menor cantidad y disponibilidad de agua ocasionando un mecanismo de sobrevivencia por lo que se da la disminución del área foliar, así como la reducción de la altura esto lo sustenta (Jaleel, 2009).

Según Fournier (2000), la tensión hídrica puede afectar la fotosíntesis en varias formas: cierre de los estomas, aumento en la resistencia a la conductividad en los estomas, disminución de la actividad enzimática. El estrés hídrico no solo disminuye la turgencia sino también disminuye el alargamiento de la pared celular por esta razón, el crecimiento de las hojas

depende ampliamente de la expansión celular. La inhibición en la expansión celular conlleva un retraso en el desarrollo del área foliar de la planta y, además, en determinadas plantas el estrés hídrico no solo limita el tamaño sino también el número de hojas originado por una disminución de la tasa de crecimiento del tallo (Taiz y Zeiger, 2002). En concordancia con las evaluaciones se evidenció que la variable área foliar se vio afectada en las unidades experimentales que fueron sometidas a la menor frecuencia de riego aplicada (riego cada 4 días), lo cual generó reducción del área foliar.

En cuanto al contenido de clorofila no se presentaron diferencias significativas lo cual se puede entender que el incremento del contenido de clorofila no está directamente relacionado con el déficit hídrico, sino que tiene relación directa con el nivel de luminosidad, sin embargo, García y Sánchez (2006) menciona que existe un incremento en el contenido de clorofilas en condiciones de salinidad y de estrés hídrico cuando el potencial hídrico desciende por debajo de un valor umbral (-0,6 MPa) esto siempre que la iluminación y la presión parcial del CO₂ en el medio no sean una limitante.

El déficit hídrico leve también afecta el desarrollo del sistema de la raíz. La relación de la biomasa entre la raíz y la parte aérea se ve determinada por un balance funcional entre la respuesta de absorción del agua por la raíz y la fotosíntesis efectuada en la parte aérea que crece hasta cuando la raíz sea capaz de absorber agua, de igual manera las raíces solo crecen hasta cuando en la parte aérea pueda suministrar los fotosintatos necesarios a la raíz. Este balance funcional puede verse afectado si el suministro de agua disminuye (Taiz y Zeiger, 2002).

Investigaciones realizadas por Wouter (2009), demostraron que las plantas cultivadas en abastecimiento limitado de agua presentan un cambio en la biomasa y en su respectiva asignación de masa seca a hojas, tallos y raíces. Para la variable materia seca aérea y radical la frecuencia cada 4 y 6 días presentaron un comportamiento similar lo que concuerda con lo mencionado anteriormente.

En cuanto a la densidad estomática se comprobó que las mayores densidades de estomas se presentaron en los tratamientos T2 y T3 dichos resultados se justifican según Larramendi (2015), el cual menciona que existe una correlación negativa entre la frecuencia

estomática y el área de la hoja es decir que el incremento en la radiación solar, lejos de provocar aumento del número de estomas favorece mayor agrupamiento de los mismos, posiblemente al menor tamaño de las hojas. Uno de los principales factores que afectan al incremento de a densidad estomática es la luz, Encalada et al., (2016) menciona que la densidad estomática fue mayor en el tratamiento de 100 % de luz, diferenciándose significativamente de los demás. Machado et al., (2015) menciona que una mayor densidad estomática puede permitir un aumento en la conductancia de los gases, por lo contrario, su disminución puede reducir el intercambio de gases y limitar la asimilación de CO para la fotosíntesis, debido que se reduce el área de transpiración. De modo general las estomas de café responden bien a la demanda evaporativa de la atmosfera, lo cual se traduce en una reducción significativa de la conductancia estomática en la medida en que el aire se torne más seco.

En cuanto al contenido de humedad existente en el sustrato Zotarelli (2015), menciona que la falta de riego durante varios días resulta en un estrés hídrico innecesario para el cultivo y se ve afectado el crecimiento de la planta por lo que concuerdan con los resultados obtenidos en la investigación en donde en el T3 se evidencio un estrés hídrico obteniendo así una menor altura en las plántulas de café.

