

Evaluación del crecimiento y desarrollo de ocho especies del género *Eucalyptus* bajo
diferentes pisos térmicos

María Angélica Castro Carmona, Sandra Milena Vera Rojas

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Forestal

Director
Rubén Carvajal Caballero
Ingeniero Agrónomo

Codirector
Herwin Ramiro Roa Caicedo
Ingeniero Forestal

Universidad Industrial de Santander
Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED
Programa de Ingeniería Forestal

Málaga

2019

Tabla de Contenido

Introducción.....	12
1. Objetivos.....	16
1.1 Objetivo General.....	16
1.2 Objetivos Específicos	16
2. Cuerpo del Trabajo	17
2.1 Marco Referencial	17
2.1.1 Marco teórico.....	17
2.1.2 Marco conceptual	30
2.1.3 Marco legal.....	31
2.1.4 Antecedentes.....	39
2.2 Procesos metodológicos	40
2.2.1 Metodología.....	40
2.2.2 Resultados y discusión	53
3. Conclusiones.....	91
4. Recomendaciones	93
Referencias bibliográficas	95
Apéndices	105

Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación del género <i>Eucalyptus</i> según Nicolle.....	18
Tabla 2. Usos más comunes de las especies de <i>Eucalyptus</i>	21
Tabla 3. Morfología de <i>Eucalyptus</i>	24
Tabla 4. Caracteres ecofisiológicos de las especies.....	28
Tabla 5. Caracteres ecofisiológicos de las especies.....	31
Tabla 6. Análisis de suelo de cada sitio	45
Tabla 7. Análisis de suelo de cada sitio	46
Tabla 8. Fertilización en bolsa.....	48
Tabla 9. Partición de carbohidratos en los tres sitios a los 137 días.....	68
Tabla 10. Partición de carbohidratos en los tres sitios a los 281 días.....	69

Lista de Figuras

Figura 1. Localización del área de estudio	42
Figura 2. Isoyetas de las áreas de estudio.	44
Figura 3. Unidades experimentales.....	49
Figura 4. Espaciamiento entre plantas en una unidad experimental.....	49
Figura 5. Altura en vivero de las ocho especies para los meses de mayo y junio.	54
Figura 6. Altura de plantas en cada sitio a los 43 días.....	56
Figura 7. Altura de plantas en cada sitio a los 135 días.....	56
Figura 8. Altura de plantas en cada sitio a los 281 días.....	57
Figura 9. DAC de plantas para en cada sitio a los 43 días.....	57
Figura 10. DAC de plantas para en cada sitio a los 135 días.....	58
Figura 11. DAC de plantas para en cada sitio a los 281 días.....	59
Figura 12. Comparación de altura en los tres sitios a los 43 días	60
Figura 13. Comparación de altura en los tres sitios a los 281 días.....	60
Figura 14. Comparación de altura en los tres sitios a los 43 días	62
Figura 15. Comparación de altura en los tres sitios a los 281 días	62
Figura 16. Partición de carbohidratos en el sitio 1 a los 137 días.....	63
Figura 17. Partición de carbohidratos en el sitio 2 a los 137 días.....	64
Figura 18. Partición de carbohidratos en el sitio 3 a los 137 días.....	64
Figura 19. Partición de carbohidratos sitio 1 a los 281 días	65
Figura 20. Partición de carbohidratos sitio 2 a los 281 días	66
Figura 21. Partición de carbohidratos sitio 3 a los 281 días	67
Figura 22. Área foliar en el sitio 1 a los 254 días	71

Figura 23. Área foliar en el sitio 3 a los 254 días	72
Figura 24. Conductancia estomática en cada uno de los sitios a los 183 días	74
Figura 25. Conductancia estomática en cada uno de los sitios a los 254 días.	75
Figura 26. Conductancia estomática a los 183 días en los tres sitios.....	76
Figura 27. Conductancia estomática a los 254 días en los tres sitios	77
Figura 28. Eficiencia fotosintética en cada uno de los sitios a los 183 días	78
Figura 29. Eficiencia fotosintética en cada uno de los sitios a los 254 días	81
Figura 30. Eficiencia fotosintética en los tres sitios a los 254 días	83
Figura 31. Radiación fotosintéticamente activa a los 183 días.....	85
Figura 32. Radiación fotosintéticamente activa a los 281 días.....	85
Figura 33. Mortalidad en plantas	86
Figura 34. Adaptación de las especies para el sitio 1	88
Figura 35. Adaptación de las especies para el sitio 2	89
Figura 36. Adaptación de las especies para el sitio 3	90

Lista de Apéndices

Apéndice A. Análisis de suelo sitio 1	105
Apéndice B. Análisis de suelo sitio 2	105
Apéndice C. Análisis de suelo sitio 3	106
Apéndice D. Análisis de varianza crecimiento en altura a los 43 días	106
Apéndice E. Análisis de varianza de crecimiento DAC a los 43 días	107
Apéndice F. Análisis de varianza de crecimiento en altura a los 135 días	107
Apéndice G. Análisis de varianza de crecimiento DAC a los 135 días	108
Apéndice H. Análisis de varianza de crecimiento en altura a los 281 días	108
Apéndice I. Análisis de varianza de crecimiento en DAC a los 281 días.....	109
Apéndice K. Análisis de varianza de crecimiento en DAC a los 281 días	109

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE OCHO ESPECIES DEL GÉNERO *Eucalyptus* BAJO DIFERENTES PISOS TÉRMICOS O AMBIENTES CONTRASTANTES¹

AUTOR: MARIA ANGÉLICA CASTRO CARMONA
SANDRA MILENA VERA ROJAS²

PALABRAS CLAVES: VARIABLES FISIOLÓGICAS, VARIABLES MORFOLÓGICAS, BIOMASA, ÁREA FOLIAR, EFICIENCIA FOTOSINTÉTICA

DESCRIPCIÓN:

En la actualidad la madera del género *Eucalyptus* posee una alta demanda: pulpa (85%), postes (10%) y aserrío (5%); también es altamente utilizada como carbón vegetal, estacas, construcción y ebanistería. El estudio se enfocó en la evaluación del crecimiento y desarrollo de ocho especies de *Eucalyptus* (*E. cinerea*, *E. tereticornis*, *E. globulus*, *E. grandis*, *E. robusta*, *E. saligna*, *E. pellita* y *E. urophylla*), de igual manera se determinó cuales tenían un mayor rango de adaptabilidad bajo las diferentes condiciones edafoclimáticas en los tres ambientes altitudinales generando modelos forestales altamente productivos. Los resultados mostraron que las especies cuentan con diferencias significativas en los tres ambientes, las variables que se midieron (altura, diámetro, área foliar, biomasa, conductancia estomática, eficiencia fotosintética y radicación fotosintéticamente activa) estuvieron en gran parte influenciadas por el periodo de sequía que se presentó en la mayoría de los meses en los que se realizó el estudio. La evaluación de las variables fisiológicas y morfológicas de cada especie, permitió determinar que las que presentaron mayores valores en producción de biomasa fueron *E. saligna* (1326,32 g) en el sitio uno, *E. saligna* (115,37 g) y *E. tereticornis* (102,36 g) en el sitio dos y *E. globulus* (160,98 g) en el sitio tres. Así mismo se observó que las especies con bajos valores en producción de biomasa fueron *E. grandis* (476,11 g) y *E. pellita* (567,82 g) para el sitio uno, *E. globulus* (44,46 g) y *E. grandis* (53,10 g) para el sitio dos y *E. saligna* (37,65 g), *E. pellita* (55,06 g) en el sitio tres.

¹ Trabajo de grado

² Instituto de proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal.

Director: CARVAJAL CABALLERO, Ruben. Ingeniero Agrónomo. Codirector: ROA CAICEDO, Herwin. Ingeniero Forestal

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF EIGHT GENDER SPECIES *Eucalyptus* UNDER DIFFERENT THERMAL FLOORS OR CONTRASTING ENVIRONMENTS³

AUTHOR: MARIA ANGÉLICA CASTRO CARMONA
SANDRA MILENA VERA ROJAS⁴

KEYWORDS: PHYSIOLOGICAL VARIABLES, MORPHOLOGICAL VARIABLES, BIOMASS, FOLIAR AREA, PHOTOSYNTHETIC EFFICIENCY

DESCRIPTION:

Currently, wood of the genus *Eucalyptus* has a high demand: pulp (85%), posts (10%) and sawmill (5%); It is also highly used as charcoal, stakes, construction and joinery. The study focused on the evaluation of the growth and development of eight species of *Eucalyptus* (*E. cinerea*, *E. tereticornis*, *E. globulus*, *E. grandis*, *E. robusta*, *E. saligna*, *E. pellita* and *E. urophylla*), Likewise, it was determined which had a greater range of adaptability under the different edaphoclimatic conditions in the three altitudinal environments, generating highly productive forest models. The results showed that the species have significant differences in the three environments, the variables that were measured (height, diameter, leaf area, biomass, stomatal conductance, photosynthetic efficiency and photosynthetically active radiation) were largely influenced by the dry season which occurred in most of the months in which the study was conducted. The evaluation of the physiological and morphological variables of each species, allowed to determine that those that presented the highest in biomass production were *E. saligna* (1326.32 g) at site one. *E. saligna* (115.37 g) and *E. tereticornis* (102.36 g) at site two and *E. globulus* (160.98 g) at site three. Likewise, it was observed that the species with low biomass production values were *E. grandis* (476.11 g) and *E. pellita* (567.82 g) for site one, *E. globulus* (44.46 g) and *E. grandis* (53.10 g) for site two and *E. saligna* (37.65 g), *E. pellita* (55.06 g) at site three.

³ Bachelor Thesis

⁴ Instituto de proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal.

Director: CARVAJAL CABALLERO, Ruben. Ingeniero Agrónomo Codirector: ROA CAICEDO, Herwin. Ingeniero Forestal

Introducción

La deforestación se ha convertido en un problema recurrente y un tema de gran interés (Naciones Unidas, 2015). La destrucción de la cubierta vegetal tiene impactos negativos que recaen principalmente en el deterioro de la calidad del suelo, aire, agua, la disminución en la productividad agrícola y, por ende, se reduce la obtención de alimentos elevando sus costos. Lo anterior genera consecuencias en los ingresos de la población, llevándola a una disminución en su calidad de vida (Londoño, 2001).

Tanto los bosques nativos como cultivados son considerados una solución a los problemas relacionados con el cambio climático y sus efectos, ya que éstos ayudan al mejoramiento de los ecosistemas y de la población en cuanto al aprovechamiento de los árboles como fuentes de almacenamiento de carbono y otros servicios ambientales. FAO (2016), reporta que Colombia es uno de los 17 países con un alto grado de disminución, tanto de la superficie agrícola, como forestal, siendo su principal motivo la expansión de zonas urbanas. De este modo, la deforestación está ligada a los fenómenos socioeconómicos, en los que cabe mencionar el costo que trae consigo la tenencia de tierra; a medida que aumenta la población y su demanda por alimentos, incrementa el consumo de bosques cercanos modificándolos para llevar a cabo actividades agrícolas y ganaderas (García, 2015).

En Colombia, son consideradas actividades de deforestación masiva la expansión de la frontera agrícola, ganadería, cultivos ilícitos, tala ilegal, minería e infraestructura, incendios forestales y crecimiento poblacional.

Por tanto, las plantaciones forestales comerciales no reemplazan las funciones de los bosques naturales, por el contrario, se convierten en una alternativa de solución sostenible, económicamente rentable y técnicamente viable en cuanto a la producción de materias primas y generación de empleo (Zapata, 2013).

Por otro lado, se considera que en años próximos los árboles contribuirán al sostenimiento de la sociedad respecto a dendroenergía, resguardos, forrajes y fibras; de igual manera ayudarán con la protección de la biodiversidad y serán una fuente de ingreso para las comunidades, así como la estabilización de los suelos, el clima y la regulación de corrientes de agua (FAO, El estado de los bosques del mundo, 2016).

Cuando se desea realizar una plantación, por lo general los productores seleccionan especies que generen más utilidad, el manejo silvícola no sea tan complejo y presenten resistencia contra plagas y patógenos. En muchos de los casos optando por aquellas que son introducidas, ya que tienen ventajas sobre las nativas tales como la velocidad de crecimiento y los turnos de aprovechamiento, siendo una de los géneros más representativos el *Eucalyptus*.

El *Eucalyptus* se considera un género que posee una alta demanda de madera con fines comerciales, el propósito de estas plantaciones es: leña o madera para pulpa (85%), postes y productos de madera rolliza (10%) y aserrío (5%) (Rihani *et al.*, 1998). Otros usos de esta madera son: carbón vegetal, estacas para cerca, bloques de madera para construcción de casas, caminos y jardines, madera labrada, tableros contrachapados y chapas (Ruiz *et al.*, 2006).

Actualmente, en la provincia de García Rovira existe poca área destinada a plantaciones forestales comerciales o productivas de *Eucalyptus*, en oposición a lo anterior, en la zona se

evidencia una alta demanda en el consumo de madera para diferentes usos: tutores para cultivos de durazno, frijol, granadilla, gulupa entre otros, y es usada también en ebanisterías, elaboración de cercas y leña. Una de las causas de esta problemática reside en los mitos que tiene la comunidad sobre la siembra de este género. Hasta el momento no existe ninguna prueba de que algún árbol introducido o nativo afecte por sí mismo el medio, esto depende del manejo que se les dé a las plantaciones (Smurfit Kappa, 2007).

Por ende, en la actualidad no hay ninguna evidencia científica de que este género ni ningún otro alteren las precipitaciones de las zonas; el consumo de agua está directamente influenciado por la rapidez de crecimiento; en el caso del *Eucalyptus* tendrán un mayor consumo de agua que aquellas plantas de crecimiento menor (Rhoades y Binkley, 1996).

Lo anteriormente expuesto, ha traído impactos negativos para la región, generando un modelo insostenible para el sector forestal debido a que se presenta tala en bosques y no se ha incentivado la siembra de árboles forestales. En las entrevistas que se realizaron a productores de los municipios de Concepción, Cerrito, Capitanejo y Málaga expresan que debido al agotamiento de la madera de *Eucalyptus* se han visto en la necesidad de incrementar el consumo de madera de especies nativas generando un aumento significativo en la tasa de deforestación de la región, por ende, el valor económico de estos árboles se ha elevado de forma considerada en la zona principalmente por el auge de cultivos como el durazno, uchuva y pasifloras.

Por tanto, el desarrollo del trabajo se enfoca en la evaluación de ocho especies de *Eucalyptus* (*E. cinerea*, *E. teriticornis*, *E. globulus*, *E. grandis*, *E. robusta*, *E. saligna*, *E. pelita* y *E. urophylla*) y así mismo, observar cuales de éstas tienen mayor adaptación bajo condiciones edafoclimáticas en tres ambientes contrastantes o altitudinales generando así

modelos forestales comerciales y altamente productivos. Actualmente la región carece de ellos ya que es considerada netamente agrícola y ganadera, por lo cual, se hace necesario vincular a los productores a realizar plantaciones, para contrarrestar el alto consumo de madera de este género. De igual manera, con este trabajo se deja establecidos bancos de germoplasma *in situ* en cada uno de los sitios, con fines de mejora genética y de investigaciones para estudiantes de Ingeniería Forestal de la Universidad Industrial de Santander (UIS) en años venideros.

De acuerdo a lo anterior, también se busca que los productores, técnicos, profesionales e instituciones del sector puedan disponer de información en cuanto a programas de plantaciones forestales, y tener un portafolio diversificado de las mismas para ser utilizadas.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar el crecimiento y desarrollo de ocho especies del género *Eucalyptus* en tres ambientes altitudinales en la provincia de García Rovira.

1.2 Objetivos Específicos

Identificar las condiciones edafoclimáticas de los tres ambientes altitudinales.

Evaluar 4 variables fisiológicas y 2 morfológicas de cada especie del género *Eucalyptus* en los tres ambientes altitudinales.

Determinar el grado de adaptabilidad de las ocho especies del género *Eucalyptus* en los tres ambientes contrastantes.

2. Cuerpo del Trabajo

2.1 Marco Referencial

2.1.1 Marco teórico

2.1.1.1 Botánica y taxonomía. En el tercer viaje del Capitán James Cook a los mares del sur, el botánico del grupo David Nelson, recogió un espécimen (*Eucalyptus obliqua*) en la isla Bruny, al sur de la masa terrestre de Tasmania. Devuelto a Inglaterra, el ejemplar botánico fue estudiado por el francés Charles Louis L'Héritier de Brutelle, que formaba parte del equipo de trabajo del Museo Británico de Historia Natural, donde permanece el espécimen. El botánico L'Héritier lo publicó en 1788 como la única especie de un nuevo género al que denominó *Eucalyptus*, del griego: eu (bien) y calyptos (cubierto) aludiendo a la tapa (opérculo) que cubría los estambres en el brote antes de la antesis (Brooker, 2000).

Una de las clasificaciones más recientes del género *Eucalyptus* la realizó Brooker (2000), en la cual presenta una nueva clasificación formal del mismo, el cual, lo divide en siete subgéneros politípicos: *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*.

El *Eucalyptus* es un género diverso de árboles y arbustos de la familia Myrtaceae. Los miembros de este género dominan la flora de árboles de Australia. Se encuentra conformado por 13 subgéneros, 28 secciones, 16 series, 51 subseries, 902 especies, 247

subespecies y 2 variedades (Nicolle, 2018). De acuerdo a la clasificación anterior, uno de los subgéneros más importantes descritos por Nicolle es el *Symphyomyrtus*, que se compone de 15 secciones, 55 series, 26 subseries, 537 especies y 167 subespecies (Tabla 1).

Tabla 1
Clasificación del género *Eucalyptus* según Nicolle

Género	Subgénero	Sección	Serie	Subserie	Especie	Subespecie
<i>Eucalyptus</i>	<i>Symphyomyrtus</i>	Exsertaria	Exsertae	Erytroxyl a	<i>E. tereticornis</i>	<i>subsp. mediana</i> <i>subsp. tereticornis</i> <i>subsp. basaltica</i> <i>subsp. camandulensis</i> <i>subsp. obtusa</i> <i>subsp. simulata</i>
					<i>E. camandulensis</i>	
					<i>E. urophylla</i>	
					<i>E. pellita</i>	
					<i>E. robusta</i>	
		Latoangulatae	Robustae	Tranversae	<i>E. saligna</i>	
					<i>E. grandis</i>	
					<i>E. globulus</i>	<i>subsp. pseudoglobulus</i>
					<i>E. cinerea</i>	<i>subsp. cinerea</i> <i>subsp. triplex</i>
					<i>E. viminalis</i>	<i>subsp. hentyensis</i> <i>subsp. viminalis</i>
		Mardenaria	Viminalis	Circularis		<i>subsp. polyanthemos</i> <i>subsp. vestita</i> <i>subsp. marginalis</i>
		Adnataria	Heterophloiae	Lanceolatae	<i>E. polyanthemos</i>	

Nota: Clasificación del género *Eucalyptus*. Adaptado de Nicolle, D. (2015). Classification of the eucalypts (Angophora, Corymbia and Eucalyptus) version 2. 2015-04. <http://www.dn.com.au/Classification-Of-The-Eucalypts.pdf>.

2.1.1.2 Generalidades. La pérdida de superficie boscosa anual para el año 2016 en la región tropical, América central y del Sur, África y Asia fue de aproximadamente siete millones de ha, sin embargo, en Europa y América del Norte se incrementaron las plantaciones de manera considerada; lo anterior como consecuencia de la disminución de bosques naturales producto del acelerado crecimiento económico, el declive de las comunidades rurales y la implementación de políticas ambientales que buscan extender las plantaciones (FINAGRO, 2018)

A nivel mundial, la superficie destinada en plantaciones forestales ha disminuido aproximadamente 129 millones de ha (3,1 %) correspondiente al periodo entre los años 1990 y 2015. Además, La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO) señala que la demanda de madera a nivel mundial ha venido creciendo de manera consecutiva como consecuencia del crecimiento económico en Asia, recuperación del mercado en América del Norte y el auge en el consumo de bioenergía (FAO, El estado de los bosques del mundo, 2016).

Para el año 2017, el valor de las exportaciones de madera para pulpa y papel alcanzó USD 137 mil millones, que proceden de Canadá, China, EE.UU., Alemania y Rusia; sin embargo, las provenientes de Alemania, China, Suecia y Finlandia superaron los USD 161 mil millones (ITC, 2019).

La mayor oferta de madera proveniente de los bosques plantados ha tenido un crecimiento significativo en los últimos 20 años, reemplazando el uso de los bosques naturales. Se destaca que en América del Sur se concentra el mayor porcentaje de este tipo de plantaciones, principalmente en Brasil, Chile, Argentina, Uruguay, que, en conjunto

forman el 88% del total (FRA, 2005). Las especies más desarrolladas corresponden a pino (*Pinus spp.*), eucalipto (*Eucalyptus spp.*) y pino paraná (*Araucaria angustifolia*).

Los países más productores de *Eucalyptus* para el año 2009 fueron: Australia con 1500 ha, seguido de La península Ibérica con 1406, España con 760, Portugal con 647,7 y Galicia con 366, de las cuales el 31% corresponde a *Eucalyptus globulus*; Chile también es considerado uno de los países más productores de madera, posee extensos bosques plantados que alcanzan a ocupar el 20,7% de la superficie total, conformado por pino radiata y eucaliptos principalmente que lo convierte en un exportador de papel y múltiples productos maderables. Para el año 2000, el sector forestal de este país generó grandes exportaciones que oscilaban entre los 1,89 millones de dólares; anualmente, seis mil toneladas de madera se procesan en la zona ya sea aserrada, para fines de pulpa o papel. Los compradores potenciales de madera chilena son Japón, Estados Unidos, Corea del Sur, Alemania y Bélgica (FAO, 2016).

Así mismo, otro país con grandes plantaciones es Brasil, se considera que el responsable del éxito financiero de este país. Allí se encuentra la tercera reserva forestal más grande del mundo y una gran riqueza en cuanto a biodiversidad de flora y fauna. La madera se extrae tanto de los bosques nativos como de los cultivados; el pino y el eucalipto se consideran las mayores fuentes de volumen en madera para la exportación del país. 11 mil toneladas de la misma se procesan anualmente. Pulpa, aserrío, láminas y papel son los productos brasileños más negociados (FAO, 2016; PROFOR, 2017).

En Colombia, este género se encuentra principalmente en los departamentos de Boyacá, Antioquia, Caldas, Cesar, La Guajira y en la sabana de Bogotá. Estos árboles son muy apetecidos no solo a nivel nacional, sino también a nivel internacional debido a las

dimensiones en cuanto altura y diámetro a la altura del pecho (DAP) (40 metros de altura y 2 de DAP), además, sus raíces son profundas, el tronco es recto y sus hojas sirven de aromatizante; tiene una longevidad aproximada de 80 años, sirve como cerca viva y barrera rompavientos. Así mismo, la sombra brinda bienestar a los suelos, pastos, forrajes y a los animales (Contextoganadero, 2018).

