

Evaluación del efecto del estrés hídrico en el crecimiento y desarrollo de seis especies del
genero *Eucalyptus*

Maria Yaneth Duarte Esteban, Deissy Lorena Joya García

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Forestal

Director

Rubén Carvajal Caballero
Ingeniero Agrónomo

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED

Programa de Ingeniería Forestal

Málaga

2019

Dedicatoria

A mis padres, hermanos, cuñada, sobrinos (Gisell Salome y Luis Alejandro), y amigos que de una u otra forma contribuyeron con el logro de este trabajo.

María Yaneth

A mi padre, mi madre, a mis hermanos, a mi esposo, y a mi hija por su amor incondicional y apoyo en este proceso.

Deissy Lorena

Agradecimientos

A Dios por permitimos cumplir con un objetivo más en nuestras vidas.

Al profesor Rubén Carvajal Caballero por su valioso apoyo y comprensión en el desarrollo y término de este documento, por sus observaciones y comentarios que mejoraron sustancialmente este trabajo.

A mi hija Mariana por ser el motor que me impulsa cada mañana, por su alegría y por entender que soy una mamá estudiante y no entender cuando necesitaba más silencio para hacer este trabajo te amo infinitamente.

A María Yaneth por ser más que mi compañera de universidad y estar en los momentos difíciles de mi vida con su colaboración y apoyo incondicional mil gracias.

A Gerardo, Oscar, Yesid, Gladys, Rubén, Carlos, Hernán, Mariana que estuvieron en la etapa práctica de este proyecto los queremos mucho.

Ingrit y Paola por su colaboración y apoyo durante el proceso

A la Universidad Industrial de Santander y su personal que estuvo presto a colaborarnos cuando necesitamos alguna herramienta.

Tabla de Contenido

	Pág
Introducción.....	16
1.Objetivos.....	18
1.1 Objetivo General	18
1.2 Objetivos Específicos	18
2.Planteamiento del problema	19
2.1 Descripción del problema	19
2.2 Justificación	20
3. Marco referencial	21
3.1 Marco teórico	21
3.1.1 Origen y distribución geográfica del genero <i>Eucalyptus</i>	21
3.1.2 Taxonomía	22
3.1.3 Importancia y consumo de agua del genero <i>Eucalyptus</i>	22
3.1.4 <i>Eucalyptus globulus</i> Labill	23
3.1.5 <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill.....	23
3.1.6 <i>Eucalyptus robusta</i> Sm.....	24
3.1.7 <i>Eucalyptus cinérea</i> o plateado F.	24
3.1.8 <i>Eucalyptus saligna</i> Sm.	24
3.1.9 <i>Eucalyptus teriticornis</i> Sm.....	24
3.2 Marco conceptual	25

3.2.1 Absorción.....	25
3.2.2 Conductancia estomática	25
3.2.3 Déficit hídrico.	25
3.2.4 Estrés hídrico.....	25
3.2.5 Peso seco.....	25
3.2.6 Respiración.	26
3.2.7 Transpiración	26
3.3 Marco Jurídico, Normativo e Institucional	26
4.1 Localización del área	28
4.2 Tipo de metodología.....	29
4.3 Material vegetal.....	30
4.5 Diseño experimental.....	31
4.6 Suelo	32
4.6 Clima	32
4.7 Medición de Variables Morfológicas y fisiológicas.	32
5 Resultados.....	33
5.1 Suelo	33
5.2 Clima	34
5.3 Evaluación del efecto del estrés hídrico en variables morfológicas y fisiológicas	36
5.3.1 Variable altura.....	36
5.3.2 Variable diámetro	37
5.3.3 Área foliar.	42
5.3.4 Conductancia estomática	46

5.3.5 Contenido volumétrico.	52
5.4 Biomasa por componente	58
5.4.1 Hojas.....	58
6 Discusión de resultados	65
6.1 Comparación de la variable altura y diámetro	65
6.2 Comparación de Conductancia estomática.....	66
6.3 Relación Biomasa Seca y Área Foliar.	67
6.4 Eficiencia fotosintética	68
7 Conclusiones.....	69
8 Recomendaciones.....	70
Referencias Bibliográficas.....	71
Apéndices	74

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1.Resultados de analisis de suelos laboratorio UIS.....	34
Tabla 2.Comparacionde varaibles para todas las especies	65

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Mapa de localización	29
Figura 2. Disposición del diseño experimental	31
Figura 3. Temperatura de Universidad Industrial Sede Málaga	35
Figura 4. Grafica de humedad relativa	36
Figura 5. Comparación variable diámetro para <i>Eucalyptus cinerea</i> para cada tratamiento.....	37
Figura 6. Comparación variable diámetro para <i>E. globulus</i> Labill para cada tratamiento	38
Figura 7. Comparación variable diámetro para <i>E. grandis</i> W. Hill para cada tratamiento.....	39
Figura 8. Comparación variable diámetro para <i>Eucalyptus robusta</i> para cada tratamiento	40
Figura 9. Comparación variable diámetro para <i>Eucalyptus saligna</i> para cada tratamiento	41
Figura 10. Comparación variable diámetro para <i>E. tereticornis</i> Sm para cada tratamiento	42
Figura 11. Comparación variable área foliar para <i>E.s cinerea</i> F para cada tratamiento.....	43
Figura 12. Comparación variable área foliar para <i>E. globulus</i> Labill para cada tratamiento ..	44
Figura 13. Comparación variable área foliar para <i>Eucalyptus grandis</i> para cada tratamiento .	45
Figura 14. Comparación variable área foliar para <i>E. tereticornis</i> para cada tratamiento	46
Figura 15. Comparación variable Conductancia estomática para <i>Eucalyptus cinerea</i> F	47
Figura 16. Comportamiento variable Conductancia estomática para <i>E. globulus</i> Labill	48
Figura 17. Comportamiento conductancia estomática para <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill	49
Figura 18. Comportamiento conductancia estomática para <i>Eucalyptus robusta</i> Sm	50
Figura 19. Comportamiento conductancia estomática para <i>Eucalyptus saligna</i> Sm	51
Figura 20. Comportamiento conductancia estomática para <i>Eucalyptus tereticornis</i> Sm	52
Figura 21. Comportamiento del contenido de humedad para la especie <i>E. cinerea</i>	53

Figura 22. Comportamiento del contenido de humedad para la especie <i>E.globulus</i> Labill	54
Figura 23.Comportamiento del contenido de humedad para la especie <i>E.grandis</i> W.Hill	55
Figura 24. Comportamiento del contenido de humedad para la especie <i>E. robusta</i> Sm	56
Figura 25. Comportamiento del contenido de humedad para la especie <i>E. saligna</i> Sm	57
Figura 26. Comportamiento del contenido de humedad para la especie <i>E. tereticornis</i> Sm	58
Figura 27.Comportamiento de biomasa para componente hojas	59
Figura 28. Comportamiento de biomasa para componente ramas	60
Figura 29.Comportamiento de biomasa para componente Tallos.....	61
Figura 30. Grafica de comparación para biomasa total por especie y por tratamiento	62
Figura 31. Grafica de comportamiento para cada especie y para cada tratamiento	63
Figura 32.Grafica de eficiencia fotosintética para las especies.....	64

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Lavado y desinfección de bandejas	74
Apéndice B. Material vegetal en vivero	75
Apéndice C. Trasplante de material vegetal a bolsa y ubicación en eras de crecimiento	76
Apéndice D. Control de malezas de las plántulas	77
Apéndice E. Medición de la humedad del suelo	78
Apéndice F. Preparación de eras para la ubicación del ensayo.....	79
Apéndice G. Ubicación de plántulas para aplicar tratamientos	79
Apéndice H. Medición de variables fisiológicas.....	80

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE SEIS ESPECIES DEL GENERO *Eucalyptus* ¹.

AUTORES: MARIA YANETH DUARTE ESTEBAN.
DEISSY LORENA JOYA GARCÍA².

PALABRAS CLAVE: ESTRÉS HÍDRICO, RIEGO, VARIABLES MORFOLÓGICAS, VARIABLES FISIOLÓGICAS, *Eucalyptus*.

DESCRIPCIÓN:

En las zonas tropicales hay una alternativa importante de establecer plantaciones de rápido crecimiento como es el caso de algunas especies del genero *Eucalyptus*, donde no solo se debe considerar la pulpa y la madera como única posibilidad de generar rentabilidad económica, también se puede implementar la venta de bonos de carbono como producto complementario. Para la actividad es importante tener en cuenta que las plantas deben presentar altos niveles de productividad, por este motivo se considera necesario estudiar algunas variables que limitan la producción.

El objetivo es evaluar el efecto del estrés hídrico en variables morfológicas y fisiológicas para establecer un plan de manejo frente a la escasez de agua en la región en seis especies del género *Eucalyptus* (*E. cinerea* o plateado F, *E. globulus* Labill, *E. grandis* W. Hill, *E. robusta* Sm, *E. saligna* Sm y *E. tereticornis* Sm. Se realizó un diseño experimental en el que se distribuyeron las plántulas en bolsa bajo condiciones controladas, contiguo al vivero de la Universidad de Santander, sede Málaga; con dos factores (riego y especie) distribuidos en cuatro bloques. Se establecieron cuatro tratamientos para 24 plántulas por cada tratamiento correspondientes a las seis especies para un total de 96 plántulas por cada bloque para los cuatro tratamientos, los cuales correspondían a riego cada tres días, riego semanal, riego quincenal y riego mensual.

Los resultados mostraron que las especies más tolerantes al estrés hídrico fueron el *E. grandis* W. Hill y *E. cinerea* F. Observándolo en el peso seco presento valores superiores en la medición de esta variable, por otro lado, la especie que presento menos valores en general durante todo el tratamiento fue el *E. tereticornis* Sm a pesar que presento menor mortalidad durante el tratamiento.

¹ Trabajo de Grado

² Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal.
Director: CARVAJAL CABALLERO, Rubén. Ingeniero, Agrónomo.

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF THE EFFECT OF WATER STRESS ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF SIX SPECIES OF THE GENUS *Eucalyptus*³.

AUTHORS: MARIA YANETH DUARTE ESTEBAN.
DEISSY LORENA JOYA GARCÍA⁴.

KEYWORDS: WATER STRESS, IRRIGATION, MORPHOLOGICAL VARIABLES PHYSIOLOGICAL VARIABLES, *Eucalyptus*

DESCRIPTION:

In tropical areas, there is an important alternative to establish fast-growing plantations such as some species of the *Eucalyptus* genus, where not only pulp and wood should be considered as the only possibility of generating economic profitability; the sale can also be implemented of carbon credits as a complementary product. For the activity, it is important to keep in mind that plants must have high levels of productivity, for the reason it is considered necessary to study some variables that limit production.

The objective is to evaluate the effect of water stress on morphological and physiological variables to establish a management plan against water scarcity in the region in six species of the genus *Eucalyptus* (*E. cinerea* o plateado F, *E. globulus* Labill, *E. grandis* W. Hill, *E. robusta* Sm, *E. slogan* Sm y *E. tereticornis* Sm. An experimental design was carried out in which the seedlings were distributed in bags under controlled conditions, adjacent to the nursery of the University of Santander, Malaga headquarters; with two factors (irrigation and species) distributed in four blocks. Four treatments were established for 24 seedlings for each treatment corresponding to the six species for a total of 96 seedlings for each block for the four treatments, which corresponded to irrigation every three days, weekly irrigation, biweekly irrigation and monthly irrigation.

The results showed that the species most tolerant to water stress were *E. grandis* W. Hill and *E. cinerea* F. Observing it in the dry weight I present higher values in the measurement of this variable, on the other hand, the species that presented less values in general, during the whole treatment it was *E. tereticornis* Sm, although I have a lower mortality during the treatment.

³ Bachelor Thesis.

⁴ Instituto de proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal.
Director: CARVAJAL CABALLERO, Rubén. Ingeniero, Agrónomo.

Introducción

De acuerdo con Martínez (2015), el *Eucalyptus* es el género más plantado en el mundo se caracteriza por su rápido crecimiento, con turnos relativamente cortos comprende más 700 especies. Es por este motivo que las plantaciones forestales comerciales de las diferentes especies que conforman este género, son una alternativa sostenible, económicamente rentable y viable para promover en la producción de materias primas y en la generación de empleo.

Colombia se caracteriza por tener potencial apto para plantaciones forestales comerciales por su disponibilidad de áreas con diferentes condiciones agroclimáticas, geográficas y topográficas (Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario, 2015). Pero no se ha estudiado con precisión las limitantes que produce la variabilidad climática en las plantaciones del género *Eucalyptus*, cada vez siendo está más relevante y claramente genera incertidumbre sobre los patrones de lluvia en las regiones afectando la producción agropecuaria y forestal (Reboratti, 2017).

Por la relevancia comercial, industrial y económica de especies del género *Eucalyptus*, la presente investigación tiene por objeto determinar el efecto de estrés hídrico en las etapas de crecimiento y desarrollo de seis especies *E. globulus* Labill, *E. grandis* W. Hill, *E. saligna* Sm, *E. robusta* Sm, *E. tereticornis* Sm, *E. cinerea o plateado* F. y evaluar los rendimientos que estas presentan ante la falta de agua para la posterior elección en una plantación.

Aunque la mayoría de las plantas que presentan ventaja frente al estrés hídrico no son de interés económico, es posible obtener plantas cultivables tolerantes, por transferencia genética. Muchos de los genes que se inducen por estrés caracterizados en los diferentes estudios citados y en otros,

son candidatos potenciales para la producción de plantas cultivables tolerantes o resistentes al déficit hídrico. (Moreno , 2009).

No obstante, pese a la incertidumbre, la información actualmente disponible apunta hacia la necesidad de generar políticas que permitan dar respuestas inmediatas a las afectaciones del recurso hídrico asociadas con el cambio climático y la variabilidad climática, además de orientar la planificación del uso del agua y de la ocupación del territorio con una visión a largo plazo. Adaptarse a la variabilidad climática es parte de los retos que genera el cambio climático (Mejía, Burbano , García, & Baena, 2014).

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar el crecimiento y desarrollo de seis especies del genero *Eucalyptus* bajo condiciones de estrés hídrico.

1.2 Objetivos Específicos

Evaluar los efectos del estrés hídrico sobre variables morfológicas.

Evaluar los efectos del estrés hídrico sobre variables fisiológicas.

Determinar los requerimientos hídricos para las especies seleccionadas del genero *Eucalyptus*.

2. Planteamiento del problema

2.1 Descripción del problema

De acuerdo con Magrin (2015), una problemática actual a nivel local, nacional y mundial está relacionada con la escasez de agua para fines agropecuarios y forestales, a causa de la presencia de sequías prolongadas en muchas regiones del mundo originadas por el cambio climático. Las precipitaciones disminuyen por efecto de cambio climático. Las labores como expansión agrícola y ganadera producen deforestación, degradación tanto física como química de suelos y ecosistemas de páramo generando alteración en el abasteciendo, regulación y almacenamiento de agua, produciendo así aumento de temperaturas y disminución de humedad en el suelo y en el medio (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, 2012)

Las actividades agropecuarias y forestales son las principales afectadas por la poca disponibilidad de recurso hídrico, produciendo daños en etapas tempranas de desarrollo de plantas alterando los procesos fisiológicos provocando pérdidas de material vegetal y por ende económicas en plantaciones recién establecida (Velasco, Ochoa, & Gutiérrez, 2005).

Por esta razón, un ambiente escaso de humedad genera estrés en plantas causando efectos secundarios en los procesos de desarrollo morfológicos, fisiológicos y metabólicos interviniendo así de manera negativa en el desarrollo óptimo de la planta (Bonadeo,, Moreno, Bongiovanni, Marzari, & Ganum , 2017).

En el género *Eucalyptus*, algunos procesos son afectados ante condiciones de estrés hídrico lo que es necesario conocer, las respuestas eco fisiológicas que desarrollan los *Eucalyptus* cuando se ven sometidos a restricción hídrica (Milla, 2010).

El efecto de la sequía crea cierta incertidumbre, en cuanto a pronósticos de la duración e intensidad afecta la agricultura y limita la producción de plantaciones forestales, debido a que la precipitación no es suficiente para satisfacer la demanda de agua consumida por plantas en la fase primaria de campo (Instituto Intereamericano de Cooperación para la Agricultura, 2017)

2.2 Justificación

Según Fernández (2013), la escasez de agua en algunos lugares del mundo son consecuencia de la presencia del fenómeno del niño siendo una restricción para la producción agropecuaria y forestal, afectando principalmente el desarrollo económico de las regiones.

En la Provincia de García Rovira no es la excepción, también está expuesta a periodos de sequía, que afectan el sector agropecuario y forestal, aunque actualmente no existen plantaciones comerciales en la región, se pueden considerar una alternativa para el desarrollo sostenible de los habitantes. Sin embargo, carece de estudios relacionados con el efecto de estrés hídrico en especies del genero *Eucalyptus* que se adapten a las condiciones de la zona, por lo cual es necesario realizar ensayos para determinar cuáles son más resistentes y presenta mecanismos de adaptación sin que su rendimiento se afecte, en los periodos de poca precipitación (Moreno, 2009).

Es así que el estudio se trata de seleccionar seis especies del genero *Eucalyptus*: *Eucalyptus cinerea* o plateado F, *Eucalyptus globulus* Labill, *Eucalyptus grandis* W. Hill, *Eucalyptus robusta* Sm, *Eucalyptus saligna* Sm, *Eucalyptus teriticornis* Sm para estudiar sus desarrollo, cuando las especies sean sometidas limitación de gua, donde los mejores resultados de desarrollo bajo el efecto de estrés hídrico serán las seleccionadas para ampliar proyectos de plantaciones forestales comerciales en la región, los datos obtenidos se asumirán como el soporte técnico y estratégico

para enfrentar fenómenos climáticos que afecten el desarrollo y rendimiento de las plantaciones comerciales como la escases de agua.

Así mismo se pretende hallar datos confiables para investigación de estudiantes de la carrera de Ingeniería Forestal que estén interesados en el tema o pretendan realizar estudios relacionados con el mismo género.

Así mismo los productores y agricultores en general interesados en establecer plantaciones con las especies trabajadas de este género, independientemente de su fin, accedan a este estudio para que tengan en cuenta cuales son las especies que brindan más opciones de adaptación, rentabilidad y uso eficiente del recurso hídrico en caso de que se presente sequias prolongadas en la región.

3. Marco referencial

3.1 Marco teórico

3.1.1 Origen y distribución geográfica del genero *Eucalyptus*. Es en un género nativo del continente australiano de la familia Mirtácea, comprende alrededor de 700 especies, las cuales se han extendido en gran parte del mundo en plantaciones establecidas con fines comerciales (Breu et al., 2008).

Según (Granados & López (2007), en los países con mayores plantaciones de este género en el mundo son principalmente México, España, Portugal, Marruecos, Argentina, los Estados Unidos y muchos otros.

3.1.2 Taxonomía. Según Nicolle (2018), el género *Eucalyptus* se encuentra conformado por 13 subgéneros, 28 secciones, 16 series, 51 subseries, 902 especies, 247 subespecies.

El género *Eucalyptus* se divide en siete subgéneros politípicos de la siguiente manera: *E. subg. Angophora*, *E. subg. Corymbia*, *E. subg. Blakella*, *E. subg. Eudesmia*, *E. subg. Symphyomyrtus*, *E. subg. Minutifructa* y *E. subg. Eucalyptus* y seis subgéneros monotípicos: *E. subg. Acerosa*, *E. subg. Cruciformes*, *E. subg. Alveolata*, *E. subg. Cuboidea*, *E. subg. Idiogenes* y *E. subg. Primitiva*, según (Harris, 2003).