8. Conclusiones

- El crecimiento, expresado en indicadores como la altura, diámetro del tallo, área foliar, longitud de la raíz masa seca de las plántulas en todos los tratamientos presentó una relación directa con el contenido de humedad del sustrato, obteniéndose los mejores valores en los tratamientos T2 (riego cada 6 días) y T1 (riego cada 4 días) consecutivamente.
- El tratamiento T3 mantuvo un menor nivel de humedad en el sustrato en comparación con el T1; sin embargo no se obtuvieron diferencias significativas dentro de las variables de crecimiento, por lo que permitiría utilizar el T2 con una frecuencia de riego optima a utilizarse sin conllevar a la plántula a retardar su crecimiento.

9. Recomendaciones

- Empezar investigaciones de las relaciones hídricas de las plantas con los factores ambientales, en miras de aportar a los estudios de adaptación de los cultivos al cambio climático.
- Continuar con una investigación similar del cultivo, teniendo como variable independiente diferentes frecuencias de riego en diferentes fases fenológicas del cultivo.
- Realizar investigaciones sobre la incidencia el déficit hídrico en las plantas a nivel de campo para determinar su influencia en el crecimiento de la planta.
- Incentivar al desarrollo de trabajos de investigación en cultivos de café buscando nuevas alternativas para incrementar la productividad del cultivo.

10. Bibliografía

- Abad, M. (2015). Efecto de sombra y frecuencia de riego en la etapa de aclimatación de plantas clonadas de café (*Coffea arabica* L.) variedad caturra en fase de vivero, morales San Martín. http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/547/TFCA_01.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ANACAFE. (2013). Guía de variedades de café. Asociación Nacional de Café. <https://www.anacafe.org/uploads/file/9a4f9434577a433aad6c123d321e25f9/Gu%C3%ADa-de-variedades-Anacaf%C3%A9.pdf>.
- Alvarado, M., & Rojas, G. (2007). El cultivo y beneficio del café. Costa Rica. Segunda reimpresión. 188 pp.
- Arcila P., J.; Farfán V., F.; Moreno B., A.M.; Salazar G., L.F.; Hincapié G., E. (2007).
Sistemas de producción de café en Colombia. CENICAFE. Colombia. 309 pp.
<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/720/1/Sistemas%20producci%C3%B3n%20caf%C3%A9%20Colombia.pdf>
- Arcila, J., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H., Wicke, H. (2001). Aplicación de Escala BBCH ampliada para la descripción de las fases fenológicas del desarrollo de la planta de café. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/578/3/bot0023.pdf>
- Barrera, J., Suárez, D., & Melgarejo, M. (2010). Análisis de crecimiento en Plantas. En M. Melgarejo, Experimentos en Fisiología Vegetal (pág. 249pp). Bogota: IICA- MADR.
- Benedetto, A. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos.
- Calvache, M. (2002). MANEJO DEL AGUA: PRINCIPIOS FUNDAMENTALES. VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Universidad Central del Ecuador. Quito. pp 28
- Castillo, C. (2005). SELECCIÓN Y CALIBRACIÓN DE INDICADORES LOCALES Y TÉCNICO PARA EVALUAR LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS LADERAS, EN LA MICROCUENCA CUSCAMÁ EL TUMA – LA DALIA MATAGALPA, 2005. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.