A continuación, se nombran los usos más comunes de las especies de *Eucalyptus* y cuáles son las más recomendadas (Tabla 2).

Tabla 2
Usos más comunes de las especies de Eucalyptus

Usos	Especies más recomendadas
Papel y celulosa	<i>E. grandis</i> , <i>E. globulus</i> , <i>E. urophylla</i> e híbridos “ <i>urograndis</i> ” (<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>)
Chapas de fibra	<i>E. grandis</i> , <i>E. urophylla</i> , híbridos “ <i>urograndis</i> ”
Muebles	<i>E. saligna</i> , <i>E. urophylla</i> , <i>E. grandis</i> , <i>E. dunnii</i> , híbridos “ <i>urograndis</i> ”, <i>E. pilularis</i>
Postes y durmientes	<i>C. citriodora</i> , <i>E. cloeziana</i> , <i>E. urophylla</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. paniculata</i>
Construcción	<i>C. citriodora</i> , <i>E. cloeziana</i> , <i>E. urophylla</i> , <i>E. paniculata</i> , <i>E. pilularis</i>
Aceites esenciales	<i>C. citriodora</i> , <i>E. staigeriana</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. globulus</i>

Nota: usos del género *Eucalyptus*. Adaptado de Wilcken, C. F., Lima, A. C. V., Dias, T. K. R., Masson, M. V., Ferreira Filho, P. J., & Pogetto, M. H. F. A. (2008). Guia prático de manejo de plantações de eucalipto. Botucatu: FEPAF

2.1.1.3 Morfología. Según (EUCLID, 2018), la corteza de los árboles de eucalipto varía según la especie: lisa, parcialmente rugosa y completamente áspera. La posición de las hojas puede ser opuestas siendo el caso de *E. grandis* y *E. saligna* y alternas como el *E. cinerea*. Además, en la forma de la hoja se pueden encontrar lanceolada, falcada, ovada, oblonga, entre otras; sus bases pueden estrecharse hacia el peciolo o pueden tenerlas unidas. Las inflorescencias pueden encontrarse simple, terminal o compuesta; la forma puede ser ovoide, fusiforme, en forma de copa, globular y alargado; el número de botones por umbela va desde uno hasta más de 15 dependiendo de la especie, así, por ejemplo, el *E. globulus* posee un solo botón y *E. tereticornis* está compuesto por 15.

En la forma del fruto se puede encontrar hemisférico, cilíndrico, en forma de urna y de barril, etc. El disco se encuentra elevado, excertado, o a nivel; el número de valvas va desde uno hasta cuatro y está dispuesto a nivel, incrustado o excertado (Tabla 3).

2.1.1.4 Ecofisiología. Cualquier ser vivo que experimente condiciones ambientales diferentes a la de su distribución natural puede responder de la siguiente manera: tolerar, evolucionar, dispersarse o morir (Aitken y Whitlock, 2013; Allendorf, Luikart y Aitken, 2013). Las especies en la mayoría de los casos pueden adaptarse a nuevas condiciones y mantenerse en ellas. Así, por ejemplo, hay evidencia de que algunos animales como las moscas de fruta pueden evolucionar de forma rápida a la hora de enfrentarse a los cambios climáticos (Parmesan, 2006), los tiempos de cambio en los árboles son significativamente largos así que estos se ven reflejados al pasar de varias décadas.

Tabla 3
Morfología de Eucalyptus

Caracteres morfológicos	Especies								R E F
	<i>E. globulus</i> Labill.	<i>E. grandis</i> W. Hill	<i>E. Saligna</i> Sm	<i>E. robusta</i> Sm	<i>E. tereticornis</i> Sm	<i>E. cinerea</i> o plateado F. Muell. ex Benth	<i>E. pellita</i> F. Muell	<i>E. urophylla</i> S. T. Blake	
	Lisa, decortcando en tiras	medio fibrosa, de color gris claro	Lisa con poca rugosidad	Rugosa, subfibrosa y esponjosa	Lisa, de color blanco	corteza fibrosa cuando está madura	Poco fibrosa y ásperas	Fibrosa y áspera	1
Corteza	Corteza lisa de color naranja cremoso	áspera, escamosa, grisácea	Áspera y escamosa, de color gris	Corteza áspera, gruesa, fibrosa, de color marrón	Corteza lisa, de color blanco, crema	Corteza áspera, gruesa, fibrosa, gris.	Corteza áspera, fibrosa, gris escamosa o marrón rojiza		2
Hojas	Forma	Lanceoladas	Lanceoladas	Lanceoladas	Lanceoladas	Lanceoladas	Lanceolada	Lancelada	1
		Lanceolada o falcada	Lanceoladas	Lanceolada o falcada	Lanceoladas y ovadas	Lanceoladas y falcadas	Lanceolada y ovada		2
	Color	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde gris	Verde	Verde	1
		Verde	Verde oscuro	Verde discoloro	Verde	Verde gris y glauco	Verde		2
Fruto	Forma	hemisférico o subglobular	subpiriformes	Cilíndricos	Cilíndricos	subglobulares u ovoides	Obcónico y campanulado		1
		Hemisférico, obcónico	Obcónico	Cilíndricos, obcónicos o en forma de copa	Cilíndricos	Hemisféricos	Obcónico y campanulado	En forma de copa, obcónico y hemisférico	2
	Disco	Levantado	Descendiente	Descendiente	Descendiente	Ascendente	A nivel	Descendiente	1
		Levantado	Descendiente	Descendiente	Descendiente	Ascendente	A nivel	Descendiente	2
	Valvas	A nivel- 5	A nivel- 4	Excertadas- 3	4	excertadas- 4	Excertado- 3	Excertadas, 3	1
		A nivel- 4 o 5	Excertadas o a nivel, 4-5	Excertadas- 3 o 4	3 o 4	Excertadas- 4 o 5	A nivel, - 3 o 4	Excertadas, 4	2
	Forma del botón floral	Fusiforme	Ovoide	Ovoides	Fusiformes	Alargadas	Forma de diamante	Ovoide	1
		Fusiforme	Obovoide, piriforme, ovoide	Fusiformes, ovoides	Fusiformes y piriformes	Ovoides	Forma de diamante	Ovoide	2
Infloresce ncias	Número de botones	1 o a veces 2	4	10	11	11	3	7	1
		1	4 o 5	7,9,11	9 a 15	7, 9,11	3	7	2

Nota: Morfología del género *Eucalyptus*. REF 1 Adaptado de Darriba, A. F., & Pando, F. J. S. (2016). El Género *Eucalyptus* (Myrtaceae) en Galicia: Claves y descripción. *Nova Acta Científica Compostelana*, 23. REF 2 Adaptado de Brooker, M., Duffy, S., Slee, A. y West, J. (2015). EUCLID *Eucalyptus* of Australia. Recuperado de <http://keyserver.lucidcentral.org:8080/euclid/data/02050e02-0108-490e-8900-0e0601070d00/media/Html/index.htm>

Los eucaliptos son considerados árboles interesantes para realizar estudios sobre el cambio climático, Por ejemplo, los registros de invasión de eucaliptos introducidos en Australia, sugieren tasas de colonización muy exitosas en el transcurso de un año (Ruthrof, Lonergan y Yates, 2003).

La temperatura es una de las variables ambientales que más influencia tiene en el crecimiento y desarrollo de las plantas y en su productividad (Grace, 1988). En algunos sitios, tanto la temperatura del aire como la del suelo, experimentan variaciones no solo en el día sino también entre estaciones (Kaspar y Bland, 1992). Así mismo, se conoce que las respuestas del crecimiento y el desarrollo de las plantas al cambio de temperatura varía extensamente entre especies y cultivos (Glinski y Lipiec, 1990; McMichael y Burke, 1996).

Es importante resaltar que la temperatura no es la variable que influye directamente en el crecimiento, es la cantidad de tiempo térmico acumulado por la especie en los sitios donde se encuentran los umbrales de crecimiento lo que determina la asimilación y por consiguiente la adaptación y el desarrollo (Tabla 4); sin embargo, la temperatura muestra la tendencia de los rangos de crecimiento. Partiendo de que la productividad de las plantaciones está en función de una serie de factores ambientales tales como la temperatura, el agua y la disponibilidad de nutrientes, y siendo las variables climáticas muy difíciles de modificar, el desafío para los técnicos está dirigido principalmente hacia el manejo del agua y los nutrientes de manera asertiva (Zapata, 2013).

Por ejemplo, un estudio realizado sobre “Comportamiento de especies de *Eucalyptus* para sombra y abrigo en suelos sobre basalto” (Balmelli y Resquin, 2005) arrojó como resultado que las especies *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. bosistoana*, *E. amplifolia*, *E. benthamii*, *E. sideroxylon*, *E. melliodora* y *E. deanei*) tienen sobrevivencias superiores al

70%, demostrando una buena adaptación al basalto, siendo por lo tanto las especies que tienen mayor probabilidad de éxito. Un segundo grupo de especies (*E. maidenii*, *E. dunnii*, *E. grandis*, *E. saligna*, *E. paniculata*, *E. macarthurii*, *E. punctata*, *E. bicostata*, *E. pellita* y *E. kartzoffiana*) tienen una sobrevivencia aceptable (entre 40% y 70%), aunque su plantación es más riesgosa que las del primer grupo. Las especies restantes (*E. viminalis*, *E. badjensis*, *E. smithii*, *E. globulus*, *E. nitens*, *E. microcoris* y *E. cloeziana*) no se adaptan a las condiciones del basalto (sobrevivencias menores a 35%), por lo que deberían descartarse como especies a plantar en este tipo de suelos.

2.1.1.5 Crecimiento y desarrollo. El crecimiento de árboles se define como el resultado de dos fuerzas opuestas, el componente donde se observa la expansión de un organismo, que está directamente relacionado con el potencial biótico, fotosíntesis, absorción de nutrientes, metabolismo, entre otros. El otro componente representa las restricciones externas (competencia, recursos limitados, estrés) e internas (mecanismos de autorregulación, respiración y envejecimiento) (Zeide, 1993).

Así mismo, el crecimiento de árboles depende de los recursos dispuestos a su favor (luz, agua y nutrientes), la eficacia del empleo de recursos para la fotosíntesis y la partición en tejidos leñosos. Los patrones de eficiencia en el transcurso del tiempo para árboles individuales o en comunidades, son el resultado de cambios en la fotosíntesis y en la partición relativa de la madera (Binkley, Stape, Bauerle y Ryan, 2010). Durante los últimos años la modificación en el uso de los recursos explica la transformación en el crecimiento de los árboles y los rodales. Así, por ejemplo, Ryan, Binkley, Fownes, Giardina, y Senock (2004) evidenciaron que la producción primaria disminuyó en una tercera parte hasta la

rotación tardía en una plantación de *Eucalyptus saligna* a pesar de las altas tasas en el suministro y uso de recursos; por otra parte, la producción de madera se redujo en más de la mitad.

No obstante, el crecimiento de la madera en los bosques cambia en más de un factor en varios paisajes locales y en más de 50% durante el desarrollo de rodales individuales. El suministro de recursos (especialmente agua y nutrientes) tiene una alta influencia en la producción de madera, pero pronosticar como va a ser el comportamiento en cuanto a crecimiento de los bosques y el almacenamiento de carbono en los ecosistemas sigue siendo un total desafío (Landsberg, 2003; Trumbore, 2006).

Se considera que las plantaciones de *Eucalyptus* evidencian crecimientos que dependen de los sitios; estas fluctuaciones son el resultado de la interacción de los individuos con las condiciones ambientales del medio. Esta relación afecta directamente el desarrollo del dosel, su función y la partición de los carbohidratos, y en el caso de plantaciones jóvenes, muestra una gran influencia de las prácticas silvícolas y de la calidad en la ejecución de ellas. Cannell (1989) realizó una revisión exhaustiva de las bases fisiológicas para una buena producción de madera e hizo recomendaciones sobre el crecimiento ya que este debe ser analizado en términos de luz. Lo anterior implica que la producción de madera está fuertemente determinada por la cantidad de luminosidad interceptada, la eficiencia de su uso y el porcentaje de asimilados que se distribuyen a los diferentes componentes del árbol en forma de biomasa.

Los factores ambientales como la luz, disponibilidad de nutrientes, temperatura y estrés hídrico pueden tener impactos sobre el área foliar y producción de biomasa por medio de la cantidad de luz interceptada por los árboles (Waring, 1983). Las temperaturas máximas y la

baja oferta del recurso hídrico pueden minimizar en gran medida la eficiencia en el uso de la luminosidad o aumentar la respiración o pérdida del follaje, mientras que una buena disponibilidad de agua y nutrientes pueden influir en la partición de los foto asimilados (Cannell, 1989).

La calidad del sitio también es considerada como otro factor decisivo en la productividad de plantaciones, generalmente por la relación existente entre la disponibilidad de agua (Pereira y Pallardy, 1989).

Un estudio sobre dinámica de crecimiento y productividad de una plantación de *Eucalyptus grandis* bajo omisión de N, P, K Ca y Mg en dos rotaciones de cultivo realizado en Sao Pablo, Brasil, concluyó que las condiciones climáticas, especialmente la disponibilidad de agua, afectaron en un gran porcentaje el crecimiento de los árboles y la respuesta de los *Eucalyptus* a los fertilizantes. Así, por ejemplo, durante los meses donde hubo abundante recurso hídrico, dio como resultado una buena respuesta de esta especie hacia la aplicación de fertilizantes. De esta forma, en los meses donde hubo baja oferta de agua, disminuyó en gran medida la respuesta de los árboles (Rocha *et al.*, 2019).

Otro estudio que se llevó a cabo en Ethiopia sobre la respuesta de plántulas de dos especies de eucaliptos y tres de hoja caduca ante el estrés hídrico severo, arrojó como resultado que la baja disponibilidad de agua tuvo impactos más negativos en las especies de *Eucalyptus* a comparación de las otras. Así, por ejemplo, el *E. globulus* fue más vulnerable al estrés hídrico severo que *E. camaldulensis*, debido a su capacidad de reorientación foliar (Gindaba, Rozanov y Negash, 2004).

2.1.1.6 Genética del eucalipto. Se espera que las especies de *Eucalyptus* que se siembran comercialmente sean sujeto de modificación genética. Las más importantes de estas especies son el *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. pellita*, *E. globulus*, *E. nitens*, *E. dunni*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis* y *E. saligna*, y los híbridos *E. urophylla* x *E. grandis*, *E. camaldulensis* x *E. grandis* y *E. globulus* x *E. nitens*. Como las plantaciones de híbridos son cada vez más común, es posible que tales plantas constituyan el núcleo del futuro *Eucalyptus* genéticamente modificado (Potts y Dungey, 2004).

Debido a la buena calidad de la pulpa de *E. globulus* y *E. nitens*, la búsqueda de otras opciones para optimizar el desarrollo ha sido lenta (Poke, Vaillancourt, Potts y Reid, 2005).

Tabla 4
Caracteres ecofisiológicas de las especies

Caracteres ecofisiológicos	Especies							
	<i>E. globulus</i> Labill.	<i>E. grandis</i> W. Hill	<i>E. Saligna</i> Sm	<i>E. robusta</i> Sm	<i>E. tereticornis</i> Sm	<i>E. cinerea</i> o plateado F. Muell. ex Benth	<i>E. pellita</i> F. Muell	<i>E. urophylla</i> S. T. Blake
Origen	Nativo de Nueva Gales del Sur, Tasmania y Victoria.	Nativo de Queensland y Nueva Gales del Sur.	Sur de Queensland y la mayor parte del Gales del Sur	Nativo de Nueva Gales del Sur y Sur de Queensland.	Nativo de Nueva Gales del Sur, Queensland y Victoria	Mesetas del sur de Nueva Gales del Sur y el norte de Victoria.	Península del Cabo York, Queensland y Nueva Gales del Sur	Timor y otras islas en la parte oriental del archipiélago indonesio
Rango latitudinal	34 ° -39 ° S	26 ° -32 ° S	28 ° -35 ° S	23 ° -36 ° S	6 ° -38 ° S	33 ° -38 ° S	12 ° -18 ° S	8 ° -10 ° S
Rango altitudinal	Australia: 230-915m Trópicos: 1600-2900m	Australia: 0-300m Trópicos: 1000-2200m	Australia: 0-1000m Trópicos: 1000-2100m	Australia: suelos de valles húmedos y pantanos Trópicos: 0-1100 m	Australia : 0-800m Trópicos :0-1000 m	Australia: 500-800m Trópicos: 1600-2900 m	Australia : 0-800m Trópicos :0-800 m	Australia : 0-3000m
Temperatura	Máxima: 21-25 ° C Mínima: 5 ° C	Máxima: 29-32 ° C Mínima: 5-6 ° C	Máxima: 28-30 ° C Mínima: 3-4 ° C	Máxima: 30-32 ° C Mínima: 3-5 ° C	Máxima: 22-32 ° C Mínima:	Máxima: 26-29 ° C Mínima: 0-4 ° C	Máxima: 24-33 ° C Mínima:	Máxima: 29 ° C Mínima: 8-12 ° C

					2-12 ° C		12-16 ° C	
Precipitación	Total: 750-1 500 mm Seca: 3 meses	Seca: 3 meses Total: 1 000-1 750 mm	Seca: no severa, hasta 4 meses Total: 800-1200 mm	Seca: hasta 4 meses, generalmente no severo Total: 1000-1500 mm	Seca: varía mucho hasta 7 meses Total: 500-1 500 mm	Seca: 3 meses Total: 1 000-1 750 mm	Seca: raramente significativa Total: 900-2400 mm raro en el sur, ausente en el norte	Seca: no severa Total: 1 000-1 500 mm ninguna, excepto en la altitud más alta
Heladas	20-120	Varias	5 a 15	hasta 5 o 10, no severas	hasta 15	15-45		

Nota: Caracteres ecofisiológicos de las ocho especies del género *Eucalyptus*. Adaptado de Darriba, A. F., & Pando, F. J. S. (2016). El Género *Eucalyptus* (Myrtaceae) en Galicia: Claves y descripción. *Nova Acta Científica Compostelana*, 23. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Silva-Pando/publication/292616950_El_Genero_Eucalyptus_Myrtaceae_en_Galicia_Claves_y_descripcion/links/56fcd8a908ae8239f6dc4f7d/El-Genero-Eucalyptus-Myrtaceae-en-Galicia-Claves-y-descripcion.pdf

La necesidad de desarrollar material genético idóneo para enfrentar diversas condiciones ambientales ha motivado en la incursión de híbridos. El híbrido *E. globulus* por *E. nitens* tiene características intermedias, tanto en pulpa como en la madera, y lógicamente el *E. nitens* le transfiere al híbrido más resistencia al frío de las que posee el *E. globulus*. Una vez producidos y probados, estos híbridos, pueden ser propagados vegetativamente y multiplicados en áreas extensas. El desarrollo de híbridos con rasgos de adaptabilidad puede hacer a las plantaciones comerciales económicamente atractivas en suelos que alguna vez fueron aptos para silvicultura (Ipinza, Gutiérrez y Molina, 2004).

2.1.2 Marco conceptual. Según Di Benedetto y Tognetti (2016): El peso seco es un muy buen estimador del carbono total de la planta, lo que permite analizar importantes aspectos de su fisiología.

El peso fresco o húmedo es un buen estimador del volumen, ya que en general las variaciones en el peso específico de los tejidos vegetales son bajas.

La tasa de crecimiento absoluto (AGR, g día⁻¹, por sus iniciales en inglés “absolute growth rate”) se define como el incremento de peso seco de material vegetal (W) por unidad de tiempo, es decir: $AGR = dW / dt$.

Según Bergamin y Amorim (1996):

El área foliar es el área de la lámina de la hoja o todas las superficies verdes (hoja lámina, cubierta de la hoja, tallo y ápice) del cultivo a la luz interceptada y fotosintéticamente activa. En la cuantificación de producción, la variable más relevante de crecimiento de una planta es el área foliar por unidad de área de terreno, conocido como índice de área foliar (IAF). El IAF es un importante parámetro indicador de diversos aspectos funcionales en comunidades vegetales. Su medida directa es difícil, por lo que son necesarios métodos indirectos que proporcionen una estimación precisa.

Según Pask, Pietragalla, Mullan y Reynolds (2012):

La conductancia estomática compara la tasa de intercambio de gases (es decir, absorción de dióxido de carbono) y transpiración (es decir, pérdida de agua) a través de la hoja según lo determinado por el grado de apertura estomatal (y por lo tanto las resistencias físicas a movimiento de gases entre el aire y el interior de la hoja). Por lo tanto, es una función de la densidad, el tamaño y grado de apertura de los estomas; con más estomas abiertos que

permiten una mayor conductancia, y consecuentemente indicando que la fotosíntesis y las tasas de transpiración son potencialmente más altas.

Según Gómez, Montoya, López y Riaño, 2001; Lizaso, Batchelor y Westgate (2003): La oferta agroclimática sobre la planta-cultivo determina la disponibilidad de radiación fotosintéticamente activa y la velocidad de las reacciones bioquímicas, tanto la producción de fotoasimilados como su distribución dentro de la planta son procesos modificados por el funcionamiento endógeno de la planta y que pueden ser adecuadamente cuantificados por los estimadores de crecimiento. La interceptación de la radiación fotosintéticamente activa tiende a aumentar conforme la planta aumenta su área foliar y, en general, su tamaño a pesar del sombreado de las hojas inferiores por las superiores.

El área foliar de los cultivos y el coeficiente de extinción de la radiación fotosintéticamente activa influye sobre la radiación fotosintéticamente activa (IPAR) interceptada por el cultivo y están significativamente relacionados con la producción de biomasa y el rendimiento. Según Villar *et al.* (2004):

El contenido de materia seca (DM, siglas del inglés “dry matter”) es la relación de peso seco y el peso fresco de la planta. Se expresa en kg (peso seco) kg⁻¹ (peso fresco).

2.1.3 Marco legal. Principales normas que actualmente regulan y reglamentan las plantaciones forestales comerciales en Colombia (Tabla 5).