3.1.3 Importancia y consumo de agua del genero *Eucalyptus*. De acuerdo a Martinez (2015) el *Eucalyptus* es el género más comercial y plantado en el mundo, algunas especies producen madera en altas cantidades en periodos cortos para; aserrío, pulpa, leña, pasta para celulosa y algunas son utilizadas con fines de reforestación para mejora y conservación de reservas de carbono el mundo.

Así mismo se considera que el género *Eucalyptus* sus plantaciones representan una gran fuente de recursos económicos para la población mundial, ya que las especies se adaptan prácticamente a todos los climas con excepción de los muy fríos; además tienen la capacidad de regenerarse rápidamente cuando han sido afectadas por incendios forestales, sequías, plagas, ramoneo, entre otras (Granados & López, 2007).

De acuerdo con (Harris, 2003), en lo relacionado con la fisiología y el uso de agua de la especie en las plantaciones en condiciones de humedad las pérdidas por contención son mayores que en los cultivos más cortos, debido al mayor transporte atmosférico de vapor de agua. En condiciones

de sequía, la transpiración de las plantaciones es mayor debido a la profundidad de enraizamiento y por consiguiente mayor acceso al agua del suelo.

Con respecto al uso del agua probablemente producen más biomasa por unidad de agua evaporada en una parcela que cualquier otra especie comercial. Además, sus altas tasas de crecimiento los convierten en especies de plantación muy rentables, en Australia su capacidad para reducir y mantener las capas freáticas es una gran ventaja en el control de la salinidad.

Según estudios realizados por (Mejía, Zapata, Urrego, Ibarra, & Leal, 2015) en *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden encontraron que el estrés hídrico afecta la acumulación y distribución de biomasa produciendo disminución, suceso que ocurre el consumo de energía para activar los mecanismos de adaptación que se dan de acuerdo a la duración del estrés y a otras condiciones ambientales como la temperatura.

3.1.4 *Eucalyptus globulus* Labill. Es un árbol que alcanza altas dimensiones, con corteza azulada, se desprende fácilmente del tronco; presenta hojas lanceoladas en colores azulados en estado juvenil y las hojas adultas son de tonos verdes oscuros, peciolo largo; su fruto tiene dimensiones piramidales son cápsulas de cuatro caras, a modo de pirámide invertida, rematadas en la parte superior por un botón (García, 2011)

3.1.5 *Eucalyptus grandis* W. Hill. Es un árbol que alcanza altas dimensiones, con corteza azulada, se desprende fácilmente del tronco; presenta hojas lanceoladas en colores azulados en estado juvenil y las hojas adultas son de tonos verdes oscuros, peciolo largo; su fruto tiene dimensiones piramidales son cápsulas de cuatro caras, a modo de pirámide invertida, rematadas en la parte superior por un botón (García, 2011)

3.1.6 *Eucalyptus robusta* Sm. Árbol de aproximadamente 60 metros de altura su corteza es fibrosa, presenta copa amplia se adapta a una temperatura entre 17-27°C, precipitación 500- 3500 mm, es una especie resistente a los vientos fuertes, especie robusta se adapta en suelos inundados de manera intermitente con arenas finas, pobremente drenadas a unas profundidades proporcionales (Trujillo, 2013).

3.1.7 *Eucalyptus cinérea* o *plateado* F. Es un árbol de rápido crecimiento, alcanza una altura de 30 a 45 metros su corteza es fibrosa, sus ramas son alargadas, su desarrollo exige altas cantidades de luz y es susceptible a las heladas; se adapta en suelos profundos que estén drenados con textura areno-arcillosa o franca y tolera p H con valores de 5,0 y 7,0 (Trujillo, 2013).

3.1.8. *Eucalyptus saligna* Sm. Es una especie que alcanza una altura entre los 40 y 45 metros, es utilizado para la elaboración de papel, en la industria farmacéutica, madera, ayuda a controlar la erosión cuando es establecido en plantaciones; se adapta a una temperatura que oscila entre los 15- 22°C, precipitación entre 800-4000 mm; tolera suelos profundos bien drenados y con alta fertilidad con textura arcillosa franco arenoso (Restrepo & Alviar, 2010).

3.1.9 *Eucalyptus teriticornis* Sm. Árbol de rápido crecimiento que puede alcanzar de 30 a 45 metros de altura. Alcanza un diámetro de 1 a 2 metros, su fuste es recto y un eje cilíndrico, con hojas primero opuestas y luego alternas, pecioladas, angostas, lanceoladas, con frecuencia curva, punta afilada, estrecha en la base, color verde brillante, se adapta a una altura de 0-1.000 m.s.n.m, Temperatura media de 17-27°C, lluvia anual de 500- 3500mm; resiste vientos fuertes y se considera uno de los eucaliptos más tolerante al fuego, prefiere suelos profundos, bien drenados,

fértiles, húmedos, de textura franco arenosa y soporta suelos neutros o ligeramente ácidos. Tolera suelos ligeramente salinos (Trujillo, 2013).

3.2 Marco conceptual

3.2.1 Absorción. Es el paso de agua y minerales hacia la raíz por medio de numerosos pelos absorbentes los cuales son pequeñas ramificaciones que se encuentran en la raíz de esta manera se constituye un conjunto de sustancias inorgánicas absorbidas por las plantas y forman la savia bruta, materia prima para realizar la fotosíntesis. (Muñoz, 2016).

3.2.2 Conductancia estomática. Se considera como el inverso de la resistencia que ofrecen las estomas al paso de bióxido de carbono y agua en la superficie de las hojas de esta manera las estomas son importantes en los procesos fisiológicos de la planta tanto la fijación de bióxido de carbono, como la pérdida de agua por transpiración. (Girón , 2014)

3.2.3 Déficit hídrico. Factor que más influye en la reducción del crecimiento de la planta en que afecta prácticamente todos los aspectos de desarrollo de la planta (Azcón & Talón, 2008).

3.2.4 Estrés hídrico. El estrés por la limitación de agua se genera en las plantas como respuesta a un ambiente escaso en agua, en donde la tasa de transpiración excede a la toma de agua (Moreno, 2009).

3.2.5 Peso seco. Es una variable que estima el carbono total de la planta, lo que permite analizar importantes cambios y aspectos en la planta relacionados en su fisiología (Melgarejo et al., 2010).

3.2.6 Respiración. Es un proceso en que la glucosa producida por la fotosíntesis se convierte en molécula de ATP, se considera como un tipo de combustión en la cual se liberan carbohidratos y energía almacenada en la glucosa para ser utilizada por la célula. La diferencia entre una simple combustión y la respiración celular es que en esta última la energía se libera por etapas y en forma controlada(Moreno, 2009).

3.2.7 Transpiración. Es la pérdida de agua a través de los componentes la planta principalmente por las hojas, este suceso afecta el crecimiento de la planta, de esta manera la absorción de bióxido de carbono para la fotosíntesis y la pérdida de agua por transpiración están enlazadas para poder dar vida de las plantas, de esta manera las condiciones que ayudan la transpiración favorecen la fotosíntesis. (Muñoz, 2016).

3.3 Marco Jurídico, Normativo e Institucional

Ley 99 de 1993 por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental y se dictan otras disposiciones.

Se trasladó al Ministerio de Agricultura la función de formular la política de cultivos forestales con fines comerciales, de especies introducidas o autóctonas, con base en la Política Ambiental que establezca el Min. Ambiente.

Se le atribuyó a las CAR, entre otras, funciones para: otorgar permisos, autorizaciones, licencias ambientales, aprovechamientos forestales, ejercer el control a la movilización, procesamiento y

comercialización de recursos naturales renovables, imponer sanciones y exigir la reparación a daños causados (Colombia Leyes y Decretos, 1993).

Decreto 1791 de 1996 por medio del cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal. Enumera las clases de aprovechamiento forestal dispuestas en la norma además de especificar los procedimientos y requisitos para los mismos (Colombia Leyes y Decretos, 1996).

Decreto 2811 de 1974 Código de Recursos Naturales vigente a la fecha como el marco regulatorio para el manejo de los recursos naturales renovables, clasifica los bosques y los suelos forestales, que denominó como áreas forestales y que cubre tanto bosques naturales como plantaciones, de manera genérica en protectoras son zonas que deben ser conservadas permanentemente con bosques naturales o plantados para proteger los recursos naturales renovables.

Productoras: aquellas zonas que deben ser conservadas de forma natural o artificial para obtener productos para la comercialización o consumo. Mientras la producción directa ocurre cuando la obtención del producto supone la desaparición temporal del bosque y una posterior recuperación, la producción indirecta implica únicamente la obtención de frutos o productos secundarios del bosque.

Aunque el CRN previó que dicha clasificación sería determinada según estudios ecológicos y socioeconómicos las únicas áreas del país donde actualmente se cuenta con esta clasificación son las reservas forestales establecidas por la Ley 2 de 1959 y aquellas donde la autoridad ambiental ha elaborado un Plan de Ordenación Forestal. Para el resto del territorio solo se cuenta con los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas-POMCA y la clasificación de usos del suelo contenidos en los POT.

Asimismo, el CRN contempló un capítulo especial para la reforestación, que se define como el “establecimiento artificial de árboles para formar bosques” y para ella hace una clasificación específica, dependiente de la anterior. La redacción literal del CRN es la siguiente:

Plantación forestal industrial, la establecida en área forestal productora con el exclusivo propósito de destinarla a la producción directa o indirecta.

Plantación forestal protectora-productora, la que se establece en área forestal protectora en que el aprovechamiento directo o indirecto de la plantación está condicionado al mantenimiento de su efecto de protección del recurso.

Plantación forestal protectora, la que se siembra exclusivamente para proteger o recuperar algún recurso natural renovable y de la cual se pueda tener aprovechamiento indirecto.

Aunque el CRN no es del todo claro en cuanto a la exigencia de recuperar el bosque con posterioridad al aprovechamiento en las plantaciones forestales industriales, dado que la anterior clasificación se relaciona expresamente con la clasificación genérica de las áreas forestales, que en todos los casos plantea el deber de conservar el recurso forestal, siempre se ha asumido que en estas no es necesario repoblar el bosque. En contraste, respecto de las plantaciones ubicadas en áreas forestales protectoras, que se clasifican como plantaciones protectoras-productoras y protectoras, la obligación de mantener el bosque es clara (Colombia Leyes y Decretos, 1974).

4.1 Localización del área

La investigación se desarrolló contiguo al vivero de la Universidad Industrial de Santander, Sede Málaga, a una altitud 2213 con temperatura de 17°C precipitación anual de 1857 mm (Ver figura 1)

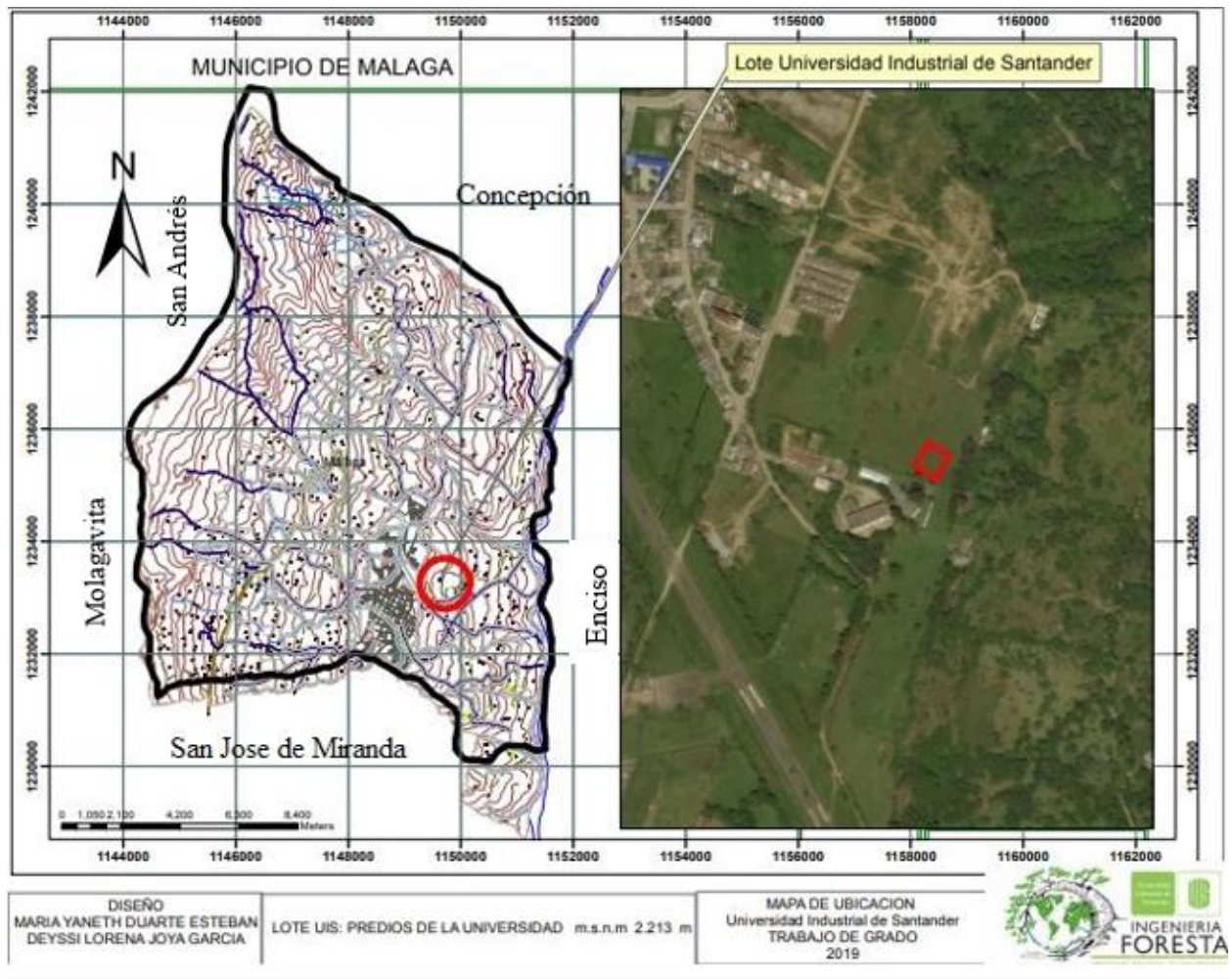


Figura 1. Mapa de localización

4.2 Tipo de metodología

Se utilizó metodología experimental en la que se controló la frecuencia de los riegos hasta someter las plántulas a diferentes niveles estrés hídrico para analizar el comportamiento mediante la toma de datos y de esta manera dar el cumplimiento a los objetivos planteados en el ensayo.

4.3 Material vegetal

Para evaluar los efectos de estrés hídrico se germinaron las seis especies de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill, procedente de Chiquinquirá Boyacá, *Eucalyptus cinérea*, de Tenjo Cundinamarca *Eucalyptus saligna*, de Aguazul Casanare *Eucalyptus teriticornis*, de Aguazul Casanare *Eucalyptus grandis* de Caqueza Cundinamarca y *Eucalyptus robusta* en Guayabal Cundinamarca) todas ellas adquirida en la tienda forestal El Semillero.

La germinación se desarrolló en el vivero de la Universidad Industrial de Santander sede Málaga en bandejas multiceldas utilizando como sustrato turba. La primera fertilización se realizó con elementos mayores y menores durante la fase de vivero. A los dos meses se trasplantaron 200 plántulas por especie en bolsas con dimensiones 40cm x 30cm x 40cm utilizando para el llenado sustrato del lugar se distribuyeron en eras de crecimiento a cielo abierto para aclimatación.

Se realizó control de plagas con Proteus de componentes activos tiacloprid y deltametrin a una solución de 1cm por litro de agua, y para fertilización se aplicó una mezcla de elementos mayores; Nutrimins con componente activo el Nitrógeno, Foss 61 con Nitrógeno y Fósforo , nitrato de potasio, sulfato de magnesio y nitrato de calcio, en una dosificación de 10 gramos de cada elemento en 20 litros de agua; elementos menores se utilizó sulfato de cobre, sulfato de zinc y sulfato de hierro, un gramo por elemento en 20 litros de agua

Posterior a un mes de adaptación, de control de plagas, malezas y fertilización, se hizo la selección de 64 plantas por especie, teniendo en cuenta sanidad vigor y homogeneidad en cuanto a altura y diámetro.

Una vez ubicadas al azar se realizó una cubierta con un plástico transparente para controlar el factor precipitación y homogenizar las condiciones de todas las especies, de igual manera las

plantas se colocaron sobre plásticos para evitar la absorción de agua a través de las raíces. Una vez instalado el ensayo se aplicó riego diario por una semana manteniendo cada planta con un porcentaje de humedad de 33% utilizando para ello un sensor para medir la humedad GS3 marca Decagon Devieces, con el objeto que el experimento presentara las menores diferencias al iniciar con la aplicación de los tratamientos.

4.5 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar, con dos factores (especie y riego), 4 bloques conformados 24 plantas por especie para un total de 384 para evaluar los cambios fisiológicos y morfológicos de las especies frente a diferentes tipos de riego (Ver figura 2)

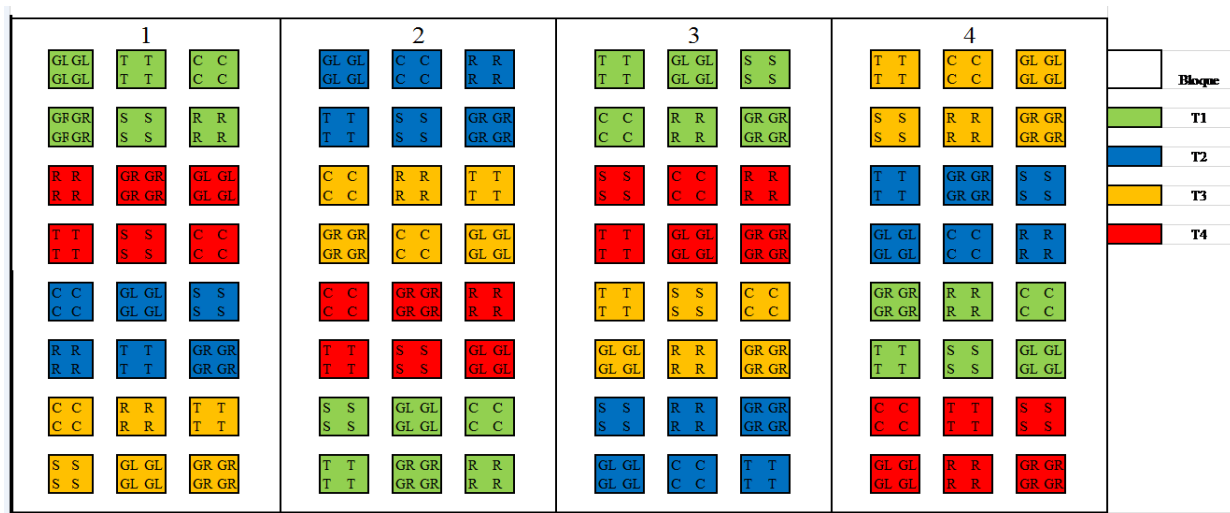


Figura 2. Disposición del diseño experimental

Donde C: *Eucalyptus cinérea* o plateado F, GL: *Eucalyptus globulus* Labill, GR: *Eucalyptus grandis* W. Hill S: *Eucalyptus saligna* Sm, R: *Eucalyptus robusta* Sm, T: *Eucalyptus teriticornis*

Sm. T1 (Tratamiento con riego cada tres días), T2 (Tratamiento con riego cada 7 días) T3 (Tratamiento con riego cada 15 días) T4 (Tratamiento con riego cada 30 días).