- Centro de Investigaciones en Café, CICAPE. (2011). Guía Técnica para el Cultivo de Café. 1ra ed. Heredia Costa Rica. ISBN 978-9977-55-041-4. pp 72.
- Consuelo, F (2010). Cafés Especiales Tipos, Productores y Mercado Internacional. Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL. Guayaquil, Ec. pp 1.
- Duicela, L; Corral, R; Fernández, F. (2006). Analítico: Reproducción de plantas clonales de café robusta. Consejo Nacional Cafetalero, COFENAC. 21 pp.
- Edward, C. (2010). Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego ¿Cuándo?. The University of Arizona. College of Agriculture and Life Sciences. Tucson, Arizona. Traducido por: Carolina Muñoz. pp 8.
- Escobar, R. (2007). Manual de viveros. Proyecto Innova Chile - INFOR. Instituto Forestal, Concepción, Chile. 229 pp.
- FAO. (2022). PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO. Organización de las nacionesunidas para la agricultura y la alimentación. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Flores Ramos, C, P; Ibarra Ruales, L. N; Gómez Gil, L. F; Carmona González, C. Y;Castaño Fuente, A. 2006. Programación de riego con tensiómetros. En Línea: <http://es.slideshare.net/ShitoRyu64/programacion-del-riego-con-tensiometros>. Fecha de consulta: 30 de junio de 2016.
- Fundación para el Desarrollo Socio Económico y Restauración Ambiental, FUNDESYRAM. 2010. Guía para la Innovación de la Caficultura. De lo convencional a lo orgánico. San Salvador, El Salvador. pp 124.
- Guerrero, A. Orellana, D. Perez, P. (2017). La realidad ecuatoriana en la producción de café. Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento. Vol. 2.
- Gómez, O. (2010). Guía para la innovación de la Caficultura. FUNDESYRAM, 124 pp.
- Huertas L. (2008). El control ambiental en viveros: Humedad relativa. Perú. 3 págs.

- INIA. (2011). manejo integrado de la broca del café. Obtenido de www.minag.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/dia-café/manejocafe.pdf
- Jaleel, C; Manivannan, A; Farooq, J; Somasundaram, R y Panneerselvam, V. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *Int J Agric Biol.* Vol 11. No 1. pp 100-105.
- Jiménez, R. (2016). Determinación de los requerimientos hídricos del cultivo de Café bajo condiciones edafoclimáticas del Cantón Riobamba provincia de Chimborazo. Tesis Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 140 pp.
- León, A. (2011). Efecto de la Altitud, Sombra, Producción y Fertilización sobre la Calidad del Café (*Coffea arabica* L. var. Caturra) Producido en Sistemas Agroforestales de la Zona Cafetalera Norcentral de Nicaragua. CATIE. Tesis. Turrialba, Costa Rica. pp 106.
- Marín, A; Ortiz, A. (2013). Estructura y funcionamiento de la planta de café. In: Manual del Cafetero Colombiano. Tomo I. CENICAFE, Colombia. 118-122 pp.
- Méndez, J; Lara, L y Gil, J. (2007). Efecto del riego por goteo en el crecimiento inicial de tres cultivares de algodón (*Gossypium hirsutum*). *Idesia (Arica)*. Vol 25. Nro 2. pp 7-15
- Monroig, M. (2010). Ecos del Café. <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id48.htm>
- Naizaque, J; García, G; Fischer, G; Melgarejo, M. 2014. Relación entre la densidad estomática, la transpiración y las condiciones ambientales en feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*. Vol 17. No1. pp 115-121.
- Nieto, Z. (2016). COMPORTAMIENTO ECOFISIOLÓGICO DE CAFÉ VARIEDAD CASTILLO BAJO. TRES NIVELES DE SOMBRÍO EN EL MUNICIPIO DE TIBACUY.
- Paine, C; Marthews, T; Vogt, D; Purves, D.; Rees, M., Hector, A.; Turnbull, L. (2012). How to fit nonlinear plant growth models and calculate growth rates: an update for ecologists. *Methods in Ecology*
- Pizarro, C., F. Riegos Localizados de Alta Frecuencia: goteo, microaspersión, exudación. 2da edición. Mundi-Prensa. Madrid España. ISBN 84-7114-279-1. pp 469.
- Ramírez, V. Jaramillo, A. Arcila, J. Montoya, E. (2010). ESTIMACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN CAFETALES A LIBRE EXPOSICIÓN SOLAR. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/502/1/arc061%2803%29252261.pdf>