Tabla 5

Normatividad de plantaciones forestales

Norma	Mandato
Ley 2 de 2549	• Estableció zonas forestales protectoras y bosques de interés

Norma	Mandato
	general para el desarrollo de la economía forestal, la protección de los suelos y la vida silvestre. • Creó 7 reservas forestales: Central, Motilones, Pacífico, Amazonia, Sierra nevada de Santa Marta, río Magdalena y Cocuy. • Estableció para las actividades agrícolas y forestales la obligación de conservación y recuperación. •
Decreto 2811 de 1974 – Código de Recursos Naturales	• Consideró la actividad de plantación entre las industrias forestales. • Estableció 2 tipos de plantaciones: 1. Industrial: ubicada en área forestal productora con el fin de destinarla a la producción directa e indirecta y 2. Protectora.
Ley 99 de 1993	• Creó el Ministerio de Ambiente, al cual se le atribuyó la formulación de la política nacional ambiental y la función de establecer los criterios de ordenamiento ambiental de uso del territorio. • Trasladó al Min. 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. • 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.
Ley 101 de 1993	• La explotación forestal y la reforestación comercial se entienden como actividades esencialmente agrícolas.
Ley 139 de 1994	• Creó el Certificado de Incentivo Forestal (CIF) como un reconocimiento del Estado a las externalidades positivas de la reforestación en tanto los beneficios ambientales y sociales generados son apropiables por el conjunto de la población. Esta ley también admite otros sistemas de incentivo forestal y crea, además, un Comité Asesor de
Ley 139 de 1994	

Norma	Mandato
	Política Forestal.
Decreto 1791 de 1996	• Calificó a los pequeños reforestadores como aquellos que desarrollan proyectos forestales en un área hasta de 500 hectáreas. • Estableció el régimen de aprovechamiento forestal y los diferentes tipos de aprovechamiento forestal. • Mantuvo la clasificación que ya había traído el Código de Recursos Naturales: plantaciones forestales de carácter industrial o comercial, plantaciones protectoras-productoras y plantaciones protectoras. • Estableció el salvoconducto para la movilización de productos forestales. • Otorgó a las autoridades ambientales, el control a las movilizaciones.
Ley 811 de 2003	• Creó las organizaciones de cadena, entre ellas, la forestal, que se debían inscribir ante el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).
Decreto 1498 de 2008	• Reglamentó los cultivos forestales comerciales y los sistemas agroforestales. • Estableció el registro para cultivos y sistemas agroforestales con fines comerciales ante el Ministerio de Agricultura. • Estableció la remisión de movilización para los productos de transformación primaria y los de madera descortezada de plantaciones forestales comerciales. • Reconoció las competencias de otras entidades públicas respecto al control y seguimiento de los productos forestales.
Ley 1328 de 2009	• Trasladó al MADR las funciones de las CAR en relación al CIF, para apoyo de programas de reforestación comercial.
Decreto 4600 de 2011	• Creó la Ventanilla Única Forestal para centralizar los trámites y procedimientos que requiere el ejercicio de la

Norma	Mandato
actividad forestal con fines comerciales.	

2.1.3.1 Clasificación de áreas forestales y plantaciones. La Ley 2 de 2549 declaró siete reservas forestales para el desarrollo de la economía forestal y la protección de los suelos, las aguas y la vida silvestre en Colombia, que aún cubren cerca del 50% del territorio nacional. Igualmente, estableció que estas zonas de reserva debían someterse a un Plan de Ordenación Forestal (POT) y que sus suelos debían estudiarse y clasificarse para determinar aquellos sectores adecuados para la actividad agropecuaria, que pudieran sustraerse de las reservas. Estas tareas, a cargo del MADR, nunca se concretaron.

El Código Nacional de Recursos Naturales –CNR- Decreto Ley 2811 de 1974, 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: 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 2549 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 el Plan de Ordenamiento Territorial (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, 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.

2.1.3.2 Bosque natural vs. Plantaciones forestales. La Ley 99 de 1993 estableció a cargo del MADR la política de cultivos forestales comerciales y la Ley 101 del mismo año y definió la explotación forestal y la reforestación comercial como actividades esencialmente agrícolas.

En desarrollo de lo anterior, el Decreto 1791 de 1996 estableció dos regímenes diferentes, uno para las plantaciones generadas por la intervención del hombre y otro para el aprovechamiento sostenible de los bosques y la flora silvestre, que requieren un manejo especial por ser un soporte de la diversidad biológica y de la oferta ambiental de la Nación. Para el bosque natural se establecieron las siguientes clases de aprovechamiento:

Único: Los que se realizan por una sola vez, en áreas donde con base en estudios técnicos se demuestre mejor aptitud de uso del suelo diferente al forestal o cuando existan razones de utilidad pública e interés social. Los aprovechamientos forestales únicos pueden contener la obligación de dejar limpio el terreno, al término del aprovechamiento, pero no la de renovar o conservar el bosque.

Persistente: los que se efectúan con criterios de sostenibilidad y con la obligación de conservar el rendimiento normal del bosque con técnicas silvícolas, que permitan su renovación. Por rendimiento normal del bosque se entiende su desarrollo o producción sostenible, de manera tal que se garantice la permanencia del bosque.

Doméstico: los que se efectúan exclusivamente para satisfacer necesidades vitales domésticas sin que se puedan comercializar sus productos.

Aunque el CRN también clasificaba los aprovechamientos forestales en únicos, persistentes y domésticos y en principio estos eran aplicables tanto al bosque natural como a las plantaciones, desde que se expidió el Decreto 1791 de 1996 solo se exige un registro para las plantaciones productoras de carácter industrial o comercial, cercas vivas, barreras rompevientos, de sombríos o plantaciones asociadas a cultivos agrícolas. Con todo, dicho el registro, al igual que la expedición de los permisos de aprovechamiento del bosque natural, estaba en cabeza del sector ambiental y frecuentemente se generaban confusiones.

Fue solo hasta que el Decreto 1498 de 2008, que derogó lo establecido por el Decreto 1791 de 1996 sobre las plantaciones forestales productoras de carácter industrial o comercial, que se trazó una línea de diferenciación tajante entre el bosque natural, del resorte del sector ambiental y sujeto a sus reglas, y las plantaciones forestales, que este decreto pasó a llamar cultivos forestales comerciales, del resorte del sector agropecuario.

En ese sentido, mientras los primeros requieren la obtención de permisos de aprovechamiento, bajo las categorías explicadas, y de salvoconductos para la movilización ante las autoridades ambientales, los segundos no requieren ningún permiso para su establecimiento y solo se hace referencia a su registro y a la obtención de remisiones de movilización por el ICA como delegatario de funciones del MADR.

El mencionado Decreto 1498 condicionó los cultivos forestales comerciales a que estuvieran en condiciones de producir madera y subproductos e integró en su definición a aquellos que hicieran parte de un sistema agroforestal cuando se combinaran con cultivos agrícolas o actividades pecuarias. Además, expresamente trasladó al MADR la competencia para su registro y para la expedición de remisiones para su movilización y aclaró que no podrían establecerse “en bosques naturales, áreas forestales protectoras, áreas de manejo especial o cualquier otra categoría de manejo, conservación o protección que excluya dicha actividad, así como ecosistemas estratégicos, tales como páramos, manglares, humedales y coberturas vegetales naturales secas”.

Aunque con la Ley 1328 de 2009 también se trasladó al sector agropecuario el registro de las plantaciones protectoras-productoras establecidas en el marco del CIF, estas no pueden considerarse como un cultivo forestal comercial propiamente dicho, dado que deben cumplir reglas.

En materia de repoblación del bosque, como se explicó previamente. Por su parte, aquellas plantaciones protectoras-productoras que no se establezcan en el marco del CIF, al igual que las plantaciones protectoras, siguen siendo competencia de las autoridades ambientales y se someten a las reglas de aprovechamiento del bosque natural.

Pese a que, en el año 2010, se expidió la Ley 1377 de 2010, reglamentada por el Decreto 2303, que asignaban a las UMATAS el registro de las plantaciones con extensión menor a 10 hectáreas, al paso que mantenía las demás a cargo del MADR, y derogaban el Decreto 1498 de 2008, la vigencia de estas normas fue corta, puesto que en el año 2011 la Corte Constitucional declaró la ley inexecutable por vicios de procedimiento. Por lo tanto, el Decreto 1498 de 2008 recobró vigencia.

En virtud de la normativa actual es claro que la cosecha de los cultivos forestales comerciales no requiere ningún tipo de autorización ambiental, aunque la movilización de los productos de transformación primaria y la madera descortezada debe estar amparada con una remisión. El Decreto 1498 fue además recientemente compilado en el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo Agropecuario –Decreto 1071 de 2015, al igual que el Decreto 1791 de 1996, que fue compilado en el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible –Decreto 1076 de 2015. Sin embargo, debe resaltarse que de forma equivocada este último incluyó los artículos 70 a 76 relacionados con el registro de plantaciones forestales comerciales, que habían sido derogados años atrás por el Decreto 1498 de 2008.

2.1.4 Antecedentes. La primera clasificación sustancial del género *Eucalyptus* fue publicada en 1867 por George Bentham de los jardines botánicos reales, Kew, Inglaterra, la cual registra 135 especies conocidas. Desde entonces, se han descubierto cientos más; hasta ahora se ha reconocido que comprende alrededor de 800 especies (Coppen, 2003).

Luego de la clasificación de Bentham viene la publicación de Maiden, una obra monumental llamada *A critical revision of the genus Eucalyptus* (1904–31), que consistió en una serie de descripciones, maravillosamente ilustradas, de todos los taxones conocidos en su época, más tarde W.F. Blakely publicó en 1934 *A key to the eucalypts*, en la cual describió 500 especies y 138 variedades, y en 1965, R.D. Johnston y Rosemary Marryatt prepararon un documento llamado *Taxonomy and nomenclature of eucalypts documento* que proporcionó una revisión de los nombres y el estado de muchos taxones de los eucaliptos descritos por Blakely en su clave (FAO, 2016).

A nivel nacional Colombia cuenta con varias publicaciones de estudios realizados sobre el género *Eucalyptus* que se encuentran en las revistas de las principales universidades que ofrecen el programa de ingeniería forestal; La *Revista* Facultad Nacional de Agronomía (RFNA), de la Universidad Nacional de Colombia cuenta con cinco publicaciones relacionadas con este género que van desde el año 1984 hasta el año 2017; la *Revista* Colombia Forestal de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas cuenta con seis publicaciones desde el año 2001 hasta el año 2014; además de estas revistas también existen algunos estudios que realizan empresas y asociaciones sobre este género que se enfocan principalmente en su manejo silvicultural y búsqueda constante de nuevas tecnologías teniendo como propósito maximizar y estudiar su producción dado que el

género *Eucalyptus* es considerado potencialmente importante para la producción de madera.

De acuerdo a revisiones bibliográficas en la región de García Rovira se registran nueve estudios relacionados con el género *Eucalyptus* desde el año 1990 hasta el año 2008 encontrados en la biblioteca de la UIS, Sede Málaga. En las demás entidades existentes en la provincia como la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS) y el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) no se registran estudios relacionados con este género.

2.2 Procesos metodológicos

2.2.1 Metodología

2.2.1.1 Descripción del área de estudio

2.2.1.1.1 Localización del área de estudio. La zona de estudio se divide en tres (Figura1): sitio 1 corresponde a Capitanejo, la finca El Carrizal está ubicada en la vereda Molinos a los 1780 msnm. Cuenta con un tipo de suelo MRAg3, Typic ustorthents, el clima es medio seco con relieve moderado y fuertemente escarpado con pendiente > a 50%, textura franco-arcillo-arenosa, reacción moderadamente ácida a ligeramente alcalina, fertilidad alta y muy alta, erosión moderada y severa generalizada. Cuenta con una temperatura y precipitación media anual de 20°C y 770 mm, respectivamente.

2.2.1.1 Descripción del área de estudio

2.2.1.1.1 Localización del área de estudio. La zona de estudio se divide en tres (Figura1): sitio 1 corresponde a Capitanejo, la finca El Carrizal está ubicada en la vereda Molinos a los 1780 msnm. Cuenta con un tipo de suelo MRAg3, Typic ustorthents, el clima es medio seco con relieve moderado y fuertemente escarpado con pendiente > a 50%, textura franco-arcillo-arenosa, reacción moderadamente ácida a ligeramente alcalina, fertilidad alta y muy alta, erosión moderada y severa generalizada. Cuenta con una temperatura y precipitación media anual de 20°C y 770 mm, respectivamente.

El sitio 2 corresponde al municipio de Cerrito, vereda Ovejeras, finca Casa de Zinc, el tipo de suelo que allí se presenta es MLAf2, Typic troperthents. Cuenta con un clima Frío húmedo y muy húmedo. Relieve moderado fuertemente escarpado, con pendiente > a 50%, muy superficiales, moderadamente profundos y muy profundos, textura franca, franco-arcillosa, arenosa-franca, reacción extremada a moderadamente ácida, fertilidad baja a muy baja y moderada, erosión moderada en sectores. Presenta una temperatura y precipitación media anual de 13 °C y 1212mm, respectivamente.

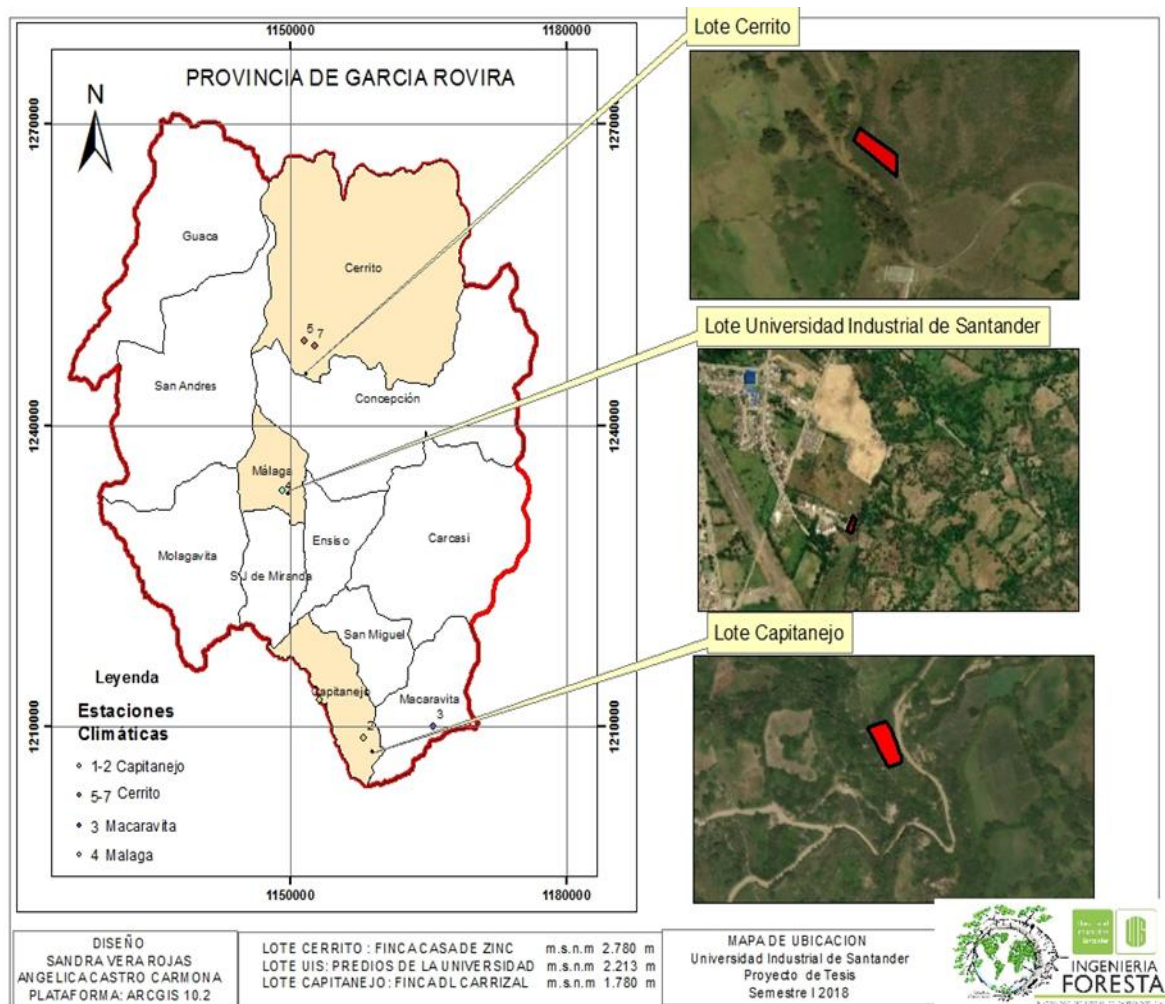


Figura 1. Localización del área de estudio.

El sitio 3 corresponde al municipio de Málaga, predios de la UIS. Presenta un suelo MLDD, Andic humitropepts y un clima Frío húmedo y muy húmedo. Relieve fuertemente ondulado y fuertemente quebrado con pendientes entre 12-25%, moderadamente profundos, reacción extremada a fuertemente ácida, textura franco arenosa, franco arcillo-arenosa, arcillosa y arcillo-limosa, saturación de aluminio $> 0.5\%$, fertilidad baja, erosión moderada localizada. Temperatura y precipitación media anual de 17°C y 1587 mm.

2.2.1.1.2 *Análisis edáfico de la zona de estudio.* En la Tabla 6 se observa que los sitios presentan restricciones en algunos nutrientes. Para Capitanejo se evidenciaron 14 restricciones, para Cerrito 11 y finalmente para Málaga 10.

Tanto el porcentaje de materia orgánica, el carbono orgánico y el nitrógeno total, se presenta en bajos contenidos en Capitanejo, mientras que para Cerrito y Málaga se presentan contenidos óptimos. Cuando hay bajos niveles de estos nutrientes afecta negativamente el crecimiento y el desarrollo sobre todo el área foliar. Los nutrientes que presentaron bajos contenidos en los tres sitios fueron Magnesio, Manganeso, Cobre y Zinc. Para los sitios de Capitanejo y Cerrito el Calcio presentó bajos niveles, así mismo, para Cerrito y Málaga el Aluminio presentó bajos contenidos. En el sitio Cerrito se observaron bajos contenidos de Fósforo, mientras que para Capitanejo y Málaga los niveles son óptimos. Una de las funciones clave de este elemento está relacionado con el crecimiento del sistema radicular (Lee y Paek, 2012).

2.2.1.1.3 *Precipitación de la zona de estudio.* Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para los sitios que se evaluaron, los promedios de precipitación anual para cada uno de ellos están en los rangos de 700-800 mm para la zona de Capitanejo, 1500-1600mm para Málaga y 1200-1300 mm para Cerrito lo que coincide con las isoyetas que se muestran en la figura 2.

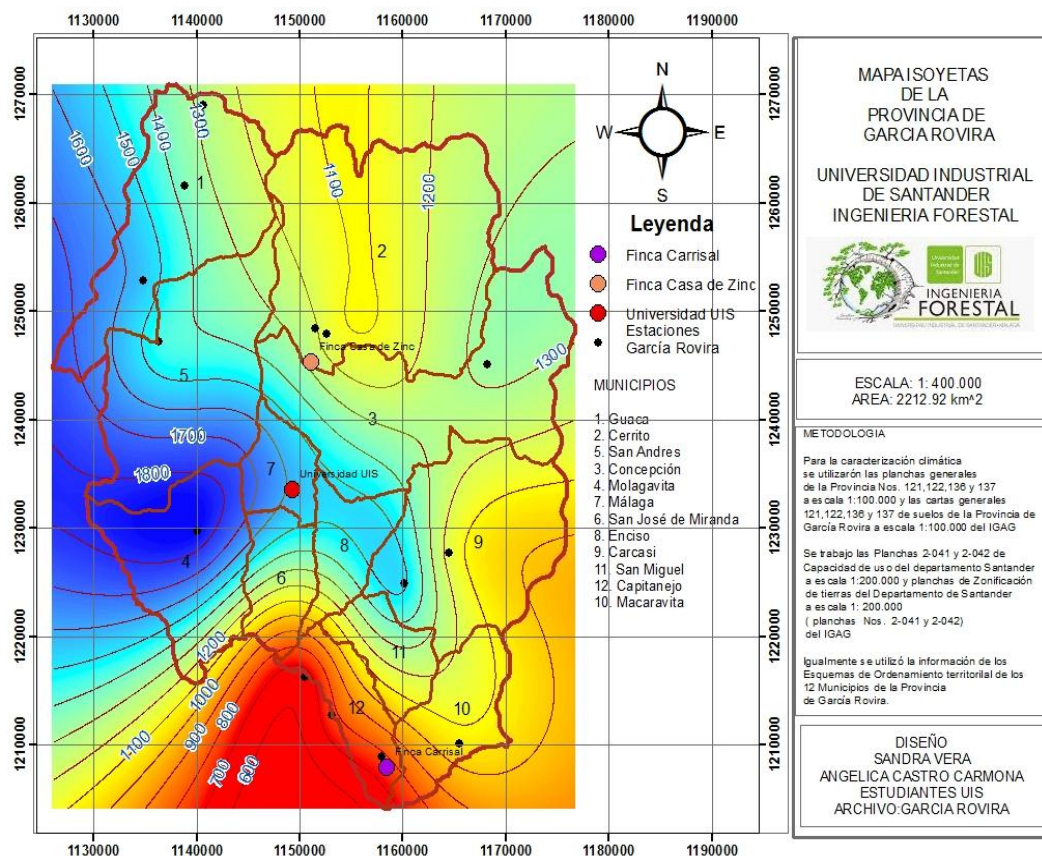


Figura 2. Isoyetas de las áreas de estudio. Adaptado de Carvajal, R. (2017). Caracterización edafoclimática provincia de García Rovira. SENNOVA, 1(1), 1-25

2.2.1.2 Material vegetal. Para los ensayos en los tres ambientes altitudinales o contrastantes se emplearon ocho especies de *Eucalyptus* (*E. globulus*, *E. grandis*, *E. Saligna*, *E. robusta*, *E. tereticornis*, *E. cinerea*, *E. pellita* y *E. urophylla*), las cuales fueron obtenidas o suministradas por la Empresa El Semillero ubicada en la ciudad de Bogotá, D.C cuya procedencia para siete especies son de Colombia, mientras que para la especie *E. urhopylla* la procedencia es de Sau-Pablo Brasil. La semilla viene con todas las especificaciones de calidad y con su respectivo registro Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Tabla 6
Análisis de suelo de cada sitio

VARIABLE		Capitanejo	Observación	Cerrito	Observación	Málaga	Observación
	Textura	Franco-arenosa	Óptima	Franco-arenosa	Óptima	franco	Óptima
Propiedades físicas	% Arena	60	Altamente restrictiva en época de sequía por baja retención de humedad	60	Altamente restrictiva en época de sequía por baja retención de humedad	40	
	% Limo	24		26		34	
	% Arcilla	16		14		26	
Acidez	pH	7,7	Ligeramente alcalino, presenta restricción para el desarrollo de las plantas	4,2	Suelos extremadamente ácidos	5	Suelos muy fuertemente ácidos
	Aluminio	N. A	óptimo (rango ideal en 0)	4,4	Altamente restrictivo	0,8	Con baja restricción
Prop. Biológicas	% Carbono orgánico	0,88	Restrictivo	3,15	óptimo	2,45	Sin antagonismo
	% Materia orgánica	151,712	Restrictivo	5,4306	Óptimo	42,238	óptimo
Elementos menores	%Nitrógeno	0,0862	Con restricción (rango ideal entre 0.16 y 0.3)	0,0862	Con restricción (rango ideal entre 0.26 y 0.5)	0,0862	
	Fósforo (ppm)	14,5	Óptimo	11,9	Con restricción (rango ideal entre 15-40)	25,2	Óptimo
	Potasio (meq/100g)	0,29	Óptimo	0,33	Óptimo	0,55	Óptimo
Elementos secundarios	Calcio (meq/100g)	14,2	Altos contenidos (rango ideal 3-6)	0,74	Restrictivo (rango ideal 3-6)	5,41	óptimo
	Magnesio (meq/100g)	0,98	Restrictivo (rango ideal 1.5-3)	0,21	Restrictivo	0,72	Restrictivo
	Azufre (Ppm)	10,8	óptimo	7,02	óptimo	9,08	óptimo
Relaciones Catiónicas	Ca/Mg	14,49	Magnesio deficiente	3,52	óptimo (rango ideal entre 2-4)	7,51	Sin antagonismo
	Mg/K	3,38	Óptimo	0,64	Con restricción (rango ideal de 2-4). <1 Mg deficiente	1,31	Con restricción (rango ideal de 2-4)
	Ca/K	48,97	Con restricción (relación ideal 6)	2,24	Con restricción (relación ideal 6)	9,84	Con restricción (relación ideal 6)
	(Ca+Mg)/K	52,34	Con restricción	2,88	Con restricción (relación ideal 10)	11,15	Óptimo
Elementos menores	BORO (Ppm)	0,11	´óptimo	0,06	Con restricción	0,11	óptimo
	HIERRO(Ppm)	1,73	Altamente restrictivo	90,9	Altas contenidos	359	Altos contenidos
	MANGANESO(Ppm)	0,77	Altamente restrictivo (rango ideal 15-30)	3,56	Con restricción (rango ideal 15-30)	8,48	Con restricción (rango ideal 15-30)
	COBRE(Ppm)	0,37	Con restricción (rango ideal 1.5-3)	0,46	Con restricción (rango ideal 1.5-3)	1,23	Con restricción (rango ideal 1.5-3)
	ZINC(Ppm)	0,38	Con restricción (rango ideal 3-6)	0,3	Con restricción (rango ideal 3-6)	2,19	Con restricción (rango ideal 3-6)
	CIC (meq/100g)	6	Con restricción (rango ideal 10-20)	17,4	Óptimo	18	Óptimo
No. de restricciones		14	11		10		

2.2.1.3 Fase de vivero. La germinación de semillas se realizó en el vivero ubicado en la Sede de la Universidad Industrial de Santander, con una duración de dos meses. Se emplearon bandejas de germinación de 50 alveolos cuyas dimensiones son de 50 de largas x 25,2 cm de anchas x 12 cm de altas. Los diámetros de los alveolos superior son de 4 cm y sustrato se utilizó turba de la marca Stender de procedencia alemana. El sistema de riego empleado corresponde al nebulizado, previamente desinfectada el agua (100 g de oxiclورو de cobre por 200 litros de agua más 100 cc de agrodyne) para prevención de problemas fitopatógenos y así garantizar los procesos de fertilización de inicio o enraizamiento, de crecimiento y de endurecimiento (Tabla 7).