Para determinar la significancia de las variables y los tratamientos se realizó la prueba de Anova y comparación de medias Tukey mediante el software estadístico R y la hoja de cálculo Excel.

4.6 Suelo

Se realizó un análisis de suelo para determinar los contenidos nutricionales de sustrato para llenado de bolsas, se hizo una calicata de 1 x1x1 metro de la cual se tomó una muestra del primer horizonte para enviar al laboratorio de la Universidad de Santander para el análisis de p H, materia orgánica entre otros elementos.

4.6 Clima

Para el ensayo se caracterizó, temperatura y humedad con datos obtenidos de la estación ubicada en la Universidad industrial de Santander.

4.7 Medición de Variables Morfológicas y fisiológicas.

Se seleccionaron 348 plantas, (96 por cada bloque y 24 por especie) con el fin de conocer las variables fisiológicas y morfológicas mediante muestreos destructivos para toma de datos a lo largo del ensayo correspondientes a los 15, 30, 45 y 60 días de establecido el ensayo, en cada toma de datos se midió:

La altura la cual se tomó desde la base del árbol hasta la yema apical de cada uno de los individuos seleccionados para el muestreo destructivo, utilizando para ello una cinta métrica.

El diámetro se midió a dos centímetros de altura de la base utilizando el instrumento pie de rey marca Stainless Hardened.

Conductancia estomática y eficiencia fotosintética se tomaron en 24 plantas correspondientes a cada bloque y cada tratamiento y especie, usando el porómetro de hoja y Handy PEA.

Para la estimación de área foliar, se realizó la destrucción para toma de datos de las 384 plantas dividida en las cuatro fechas, cortando el árbol a la base separando hojas, ramas y tallos tomando el registro fotográfico de las hojas de cada uno de los individuos para después procesarlas con el software ImageJ hallando el área foliar de cada planta, posteriormente se realizó el peso húmedo de las muestras en el laboratorio con la balanza analítica, por último se llevaron las muestras al horno de secado a una temperatura de 65°C por 48 horas para obtener la biomasa de cada especie y tratamiento.

5 Resultados

5.1 Suelo

Presenta una textura idónea para el desarrollo radicular de las plantas, pero con algunas restricciones de menor retención de humedad, lo cual, lleva a que se necesite de mayor aplicación de riegos o de lluvias con mayor frecuencia, para evitar la disminución del contenido volumétrico hídrico y minimizar el estrés hídrico en plantas.

Con respecto al pH (5) y presencia de Aluminio (0.8) se hace necesario el manejo de correctivos para estos dos componentes del suelo, pues, afectan el desarrollo de las raíces por la toxicidad que genera el aluminio.

Con respecto al contenido del %Carbono, %Materia Orgánica y % de Nitrógeno Total, se encuentran en condiciones bajas, lo que genera una disminución del crecimiento del follaje, afectando el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Con respecto al P, K, S, Ca, se encuentran en condiciones óptimas, lo que posibilita un buen desarrollo de las plantas. Los demás nutrientes Mg, B, Fe, Mn, Zn y Cu, se encuentran en bajos contenidos en el suelo, lo cual, va a generar problemas de crecimiento y desarrollo en las plantas, pues muchos de estos elementos actúan como cofactores enzimáticos.

Por tal razón las plantas se fertilizaron para corregir estas restricciones asociados a la nutrición

(Ver tabla 1)

Tabla 1.
Resultados de análisis de suelos laboratorio UIS

Cód. Muestra	pH	% C	P	Ca	Mg	Na	K	Al	% Arena	%limo	%Arcilla
						meg/100g suelo					
19- 0472	5	2,45	25,2	5,41	0,72	0,11	0,55	0,8	60	24	
Textura	B	Fe	Mn	Cu	Zn	S	CIC	CE			
			(ppm)				meg/100	mmhos/cm			
Franco- arenoso	0,11	1,73	0,77	0,37	0,38	10,8	6,00	N.S.C			

5.2 Clima

Con respecto a la variable temperatura se realizó con los datos de la estación ubicada en la Universidad Industrial de Santander- Sede Málaga para los meses de enero, febrero, marzo y abril del 2019, periodo en que se ejecutó el estudio y se realizó la toma de datos. En lo que arrojo que el valor máximo de la temperatura oscila entre 20 y 24 °C para diurna y la mínima entre 13 y 16 °C y la nocturna de (Ver figura 3)

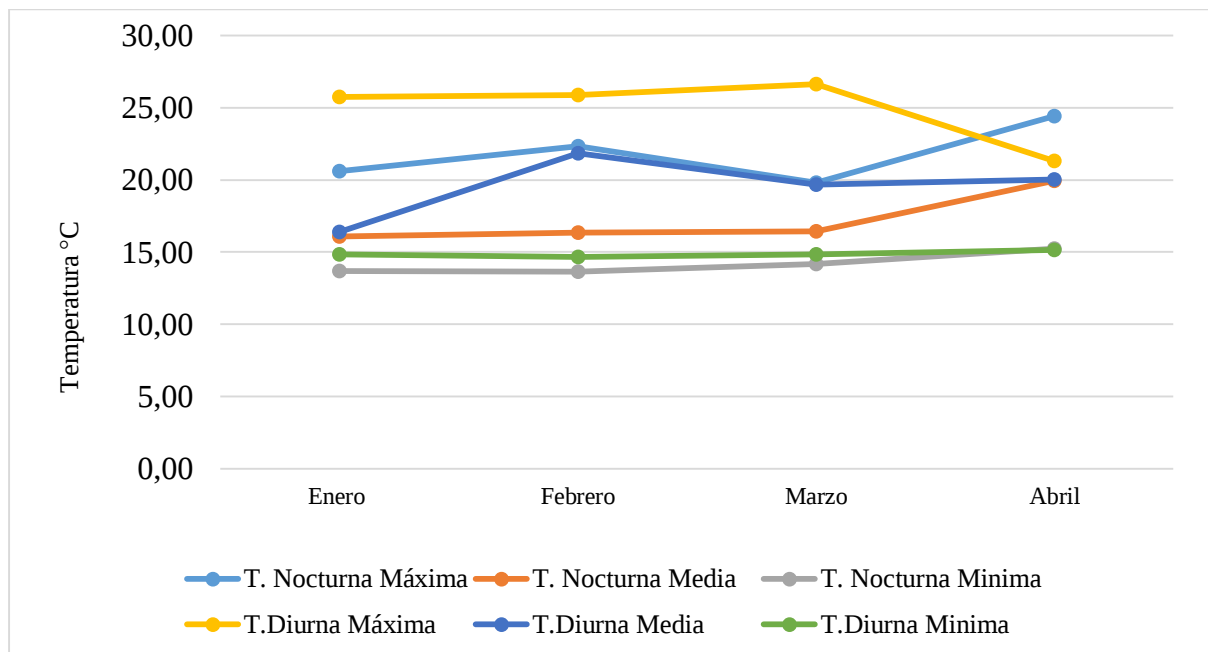


Figura 3. Temperatura de Universidad Industrial Sede Málaga

Donde T.D se refiere a los datos de temperatura diurnos; T.N representa los datos nocturnos.

Para la humedad relativa se observa mayor en el mes de marzo contrario en el mes de febrero se obtuvo que se presentó datos más bajos (Ver figura 4).

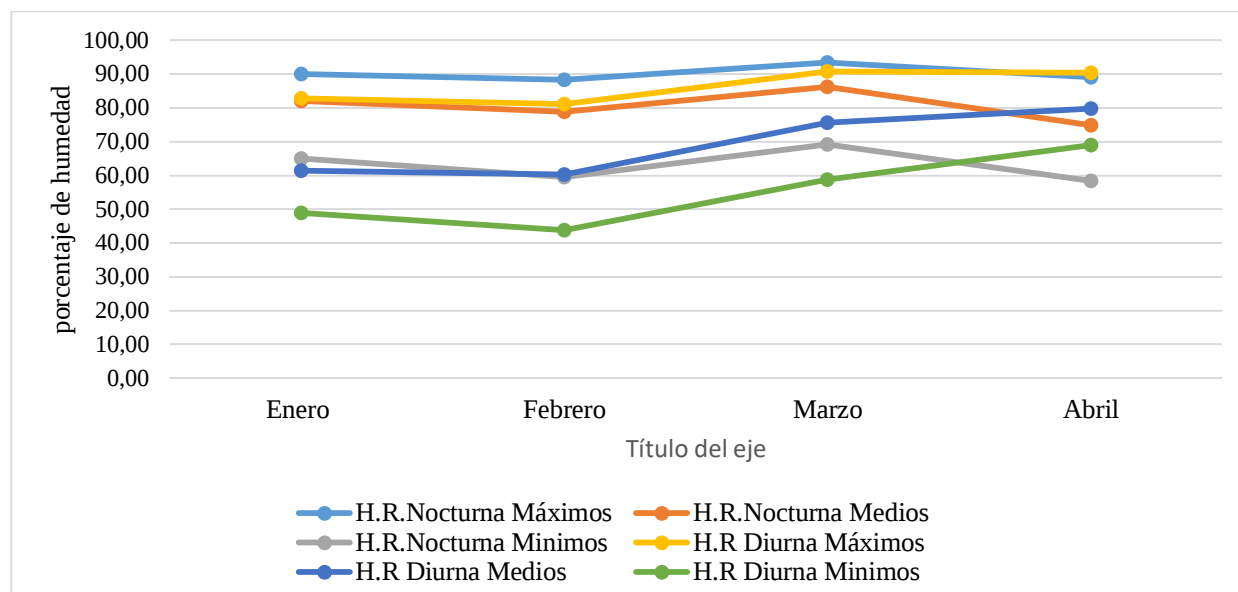


Figura 4. Grafica de humedad relativa

Donde; H.R.D humedad relativa diurna; H.R.N humedad relativa nocturna.

5.3 Evaluación del efecto del estrés hídrico en variables morfológicas y fisiológicas

5.3.1 Variable altura. Análisis respectivo de datos del comportamiento de la variable para cada especie.

Para la especie de *Eucalyptus cinerea* F no se presentaron diferencias significativas.

Para el análisis de la variable Altura el *Eucalyptus globulus* Labill no presenta diferencias significativas.

Para la especie de *Eucalyptus grandis* W.Hill en el ensayo no presento diferencias significativas.

De igual manera para *Eucalyptus robusta* S, *Eucalyptus saligna* Sm y *Eucalyptus tereticornis* Sm la variable altura no se presentó diferencias significativas.

5.3.2 Variable diámetro. Análisis respectivo de datos del comportamiento de la variable para cada especie.

El análisis del diámetro para especie *Eucalyptus cinerea* F arrojó diferencias significativas entre tratamientos siendo el tratamiento 1 el que presenta los mayores promedios y máximos en diámetros y tratamiento 2 a pesar que se observó con diámetros elevados su valor promedio con respecto a tratamiento 3 son estadísticamente similares, tratamiento 4 presento un valor promedio más elevado que tratamiento 2 y 3 (Ver figura 5).

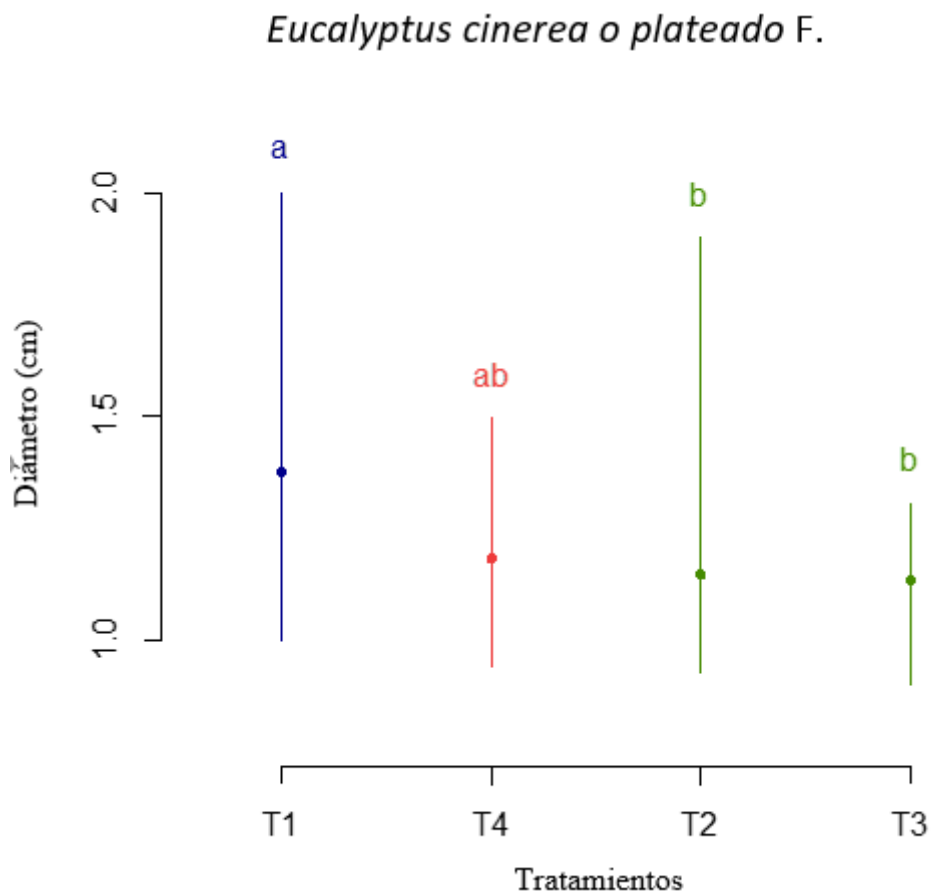


Figura 5. Comparación variable diámetro para *Eucalyptus cinerea* para cada tratamiento.

El análisis para diámetro arrojó diferencias significativas entre tratamientos siendo el tratamiento 1 quien presenta los más elevados promedios y máximos y tratamiento 2, 3 y 4 se mantuvieron con promedios y máximos estables para *Eucalyptus globulus* (Ver figura 6).

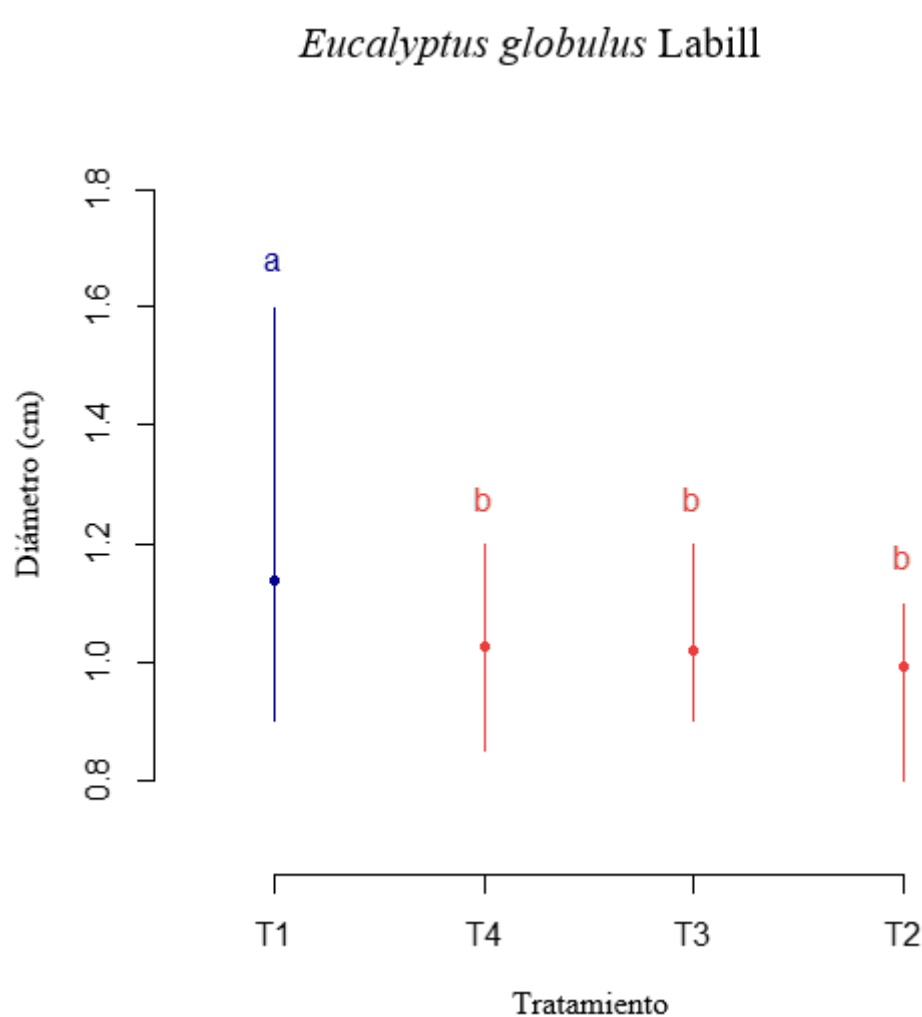


Figura 6. Comparación variable diámetro para *Eucalyptus globulus* Labill para cada tratamiento.

El análisis para de la variables para *Eucalyptus grandis* W.Hill arrojó que presenta diferencias significativas entre tratamientos siendo el tratamiento 1 el de valores máximos diámetros y tratamiento 2, 3 y 4 presentaron variabilidad entre sí con diámetros inferiores (Ver figura 7).

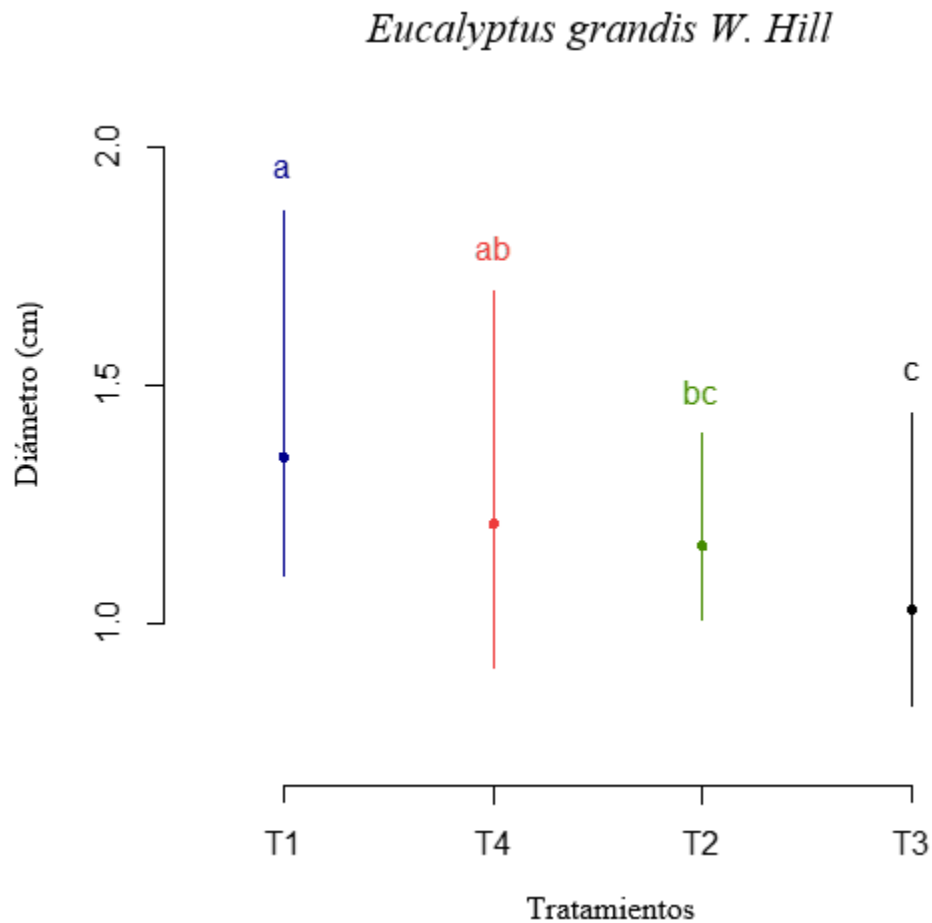


Figura 7. Comparación variable diámetro para *Eucalyptus grandis* W. Hill para cada tratamiento.