- Robles, A. 2007. Sobrevivir al estrés: cómo responden las plantas a la falta de agua. Biotecnología. Vol 14. pp 253-262.
- Rosabal, L; Martínez L; Reyes, Y; Dell'Amico, J y Núñez, M. 2014. Aspectos fisiológicos, bioquímicos y expresión de genes en condiciones de déficit hídrico. Influencia en el proceso de germinación. Instituto nacional de ciencias agrícolas inca.Cuba. Cultivos Tropicales. Vol 35. No 3. pp 12.
- Sánchez, M y Aguirreolea, J. (2008). Fundamentos de fisiología vegetal. Madrid, ES. Editorial Mc Graw Hill Interamericana. pp 134
- Soto, F. (1980). Estimación del área foliar en *C. arabica* L. a partir de las medidas lineales de las hojas. Cultivos tropicales. Vol 2. N°3. 115-128 pp.
- Sotomayor, I. (2011). Manual del cultivo de café. Instituto Nacional autónomo de investigaciones agropecuarias.
<http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1619/1/Manual%20del%20cultivo%20de%20cafe.pdf>
- Thompson, L. M., y Troeh, F. R. 2002. Los suelos y su fertilidad. 4ta ed. Editorial Reverté, S.A. España. ISBN 84-291-1041-0. pp 609.
- Townend, J., Reeve, J., y Carter, A. 2000. Water release characteristic. Soil environmental analysis. Physical methods. 2nd ed. Marcel Dekker, New York. pp 95- 1

11. Anexos

Anexo 1. Preparación y enfundado de sustrato y llenado de fundas plásticas.



Anexo 2. Desinfección de sustrato Terraclor (1gr/l).



Anexo 3. Trasplante de plántulas de café. Homogenización de la cantidad de sustrato.



Anexo 4. Medición de variables de crecimiento (altura, número de hojas, diámetro del tallo) y medición del contenido de humedad existente en el sustrato.





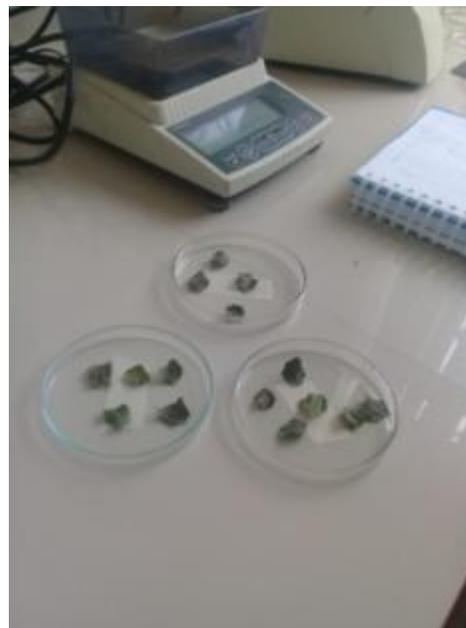
Anexo 5. Determinación de capacidad de campo y punto de marchitez permanente mediante el método gravitatorio.



Anexo 6. Fumigación de plántulas de café



Anexo 7. Medición de la clorofila



Anexo 8. Determinación masa seca aérea y radical



Anexo 9. Determinación de la densidad estomática



Anexo 10. Diferencia en variables morfológicas entre tratamientos.

	Tratamientos	Altura (cm)	Diamtero (c)	N° de Hojas	Area foliar (cm2)
30 de Abril	Riego cada 4 dias	7,5	0,13	2	65,5
	Riego cada 6 dias	8,5	0,12	2	69,8
	Riego cada 8 dias	7,1	0,12	2	59,29
30 de Mayo	Riego cada 4 dias	8,4	0,19	4	74,3
	Riego cada 6 dias	9,5	0,16	4	76,2
	Riego cada 8 dias	8,5	0,17	4	79,66
30 de Junio	Riego cada 4 dias	9,7	0,2	6	84,2
	Riego cada 6 dias	10,6	0,22	6	86,25
	Riego cada 8 dias	9,4	0,22	6	80,66
30 de julio	Riego cada 4 dias	10,8	0,22	8	96,66
	Riego cada 6 dias	11,8	0,23	8	100,1
	Riego cada 8 dias	10,5	0,23	8	99,7
30 de Agosto	Riego cada 4 dias	12,2	0,26	10	118,26
	Riego cada 6 dias	13	0,28	10	119,47
	Riego cada 8 dias	12,7	0,26	10	115,81