Tabla 7
Fertilización en fase de vivero

Dosis de Fertilización en <i>Eucalyptus</i> . Fase: Vivero			
Fecha		Elementos	Dosis
04-may-18	Control de dermóptero	Lorsban	0.5 cm ³
		Agua	500 ml
19-may-18	Elementos Mayores	Foss 61	25 gr
		Nitrato de potasio	5 gr
		Nitrato de calcio	5 gr
		Nitrato de magnesio	5 gr
		Agua	20 L
21-may-18	Desinfección	Oxicloruro de cobre	10 gr
		Agua	20 L
	Elementos menores	Sulfato de hierro	0.5 gr
		Borato	0.5 gr
		Sulfato de zinc	0.5 gr
		Agua	20 L
26-may-18	Elementos mayores y secundarios	Foss 61	40 gr
		Nitrato de potasio	5 gr
		Nitrato de calcio	10 gr

Dosis de Fertilización en <i>Eucalyptus</i> . Fase: Vivero			
31-may-18	Elemetos menores	Sulfato de magnesio	10 gr
		Agua	20 L
		Sulfato de cobre	0.5 gr
		Sulfato de zinc	0.5 gr
		Sulfato de hierro	0.5 gr
		Borato	0.5 gr
		Agua	20 L
	Elemetos mayores y secundarios	Foss 61	50 gr
		Nitrato de potasio	20 gr
		Nitrato de calcio	10 gr
		Sulfato de magnesio	10 gr
		Agua	20 L
	Elemetos menores	Sulfato de cobre	2.5 gr
		Sulfato de zinc	2.5 gr
		Sulfato de hierro	2.5 gr
		Borato	2.5 gr
		Agua	20 L
05-jun-18	Elemetos menores	Sulfato de cobre	3 gr
		Sulfato de zinc	3 gr
		Sulfato de hierro	3 gr
		Borato	3 gr
		Agua	20 L
	Elemetos mayores y secundarios	Foss 61	20 gr
		Nitrato de potasio	10 gr
		Nitrato de calcio	20 gr
		Sulfato de magnesio	20 gr
		Agua	20 L
08-jun-18	Elemetos mayores y secundarios	Foss 61	10 gr
		Nitrato de potasio	5 gr
		Nitrato de calcio	20 gr
		Sulfato de magnesio	10 gr
		Agua	20 L
10-jun-18	Desinfección	Oxicloruro de cobre	10 gr

Dosis de Fertilización en Eucalyptus. Fase: Vivero		
16-jun-18	Agua	20 L
	Manganeso	100 cm3
	Agua	20 L

Así mismo, para estimular el crecimiento y desarrollo de las especies, se realizó varias fertilizaciones cuando las plantas se encontraban en bolsa. Para la disolución de fertilizantes se manejó 10 L de agua para la primera fecha y 150 L de agua para la segunda (Tabla 8).

Tabla 8
Fertilización en bolsa

Fecha		Dosis
07-jul-18	Foss 61	
	Urea	5 gr
	Nitrato de potasio	5 gr
	Nitrato de magnesio	10 gr
	Foss 61	20 gr
21-jul-18	Sulfato de magnesio	25 gr
	Nitrato de calcio	25 gr
	Nitrato de potasio	25 gr
	Urea	25 gr

2.2.1.4 Fase de campo

2.2.1.4.1 *Diseño y unidad experimental.* Diseño en bloques completamente al azar, ocho unidades experimentales en cada ambiente altitudinal, una unidad para cada especie, utilizando 20 plantas por cada unidad experimental.

La unidad experimental contó con 20 plantas (2 surcos x 10 plantas por surco) con un distanciamiento de 2 m x 1 m, que es equivalente a un área de 72 m² por unidad (Figuras 3 y 4). Tratamiento = 160 plantas, área total del ensayo: 0,08 ha, en cada sitio contrastante.

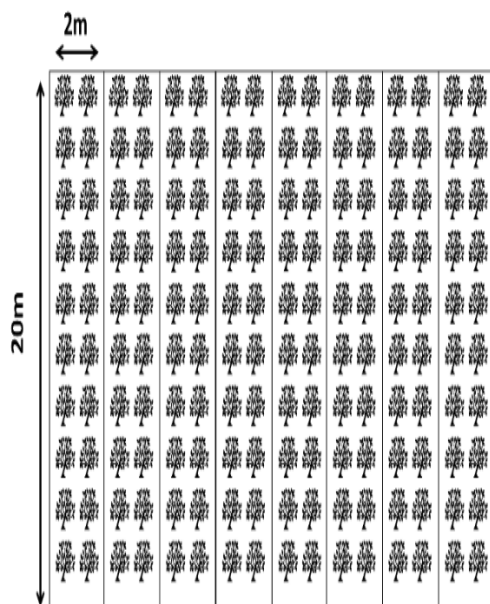


Figura 3. Unidades experimentales.

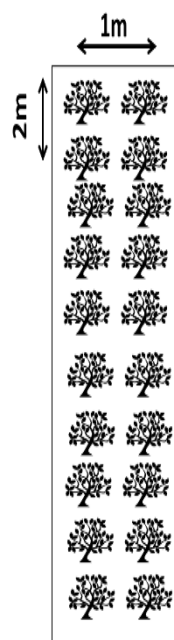


Figura 4. Espaciamiento entre plantas en una unidad experimental.

2.2.1.4.2 *Trasplante, trazado y siembra en terreno.* A los dos meses de haberse realizado la siembra en vivero, se procedió a llevar las plántulas a cada uno de los sitios y así mismo, trasplantarlas en bolsas de 2 kg utilizando como sustrato tierra de cada predio con excepción del sitio 2 donde el sustrato se mezcló con cal; posteriormente, a los 15 días los individuos fueron plantados en bolsas de dimensiones 40*30*40 cm empleando el mismo sustrato. Al final del mes de agosto se realizó la siembra en campo en los tres sitios altitudinales. Los hoyos se realizaron de 30x30x30 cm dejando un espacio entre cada uno de ellos de 1 m y 2 m entre surco; al momento de la siembra se aplicó un kg de abono orgánico más algunos correctivos y fertilizantes de acuerdo con el resultado de análisis de suelos.

2.2.1.4.3 *Medición de variables.* Para determinar el crecimiento y el desarrollo fenotípico de las plantas se tuvo en cuenta la medición de altura total, DAC, área foliar, conductancia estomática y eficiencia fotosintética, utilizando los equipos: Handy PEA (SENA), Porómetro (SENA), ceptómetro (SENA), balanza analítica y balanza de precisión, pie de rey, regla, un horno de secado, cámara fotográfica. Una vez se llevaron las plántulas a campo, se llevó el conteo de las plantas que sobrevivieron.

Para el primer objetivo específico, de identificar las condiciones edafoclimáticas de los tres sitios se evaluó la precipitación. Esta variable se obtuvo de las estaciones del Volcán y de Tinagá del municipio del Cerrito; de las estaciones de Capitanejo y de la estación pluviométrica del municipio de Málaga, por medio de solicitud de datos actualizados del registro de lluvias mensuales para los años desde 1980 hasta 2018. Estas estaciones son de propiedad del IDEAM.

Para las variables edafológicas, se siguieron las metodologías propuestas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Para la caracterización de tipos de suelos y las propiedades fisicoquímicas se determinaron en base a los análisis de suelo de cada uno de los predios.

Para el segundo objetivo específico de evaluar las diferentes variables fisiológicas y morfológicas de cada especie del género *Eucalyptus* en los tres sitios. Se determinaron estas variables:

Altura y DAC: se determinó la altura y DAC de los 20 individuos de cada especie en los bloques destinados, haciendo uso del pie de rey y un flexómetro para la altura desde la base del tallo hasta la yema apical. El diámetro se tomó a la altura del cuello de la raíz (DAC), es decir a 2 cm con respecto al nivel del suelo. Por otra parte, tres de los individuos que conformaban cada especie en los bloques, se seleccionaron para hacer mediciones de conductancia estomática y eficiencia fotosintética, respectivamente.

Para estas dos variables, se realizaban mediciones cada mes. Se optó por manejar tres fechas en las cuales las especies presentaban mayores diferencias significativas:

43 días que corresponde al 1 de septiembre de 2018, 135 días que corresponde al 2 de diciembre de 2018 y 281 días que corresponde al 27 de abril de 2019. Fechas que se contaron a partir del trasplante de los individuos a bolsa.

Biomasa de individuos en terreno: con el fin de observar la partición de carbohidratos, se realizaron ocho muestreos destructivos de dos individuos por especie, por bloque; se midió en campo peso fresco. Las plantas se seleccionaban de acuerdo al promedio de los 20 individuos de la medición. En el laboratorio, los individuos se separaban en cada una de sus partes (raíz, hojas, tallo y ramas), se halló el peso fresco de cada uno empleando una

balanza analítica, luego se llevó al horno para hallar el peso seco por un lapso de tiempo de 48 hr y a una temperatura de 72°C siguiendo la metodología propuesta por Sara Mejía de Tafur.

En total se realizaron ocho muestreos, se optó por manejar dos os cuales presentan mayores diferencias significativas: a los 137, que corresponde al 4 de diciembre de 2018 y 281 días que corresponde al 1 de mayo de 2019. Fechas que se contaron a partir del trasplante de los individuos a bolsa.

Área foliar: Una vez seleccionados los individuos para laboratorio, se procedió a retirar las hojas de cada árbol, estas se colocaban en papel blanco, se tomaron fotos de buena calidad con el objetivo de ser pasadas por el software imagen J y así determinar el área foliar de cada especie por bloque y por muestreo.

Conductancia estomática y eficiencia fotosintética: con el fin de determinar la influencia de la época seca en los individuos y observar la variación de ellas en cada uno de los sitios, se usaron los equipos Handy PEA y Porómetro. Se realizaron cuatro mediciones en terreno, en enero y en abril.

Radiación fotosintéticamente activa: esta variable se determinó utilizando el equipo ceptómetro para cada uno de los bloques.

Porcentaje de sobrevivencia de plántulas en la fase de campo: se llevó un conteo de los individuos que se iban marchitando y se analizó las posibles causas. Del mismo modo, se realizó una gráfica que representa la sobrevivencia de las especies en cada sitio, una realizada en época de sequía, y la otra finalizando la misma, con el fin de evaluar la resistencia de estas especies a la sequía.

Con respecto al tercer objetivo de determinar el grado de adaptabilidad de las ocho especies del género *Eucalyptus* en los tres sitios, se elaboró una propuesta donde se determinan las especies que presentaron un alto nivel de crecimiento, menor porcentaje de mortalidad y valores altos de conductancia estomática y eficiencia fotosintética.

2.2.1.4.4 Modelo estadístico. Modelos de regresión, comparación de medias utilizando pruebas de Tukey con $p < 0.05$. El análisis de datos se realizó a partir de un análisis de varianza ANOVA de 2 vías, utilizando el software IBM SPSS Statistics 23 y R Project y Microsoft Excel.

2.2.2 Resultados y discusión

2.2.2.1 Crecimiento de plantas en vivero a través del tiempo. En la figura 5 se evidencia un crecimiento mayor en las especies *E. globulus* y *E. tereticornis* para el mes de mayo, lo anterior es consecuencia principal de una mayor tasa de asimilación y partición de carbohidratos hacia el tallo en estas dos especies. En el mes de junio se observó un buen crecimiento en todas las especies, con medias superiores a 7 cm, con excepción de *E. grandis* y *E. pellita* que tuvieron medias de 6,46 y 6,35, respectivamente.

Un estudio realizado por Daetz (2015), en 5 clones de *E. urophylla*, en 3 clones híbridos (*E. urophylla* + *E. camandulensis*). En un clon de *E. camandulensis*, un clon de *E. pellita* y en especies de *E. urophylla* y *E. camandulensis* arrojó como resultado que entre los materiales evaluados no tuvieron diferencias estadísticas significativas. Sin embargo, los materiales que registraron una mayor media en la variable altura a los 6 meses fueron el clon CA-30 de *E. camandulensis* y *E. camandulensis* con medias de 1.2 m y 1.18 m.

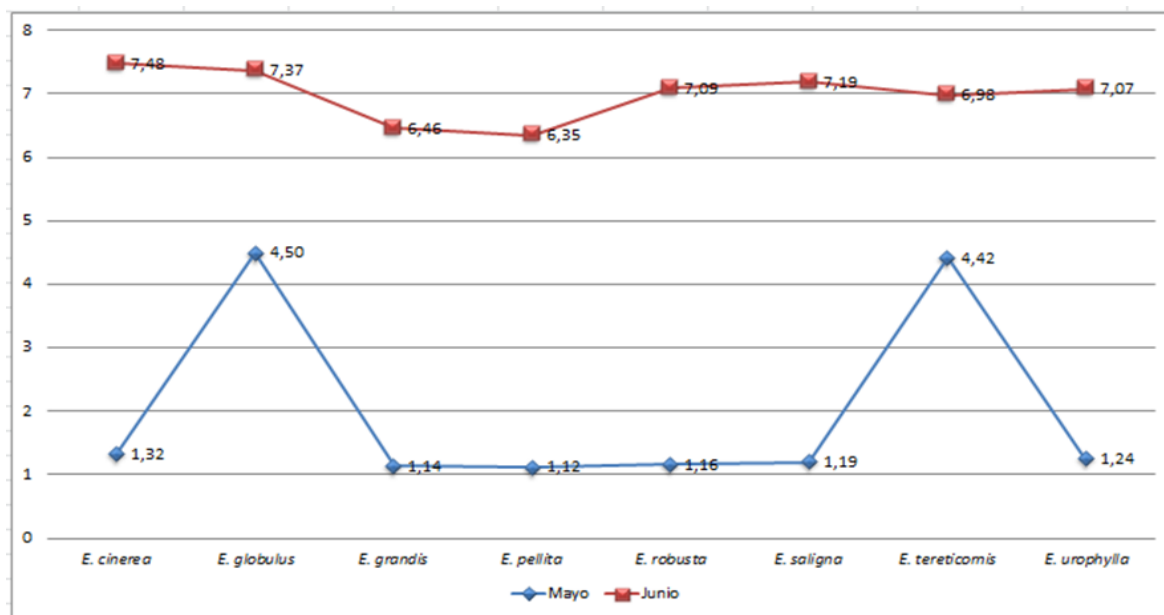


Figura 5. Altura en vivero de las ocho especies para los meses de mayo y junio.

Queiroz *et al.* (2017), evaluaron el efecto de diferentes regimenes hídricos sobre el crecimineto inicial de plántulas de *E. globulus*; donde encontraron que el tratamineto con 75% de evapotranspiración y láminas de riego entre dos y seis mm por día fue el que mejor generó crecimineto en altura, diámetro, número de hojas y biomasa, y, por otro lado, el tratamineto de 175% de evapotranspiración y láminas de riego entre 2 y 14 mm/día provocó los menores niveles de crecimiento. El autor plantea que la situación obedece a que el suelo presenta texturas pesadas y alta retención de humedad lo que conlleva a que se genere hipoxia y estrés por bajos niveles de oxígeno. Del mismo modo, hace referencia a otros trabajos donde plantea que los mejores niveles de crecimiento de plántulas de eucalipto se logra cuando el suelo está entre un 70-90% de capacidad de campo.

2.2.2.2 Crecimiento de plantas en cada sitio. En el sitio 1, las especies presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$). A los 43 días (Figura 6), y 135 días (Figura 7), el *E. cinerea*, *E. globulus* y *E. saligna*, tenían el mayor crecimiento en altura alcanzando medias entre 100 y 124 cm y en DAC entre 0,75 y 0,85 (Figura 9, Figura 10) cm en comparación con *E. pellita* que alcanzó una media de 58 cm para altura y 0,58 cm para DAC, respectivamente. Para los 281 días, las especies que tuvieron mayor desarrollo a pesar del impacto negativo del verano en las especies, fueron *E. saligna*, *E. tereticornis* y *E. urophylla* con medias entre 60 y 80 cm en cuanto a altura (Figura 8), y medias entre 0,60 y 0,85 cm de DAC (Figura 11). A diferencia del *E. globulus* y *E. robusta* las cuales presentan las medias más bajas en este sitio.

En el sitio 2, las especies presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) (Ver anexo...). En las tres mediciones se evidenció que el *E. cinerea*, *E. globulus*, *E. robusta* y *E. saligna*, tenían el mayor crecimiento en altura alcanzando una media de 108 cm y DAC de 1 cm que pertenece al *E. saligna* seguido del *E. globulus* que presentó media de 100 cm en altura y DAC de 0,91 cm en comparación con *E. grandis* que presentó una media de 78 cm para altura. En la variable DAC la menor media la presentó *E. cinerea* (0,80 cm), seguido del *E. pellita* (0,86 cm).

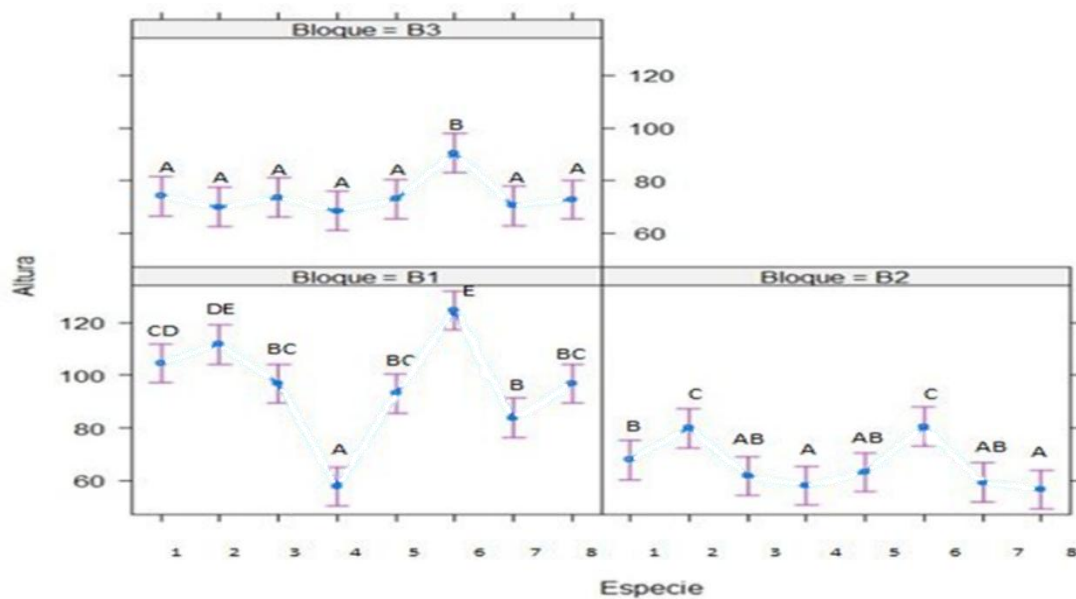


Figura 6. Altura de plantas en cada sitio a los 43 días.