El análisis para diámetros arrojó que el *Eucalyptus robusta* Sm no presenta diferencias estadísticamente significativas en diámetros sin embargo el tratamiento 1 es quien presenta mayores alturas y promedios (Ver figura 8).

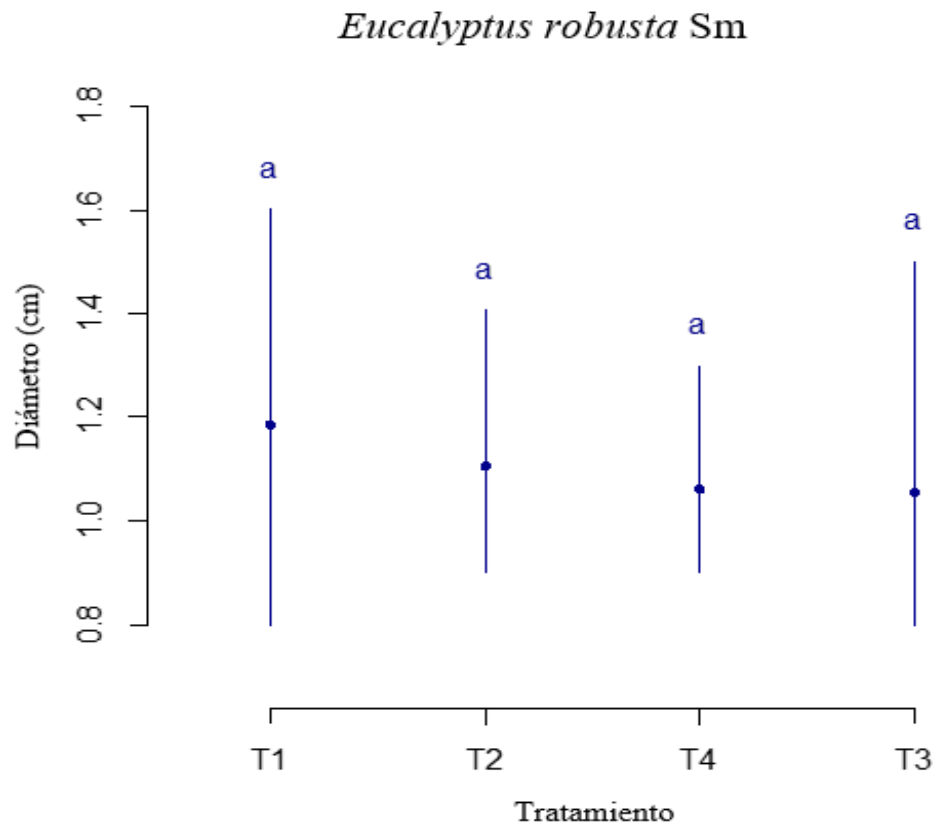


Figura 8. Comparación variable diámetro para *Eucalyptus robusta* para cada tratamiento.

De acuerdo al análisis se encontraron diferencias altamente significativas entre tratamientos siendo el tratamiento 1 quien presenta los mayores promedios y máximos con una amplia diferencia con tratamiento 3 mientras que tratamiento 2 y 4 fueron similares entre sí (Ver figura 9).

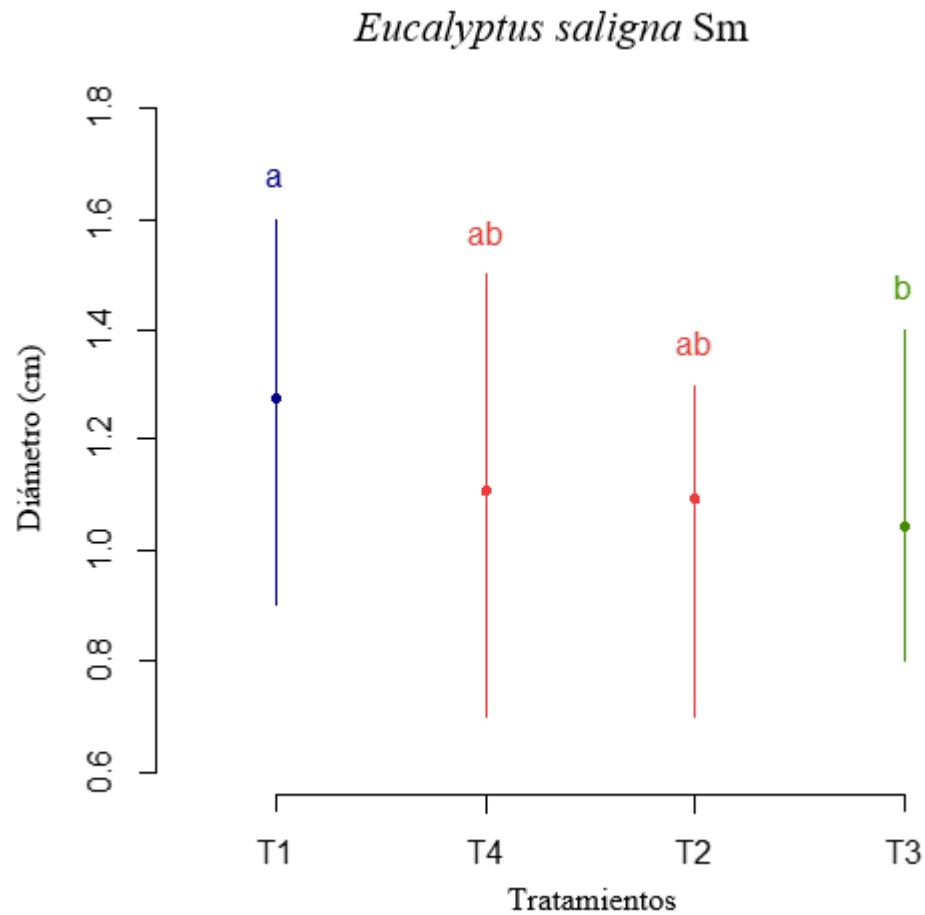


Figura 9. Comparación variable diámetro para *Eucalyptus saligna* para cada tratamiento.

De acuerdo al análisis se encontraron diferencias significativas entre tratamientos siendo el tratamiento 1 quien presenta los mayores promedios con diferencia con tratamiento 3 y 4 mientras que tratamiento 2 fue similar (Ver figura 10).

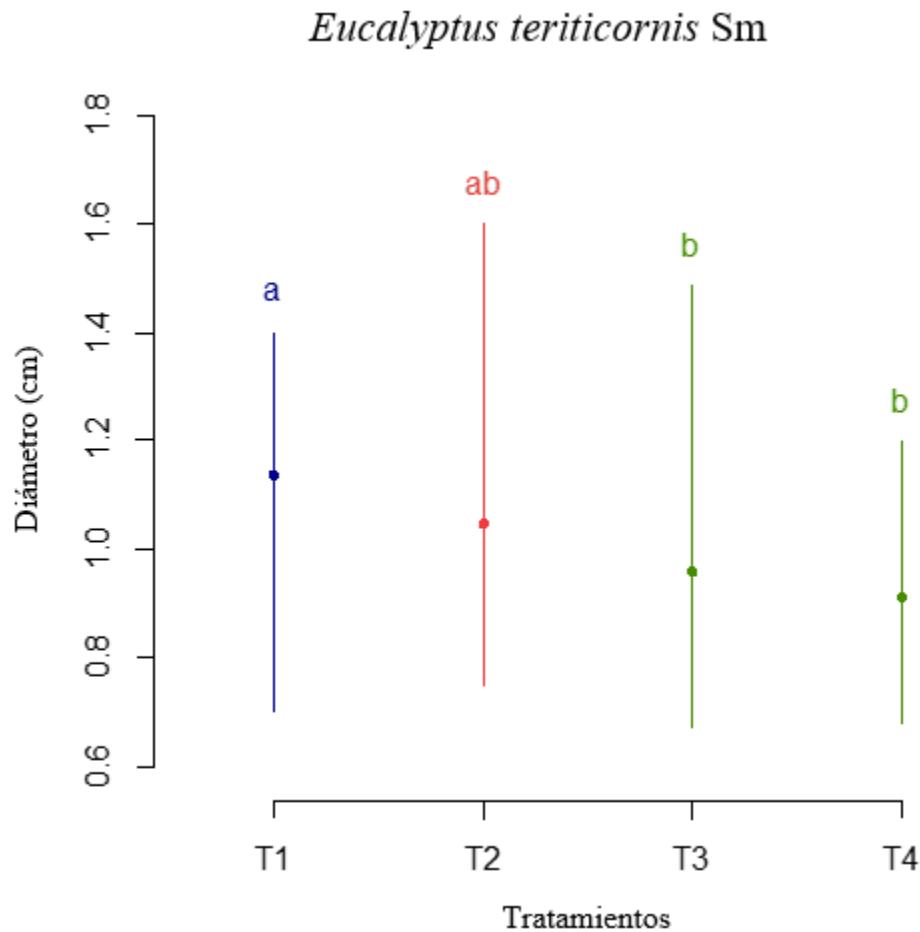


Figura 10. Comparación variable diámetro para *Eucalyptus tereticornis* Sm para cada tratamiento.

5.3.3 Área foliar. Análisis respectivo de datos del comportamiento de la variable área foliar para cada especie.

El análisis estadístico arrojó que el *Eucalyptus cinerea* o *plateado* F presenta diferencias significativas entre tratamientos siendo el tratamiento 1 quien muestra los promedios más altos observándose la diferencia más amplia con tratamiento 3 mientras que tratamiento y 2 y 4 respectivamente presentaron los máximos de área foliar fueron similares entre sí (Ver figura 11)

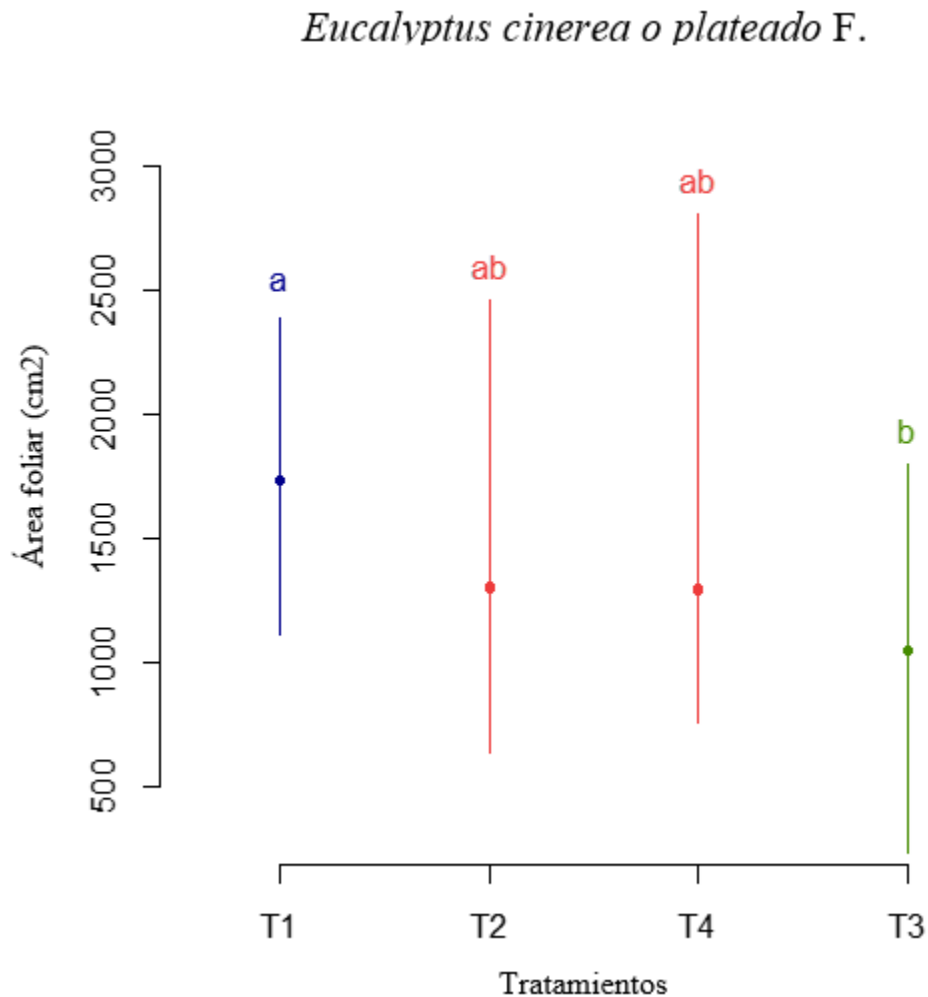


Figura 11. Comparación variable área foliar para *Eucalyptus cinerea* F para cada tratamiento

El análisis presenta diferencias significativas entre tratamientos siendo el tratamiento 1 quien presento los mayores promedios presentándose similitud con tratamiento 2, también se evidenció que en este tratamiento encontramos los valores máximos y mínimos para esta variable, la mayor diferencia se notó con respecto al tratamiento 4, este último con valores inferiores para área foliar (Ver figura 12).

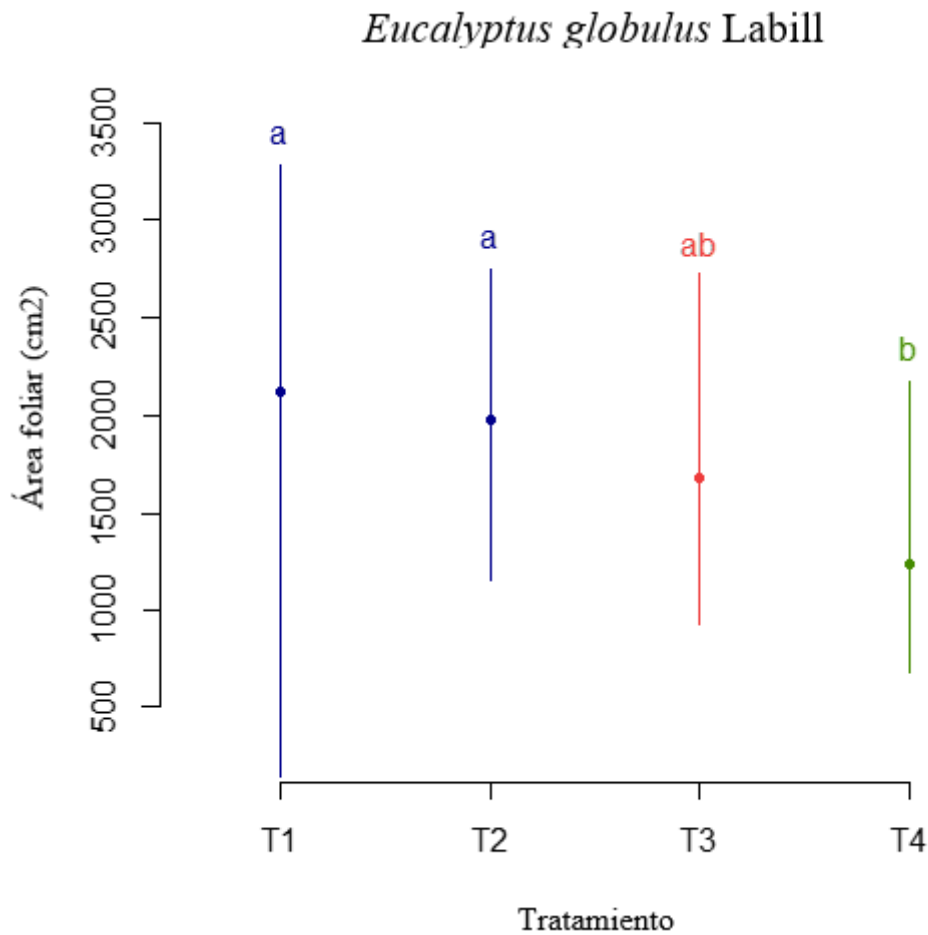


Figura 12. Comparación variable área foliar para *Eucalyptus globulus* Labill para cada tratamiento

El análisis para area foliar arroja que el *Eucalyptus grandis* W. Hill presenta altas diferencias significativas entre tratamientos siendo el tratamiento 1 quien presento los mayores promedios a pesar que en el tratamiento 2 encontramos el valor máximo en el tratamiento 3 se observa variabilidad para esta variable mientras que tratamiento 4 presento los resultados inferiores (Ver figura 13).

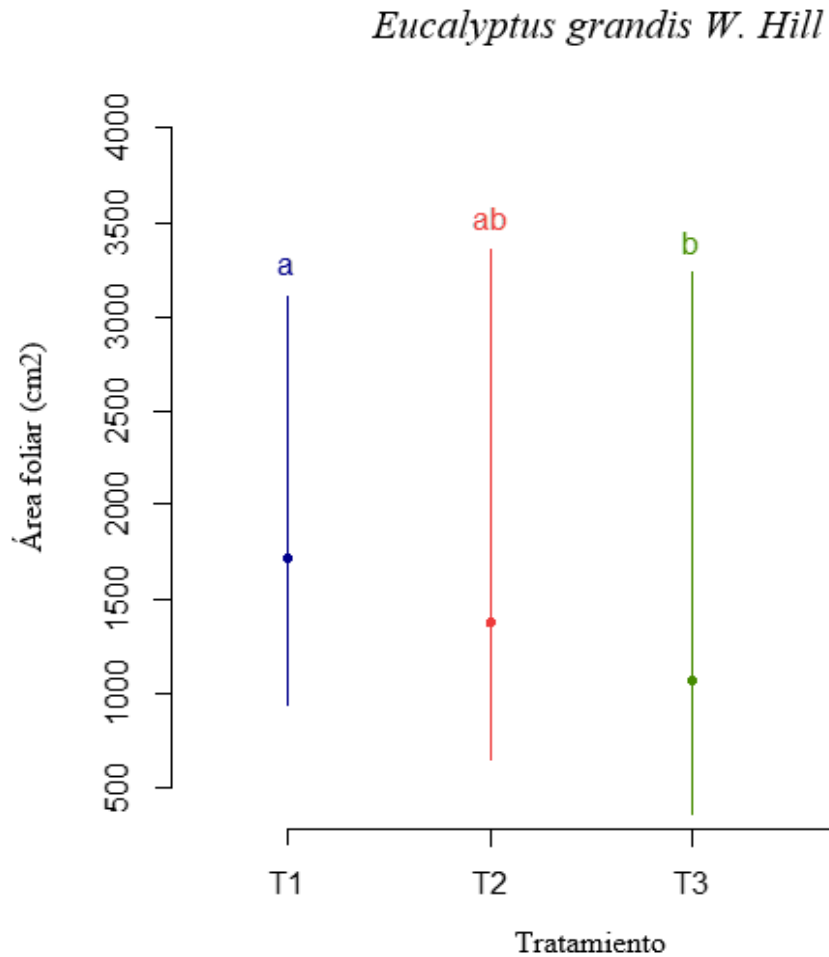


Figura 13. Comparación variable área foliar para *Eucalyptus grandis* para cada tratamiento

Para la especie *Eucalyptus robusta* Sm en la variable área foliar no se presentaron diferencias significativas.