Tratamiento	Masa seca parte area (g)	Masa seca parte radical (g)	Masa seca total (g)
Riego cada 4 dias	0,79	0,45	1,24
Riego cada 6 dias	0,66	0,33	0,99
Riego cada 8 dias	0,51	0,27	0,95
Riego cada 4 dias	0,5	0,25	0,75
Riego cada 6 dias	0,53	0,22	0,75
Riego cada 8 dias	0,49	0,3	0,79
Riego cada 4 dias	0,62	0,29	0,91
Riego cada 6 dias	0,6	0,24	0,84
Riego cada 8 dias	0,49	0,21	0,7
Riego cada 4 dias	0,55	0,19	0,74
Riego cada 6 dias	0,63	0,29	0,92
Riego cada 8 dias	0,66	0,14	0,8
Riego cada 4 dias	0,6	0,2	0,8
Riego cada 6 dias	0,61	0,26	0,87
Riego cada 8 dias	0,58	0,22	0,8
Riego cada 4 dias	0,51	0,21	0,72
Riego cada 6 dias	0,5	0,3	0,8
Riego cada 8 dias	0,53	0,2	0,73
Riego cada 4 dias	0,49	0,22	0,71
Riego cada 6 dias	0,62	0,25	0,87
Riego cada 8 dias	0,6	0,24	0,84
Riego cada 4 dias	0,62	0,29	0,91
Riego cada 6 dias	0,6	0,24	0,84
Riego cada 8 dias	0,49	0,21	0,7
Riego cada 4 dias	0,55	0,19	0,74
Riego cada 6 dias	0,63	0,29	0,92
Riego cada 8 dias	0,66	0,14	0,8

Densidad estomática (nro.estomas/mm2)		
Tratamientos	90 DDT	150 DDT
Riego cada 4 dias	100	129
Riego cada 4 dias	99	124
Riego cada 4 dias	110	122
Riego cada 4 dias	100	111
Riego cada 6 dias	110	110
Riego cada 6 dias	110	120
Riego cada 6 dias	111	115
Riego cada 6 dias	114	123
Riego cada 8 dias	120	129,8
Riego cada 8 dias	119	128,3
Riego cada 8 dias	119	125,6
Riego cada 8 dias	120	112

Conductancia estomática (mmol/m2s)		
Tratamiento	90 DDT	150 DDT
Riego cada 4 dias	60,75	100,14
Riego cada 6 dias	99,46	125,89
Riego cada 8 dias	88,3	119,46
Riego cada 4 dias	132,7	155,49
Riego cada 6 dias	104,22	130,78
Riego cada 8 dias	93,47	119,51
Riego cada 4 dias	125,9	149,17
Riego cada 6 dias	132,41	150,11
Riego cada 8 dias	78,92	99,89

Clorofila			
Tratamientos			
Riego cada 4 dias	55,89	39,8	38,19
Riego cada 6 dias	63,62	46,16	47,38
Riego cada 8 dias	49,96	56,89	44,33
Riego cada 4 dias	60,12	55,47	36,34
Riego cada 6 dias	75,61	63,64	61,45
Riego cada 8 dias	57,14	55,13	49,42
Riego cada 4 dias	59,68	40,14	41,16
Riego cada 6 dias	78,19	41,14	51,46
Riego cada 8 dias	52,71	52,1	51,19

Anexo 11. Análisis de varianza de las variables analizadas en el estudio y análisis de supuestos