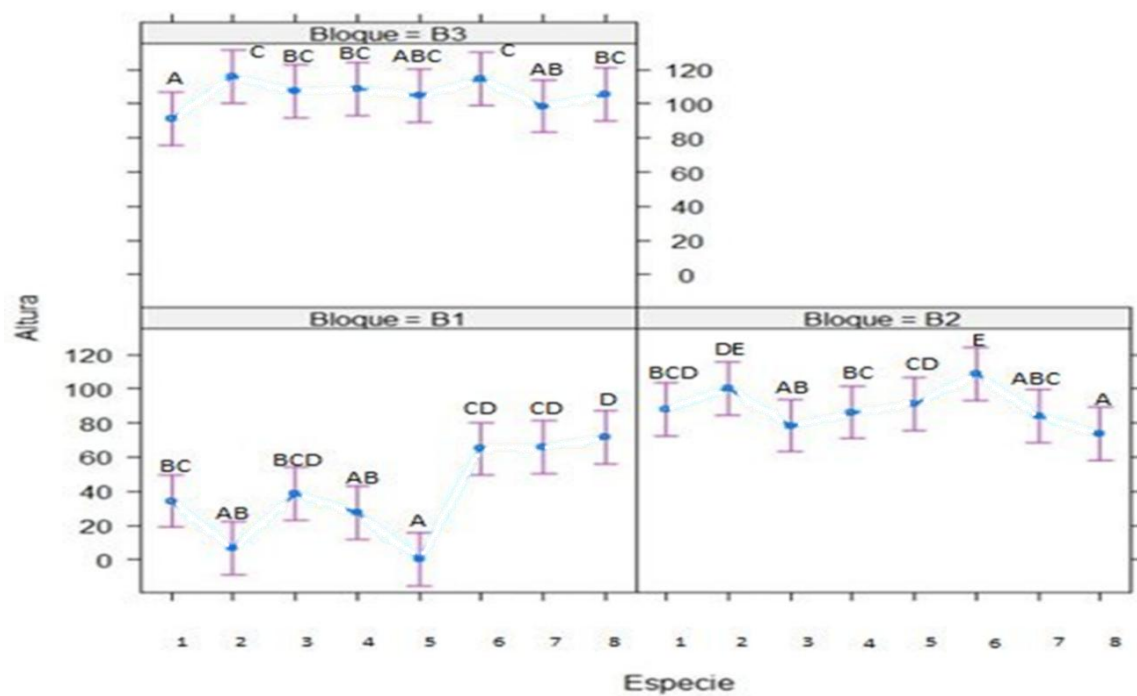


Figura 7. Altura de plantas en cada sitio a los 135 días.

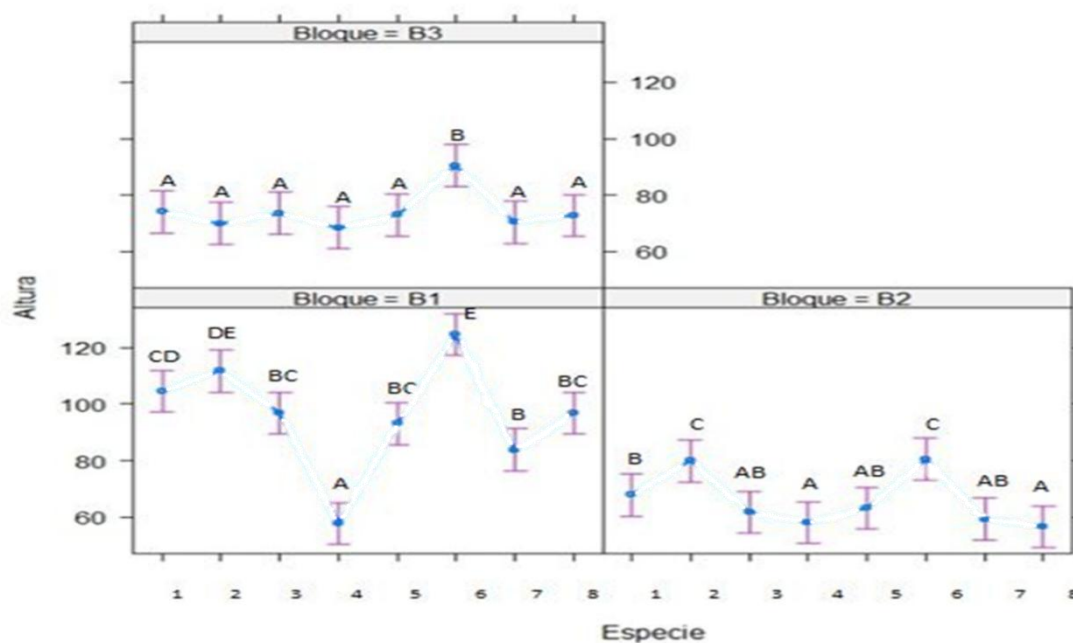


Figura 8. Altura de plantas en cada sitio a los 281 días.

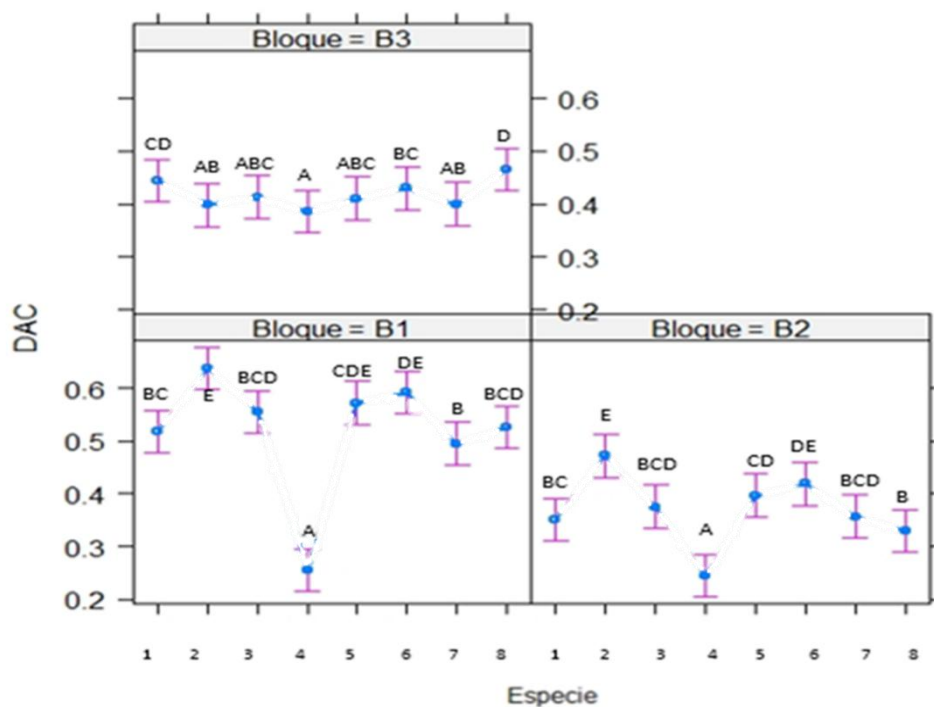


Figura 9. DAC de plantas para en cada sitio a los 43 días.

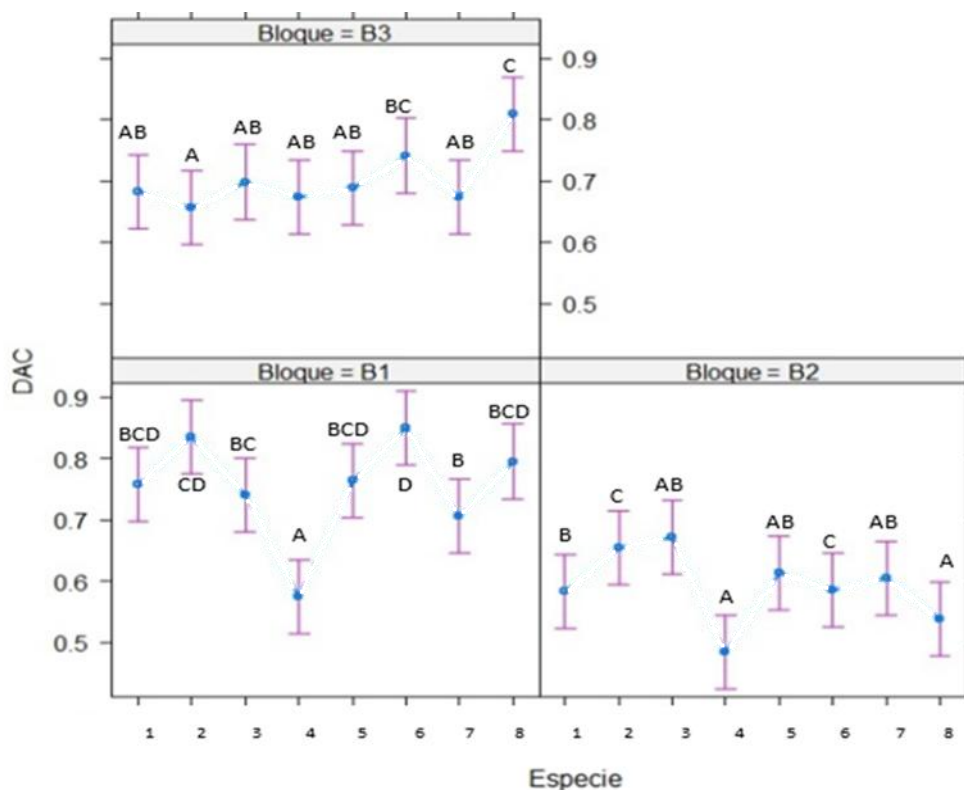


Figura 10. DAC de plantas para en cada sitio a los 135 días.

En el sitio 3, las especies presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$). En las tres mediciones *E. saligna* presentó mejor comportamiento en altura (Figura 10) y DAC (Figura 11), con medias de 115 cm y 1,20 cm, respectivamente. Seguido de *E. globulus*, *E. grandis* y *E. pellita* que alcanzaron medias entre 108 cm y 117 cm en altura y 1,10 y 1,20 cm de DAC. A diferencia del *E. cinerea* que presentó una altura de 92 cm y 0,94 cm de DAC.

2.2.2.3 Comparación del crecimiento de las plantas en los tres sitios. El comportamiento de las especies en los tres sitios mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) como se observa en las figuras 12,13,14 Y 15. Por ejemplo, en el sitio 1, a los 43 días, los individuos presentaron un buen desarrollo con medias en altura de 70-80 cm y diámetros de

0,55-0,65 cm, siendo el *E. globulus* seguido del *E. saligna* los individuos que presentan un mayor desarrollo. También se evidenció que, a los 281 días, el *E. robusta* y *E. globulus* presenta marchitamiento y una mortalidad del 100% a causa del verano prolongado de esos meses.

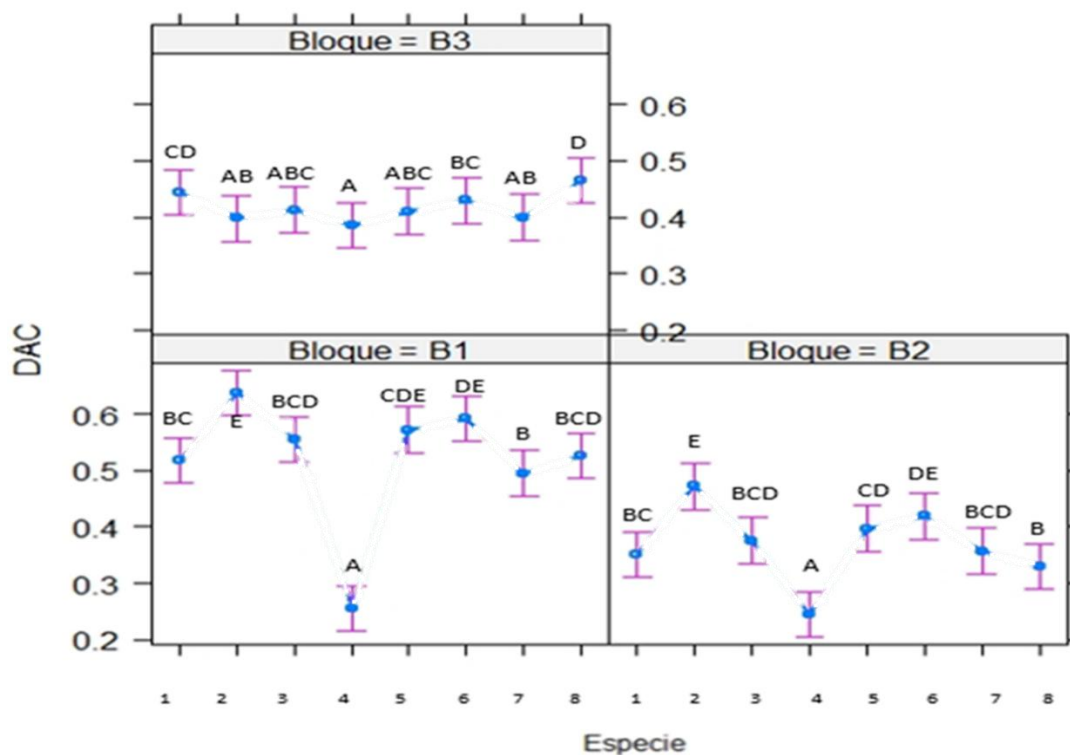


Figura 11. DAC de plantas para en cada sitio a los 281 días.

El desarrollo para los sitios 2 y 3, fue menor presentando medias en altura de 100-120 cm y diámetros entre 1 y 1,2 cm en comparación con el sitio 1, aunque en estos sitios sigue predominando *E. saligna* con un mayor desarrollo, así como también el *E. grandis* y *E. robusta*. En contraste con lo anterior, las especies que presentaron un bajo desarrollo para la última fecha de medición en el sitio 2, fue *E. grandis* y *E. urophylla* con medias entre 60 y

80 cm para altura. En el sitio 3, fue *E. cinerea* y *E. tereticornis* mostrando medias entre 80 y 100 cm.

Un estudio realizado por Daetz (2015), en 5 clones de *E. urophylla*, en 3 clones híbridos (*E. urophylla* + *E. camandulensis*). En un clon de *E. camandulensis*, un clon de *E. pellita* y en especies de *E. urophylla* y *E. camandulensis* arrojó como resultado que entre los materiales evaluados no tuvieron diferencias estadísticas significativas. Sin embargo, los materiales que registraron una mayor media en la variable altura a los 6 meses fueron el clon CA-30 de *E. camandulensis* y *E. camandulensis* con medias de 1.2 m y 1.18 m respectivamente.

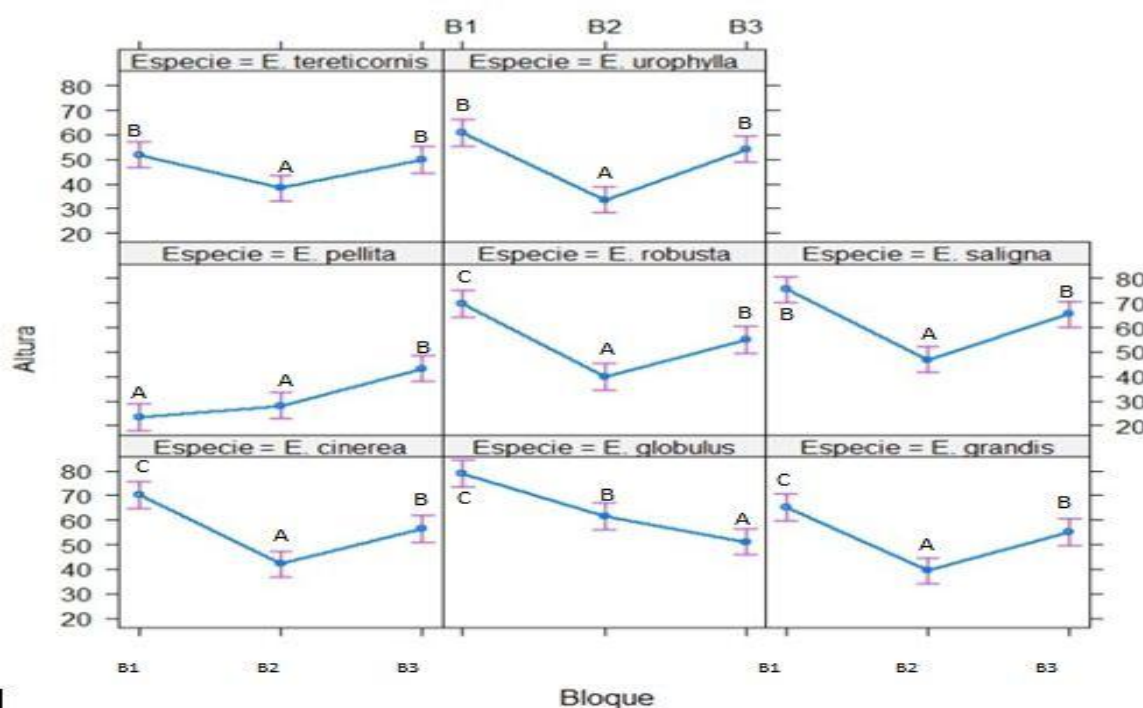


Figura 12. Comparación de altura en los tres sitios a los 43 días.

Así mismo, el crecimiento de árboles depende de los recursos dispuestos a su favor (luz, agua y nutrientes), la eficacia del empleo de recursos para la fotosíntesis y la partición en tejidos leñosos. Los patrones de eficiencia en el transcurso del tiempo para arboles individuales o en comunidades, son el resultado de cambios en la fotosíntesis y en la partición relativa de la madera (Binkley, Stape, Bauerle y Ryan, 2010).

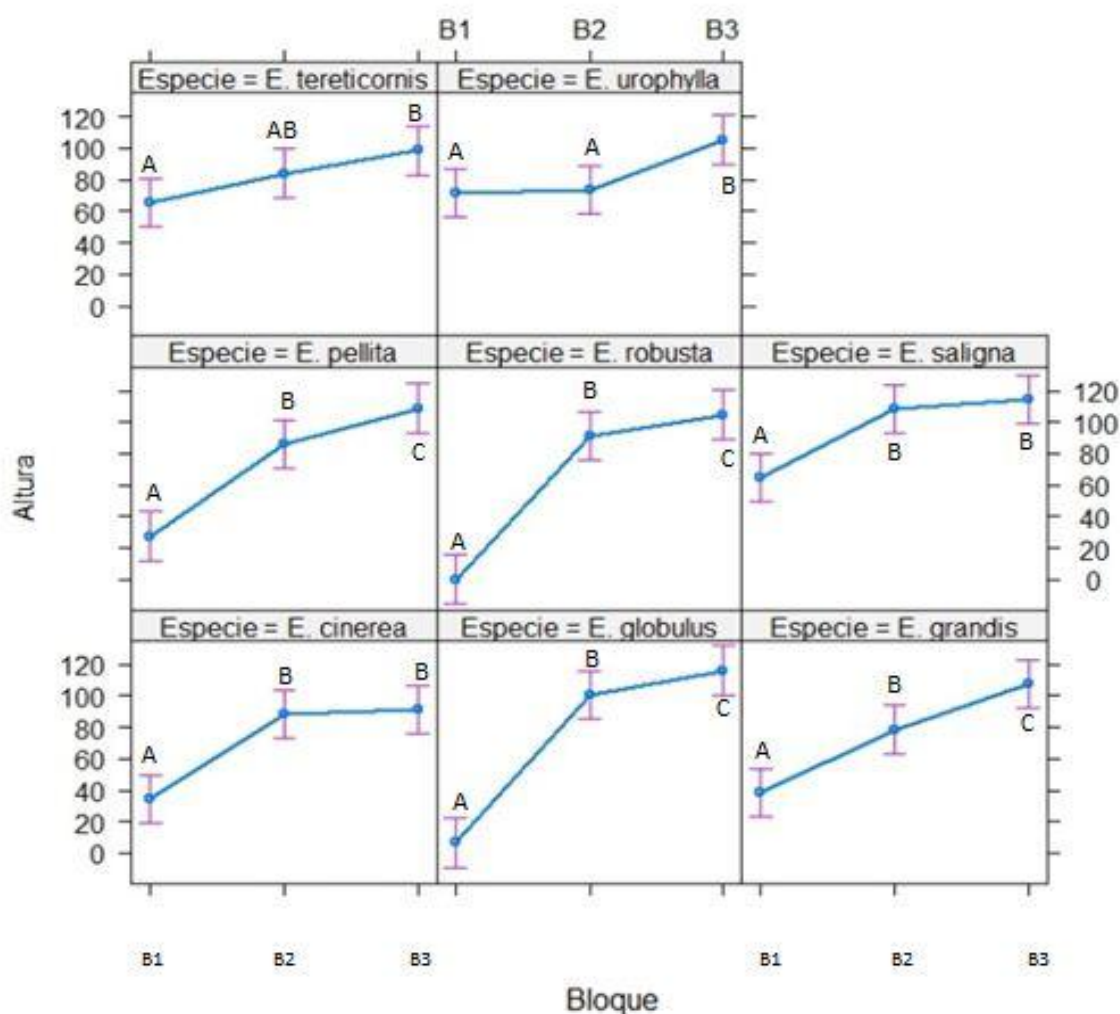


Figura 13. Comparación de altura en los tres sitios a los 281 días.

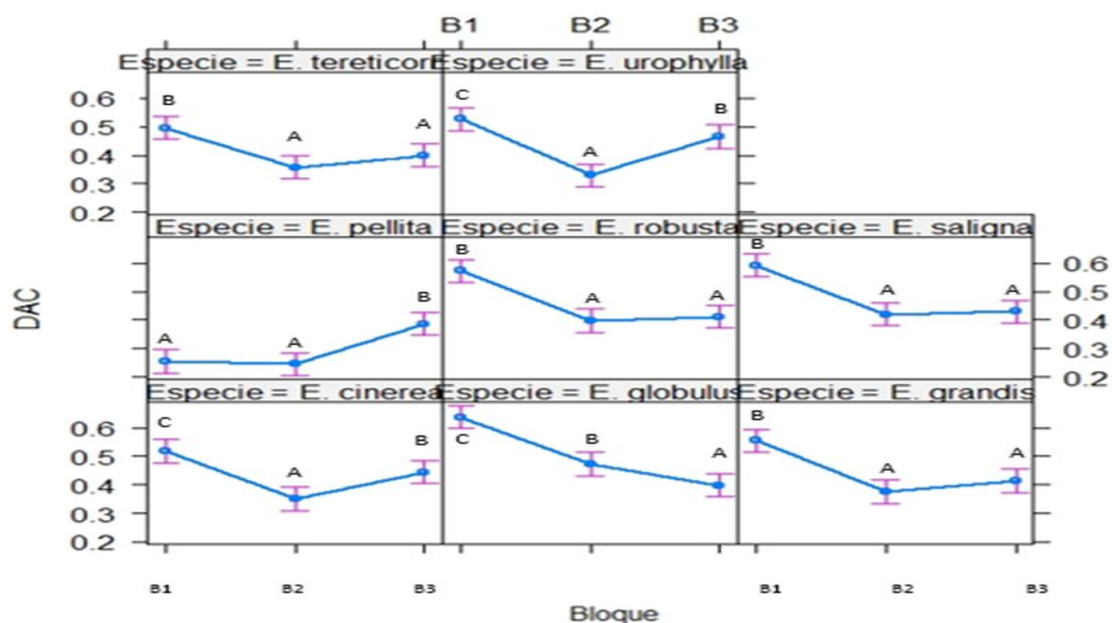


Figura 14. Comparación de DAC en los tres sitios a los 43 días.