Para el análisis de la variable área foliar el *Eucalyptus saligna* Sm no presenta diferencias significativas.

El análisis para área foliar arroja diferencias significativas entre tratamientos siendo el tratamiento 1 quien presento los máximos valores sin embargo el tratamiento 2 obtuvo el mayor promedio, el tratamiento 4 fue quien evidencio las mayores discrepancias respecto a los demás con resultados inferiores (Ver figura 14)

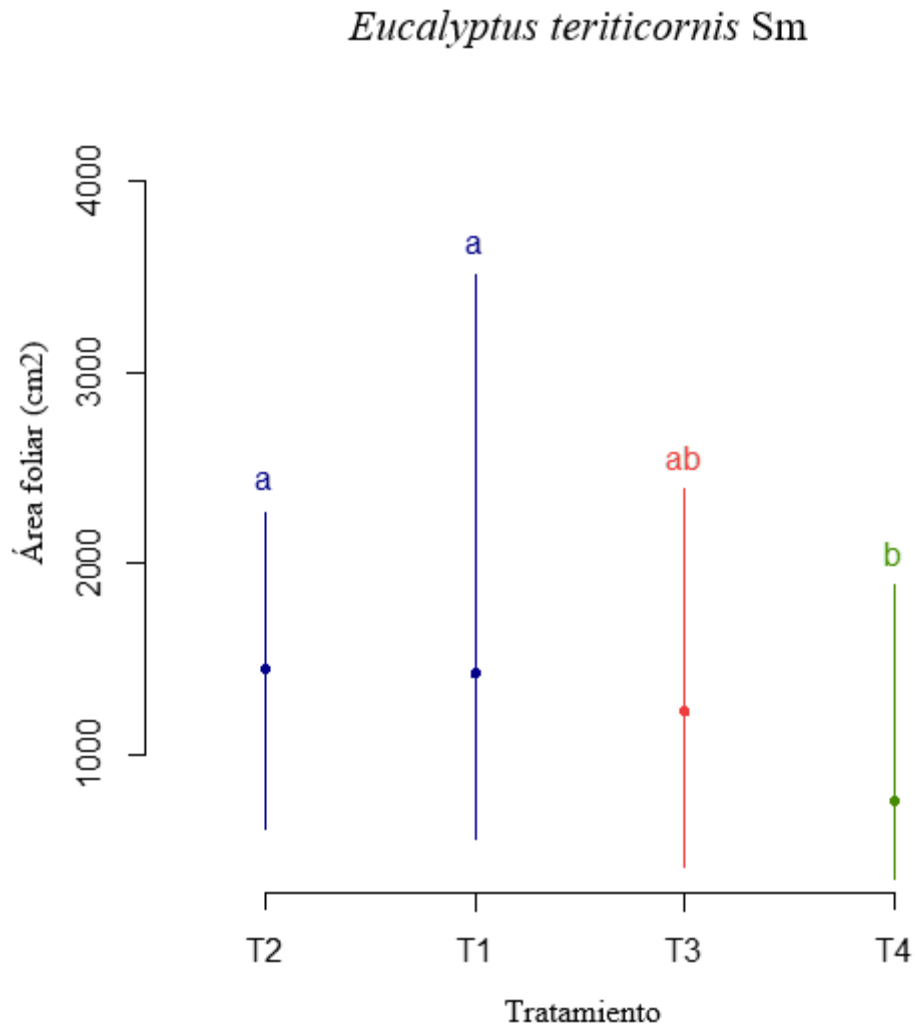


Figura 14. Comparación variable área foliar para *Eucalyptus tereticornis* para cada tratamiento.

5.3.4 Conductancia estomática. Análisis respectivo de datos del comportamiento de la variable conductancia estomática para cada especie

Arrojo diferencias significativas entre tratamientos siendo el tratamiento 1 y 2 respectivamente quienes presentaron los mayores promedios y máximas conductancias, mientras que el tratamiento 3 y 4 no presentaron mayores discrepancias entre sí (Ver figura 15)

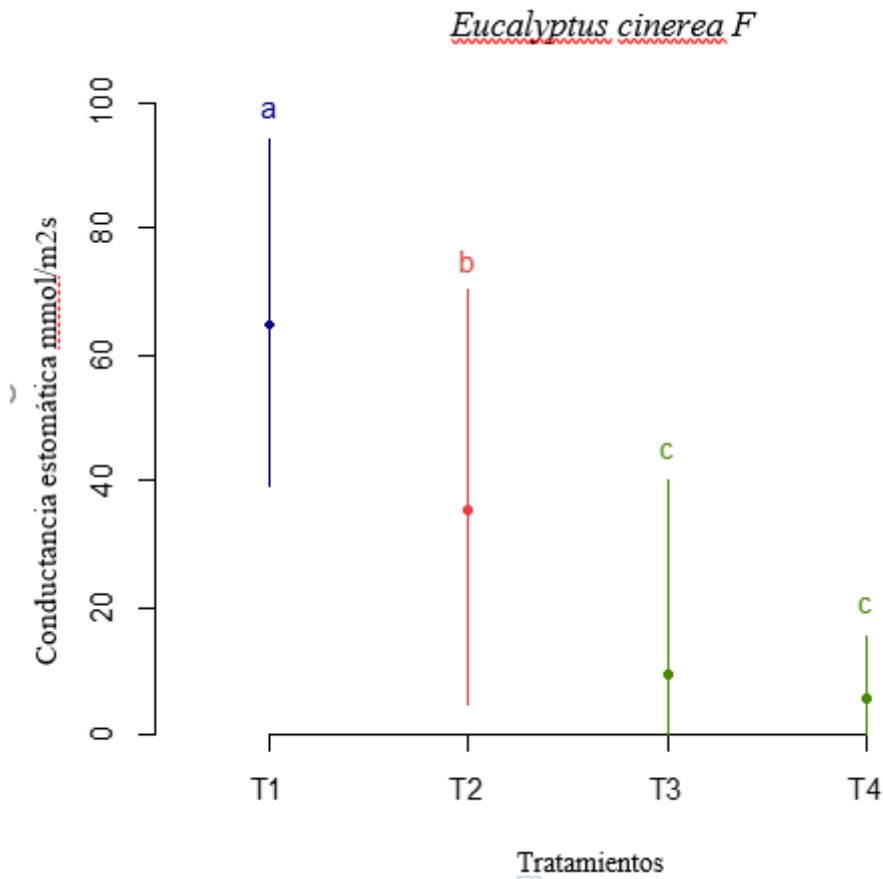


Figura 15. Comparación variable Conductancia estomática para *Eucalyptus cinerea* F.

El análisis se presenta altas diferencias significativas entre tratamientos siendo el tratamiento 1 el cual presenta el mayor promedio y máxima conductancia estomática con una amplia diferencia con los demás tratamientos haciéndose más notorio con el tratamiento 4, y tratamiento 2, 3 y 4 respectivamente quienes presentaron menor conductancia con diferencias significativas en promedios entre sí y tratamiento 4 presentando la mínima conductancia (Ver figura 16)

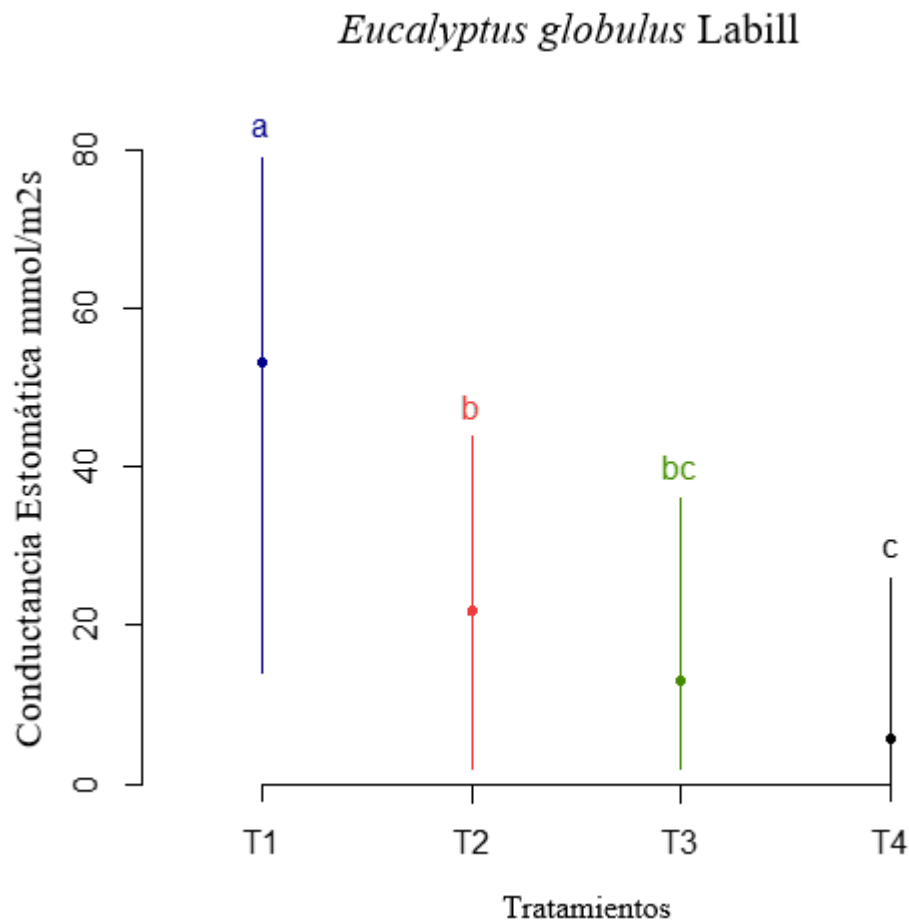


Figura 16. Comportamiento variable Conductancia estomática para *Eucalyptus globulus* Labill

El análisis para conductancia estomática arrojó que el *Eucalyptus grandis* W. Hill presenta altas diferencias significativas entre tratamientos siendo el tratamiento 1 quien presenta los mayores promedios, a pesar de ser el tratamiento 2 donde se observa la mayor conductancia estomática, y tratamiento 3 y 4 quienes presentan menores conductancias, a nivel general se evidencia una amplia diferencia entre tratamientos (Ver figura 17)

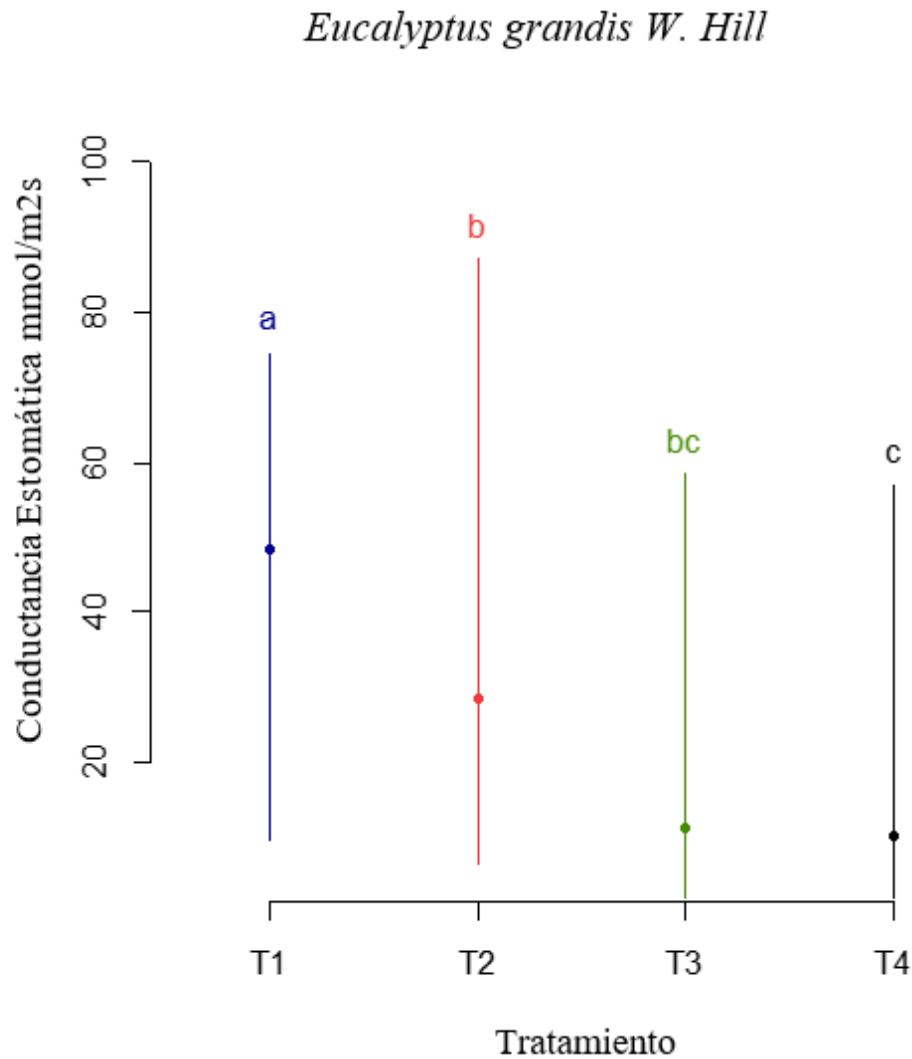


Figura 17. Comportamiento conductancia estomática para *Eucalyptus grandis* W. Hill

El análisis para conductancia estomática arrojó que presenta diferencias estadísticamente significativas siendo el tratamiento 1 el que presenta mayores promedios sin embargo en el tratamiento 2 se observó los valores más altos para esta variable, tratamiento 3 y 4 presentaron diferencias con respecto a tratamiento 1 y 2 mientras que entre ellas no se evidencio discrepancia sin embargo se notó que a medida que el contenido de agua se limitaba la conductancia estomática tiende a ser nula (Ver figura 18)

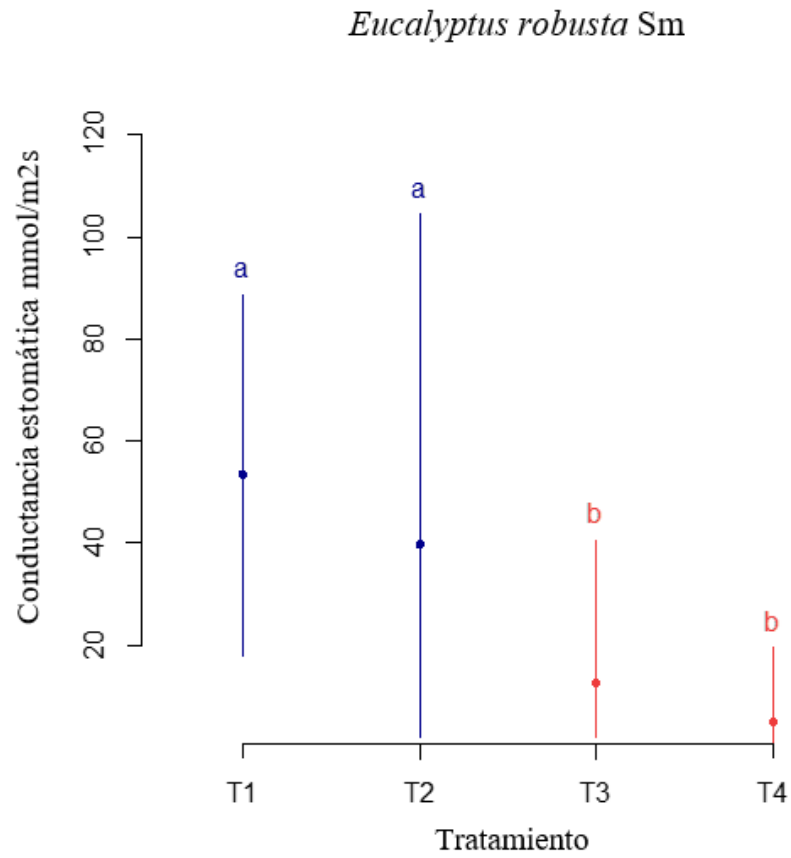


Figura 18. Comportamiento conductancia estomática para *Eucalyptus robusta* Sm.

El análisis para conductancia estomática arrojó que *Eucalyptus saligna* Sm presenta altas diferencias estadísticamente significativas siendo el tratamiento 1 quien presenta mayores promedios sin embargo en el tratamiento 2 se observó los valores más altos para esta variable, tratamiento 3 y 4 presentaron diferencias con respecto a tratamiento 1 y 2 mientras que entre ellas no se evidencio discrepancia (Ver figura 19)

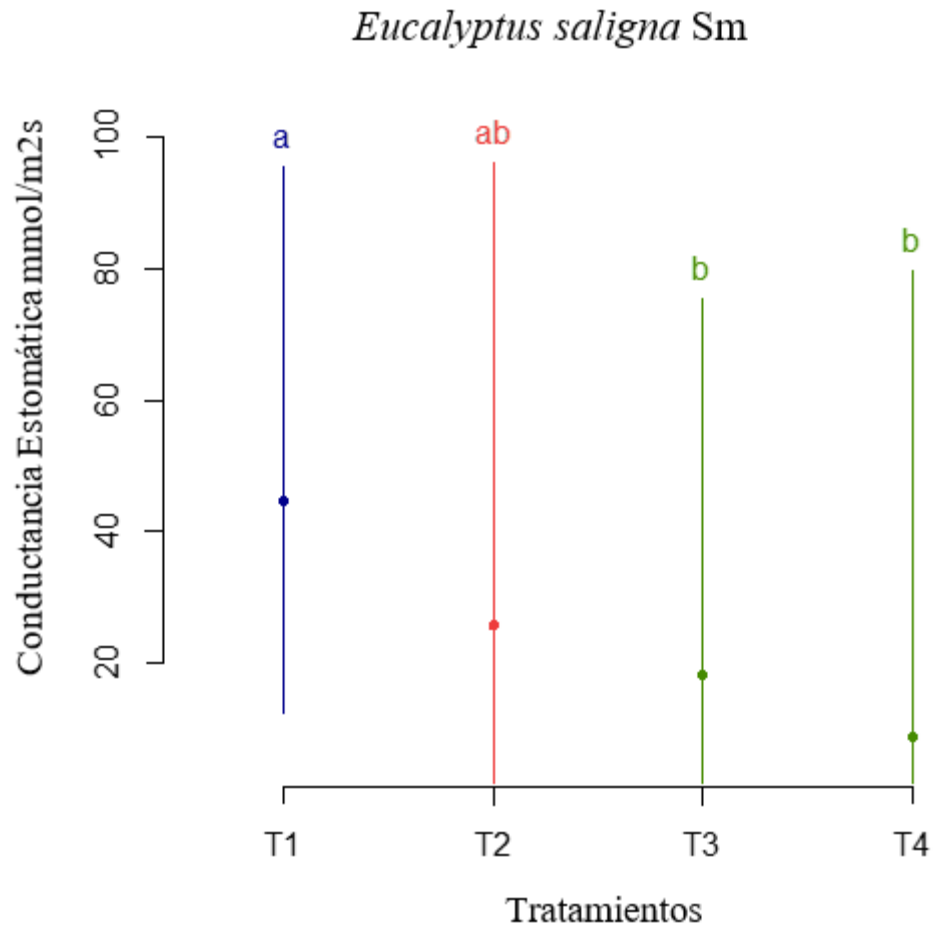


Figura 19. Comportamiento conductancia estomática para *Eucalyptus saligna* Sm.