Altura

Análisis de la varianza

Altura (cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura (cm)	15	0,08	0,00	21,22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5,07	2	2,53	0,55	0,5923
Tratamiento	5,07	2	2,53	0,55	0,5923
Error	55,57	12	4,63		
Total	60,64	14			

Supuestos

Normalidad

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Altura (cm)	15	0,00	1,99	0,89	0,1558

Homogeneidad de varianzas

variable	N	K ²	K ² Aj	CV
RABS Altura (cm)	15	0,01	0,00	73,29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,12	2	0,06	0,04	0,9589
Tratamiento	0,12	2	0,06	0,04	0,9589
Error	16,67	12	1,39		
Total	16,78	14			

Diámetro

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro	120	2,1E-03	0,00	5,59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,2E-03	2	5,8E-04	0,12	0,8832
Tratamiento	1,2E-03	2	5,8E-04	0,12	0,8832
Error	0,55	117	4,7E-03		
Total	0,55	119			

Supuestos

Normalidad

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Diametro	120	0,00	0,07	0,72	<0,0001

Homogeneidad

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Diametro	120	0,01	0,00	84,47

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,2E-03	2	5,9E-04	0,31	0,7348
Tratamiento	1,2E-03	2	5,9E-04	0,31	0,7348
Error	0,22	117	1,9E-03		
Total	0,23	119			

Número de hojas

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Nº de Hojas	45	0,00	0,00	48,80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	2	0,00	0,00	>0,9999
Tratamiento	0,00	2	0,00	0,00	>0,9999
Error	360,00	42	8,57		
Total	360,00	44			

Supuestos

Normalidad

Homogeneidad

Área foliar

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO N° de Hojas	45	0,00	2,86	0,85	<0,0001

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS N° de Hojas	45	0,00	0,00	64,55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	2	0,00	0,00	>0,9999
Tratamiento	0,00	2	0,00	0,00	>0,9999
Error	100,80	42	2,40		
Total	100,80	44			

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Area foliar (cm2)	15	0,01	0,00	23,64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	39,08	2	19,54	0,04	0,9565
Tratamiento	39,08	2	19,54	0,04	0,9565
Error	5254,02	12	437,84		
Total	5293,10	14			

Supuestos

Normalidad

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Area foliar (cm2)	15	0,00	19,37	0,89	0,1386

Homogeneidad de varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Area foliar (cm2)	15	1,4E-03	0,00	66,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,85	2	0,93	0,01	0,9919
Tratamiento	1,85	2	0,93	0,01	0,9919
Error	1357,19	12	113,10		
Total	1359,04	14			

Clorofila

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Clorofila	27	0,20	0,14	18,58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	582,22	2	291,11	3,03	0,0671
Tratamientos	582,22	2	291,11	3,03	0,0671
Error	2305,34	24	96,06		
Total	2887,56	26			

Supuestos

Normalidad

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Clorofila	27	0,00	9,42	0,96	0,6574

Homogeneidad de varianzas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Clorofila	27	0,44	0,39	53,16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	308,95	2	154,47	9,25	0,0011
Tratamientos	308,95	2	154,47	9,25	0,0011
Error	400,87	24	16,70		
Total	709,81	26			

Densidad estomática

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
90 DDT	12	0,87	0,84	2,77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	595,50	2	297,75	28,97	0,0001
Tratamientos	595,50	2	297,75	28,97	0,0001
Error	92,50	9	10,28		
Total	688,00	11			

Supuestos

Normalidad

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO 90 DDT	12	0,00	2,90	0,84	0,0396

Homogeneidad de varianza

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS 90 DDT	12	0,51	0,40	84,98

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	24,54	2	12,27	4,63	0,0415
Tratamientos	24,54	2	12,27	4,63	0,0415
Error	23,88	9	2,65		
Total	48,42	11			

Conductancia estomática

Análisis de la varianza

150 DDT

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
150 DDT	30	0,22	0,06	16,28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2550,22	5	510,04	1,34	0,2823
Tratamiento	2550,22	5	510,04	1,34	0,2823
Error	9150,00	24	381,25		
Total	11700,23	29			