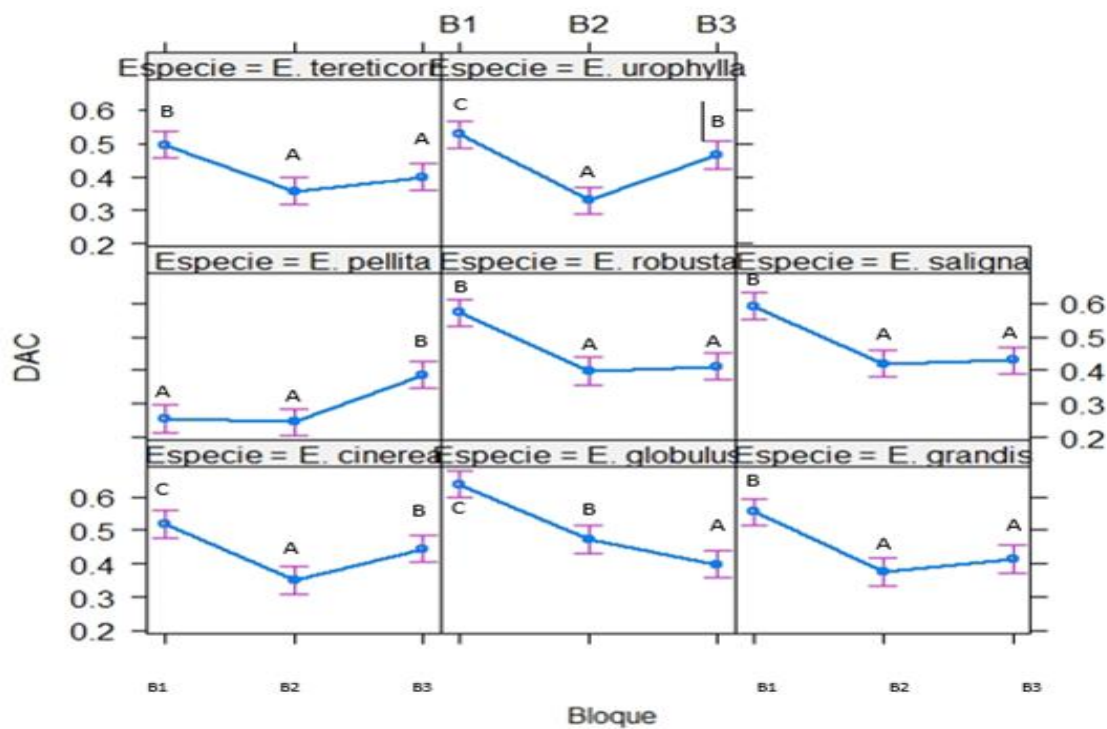


Figura 15. Comparación de altura en los tres sitios a los 281 días.

Durante los últimos años la modificación en el uso de los recursos explica la transformación en el crecimiento de los árboles y los rodales. Ryan, Binkley, Fownes, Giardina y Senock (2004) evidenciaron que la producción primaria disminuyó en una tercera parte hasta la rotación tardía en una plantación de *E. saligna* a pesar de las altas tasas en el suministro y uso de recursos; por otra parte, la producción de madera se redujo en más de la mitad.

2.2.2.4 Partición de carbohidratos en cada sitio

2.2.2.4.1 Partición de carbohidratos sitio 1 a los 137 días. Las especies mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$), la mayoría de ellas presentan una mayor partición de carbohidratos para el fuste, seguido de hojas, luego raíz y por último ramas. Se exceptúan *E. grandis* que contó con un porcentaje alto en raíz seguido de fuste, hojas y en menor proporción ramas, y *E. pellita* que tuvo mayor partición para hojas, luego fuste, raíz y ramas (Figura 16).

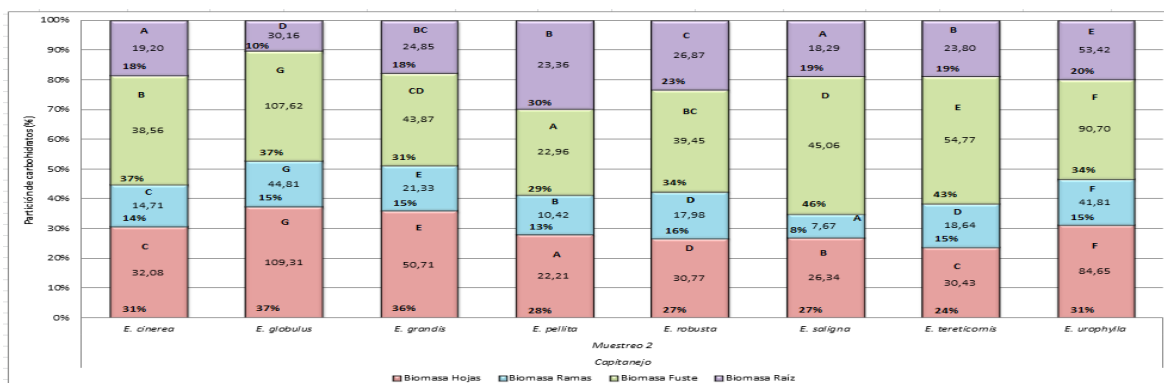


Figura 16. Partición de carbohidratos en el sitio 1 a los 137 días

2.2.2.4.2 *Partición de carbohidratos sitio 2 a los 137 días.* Las especies presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$). la mayoría de ellas presentaron una mayor partición de carbohidratos hacia las hojas, seguido de fuste, raíz y por último ramas. A excepción del *E. grandis* y *E. saligna* que presentan un alto porcentaje en raíz (Figura 17).

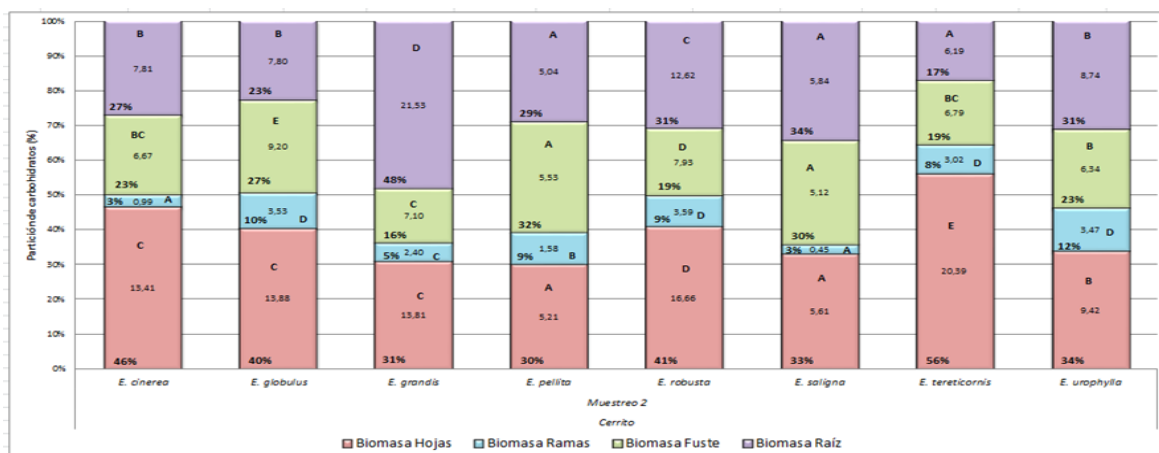


Figura 17. Partición de carbohidratos en el sitio 2 a los 137 días.

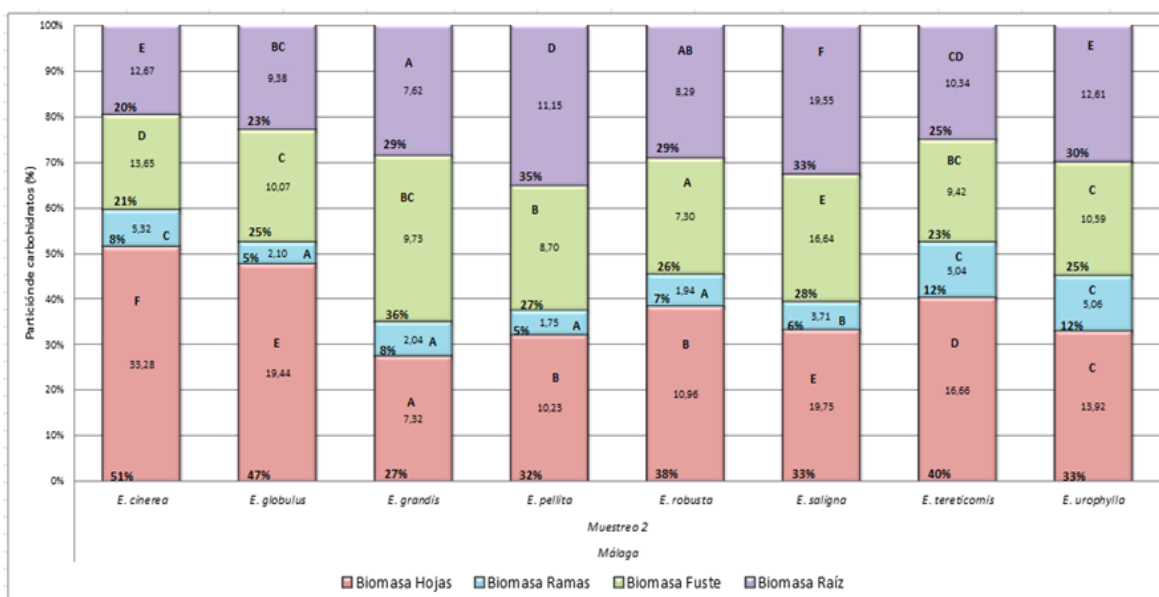


Figura 18. Partición de carbohidratos en el sitio 3 a los 137 días.

2.2.2.4.3 *Partición de carbohidratos sitio 3 a los 137 días.* Las especies presentaron diferencias significativas entre ellas ($p < 0.05$). en este sitio se evidenció que las especies presentaron mayor partición de carbohidratos hacia las hojas alcanzando un 51% en *E. cinerea*, seguido de raíz, hojas y por último ramas. En comparación con lo anterior *E. grandis* y *E. Saligna* presentan mayor partición hacia fuste y raíz respectivamente (Figura 18).

2.2.2.4.4 *Partición de carbohidratos sitio 1 a los 281 días.* Se presentó diferencias significativas entre las especies ($p < 0.05$). Los individuos tenían un mayor porcentaje de carbohidratos en fuste, seguido de hojas y por último ramas, con excepción del *E. cinerea* que presenta un alto porcentaje en hojas, seguido de fuste y por último ramas (Figura 19).

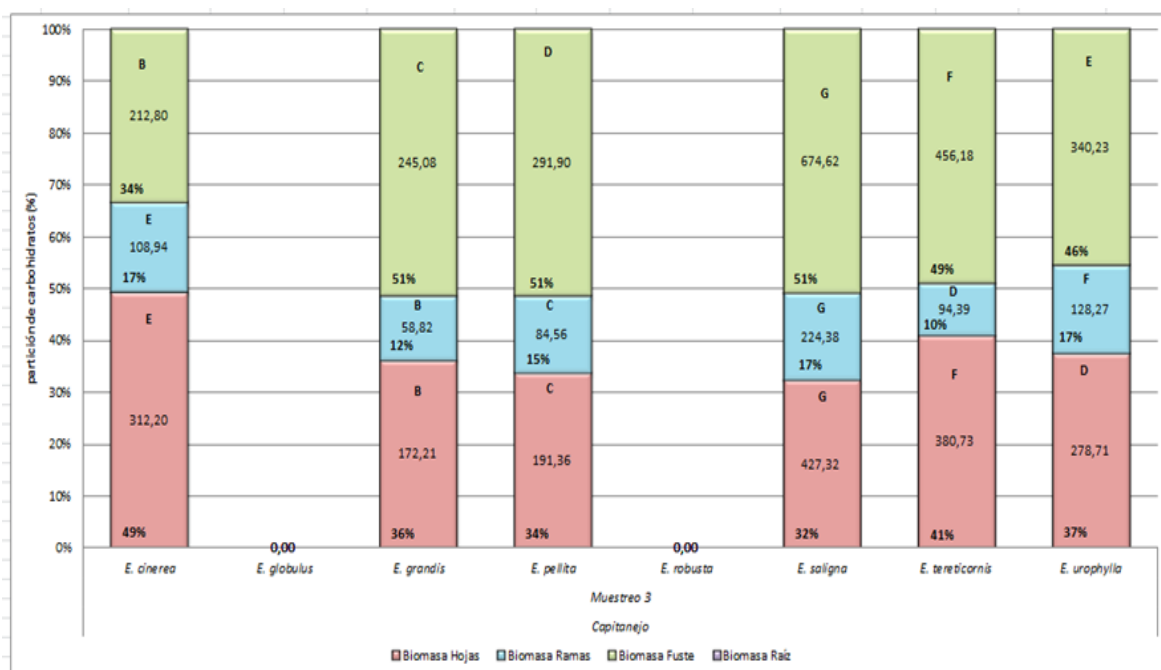


Figura 19. Partición de carbohidratos sitio 1 a los 281 días.

2.2.4.4.5 *Partición de carbohidratos sitio 2 a los 281 días.* Las especies cuentan con diferencias significativas entre ellas ($p < 0.05$). Todos los individuos a excepción del *E. saligna* y *E. grandis* mostraron mayor partición de carbohidratos hacia el fuste alcanzando un 53% en *E. urophylla*, seguido de *E. pellita* y *E. tereticornis* con 51% cada uno (Figura 20).

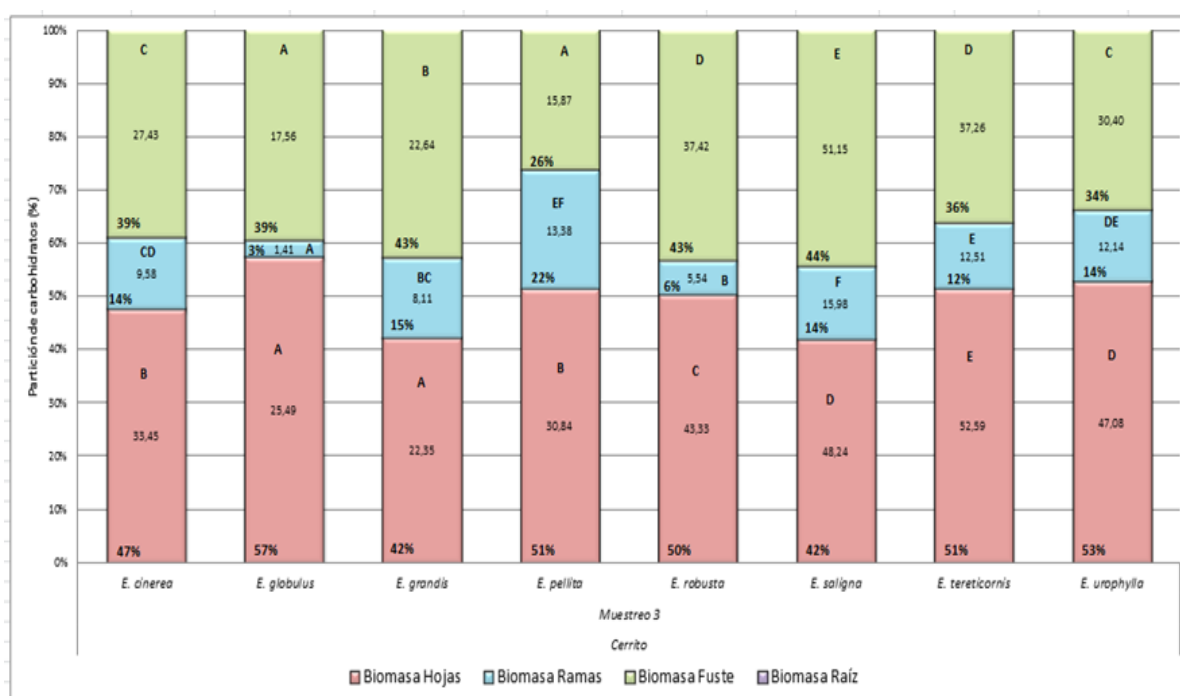


Figura 20. Partición de carbohidratos sitio 2 a los 281 días.

2.2.4.4.6 *Partición de carbohidratos sitio 3 a los 281 días.* Se encontraron diferencias significativas entre las especies ($p < 0.05$). La mayoría de las especies presentaron un mayor porcentaje de carbohidratos en fuste seguido de hojas y por último ramas, con excepción de *E. globulus* y *E. tereticornis* que presentan un 56% y 45%, respectivamente (Figura 21).

2.2.2.5 Partición de carbohidratos comparando los tres sitios

2.2.2.5.1 Partición de carbohidratos comparando los tres sitios a los 137 días. Como se observa en la Tabla 9, en el sitio 1 la mayoría de los individuos presentaban mayores porcentajes de carbohidratos en el fuste exceptuando *E. globulus*, *E. grandis* y *E. pellita*, Las dos primeras especies tenían un mayor porcentaje de biomasa en hojas con medias de 109, 31 g y 50,71 g, respectivamente, Y para la tercera especie se evidenció una mayor media en raíz (23,36 g), Para los sitios 2 y 3 el más alto grado de acumulación de carbohidratos se encuentra en las hojas, con excepción del *E. grandis*, *E. pellita* y *E. saligna* que presentaban un mayor porcentaje para fuste y raíz.

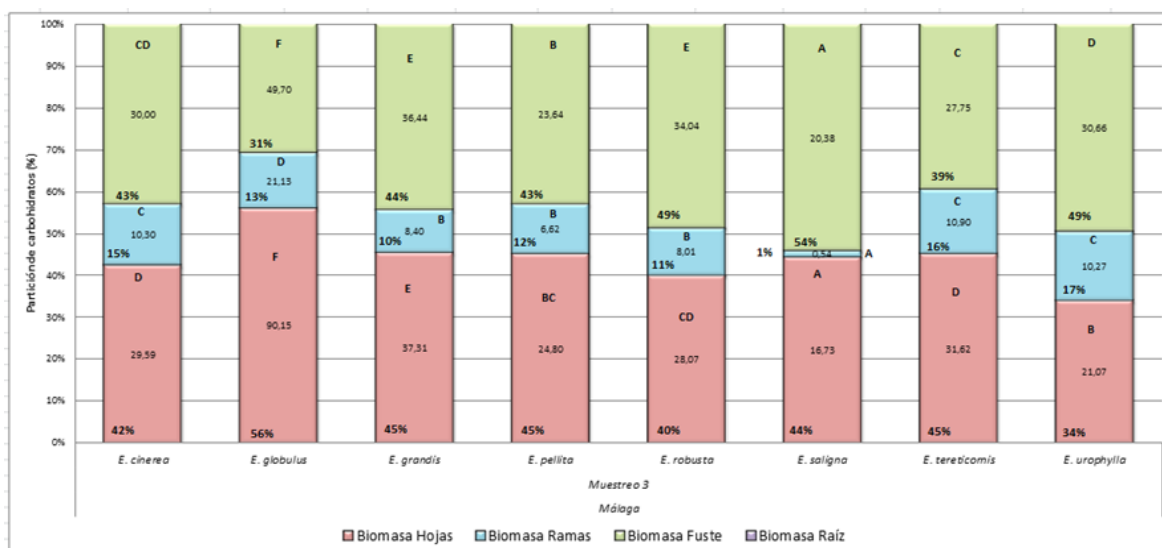


Figura 21. Partición de carbohidratos sitio 3 a los 281 días.

Tabla 9
Partición de carbohidratos en los tres sitios a los 137 días

Especie	Bloque	cm		IndBiomasa	Biomasa en g			cm ²
		DAC	Ht		Hojas	Ramas	Fuste	Area foliar
<i>E. cinerea</i>	1	1,03AB	126,43A	136,31A	312,2B	108,94B	212,8B	15472,49A
	2	0,7A	140B	73,4A	33,45A	9,58A	27,43A	964,17A
	3	1,1B	120,43A	148,14A	29,59A	10,3A	30A	2868,94A
<i>E. globulus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0,67A	103,43A	48,42A	25,49A	1,41A	17,56A	971,38A
	3	1,57B	125,63A	317,36A	90,15B	21,13B	49,7B	6102,62A
<i>E. grandis</i>	1	2,53C	328,33C	2100,2C	172,21C	58,82B	245,08C	7991,64B
	2	0,5A	86,2A	22,35A	22,35A	8,11A	22,64A	651,46A
	3	1B	146,33B	257,12B	37,31B	8,4A	36,44B	2605,21A
<i>E. pellita</i>	1	2,55C	282,33C	1869,67B	191,36C	84,56B	291,9C	18080,94B
	2	0,47A	81,47A	19,9A	30,84B	13,38A	15,87A	1040,83A
	3	1,08B	138,64B	165,68A	24,8A	6,62A	23,64B	2196,54A
<i>E. robusta</i>	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0,73A	140A	80,63A	43,33B	5,54A	37,42A	1815,72A
	3	1,13A	161,67A	214,92A	28,07A	8,01A	34,04A	2974,02A
<i>E. saligna</i>	1	4,37C	356,67B	6780,8B	427,32C	224,38C	674,62C	16216,58B
	2	0,77A	146,67A	89,3A	48,24B	15,98B	51,15B	1201,09A
	3	1,23B	138,63A	213,56A	16,73A	0,54A	20,38A	1633,35AB
<i>E. tereticornis</i>	1	3,37B	325,67C	3691,64B	380,73C	94,39B	456,18C	17634,97A
	2	0,83A	151B	105,56A	52,59B	12,51A	37,26B	1751,42A
	3	1,05A	121,43A	135,64A	31,62A	10,9A	27,75A	2095,48A
<i>E. urophylla</i>	1	2,9C	349,33B	2950,16B	278,71C	128,27B	340,23B	21287,1B
	2	0,57A	113,33A	40,43A	47,08B	12,14A	30,4A	1642,68A
	3	1,17B	121A	168,97A	21,07A	10,27A	30,66A	1880,5A

2.2.2.5.2 Partición de carbohidratos comparando los tres sitios a los 281 días. Para este muestreo no se tuvo en cuenta la raíz, debido a la dificultad que se presentó al momento de realizar la extracción. Los individuos evaluados en el sitio 1 tenían mayor porcentaje de carbohidratos en el fuste llegando a alcanzar medias de 674,62 g en *E. saligna* exceptuando *E. cinerea* con biomasa en hojas de 312,2 g. En esta medición no se tuvo en cuenta el *E. globulus* y *E. robusta* por mortalidad del 100%. Para los sitios 2 y 3 la mayoría de las especies presentaron mayor contenido de carbohidratos en hojas, con excepción del *E.*

robusta, *E. saligna* y *E. urophylla* que evidenció una mayor partición hacia el fuste (Tabla 10).

Un estudio realizado por Madeira, Fabião, Pereira, Araújo y Ribeiro (2002), mostró que los tratamientos de fertilización más irrigación y el tratamiento de solo riego tuvo mayores efectos en la acumulación de biomasa a nivel de raíces finas, medianas, ápice radicular, hojas, ramas y tallo más corteza. De igual manera, indicó que los tratamientos de fertilización y sin riego presentaban menor acumulación de biomasa. De acuerdo a la partición y asignación de carbohidratos se dirige más hacia la corteza y tallo seguido por raíces gruesas y en menos proporción hacia hojas, ramas y, por último, hacia raíces medianas y finas. Aunque en este estudio, no se tuvo en cuenta fertilización en la fase de campo, resultados similares se encontraron en sitio 1 donde la mayoría de las especies presentaron mayor partición de carbohidratos hacia el fuste.