El análisis para *Eucalyptus tereticornis* Sm presenta altas diferencias estadísticamente significativas siendo el tratamiento 1 quien presenta mayores promedios y los tratamientos 2, 3 y 4 presentaron valores con mayor discrepancia (Ver figura 20)

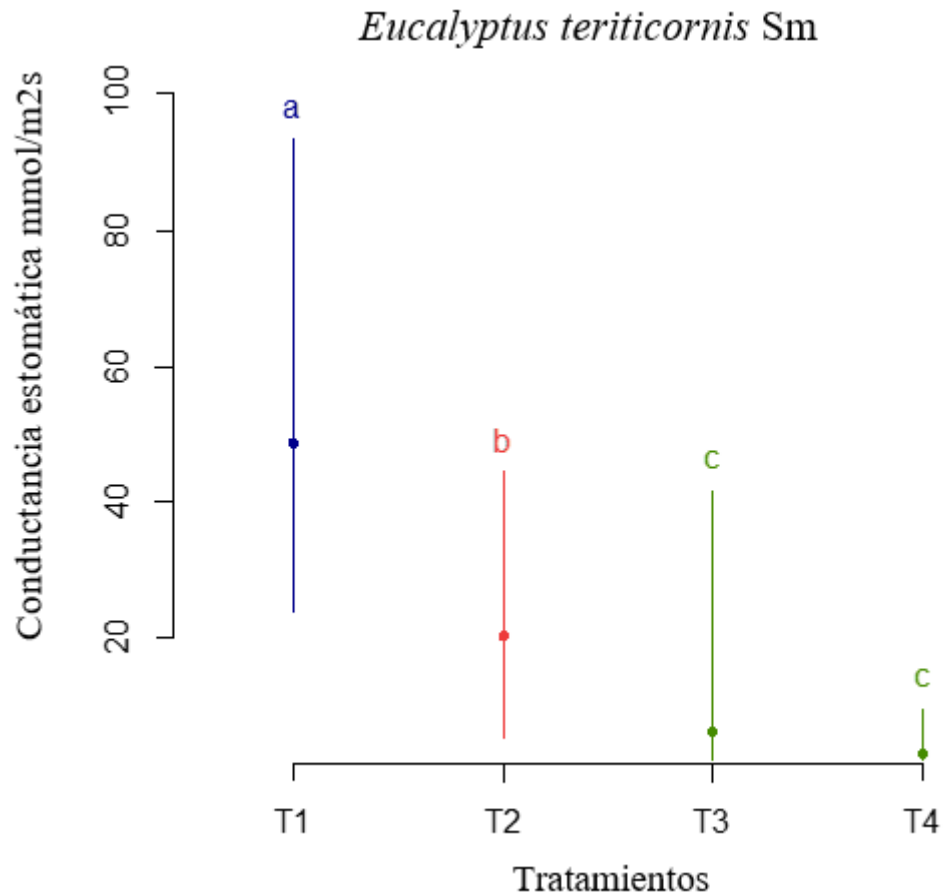


Figura 20. Comportamiento conductancia estomática para *Eucalyptus tereticornis* Sm.

5.3.5 Contenido volumétrico. Análisis respectivo de datos del comportamiento de la variable contenido volumétrico para cada especie

El análisis de contenido volumétrico para *Eucalyptus cinerea* de agua arrojó diferencias altamente significativas entre tratamientos siendo el tratamiento 1 y 2 respectivamente quienes presentaron los mayores niveles de agua en el suelo y tratamiento 3 y 4 presentaron menores contenidos de humedad respectivamente (Ver figura 21)

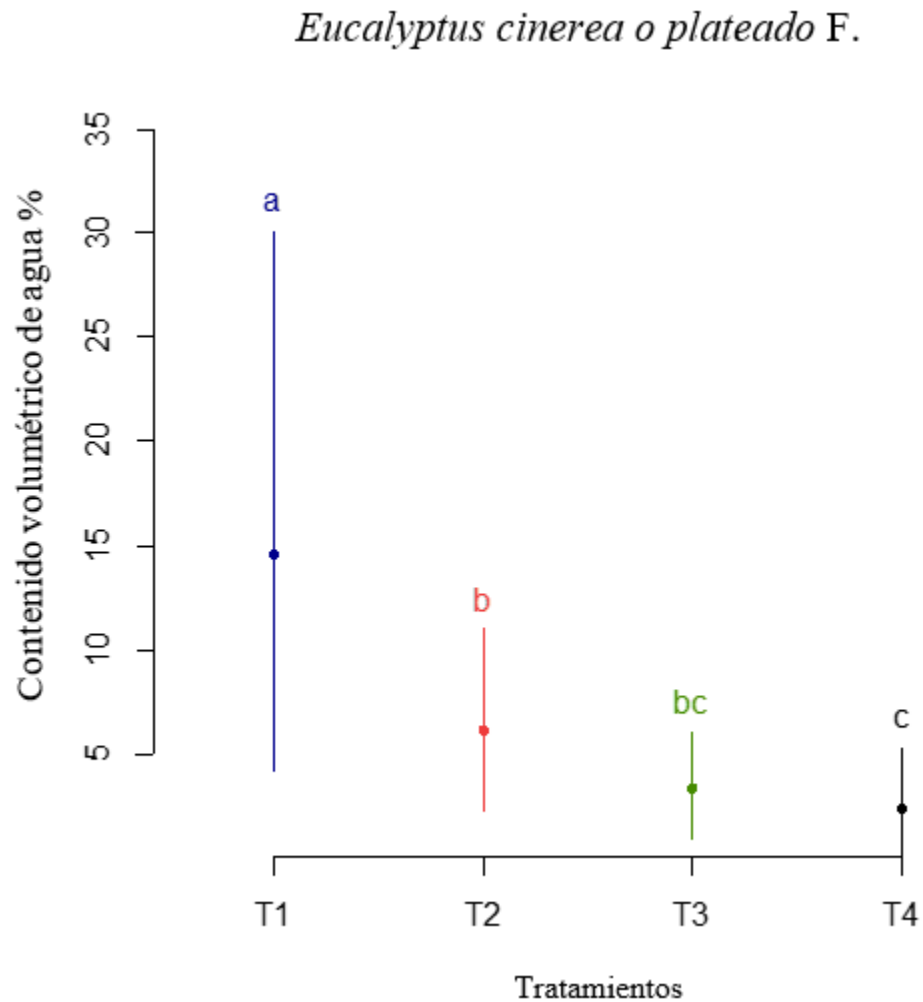


Figura 21. Comportamiento del contenido de humedad para la especie *E. cinerea*

El análisis para contenido volumétrico de agua arrojó que el *Eucalyptus globulus* Labill, presenta diferencias significativas entre tratamientos siendo el tratamiento 1 quien presentó los mayores niveles de agua en el sustrato respecto a los demás y tratamiento 2, 3 y 4 no presentaron discrepancias entre ellos (Ver figura 22)

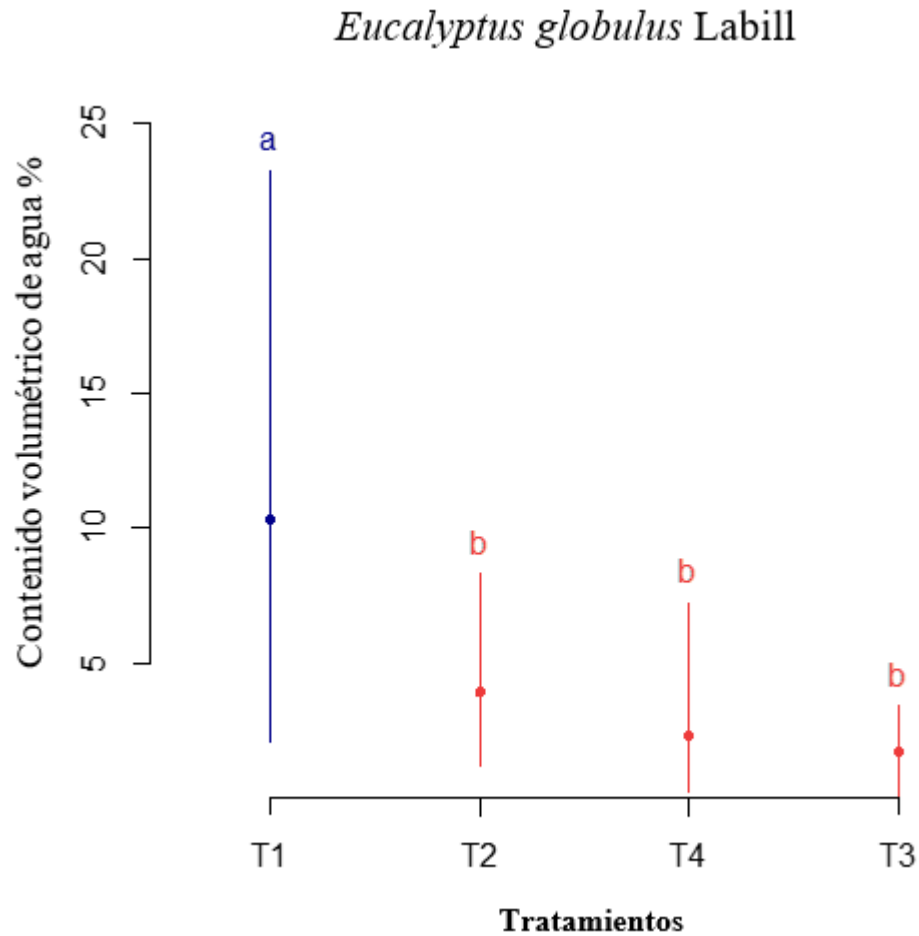


Figura 22. Comportamiento del contenido de humedad para la especie *E.globulus* Labill.

El análisis presenta diferencias significativas entre tratamientos siendo el tratamiento 1 quien presente los mayores niveles de agua en el sustrato en promedios y máximos, mientras que y tratamiento 2, 3 y 4 no presentaron discrepancias entre ellos manteniendo una humedad por debajo del 10% para la especie *E. grandis*.W. Hill (Ver figura 23)

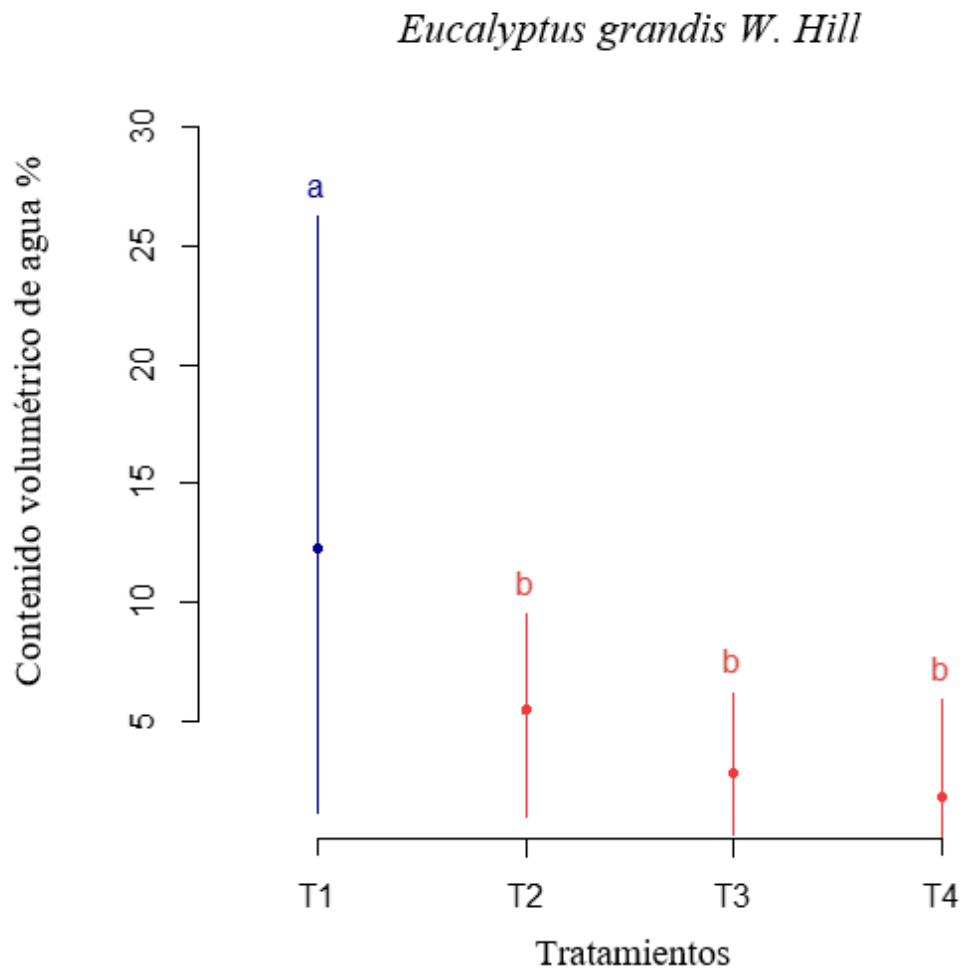


Figura 23. Comportamiento del contenido de humedad para la especie *E. grandis* W. Hill.

El análisis presenta diferencias significativas entre tratamientos siendo el tratamiento 1 quien presenta los mayores niveles de agua en el sustrato y tratamiento 2, 3 y 4 con menores contenidos de agua no presentaron discrepancias entre ellos (Ver figura 24)

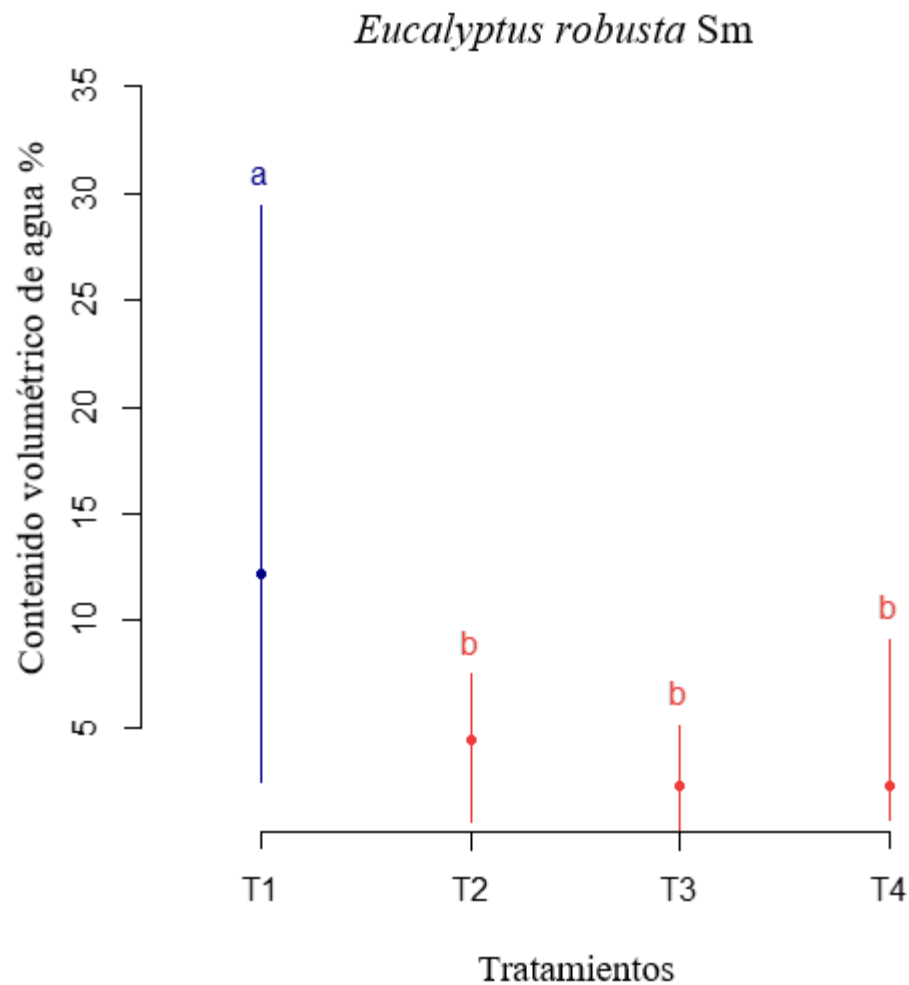


Figura 24. Comportamiento del contenido de humedad para la especie *E. robusta* Sm

El análisis para contenido volumetrico de agua arrojo que el, presenta diferencias significativas entre tratamientos siendo el tratamiento 1 quien presento los mayores niveles de agua en el sustrato y tratamiento 2, 3 y 4 con menores contenidos de agua no presentaron discrepancias entre ellos (Ver figura 25)

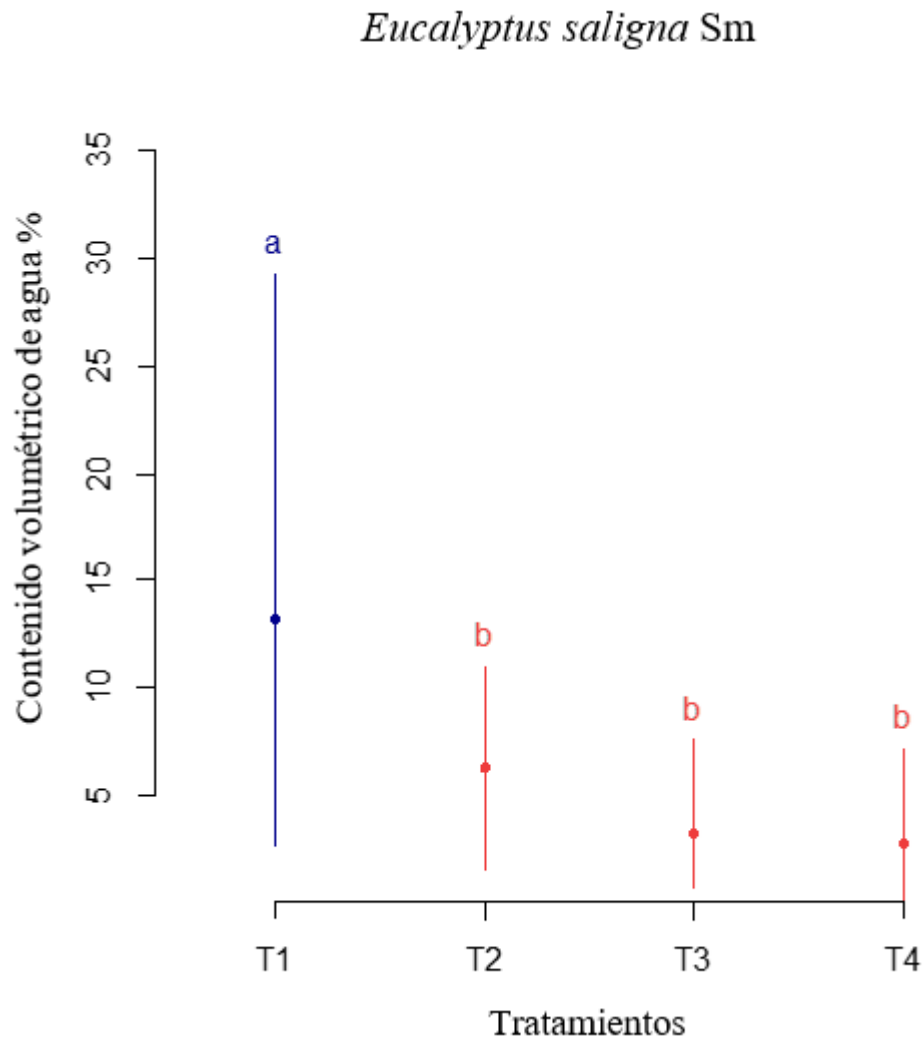


Figura 25. Comportamiento del contenido de humedad para la especie *E. saligna* Sm