Supuestos

Normalidad

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO 150 DDT 30	30	0,00	17,76	0,96	0,6172

Homogeneidad de varianza

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS 150 DDT 30	30	0,07	0,00	82,59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	223,25	5	44,65	0,34	0,8835
Tratamiento	223,25	5	44,65	0,34	0,8835
Error	3151,41	24	131,31		
Total	3374,65	29			

Materia seca parte aérea

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Masa seca parte area (g)	27	0,06	0,00	12,70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	2	3,8E-03	0,71	0,5006
Tratamiento	0,01	2	3,8E-03	0,71	0,5006
Error	0,13	24	0,01		
Total	0,14	26			

Supuestos

Normalidad

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Masa seca parte area ..	27	0,00	0,07	0,92	0,1321

Homogeneidad de varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Masa seca parte area ..	27	0,10	0,03	76,55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,8E-03	2	2,4E-03	1,34	0,2805
Tratamiento	4,8E-03	2	2,4E-03	1,34	0,2805
Error	0,04	24	1,8E-03		
Total	0,05	26			

Masa seca parte radical y masa seca total

Masa seca parte radical (g)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Masa seca parte radical (g..	27	0,14	0,07	24,59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	2	0,01	1,96	0,1630
Tratamiento	0,01	2	0,01	1,96	0,1630
Error	0,09	24	3,7E-03		
Total	0,10	26			

Masa seca total (g)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Masa seca total (g)	27	0,08	4,7E-04	13,88

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	2	0,01	1,01	0,3806
Tratamiento	0,03	2	0,01	1,01	0,3806
Error	0,32	24	0,01		
Total	0,35	26			

Supuestos

Normalidad

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Masa seca parte radic..	27	0,00	0,06	0,90	0,0462
RDUO Masa seca total (g)	27	0,00	0,11	0,85	0,0016

Homogeneidad de varianza

RABS Masa seca parte radical (g)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Masa seca parte radic..	27	0,11	0,03	89,81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,1E-03	2	2,1E-03	1,42	0,2620
Tratamiento	4,1E-03	2	2,1E-03	1,42	0,2620
Error	0,03	24	1,5E-03		
Total	0,04	26			

RABS Masa seca total (g)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Masa seca total (g)	27	0,18	0,11	97,44

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	2	0,01	2,66	0,0905
Tratamiento	0,03	2	0,01	2,66	0,0905
Error	0,13	24	0,01		
Total	0,16	26			

Anexo 12. Condiciones climaticas del lugar de estudio

Hora de registro	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
16h00	23,5	49
14h30	20,1	44
15h30	23,1	32
13h00	22,4	30
11h00	24,9	44
12h30	25	45
15h00	24	52
14h00	19	51
11h30	25,6	50
10h30	22,4	46
15h30	24,2	40
10h00	23	31
	23,1	42,8

Anexo 13. Lamina de riego aplicarse en el cultivo

$Lam = CH / 100 * da * profundidad\ radica$	Volumen (ml) = Lam * Superficie (funda)
$Lam = 29,38 - 27,29 / 100 * 0,92 * 6,5$	Volumen (ml) = 0,125 cm * 182,4 cm ²
$Lam = 0,125\ cm$	Volumen (ml) = 22,8 cm ³

Anexo 14. Certificación de traducción de abstract



Lic. Mónica Guarnizo Torres.
SECRETARIA DE "BRENTWOOD LANGUAGE CENTER"

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del trabajo de titulación denominado "Efecto de diferentes frecuencias de riego en el crecimiento de plántulas de café (*Coffea arábica* L.) bajo condiciones de invernadero en la quinta experimental La Argelia", de la estudiante Carmen Elizabeth Castillo Jaramillo, con cédula de identidad No. 1150642351, egresada de la Carrera de Agronomía, de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifica en honor a la verdad y autoriza a la interesada hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Loja, 05 de febrero de 2024

Lic. Mónica Guarnizo Torres
SECRETARIA DE B.L.C.