Graciano, Goya y Caldiz (2004), realizaron un estudio sobre acumulación y distribución de materia seca en *Eucalyptus globulus* plantado en macetas con tres tipos de suelo y fertilizado con Fósforo, donde encontraron que a los 126 días las plantas que estaban sometidas a tratamiento sin fertilización tenían una acumulación de biomasa de 30 g.

Tabla 10

Partición de carbohidratos en los tres sitios a los 281 días

Especie	Bloque	cm		IndBiomasa	Biomasa en g			cm ²
		DAC	Ht		Hojas	Ramas	Fuste	Area foliar
<i>E. cinerea</i>	1	1,03AB	126,43A	136,31A	312,2B	108,94B	212,8B	15472,49A
	2	0,7A	140B	73,4A	33,45A	9,58A	27,43A	964,17A
	3	1,1B	120,43A	148,14A	29,59A	10,3A	30A	2868,94A
<i>E. globulus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0,67A	103,43A	48,42A	25,49A	1,41A	17,56A	971,38A

Especie	Bloque	cm		IndBiomasa	Biomasa en g			cm ²
		DAC	Ht		Hojas	Ramas	Fuste	Area foliar
<i>E. grandis</i>	3	1,57B	125,63A	317,36A	90,15B	21,13B	49,7B	6102,62A
	1	2,53C	328,33C	2100,2C	172,21C	58,82B	245,08C	7991,64B
	2	0,5A	86,2A	22,35A	22,35A	8,11A	22,64A	651,46A
<i>E. pellita</i>	3	1B	146,33B	257,12B	37,31B	8,4A	36,44B	2605,21A
	1	2,55C	282,33C	1869,67B	191,36C	84,56B	291,9C	18080,94B
	2	0,47A	81,47A	19,9A	30,84B	13,38A	15,87A	1040,83A
<i>E. robusta</i>	3	1,08B	138,64B	165,68A	24,8A	6,62A	23,64B	2196,54A
	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0,73A	140A	80,63A	43,33B	5,54A	37,42A	1815,72A
<i>E. saligna</i>	3	1,13A	161,67A	214,92A	28,07A	8,01A	34,04A	2974,02A
	1	4,37C	356,67B	6780,8B	427,32C	224,38C	674,62C	16216,58B
	2	0,77A	146,67A	89,3A	48,24B	15,98B	51,15B	1201,09A
<i>E. tereticornis</i>	3	1,23B	138,63A	213,56A	16,73A	0,54A	20,38A	1633,35AB
	1	3,37B	325,67C	3691,64B	380,73C	94,39B	456,18C	17634,97A
	2	0,83A	151B	105,56A	52,59B	12,51A	37,26B	1751,42A
<i>E. urophylla</i>	3	1,05A	121,43A	135,64A	31,62A	10,9A	27,75A	2095,48A
	1	2,9C	349,33B	2950,16B	278,71C	128,27B	340,23B	21287,1B
	2	0,57A	113,33A	40,43A	47,08B	12,14A	30,4A	1642,68A
	3	1,17B	121A	168,97A	21,07A	10,27A	30,66A	1880,5A

sugiriendo que esta situación obedece a una baja disponibilidad de Fósforo en el suelo; resultados similares se encontraron en los sitios 2 y 3 dado que en estos sitios se presenta una restricción causada por bajos niveles de este mismo nutriente e inmovilización de otros elementos que se asocian a la toxicidad de aluminio. Lo anterior, advierte que los contenidos nutricionales tienen una marcada influencia en el crecimiento y acumulación de biomasa de esta especie.

Por otra parte, de Tafur, Zapata, Urrego, Ibarra y Leal (2017), encontraron que bajo condiciones normales *E. grandis* en los sitios de Palmira y Restrepo, a los 130 días después de haberse realizado el trasplante y a capacidad de campo, las hojas tenían una acumulación de biomasa para el primer sitio de 45.21%, raíz 21.26 %, ramas 13.41%, fuste 21.20%; para el segundo sitio la distribución de la masa en hojas 26.80 %, raíz 40.30 %, ramas 17.80 %,

fuste 11.02%; estos ambientes se asemejan a los sitios 1 y 3 por condiciones de temperatura y precipitación los cuales para el muestreo a los 137 días presentaron biomasa de hojas 36%, fuste 31%, raíz 18% y ramas 15% y para el sitio 3 presentó peso seco de hojas 27%, fuste 36%, raíz 29% y ramas 8%.

2.2.2.6 Área foliar en cada sitio a los 254 días. En el sitio 1, las especies presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$). El mayor valor en área foliar se registró en *E. urophylla* (21287,1 cm²) seguido de *E. pellita* (18080,9 cm²). En comparación con *E. grandis* que presentó el menor valor en media (7991,6 cm²) (Figura 22). En el sitio 2, las especies no presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$). aunque, el mayor valor en área foliar se registró en *E. robusta* (1815,7 cm²) seguido de *E. tereticornis* (1751,4 cm²). En comparación con *E. grandis* que presentó el menor valor (651,5 cm²) en el sitio 3, las especies que presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) fueron *E. cinerea*, *E. globulus* y *E. robusta*.

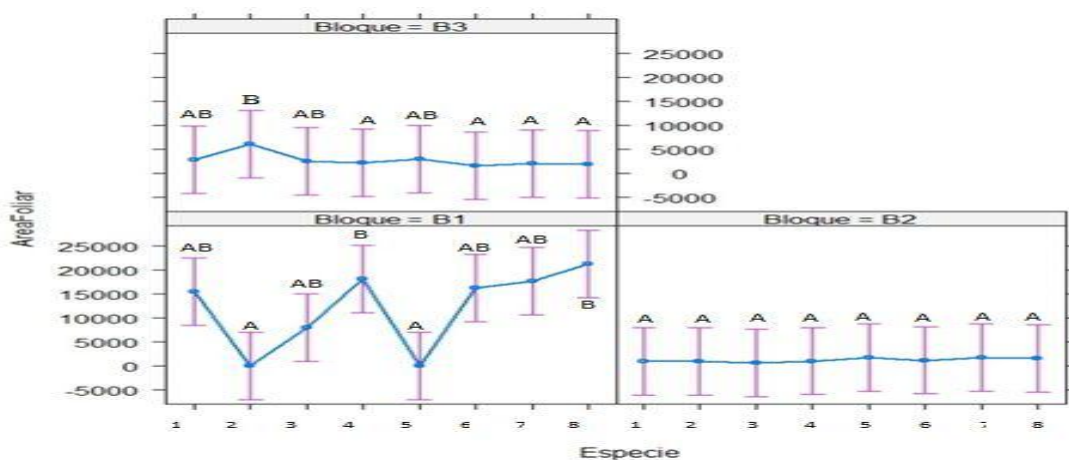


Figura 22. Área foliar en el sitio 1 a los 254 días.

El mayor valor en área foliar se registró en *E. globulus* (6102,6 cm²). En comparación con *E. saligna* que presentó el menor valor (1633,3 cm²).

2.2.2.7 Área foliar comparando los tres sitios. De acuerdo con la figura 23 se mostró diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre las especies. Así mismo, se evidencia que la mayor área foliar se registró en el sitio 1 seguido de sitio 3 y por último sitio 2. El área foliar es proporcional con el peso seco, es decir a mayor área foliar, mayor peso seco.

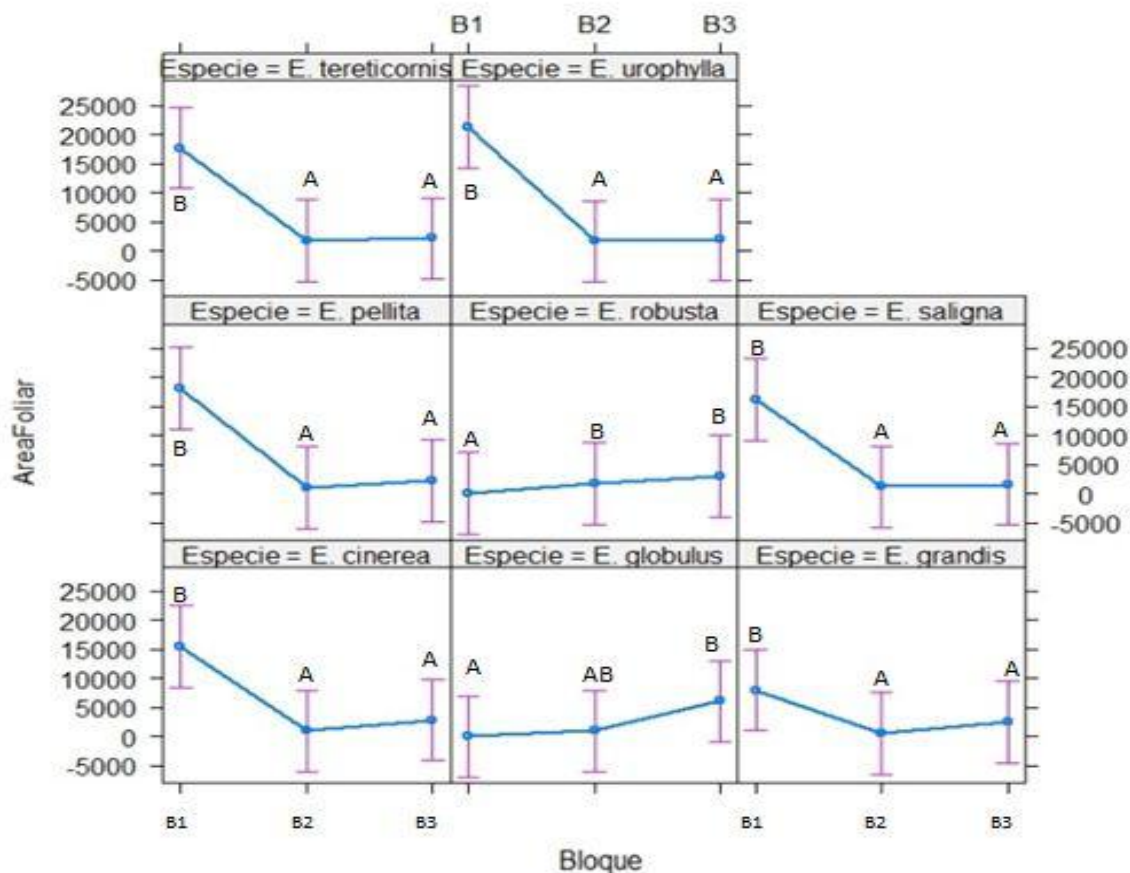


Figura 23. Área foliar en el sitio 3 a los 254 días.

Graciano, Goya, & Caldiz (2004) encontró que el área foliar de *E. globulus* evaluado en tres tipos de suelo (arenoso, franco y arcilloso) a los 126 días (datos no publicados) de haberse realizado la plantación, para los diferentes suelos fue de 1163 cm², 1991 cm² y 1774 cm² respectivamente. En este estudio se encontró que para los 158 días la misma especie tenía un área foliar entre 1000- 1450 cm² para el sitio 2 y 3 donde se presentan suelos franco arenosos y franco respectivamente.

de Tafur, Zapata, Urrego, Ibarra y Leal (2017), encontraron en un estudio de *E. grandis* que, a mayor biomasa en fuste, mayor área foliar. Cuando el fuste tenía 10 gr el área foliar era de 2800 cm², para cuando el fuste tenía 40 gr de biomasa, el área foliar era de alrededor 9000 cm² en Palmira. Para el sitio de Restrepo, cuando el fuste tenía 10 gr de biomasa, el área foliar correspondiente 2000 cm² y cuando el peso seco era de 140 gr, el área foliar se ubicó en 30000 cm², todo esto tomado a la edad de 130 días. En capitanejo y Málaga para el día 152 (datos no publicados), la biomasa de relación de estas variables era de 43.87 g y 1988 cm², para el sitio 2 fue de 9.73 g y 355 cm².

2.2.2.8 Conductancia estomática en cada sitio a los 183 días y 254 días. De acuerdo a la figura 24 y 25, en el sitio 1, la conductancia estomática presentó diferencias significativas ($p < 0.05$). Las especies que tenían un alto grado de conductancia estomática fueron *E. pellita* (328,13 mmol/m² *s), seguido de *E. urophylla* (300,43 mmol/m² *s), a diferencia de *E. saligna* (96,43 mmol/m² *s).

Con respecto al sitio 2, las especies mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$). La mayor conductancia estomática a los 183 días, se presentó en *E. pellita* y *E. urophylla* con medias de 247,87 y 219,90 mmol/m² *s, respectivamente. En comparación con *E. globulus*

que presentó una media de 89,33 mmol/m² *s. A los 183 días, se observó que la conductancia estomática disminuyó en gran proporción. *E. cinerea* presentó una media de 102,47 mmol/m² *s, seguido de *E. saligna* con media de 94,30 mmol/m² *s, a diferencia de *E. grandis* que presentó una media de 44,23 mmol/m² *s.

Con respecto al sitio 3, las especies presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) (Figura 26). *E. urophylla* y *E. grandis* presentaron mayores medias 179,40 mmol/m² *s y 158,67 mmol/m² *s, con respecto a los 183 días. A comparación de *E. cinerea* que contó con una media de 9,13 mmol/m² *s. a los 254 días *E. robusta* y *E. grandis* presentaron las mayores medias entre 179 y 188 mmol/m² *s, en comparación con *E. urophylla* que presentó media de 82,10 mmol/m² *s.

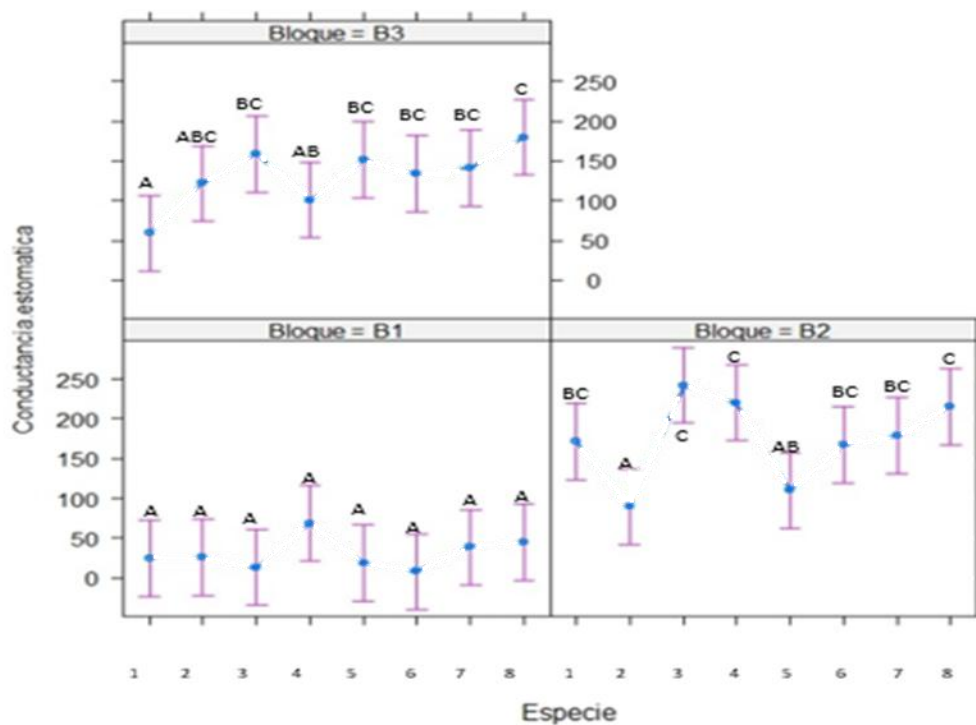


Figura 24. Conductancia estomática en cada uno de los sitios a los 183 días.

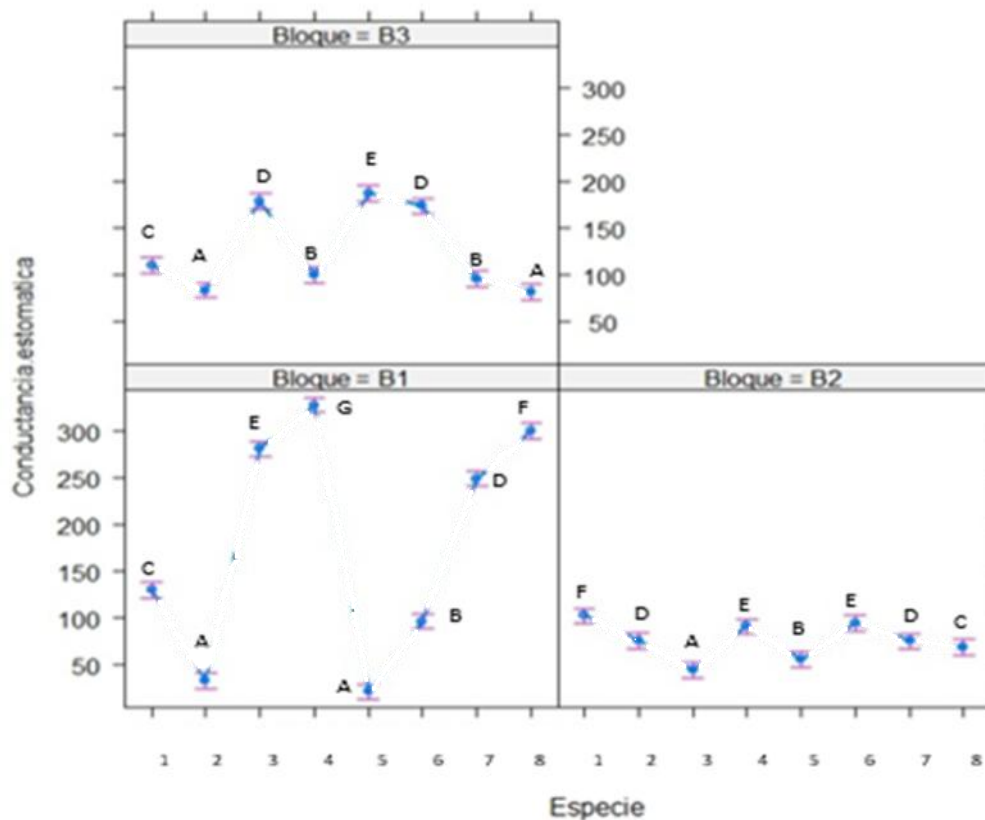


Figura 25 Conductancia estomática en cada uno de los sitios a los 254 días.

2.2.2.9 Conductancia estomática comparando los tres sitios

2.2.2.9.1 Conductancia estomática a los 183 días en los tres sitios. Comparando los tres sitios, el 1 es el que presentó menor conductancia estomática con respecto al 2 y 3. Las especies que presentaron mayor conductancia estomática fueron *E. grandis*, *E. pellita*, *E. urophylla* y *E. tereticornis* alcanzando valores de 246 mmol/m²*s. en comparación con *E. robusta* que presentó valores bajos respecto a las otras especies en los sitios 1 y 2 así como *E. cinerea* en el sitio 3 (Figura 26).

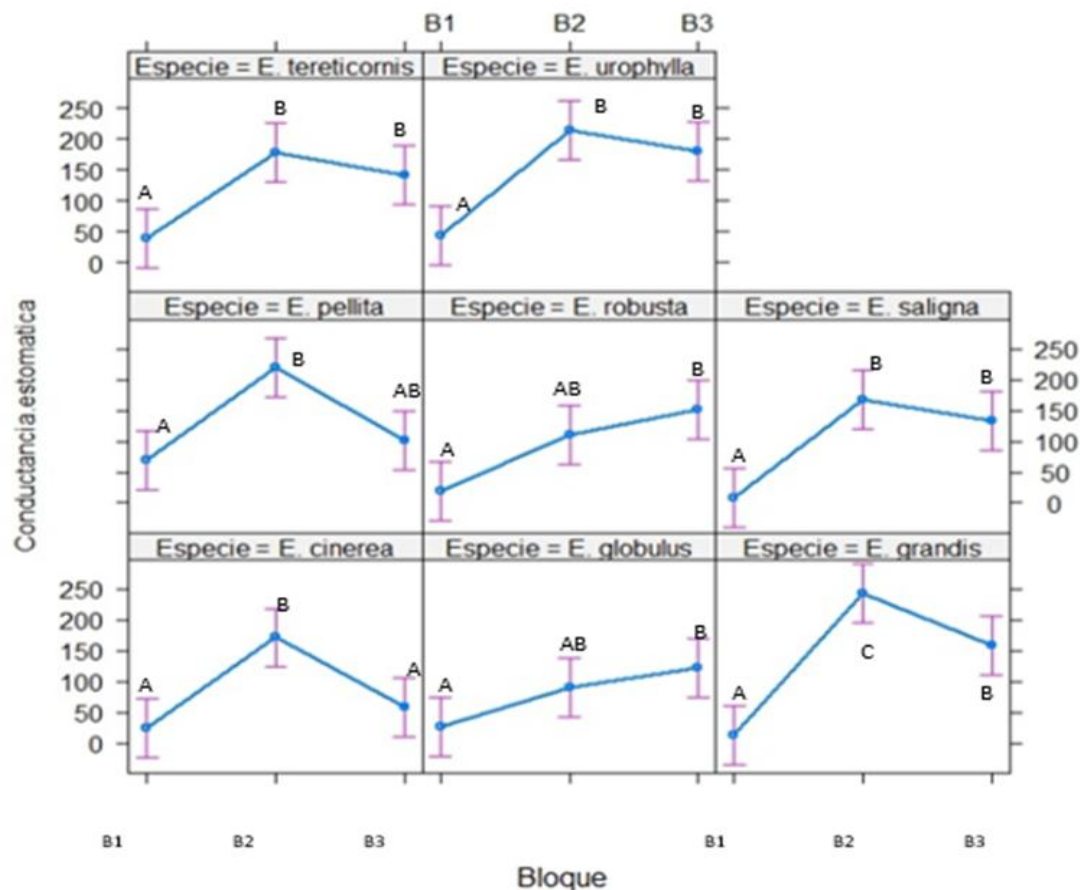


Figura 26. Conductancia estomática a los 183 días en los tres sitios.

2.2.2.9.2 Conductancia estomática a los 254 días en los tres sitios. Las especies presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$). Comparando los tres sitios, el 1 es el que presentó mayor conductancia estomática con respecto al 2 y 3. La especie *E. pellita* en comparación con los sitios 2 y 3 donde se evidenció una mayor conductancia estomática en *E. cinerea* y *E. saligna* presentando medias entre 174 y 179 mmol/m² *s, respectivamente. La especie que presentó menor valor fue *E. urophylla* en los sitios 2 y 3. Así mismo, en el sitio 1 fue *E. saligna* con media de 96,43 mmol/m² *s (Figura 27).