El análisis para contenido volumetrico de agua arroja que el *Eucalyptus teriticornis* Sm presenta contenidos de humedad con alta variabilidad entre tratamientos siendo el tratamiento 1 el de mayor contenido y tratamiento 2, 3, y 4 disminuyendo respectivamente (Ver figura 26)

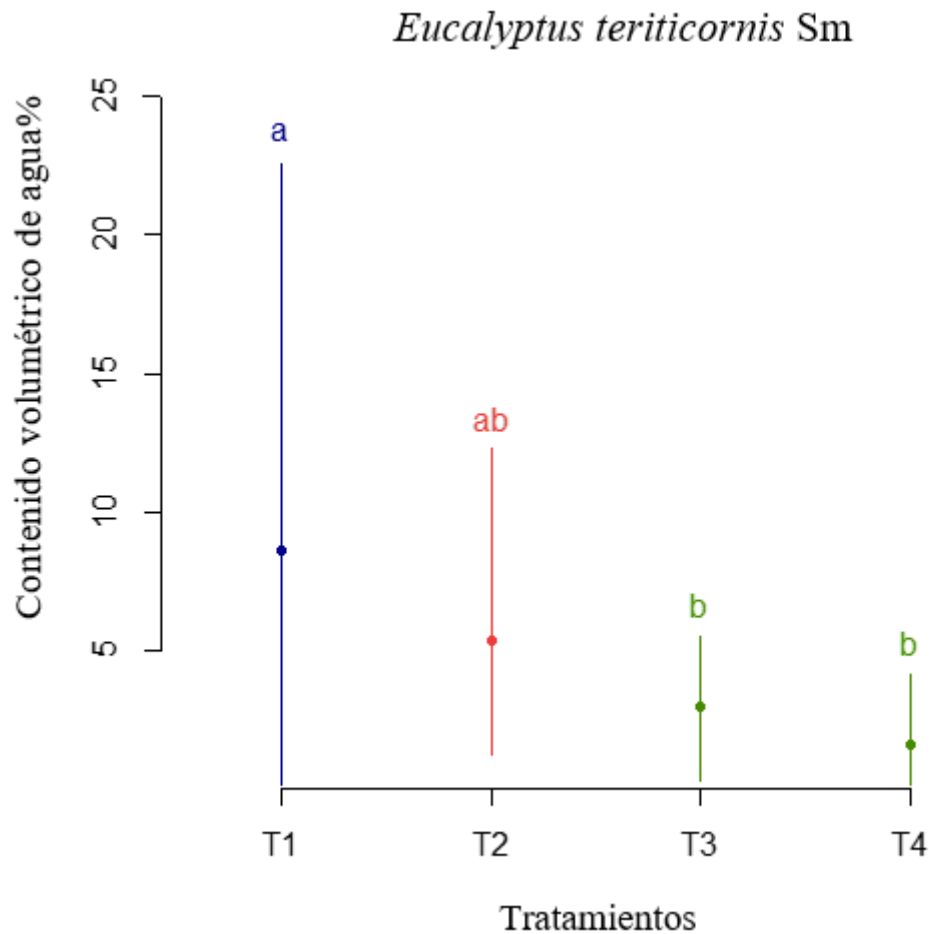


Figura 26. Comportamiento del contenido de humedad para la especie *E. tereticornis* Sm

5.4 Biomasa por componente

5.4.1 Hojas. A nivel general se analiza la biomasa por componentes donde en las hojas se evidencia que la disponibilidad de agua en el tratamiento 1 eleva la producción de follaje mientras que los tratamientos 2, 3 y 4 respectivamente se disminuyó esta parte de producción debido limitación de agua que se presentaba entre tratamientos, evidenciándose que la diferencia más amplia la mostraron los árboles que en que se aplicó riego cada tres días con respecto a los que se les aplicó el tratamiento de riego cada 30 días.

En cuanto a las especies se observa que para este componente el *Eucalyptus globulus* Labill presenta los mayores rendimientos en los 4 tratamientos seguido por *Eucalyptus cinerea* o plateado F donde el tratamiento 4 presenta mejores resultados que el tratamiento 3 mientras que las demás especies es el tratamiento 3 quien presenta mayores resultados respecto al tratamiento 4 por su parte el *Eucalyptus teriticornis* presenta los resultados más bajos (Ver figura 27)

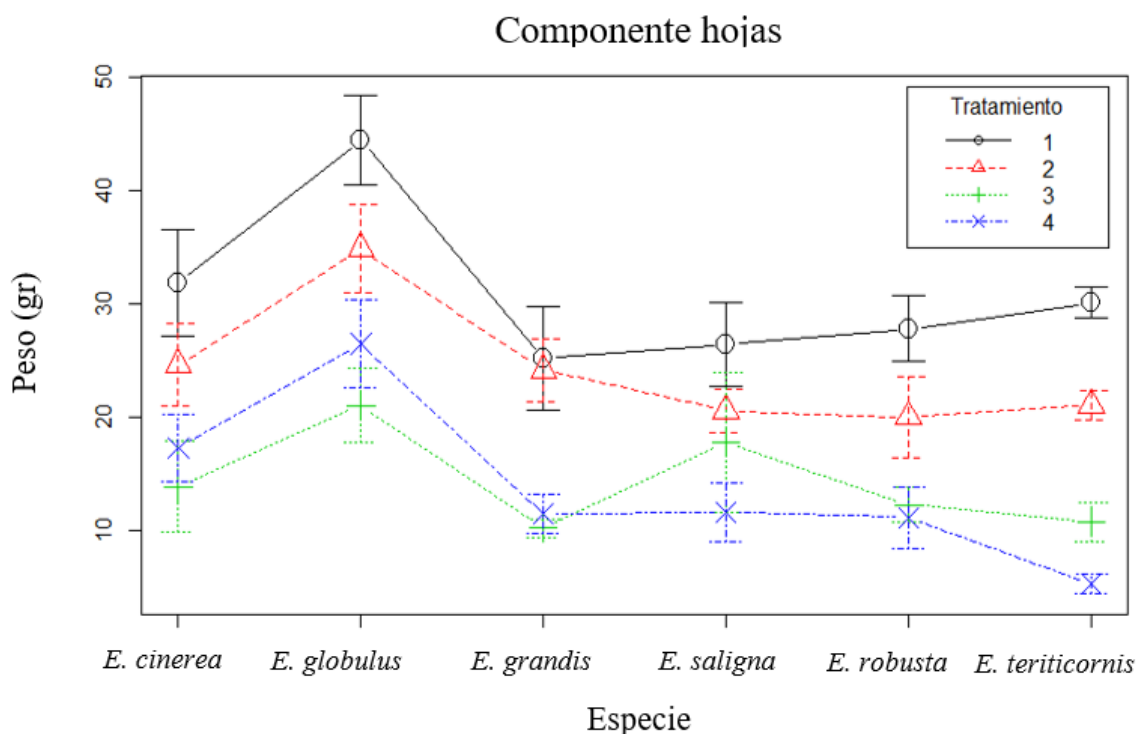


Figura 27. Comportamiento de biomasa para componente hojas

5.4.2 Ramas. Para el análisis de peso de ramas podemos observar que el tratamiento 1 presentó mayores resultados para especies como el *Eucalyptus cinerea*, *Eucalyptus globulus*, y *Eucalyptus grandis* mientras que en especies como *Eucalyptus saligna* el tratamiento 3 presento mejores resultados, *Eucalyptus robusta* se observa que el tratamiento 4 presento peso mayor de ramas, *Eucalyptus teriticornis* respondio mejor al tratamiento 2 (Ver figura 28)

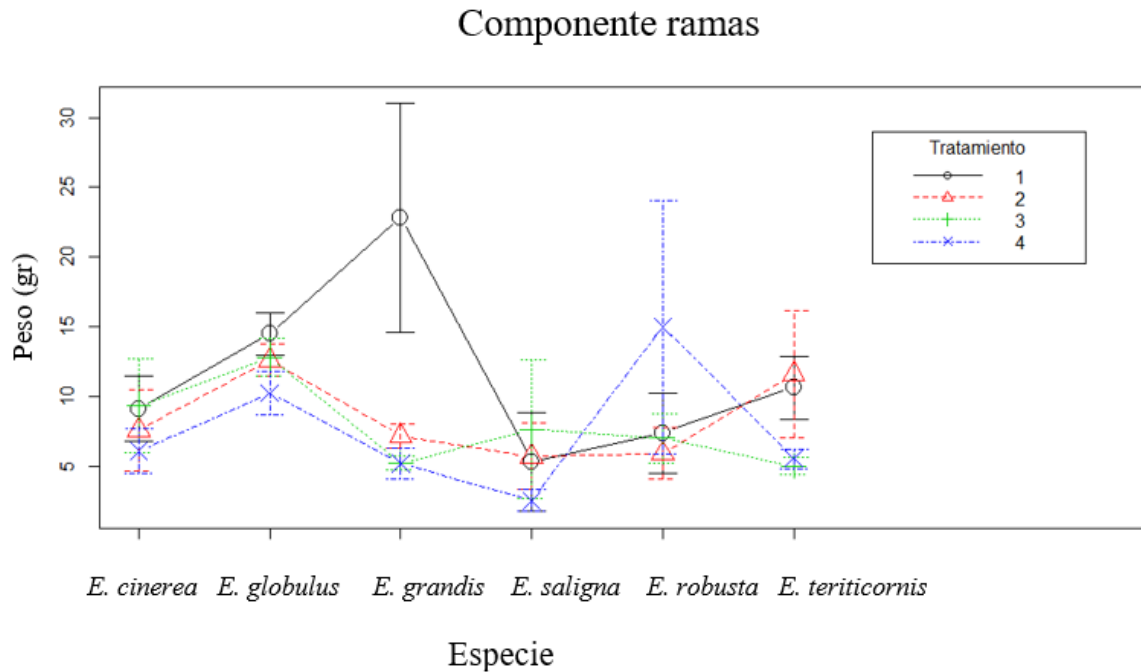


Figura 28. Comportamiento de biomasa para componente ramas.

5.4.3 Fuste. Para el peso de tallos podemos observar en la gráfica que el tratamiento 1 presenta los mayores resultados excepto en el *Eucalyptus grandis* que se encuentra por debajo de tratamientos 2 y 3 quien se comporta muy similarmente con el tratamiento 4, también se observa que el tratamiento 3 y 4 no tienen diferencias muy significativas entre sí (Ver figura 29).

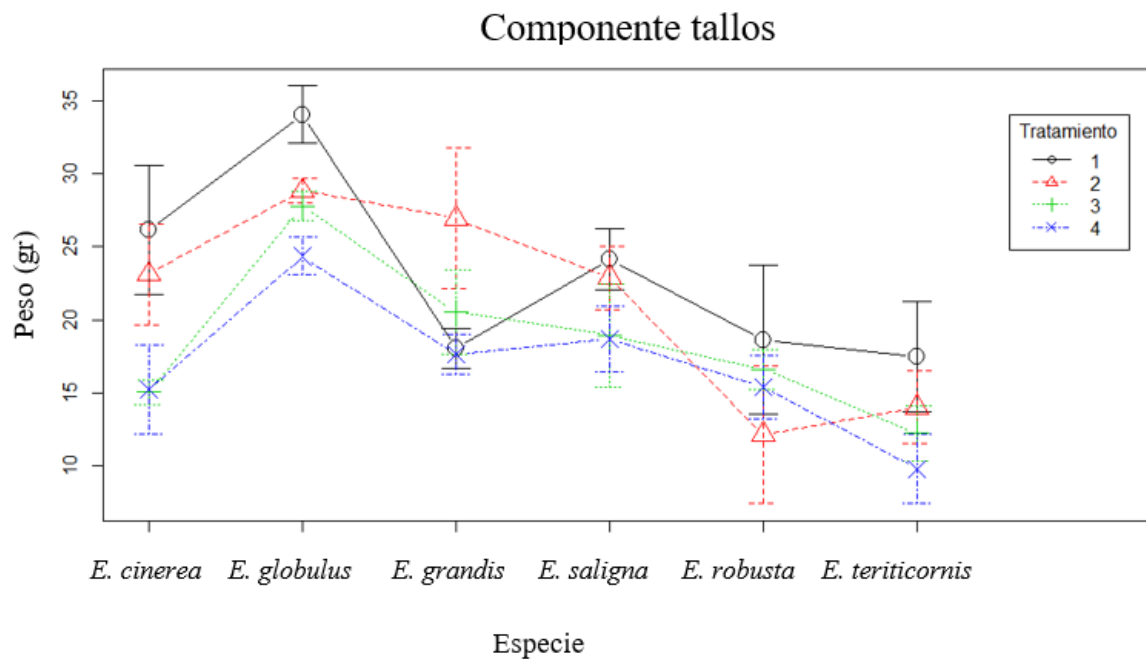


Figura 29. Comportamiento de biomasa para componente Tallos.

5.4.4 Biomasa total. Para la variable biomasa total se evidencia que el tratamiento 1 y 2 presentan los mayores resultados mientras que los tratamientos 3 y 4 no muestran una alta significancia. En cuanto a especie *E. globulus* fue quien arrojó la mayor biomasa (Ver figura 30).

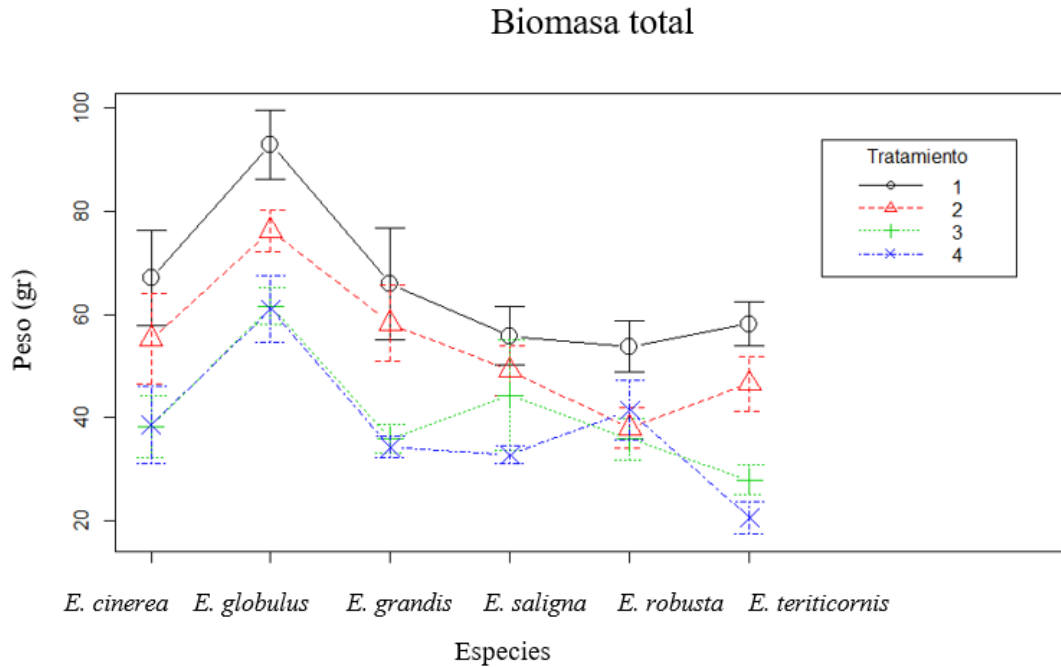


Figura 30. Grafica de comparación para biomasa total por especie y por tratamiento

En la gráfica se puede observar que por especies la que presentó mejores rendimientos fue *E. globulus* Labill, a nivel general en tratamiento se encuentra que T1 es el de mayor biomasa (Ver figura 31).

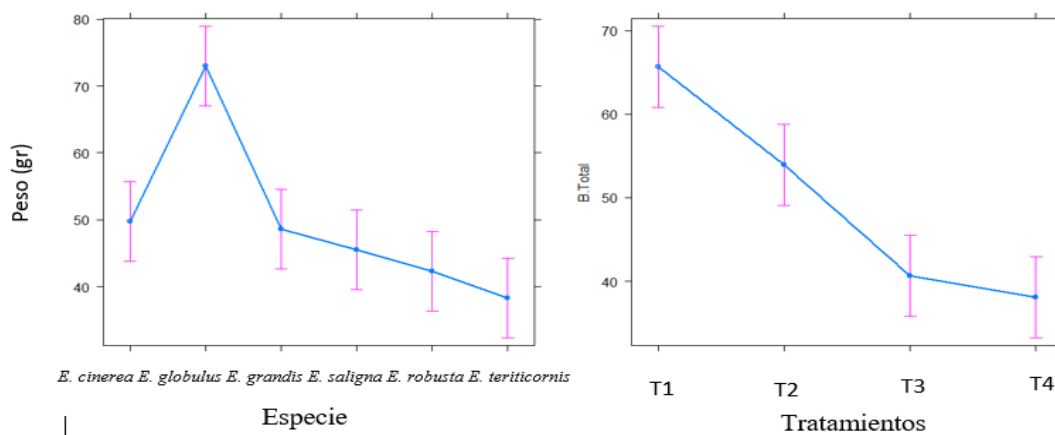


Figura 31. Grafica de comportamiento para cada especie y para cada tratamiento.

5.4.5 Eficiencia fotosintética. La grafica presenta un comportamiento descendente lo cual indica que disminuye a medida que avanza la restricción hídrica siendo el *Eucalyptus globulus* Labill el de valores más bajos en todos los tratamientos a diferencia del *E. Robusta* Sm; aunque en el tratamiento 4 todas las especies presentaron los valores más bajos

Con respecto a los datos se evidencia que el cambio es as notorio a partir del tratamiento dos de riego cada semana empieza a afectarse el correcto funcionamiento de la planta para el debido proceso de la fotosíntesis ya que sus hojas no tienen capacidad para la absorción de luz (Ver figura 32).

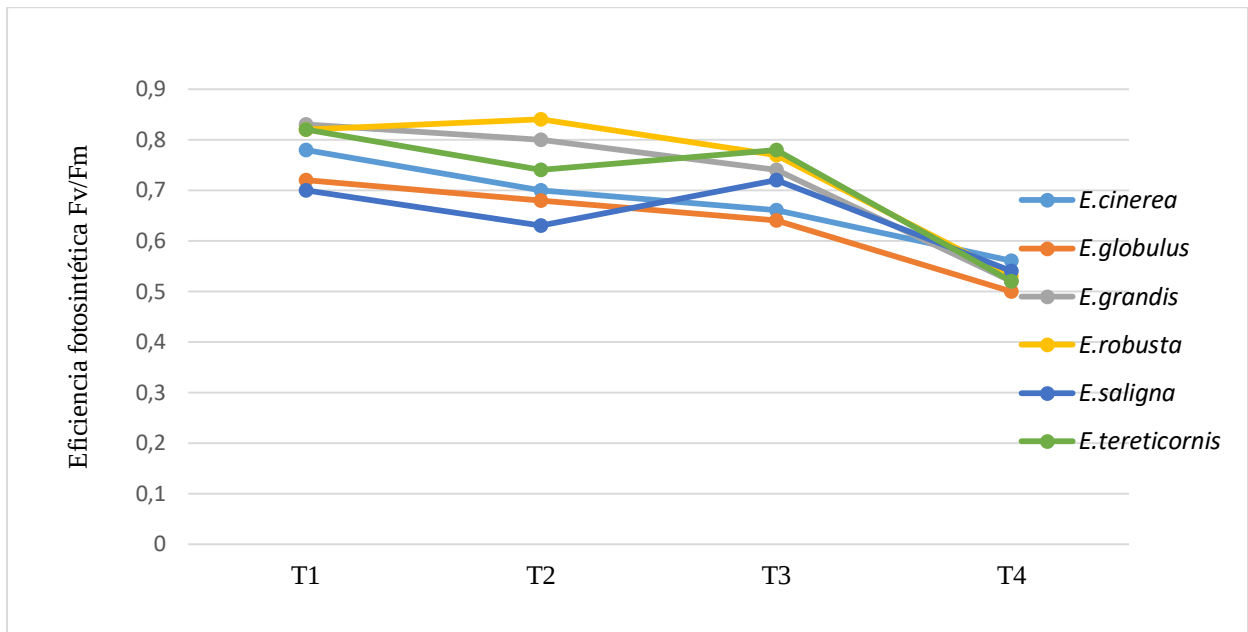


Figura 32. Grafica de eficiencia fotosintética para las especies

A nivel general la especie que presento mejor comportamiento en la mayoría variables fue *E. globulus*, seguida por *E. cinerea* y *E. grandis*

Tabla 2.
Comparación de variables para todas las especies

Especie	T	Ht		Dac		Af		conduc		Hum		Biomasa	
<i>E.cinerea</i>	T1	1,20	a	1,38	a	1738,51	a	64,76	a	14,63	a	63,92	a
	T2	1,15	a	1,18	ab	1304,99	ab	35,35	b	6,19	ab	56,54	ab
	T3	1,12	a	1,15	b	1297,57	ab	9,49	c	3,36	bc	48,94	b
	T4	1	a	1,13	b	1046,67	b	5,47	c	2,29	c	45,67	b
<i>E.globulus</i>	T1	1,26	a	1,14	a	2118,14	a	53,23	a	10,34	a	70,28	a
	T2	1,21	a	1,03	b	1971,44	a	21,93	b	3,99	b	61,25	a
	T3	1,21	a	1,02	b	1684,41	ab	12,96	bc	2,30	b	54,89	ab
	T4	1,17	a	0,99	b	1228,26	b	5,64	c	1,72	b	42,57	b
<i>E.grandis</i>	T1	1,30	a	1,35	a	1711,15	a	48,25	a	12,30	a	59,68	a
	T2	1,25	a	1,21	b	1374,90	ab	28,50	b	5,50	b	49,76	ab
	T3	1,22	a	1,16	bc	1067,93	b	11,38	bc	2,83	b	43,08	ab
	T4	1,18	a	1,03	c	1004,17	b	10,34	c	1,83	b	37,67	b
<i>E.robusta</i>	T1	1,16	a	1,19	a	2351,19	a	53,71	a	12,19	a	54,07	a
	T2	1,15	a	1,11	a	1515,60	ab	39,93	a	4,38	b	44,61	ab
	T3	1,14	a	1,06	a	1299,21	b	12,74	b	2,29	b	42,67	ab
	T4	1,14	a	1,05	a	1084,91	b	5,16	b	2,24	b	32,02	b
<i>E.saligna</i>	T1	1,22	a	1,28	a	1555,69	a	44,47	a	13,19	a	54,22	a
	T2	1,18	a	1,11	ab	1476,47	a	25,88	ab	6,29	b	43,40	ab
	T3	1,14	a	1,09	ab	1349,89	a	18,20	b	3,30	b	43,03	ab
	T4	1,14	a	1,04	b	1171,64	a	8,83	b	2,78	b	32,10	b
<i>E.tereticornis</i>	T1	1,07	a	1,14	a	1442,63	a	48,74	a	8,60	a	48,20	a
	T2	0,98	a	1,05	ab	1424,19	a	20,25	b	5,34	ab	47,76	a
	T3	0,93	a	0,96	b	1224,49	ab	6,22	c	3,03	b	36,02	b
	T4	0,91	a	0,91	b	760,99	ab	2,90	c	1,64	b	33,44	b

6 Discusión de resultados

6.1 Comparación de la variable altura y diámetro

A pesar que en estas variables no se presentan diferencias estadísticamente significativas se asimilará que cuando el déficit hídrico se presenta, se dan cambios en procesos de desarrollo de la

planta conllevando a la disminución del crecimiento, mientras que la parte radicular continua en desarrollo ante la limitación de agua.

De acuerdo con lo anterior las plantas son capaces de realizar procesos de modificación de raíces como mecanismo de captación del agua en zonas más profundas del suelo y su parte foliar no presenta cambios específicos de acuerdo a estudios realizados por (Potters, Paternak, Guisez, Palme, & Jansen, 2007), para estas dos variables el *Eucalyptus globulus* Labill, presentó resultados superiores lo cual indica que presenta desarrollo óptimo directamente proporcional con la característica de ser una especie de rápido crecimiento.

Contrario con estudios realizados por (Mejía, Zapata, Urrego, Ibarra, & Leal, 2015) encontraron que el *Eucalyptus grandis* responde a la disponibilidad de agua en el suelo según otras condiciones ambientales como la temperatura. En Palmira (23.5°C), el mayor rendimiento se presentó cuando las plantas permanecieron a capacidad de campo, mientras que en Restrepo (18°C), las plantas presentaron mayor rendimiento a media capacidad de campo. Los datos también indican que el *Eucalyptus grandis* tiene mecanismos fisiológicos que le permiten tolerar el déficit hídrico y que el exceso de agua en el suelo ocasiona una reducción considerable en la acumulación de biomasa.

6.2 Comparación de Conductancia estomática

Para esta variable se evidencio que a medida que el periodo sin riego se prolongó las plantas presentaron una menor conductancia estomática en los tratamientos 3 y 4 debido a los mecanismos de defensa ante el estrés hídrico como lo es el arreglo de las hojas de una manera casi vertical alta sensibilidad estomática y capacidad de ajuste osmótico para mantener la turgencia de las hojas,

cerrando sus estomas para evitar la pérdida de agua y la disminución de la fotosíntesis como lo mencionan (Mejía de Tafur, Burbano, García, & Baena, 2014)

según (Milla, 2010) En el *Eucalyptus globulus* con estrés severo, presenta menos tolerancia al estrés hídrico, presentando conductancias por debajo de los valores obtenidos en las otras especies analizadas. Esto causó dificultad incluso al realizar las mediciones pues las plantas no sobrevivieron al estrés hídrico, y sus hojas en muchos casos, particularmente en los últimos tramos de las fases de estrés, se hallaban sin turgencia.

En esta investigación la conductancia estomática fue menor en los tratamientos donde el déficit hídrico fue severo ocurriendo un cierre de estomas con el fin de evitar la pérdida de agua por transpiración evitando la fijación de CO₂ imposibilitando el adecuado crecimiento y desarrollo aunque las diferencias entre especies no fue muy variable estadísticamente pues todas tendieron a una nula conductancia estomática a medida que el estrés aumentaba, sin embargo las especies que se mantuvieron con conductancia fueron las especies *Eucalyptus globulus* Labill, *Eucalyptus grandis* W. Hill y *Eucalyptus cinerea* L, mientras que con menor conductancia a lo largo del ensayo fueron *Eucalyptus teriticornis* Sm, *Eucalyptus saligna* Sm y *Eucalyptus robusta* Sm pese a estos resultados el *Eucalyptus teriticornis* Sm presento una mayor sobrevivencia.

6.3 Relación Biomasa Seca y Área Foliar.

El área foliar es una variable determinante sobre el balance de agua y carbono de las plantas, siendo esencial su medición exacta para estimar las tasas de evapotranspiración, fijación de carbono, y la productividad actual y potencial de géneros de interés como *Eucalyptus*.

En el ensayo se observó que las especies que presentaron mayor área foliar y biomasa fueron, *E. globulus*, quien pese a ser más sensible al estrés hídrico y sus hojas presentaron una mayor pérdida de turgencia y marchitamiento estas no se desprendieron como sucedió con las demás especies, esto se debe a que desde la etapa de vivero esta especie presentó un mayor desarrollo foliar y un rápido crecimiento respecto a las demás especies de igual manera con mayor área foliar se destacaron *Eucalyptus robusta* y *Eucalyptus saligna*, mientras que las especies con una menor área foliar *Eucalyptus cinerea*, *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus tereticornis*. Contrariamente a lo que encontramos en (Lupi, Pathauer, Netto, & Cappa, 2016) quienes concluyen que el híbrido *Eucalyptus grandis* por *Eucalyptus camaldulensis* es más tolerante a condiciones de estrés múltiple; mostró mayor crecimiento, acumuló mayor biomasa y resistió por mayor tiempo a la mortalidad en comparación al *E. grandis* x *E. tereticornis*. La combinación híbrida de *E. grandis* x *E. camaldulensis* toleró niveles de salinidad de 6 dS m⁻¹ y ambas combinaciones híbridas fueron fuertemente afectados a niveles de salinidad de 12 dS m⁻¹. Los tratamientos no salinos no afectaron la biomasa total acumulada, presentando una performance similar al tratamiento con riego normal.

6.4 Eficiencia fotosintética

Para la eficiencia fotosintética las especies mantuvieron un comportamiento muy homogéneo en cuanto a los cambios de cada tratamiento sin embargo se pudo evidenciar que a medida que aumenta el estrés hídrico la eficiencia fotosintética disminuye produciendo a su vez cambios en los procesos de desarrollo de las plantas, uno de ellos es la expansión foliar que a su vez reduce la fotosíntesis.

El *Eucalyptus saligna* y *Eucalyptus globulus* fueron los que presentaron una menor eficiencia fotosintética lo que al comparar con estudios realizados por (Milla, 2010) demuestran que *Eucalyptus globulus* presentó valores F_v/F_m que disminuyeron progresivamente conforme avanzaba la restricción hídrica, lo que indica que existió un daño por foto inhibición de esta especie en el régimen de estrés severo. Este indicador es muy potente frente al estrés hídrico y esto se confirma al ver el estado en que quedaron las plantas luego de recuperarlas por última vez, donde se observó (evaluando visualmente), que las plantas de *Eucalyptus globulus* fueron las que menos crecieron y las que tuvieron deshidrataciones más pronunciadas.

7 Conclusiones

El análisis estadístico arrojó que para la mayoría de las especies y cada una de sus variables fisiológicas el estrés hídrico afecta significativamente el desarrollo de las especies como los son limitaciones de tipo fotosintético y conductancia estomática que se afectan a medida que el estrés aumenta.

Respecto a la evaluación de las variables fisiológicas en el análisis estadístico que el tratamiento 3 y 4 fueron los tratamientos que más afectaron el desarrollo de estas variables siendo más notorio en el área foliar y la biomasa.

El análisis de requerimientos de agua de las especies analizadas para esta zona podemos concluir que el *Eucalyptus globulus* es el más sensible a los escasos de agua, por lo que el tratamiento 1 que corresponde a riego cada tres (3) días fue el más óptimo para esta especie, pues sus síntomas de déficit hídrico se evidenciaban después de tres días sin riego lo que hace a esta especie no recomendada para lugares donde el agua sea limitada, para las demás especies sus

síntomas de estrés hídrico fueron más notorios a partir de ocho (8) días sin riego lo que hace necesario aplicar el tratamiento 2 que corresponde al riego semanal la especie que más tolero el estrés hídrico fue el *Eucalyptus teriticornis* quien sus síntomas de marchitamiento se hicieron notorios después de tres semanas y presento menos mortalidad a lo largo del experimento sin embargo sus resultados en cuanto a altura, diámetro, biomasa y área foliar fueron inferiores respecto a los demás es recomendado para sitios donde el agua es limitante.

8 Recomendaciones

Para próximos estudios de estrés hídrico y adaptabilidad a periodos largos de sequía se recomienda analizar la parte radicular de las especies determinar la respuesta que presenta este órgano ante la disponibilidad de agua, al igual realizar análisis donde se tenga en cuenta la parte interna de la planta y los diferentes compuestos responsables de la expresión génica de diversos eventos de crecimiento y desarrollo de las especies, como lo son las hormonas y fitohormonas participantes de la regulación de muchos procesos fisiológicos.

También se recomienda realizar el estudio por un periodo tiempo más amplio en diferentes fases de la planta.

Referencias Bibliográficas

- Azcón, J., & Talón, M. (2008). Fundamentos de fisiología vegetal, Barcelona. McGraw-Hill Interamericana
- Bonadeo, E., Moreno, I., Bongiovanni, M., Marzari, R., & Ganum, M. (2017). El sistema del suelo-planta. Principios generales. Recuperado www.unrc.edu.ar/unrc/comunicacion/editorial/
- Breu, G., y Wollmann. 2008. Wild cop relatives: Genomic and breeding resources. Forest Trees. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-21250-5>.
- Colombia. Leyes y Decretos, Decreto 1791, Diario Oficial No. 42.894 (04 de octubre de 1996).
- Colombia. Leyes y Decretos, Ley 1715, Diario Oficial No. 49.150 (13 de mayo de 2014).
- Colombia. Leyes y Decretos, Ley 2811, Diario Oficial No 34.243 (27 de enero de 1975).
- Fernández, M. (2013). Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de cultivos por sectores. Evaluación del riesgo agroclimático por sectores. Recuperado <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Efectos+del+Cambio+Climatico+en+la+agricultura.pdf/3b209fae-f078-4823-afa0-1679224a5e85>
- Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario Finagro.(2015). Ficha de inteligencia Reforestación Comercial. Recuperado de https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/basicpage/files/ficha_reforestacion_version_ii.pdf
- Granados, D., & López, G. (2007). Fitogeografía y ecología del género *Eucalyptus*. Chapingo. Volumen 3 pp. 143-156. Recuperado https://www.researchgate.net/publication/237038023_Fitogeografia_y_ecologia_del_genero_Eucalyptus.
- García, J. (2011). Modelación del crecimiento y la producción de plantaciones de *Eucalyptus globulus* en el Noroeste de España. Recuperado <https://core.ac.uk/download/pdf/75994613.pdf>
- Girón, I. (2014). Influencia del estrés hídrico acumulado en las relaciones hídricas en hojas y frutos de olivo bajo déficit hídrico moderado (Trabajo de grado). Universidad de Sevilla., España. Recuperado <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/69666>
- Harris, R. 2003. *Eucalyptus*. The genus *Eucalyptus*. International Journal of Aromatherapy.

- Canada: Taylor y Francis. Recuperado [https://doi.org/10.1016/S0962-4562\(03\)00073-0](https://doi.org/10.1016/S0962-4562(03)00073-0).
- Instituto Intereamericano de Cooperación para la Agricultura IICA. (2017). El agua para la agricultura de las Américas. Recuperado <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/6148/1/BVE17109367e.pdf>.
- Lupi, A., Pathauer, P., Netto, V., & Cappa, E. (2016). Evaluación del crecimiento y estado nutricional de híbridos interespecíficos de *Eucalyptus* sometidos a estrés por anegamiento y salinidad. Recuperado <http://www.suelos.org.ar/publicaciones/volumen3512017/57-68%20p%C3%A1gs%20CS%204>
- Magrin, Graciela O. 2015. Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39842/S1501318_es.pdf;jsessionid=65A7126412230BB1AF16EC23DE8F8FDF?sequence=1.
- Martínez, H. (2015). Fondo Nacional de Financiamiento. Teca condiciones para su cultivo “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono. Recuperado http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/martinez_teca_tectona_grandis_l.f._condiciones_para_su_cultivo_fomento_de_la_reforestacion_comercial_para_la_mejora_y_conservacion_de_las.pdf.
- Melgarejo, L. (2010). Experimentos en Fisiología Vegetal. Recuperado de http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/laboratorios/fisiologiavegetal/documentos/Libro_experimentos_en_fisiologia_y_bioquimica_vegetal_Reparado_.pdf.
- Mejía, M., Burbano, R., García, M., y Baena, D. (2014). Respuesta fotosintética de *Eucalyptus grandis* W. Hill a la disponibilidad de agua en el suelo y la intensidad de luz. *Acta Agronómica*, 63(4), 311-317.
- Mejía, M., Riaño, N., Urrego, J., Ibarra, D., y Zapata, C. (2017). Efecto del estrés hídrico sobre la acumulación y distribución de biomasa en *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. *Acta Agronómica*, 66(4), 549-557.
- Milla, E. (2010). Efecto del déficit hídrico en algunas respuestas fisiológicas de *Eucalyptus globulus* Labill, *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh y *Eucalyptus cladocalyx* F. Muell. (Trabajo de Grado). Universidad de Chile. Recuperado: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/151656>.
- Moreno, L. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Acta agronómica* 27(2), 179-191.
- Muñoz, W. (2016). Texto básico para profesional en ingeniería forestal. en el área de fisiología vegetal. Recuperado <https://www.unapiquitos.edu.pe/pregrado/facultades/forestales/descargas/publicaciones/FISIO-TEX.pdf>.

- Nicolle, D. (2018). Classification of the Eucalyptus (Angophora, Corymba and Eucalyptus). Recuperado <http://www.dn.com.au/Classification-Of-The-Eucalypts.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO.(2012). Respuesta del rendimiento de los rendimientos de los cultivos de agua .Recuperado riego y drenaje: <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf><http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>.
- Potters, G., Paternak, T., Guisez, Y., Palme, K., & Jansen, M. (2007). *Trends plant Sci*. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17287141>.
- Reboratti, C. (2017). Agricultura, sociedad y ambiente una mirada y conflictos(Trabajo de Grado) FLACSO Sede Argentina.
- Restrepo, C., & Alviar, M. (2010). Tasa de descuento y rotación forestal: el caso de *Eucalyptus saligna*. *Lecturas de economía*. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/le/n73/n73a06.pdf>
- Trujillo, E. (2013). Guía de Reforestación , ilustrada aumentada y corregida. Bogotá Colombia. El Semillero.
- Velasco, I., Ochoa, L., & Gutiérrez, C. (2005). Sequía, un problema de perspectiva y gestión. Recuperado http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252005000300002

Apéndices

Apéndice A. *Lavado y desinfección de bandejas*



Apéndice B.
Material vegetal en vivero



Apéndice C.

Trasplante de material vegetal a bolsa y ubicación en eras de crecimiento



Apéndice D.

Control de malezas de las plántulas



Apéndice E.
Medición de la humedad del suelo



Apéndice F.

Preparación de eras para la ubicación del ensayo



Apéndice G.

Ubicación de plántulas para aplicar tratamientos



Apéndice H.

Medición de variables fisiológicas