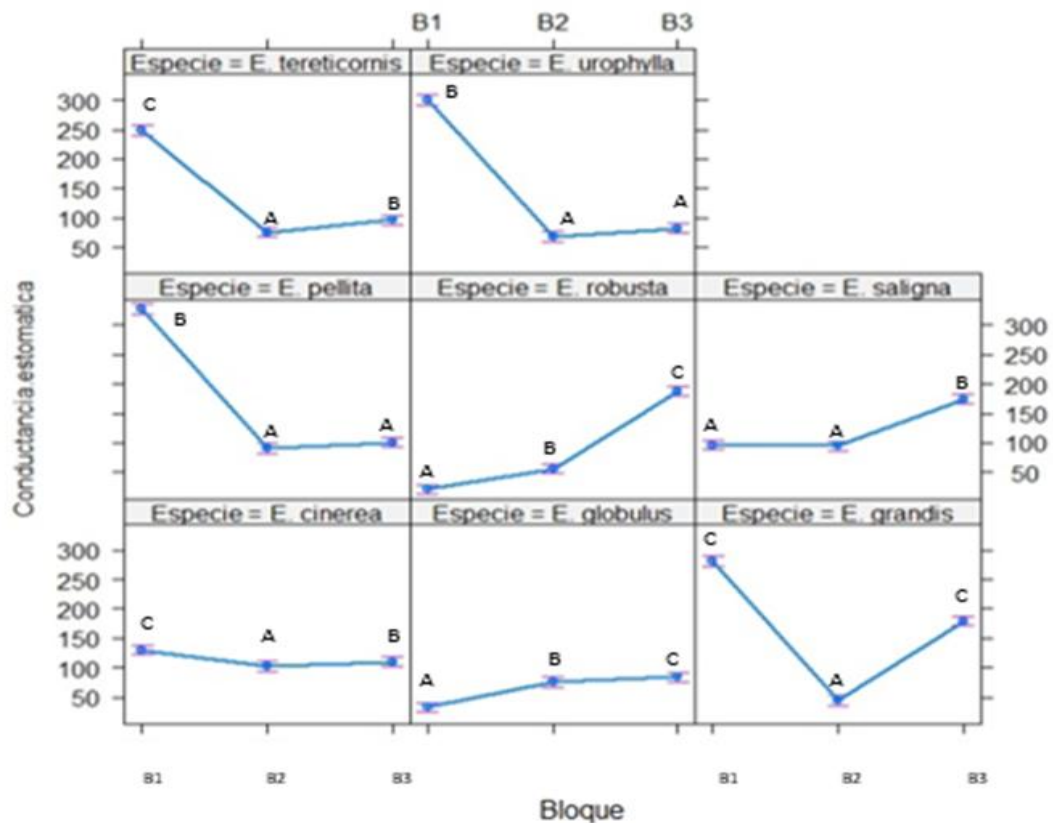


Figura 27. Conductancia estomática a los 254 días en los tres sitios.

En el sitio 1 a los 183 días todas las especies con excepción de *E. pellita* tuvieron conductancia estomática entre 7 y 45 mmol/m²*s lo que significa que para esa época se presentó una fuerte sequía, mientras que, a los 254 días, los niveles de conductancia ascendieron entre 130 y 330 mmol/m²*s para las especies con excepción de *E. saligna* con un valor inferior a 100 mmol/m²*s. Se reflejó este incremento debido a que para ese mes se comenzó la época de invierno aumentando así la humedad en el suelo. Para los sitios 2, pasó lo contrario, a los 183 días de evaluación los grados de conductancia estaban entre 100-250 mmol/m²*s y disminuyeron a los 254 días tomando valores entre 44-102 mmol/m²*s, obedeciendo a los niveles tóxicos de aluminio que afectaban el sistema

radicular de las plantas inhibiendo la absorción de agua y nutrientes. En cuanto al sitio 3 los valores no presentaron ningún cambio drástico.

Lima, Jarvis y Rhizopoulou (2003), realizaron un estudio sobre la respuestas estomáticas de especies de eucalipto a concentraciones elevadas de CO₂ y estrés por sequía donde encontraron que para el *E. grandis* bajo condiciones normales la conductancia estomática era mayor de 200 mmol/m²*s mientras que bajo condiciones de sequía los valores disminuyeron hasta 50 mmol/m²*s. resultados similares se encontraron en los sitios 1 y 2 donde se muestra que a los 183 días(principio de época seca) la conductancia estomática de esta especie era de 13.17 mmol/m²*s y 241,87 mmol/m²*s. A los 254 días (época seca) aumentó a 281.1 mmol/m²*s.

Otro estudio es el de Lewis, Phillips, Logan, Hricko y Tissue (2011) relacionada con la fotosíntesis de las hojas, respiración y conductancia estomática en seis especies de eucalipto nativas de ambientes mesicos y xéricos que crecen en un jardín común arrojó como resultado que la conductancia estomática en ambientes controlados, es decir, bajo altos contenidos de agua y nutrientes en el suelo y en época de invierno (precipitación anual de 801 mm) presentan un comportamiento similar en las especies *E. grandis* (especie mésica) y *E. tereticornis* (especie xerofítica) registrando valores de 200 mmol/m²*s que se asemeja al comportamiento de estas especies en el sitio 1 donde se cuenta con características similares, a los 254 días tuvieron conductancia estomática entre 250 y 280 mmol/m²*s.

Algunas plantas emplean varios mecanismos de defensa contra el déficit hídrico como cerrar estomas, esto a su vez tiene repercusiones sobre la ganancia de carbono en la planta con la pérdida de agua, especialmente en los periodos de sequía. Las especies isohídricas

son aquellas que cierran sus estomas a medida que disminuye el potencial hídrico en el suelo, en comparación con las especies anisohídricas que continúan transpirando incluso cuando la humedad en el suelo es relativamente baja, esto se debe a su baja capacidad en el control de estomas (Klein, 2014). Además, se plantea que las plantas isohídricas tienen mayor riesgo de muerte por el agotamiento de reservas de carbohidratos durante una sequía prolongada.

2.2.2.7 Eficiencia fotosintética en cada uno de los sitios. En el sitio 1, las especies presentan diferencias significativas ($p < 0.05$). A los 183 días, las especies *E. pellita*, *E. urophylla* y *E. tereticornis* alcanzaron medias entre 0,70 y 0,80 fv/fm, seguido de *E. globulus* y *E. grandis* con medias entre 0,60 y 0,70 fv/fm y por último *E. robusta* y *E. saligna* con valores entre 0,50 y 0,60 fv/fm. A los 254 días, las especies presentaron medias entre 0,77 fv/fm correspondiente a *E. cinerea* y 0,86 fv/fm correspondiente a *E. grandis* (Figura 28).

En el sitio 2, aunque, las especies no presentan diferencias significativas a los 183 días ($p > 0.05$) la mayor media la registró el *E. urophylla* (0,74 fv/fm) y el menor valor lo presentó el *E. grandis* (0,60 fv/fm). A los 254 días (Figura 29), las especies presentan diferencias significativas ($p < 0.05$), el mayor valor lo presentaron *E. pellita*, *E. robusta*, *E. saligna* y *E. urophylla* (0,81 fv/fm). Las especies restantes (*E. cinerea*, *E. globulus*, *E. grandis* y *E. tereticornis*) presentaron medias entre 0,76 y 0,79 fv/fm. Aunque, las especies no presentan diferencias significativas a los 183 días ($p > 0.05$) la mayor media la registró el *E. saligna* (0,78 fv/fm) y el menor valor lo presentó el *E. tereticornis* (0,62 fv/fm). A los 254 días, las especies presentan diferencias significativas ($p < 0.05$), el mayor valor lo

presentaron *E. globulus*, *E. tereticornis* y *E. robusta* con medias entre 0,87 y 0,90 fv/fm, respectivamente. La especie que presentó menor eficiencia fotosintética fue *E. pellita* con media de 0,76 fv/fm.

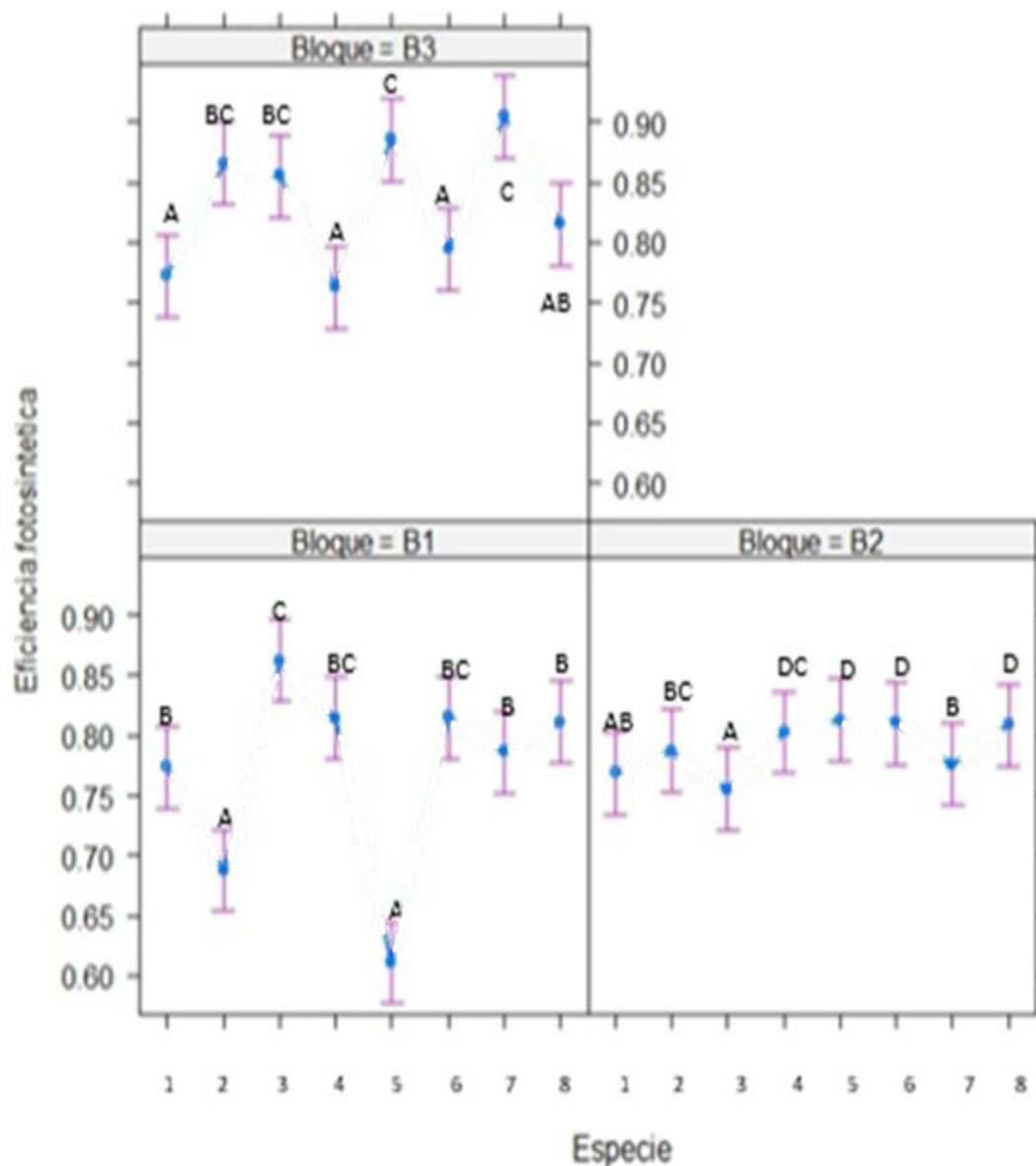


Figura 28. Eficiencia fotosintética en cada uno de los sitios a los 183 días.

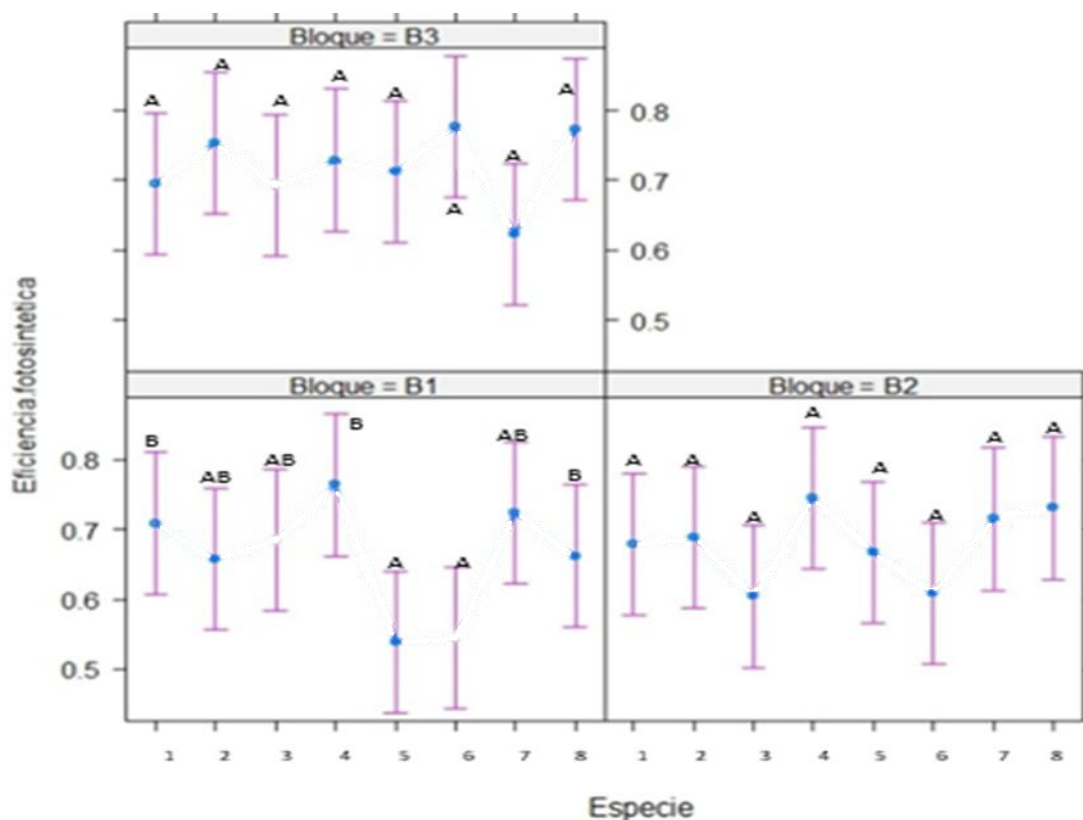


Figura 29. Eficiencia fotosintética en cada uno de los sitios a los 254 días.

2.2.2.8 Eficiencia fotosintética comparando los tres sitios

2.2.2.8.1 Eficiencia fotosintética a los 183 días. En el sitio 1 las especies no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$), en comparación con los sitios 2 y 3 ($p < 0.05$). *E. cinerea* presenta medias similares en los tres sitios entre 0,68 y 0,71 fv/fm. La mayoría de las especies en los tres sitios presentó medias entre 0.60 y 0,77 fv/fm.

2.2.2.8.2 Eficiencia fotosintética a los 254 días. En la figura 30 se observa que las especies mostraron diferencias significativas en los tres sitios ($p < 0.05$). Se registraron valores entre 0,76 y 0,90 fv/fm. La mayor media se registra en el sitio 3 *E. tereticornis*

(0.90 fv/fm) y la menor se presentó en los sitios 2 y 3 con una media de 0,76 fv/fm en *E. grandis* y *E. pellita* (Figura 31). Un estudio realizado por Lima, Jarvis y Rhizopoulou (2003) donde evalúan la eficiencia fotosintética (fv/fm) durante un ciclo de sequía de *E. grandis* bajo condiciones normales mostró una eficiencia mayor de 0.7 fv/fm, mientras que, cuando es sometido a un ciclo de sequía, esta medición disminuye notoriamente llegando a 0,62 fv/fm.

Caso contrario ocurre en los tres sitios evaluados donde a inicio de la época seca *E. grandis* mostró una eficiencia fotosintética entre 0,60 y 0,68 fv/fm y durante este periodo los valores aumentaron entre 0,76 y 0,86 fv/fm.

2.2.2.9 Radiación fotosintéticamente activa. Para los tres sitios se observó que la radiación no varía consideradamente (Figura 31 y Figura 32). El grado más alto se ubicó en las horas de medio día 12:00 M alcanzando los 2200 $\mu\text{moles/m}^2\cdot\text{s}$ de PAR. Un estudio realizado por de Tafur, Diaz, Diaz, & Diaz (2014).

Sobre la respuesta fotosintética de *E. grandis* a la disponibilidad de agua en el suelo y a la intensidad de luz en la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira (950 m.s.n.m., 24°C, y humedad relativa de 75%) donde registraron que la mayor tasa de fotosíntesis fue en suelos capacidad de campo (cc) y a 0.5 cc, a 0.25 cc. El tratamiento que se estaba sometido a anegamiento presentó tasas de fotosíntesis menores, lo que indica que esta especie posee mecanismos de defensa como cierre de estomas que le permiten responder al estrés hídrico por exceso de agua.

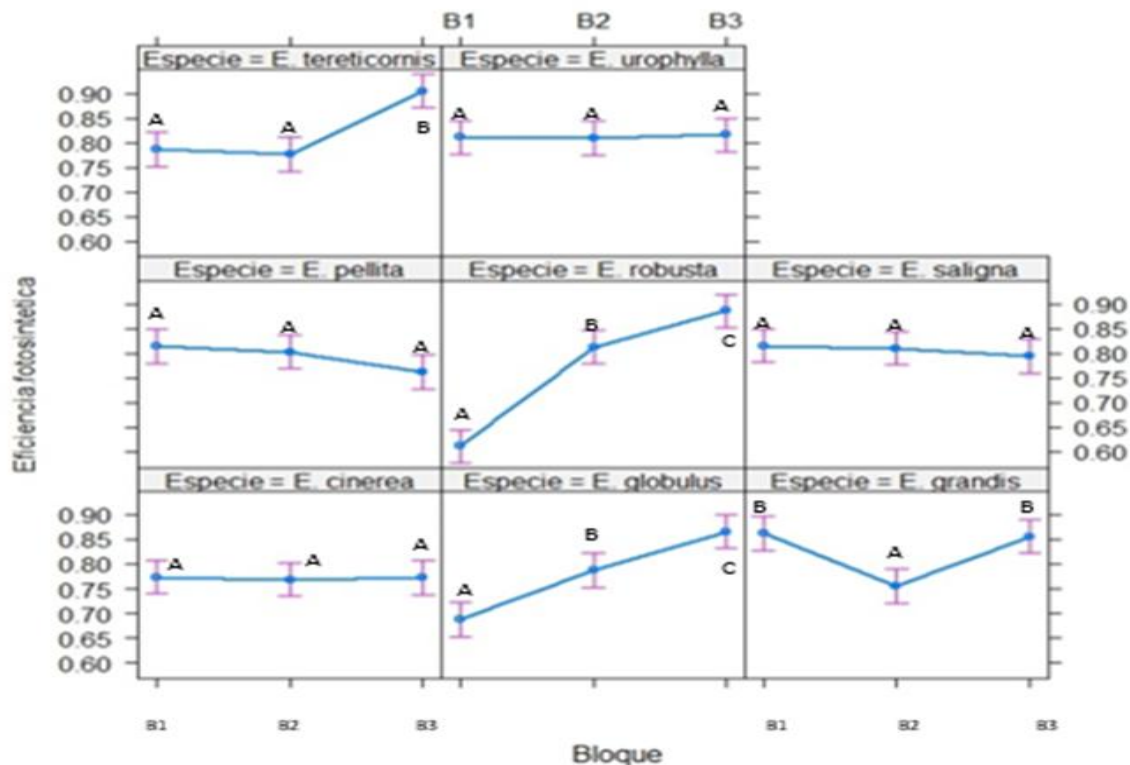


Figura 30. Eficiencia fotosintética en los tres sitios a los 254 días.

2.2.2.10 Mortalidad de plantas. Para el mes de enero (época de verano), se observó que en el sitio 1, *E. grandis*, *E. pellita* y *E. robusta* presentaron una mortalidad de 10%, 25% y 10%, en el sitio 2 y 3 la mortalidad es relativamente baja y en pocas especies (Figura 33), sin embargo, estos bajos niveles se deben en gran parte a que estas plantas fueron atacadas por una plaga conocida como pulgón o psilo del eucalipto (*Hemiptera: psyllidae* o también conocido como *Ctenarytaina eucalypti*), que causa daños severos en las especies de eucalipto se asemeja a una cigarra; la ninfa por lo general presenta 5 cambios en los cuales le nace alas y patas, los huevos se colocan en forma de racimo en las hojas terminales. El daño se considera limitado, se manifiesta en las deformaciones de brotes, distorsión en la forma de las hojas y pérdida de crecimiento ya que disminuye el proceso fotosintético de la

planta. El daño más agudo se registra en vivero debido a que causa muerte apical en plantas; las plantaciones se ven afectadas cuando están dispuestas en sitios de bajas precipitaciones (Fidalgo, Olivares, María, & Barañao, 2005). El *Ctenarytaina eucalypti* ataca principalmente a las especies *E. maidenii*, *E. globulus*, *E. nitens*, *E. bicostata*, *E. gunni*, *E. cinerea*, *E. pulverulenta*, *E. neglecta* y *E. perriniana*.

Para el mes de abril, en el sitio 1, se observó altos grados de mortalidad, en *E. robusta* 100% seguido el *E. globulus* 95%, la causa principal de estas deserciones se basó principalmente en que la mayoría de las especies no toleraron la sequía que se presentó en los meses de febrero y marzo. En contraste con estas especies se encontró una baja mortalidad en *E. tereticornis* (35%) en comparación con las demás, este bajo porcentaje obedece a que esta especie presenta un alto nivel de tolerancia a ambientes secos al igual que *E. urophylla* (Nieto & Borralho, 2015). El 70% que mostró *E. grandis* se debe principalmente a dos condiciones: su desarrollo óptimo está en regiones que presentan climas subhúmedo, húmedo y frío, caso similar ocurre con *E. saligna* y *E. pellita*, aunque esta última especie también presenta buen desarrollo en climas que son cálidos, pero a su vez húmedos; la segunda razón es la presencia de una plaga conocida como hormiga arriera (*Atta cephalotes*) las especies de los géneros *Atta* y *Acromyrmex* causan deterioros irreversibles sobre los árboles (Della Lucia, Gandra, & Guedes, 2014).

Se han desarrollado múltiples estudios donde se evidencia el impacto de las hormigas sobre árboles en plantaciones de pinos y eucaliptos en Suramérica, así, por ejemplo, Zanetti, y otros (2008) analizan la eficiencia de los productos termobutílicos en el control de la hormiga arriera en plantaciones de eucalipto.

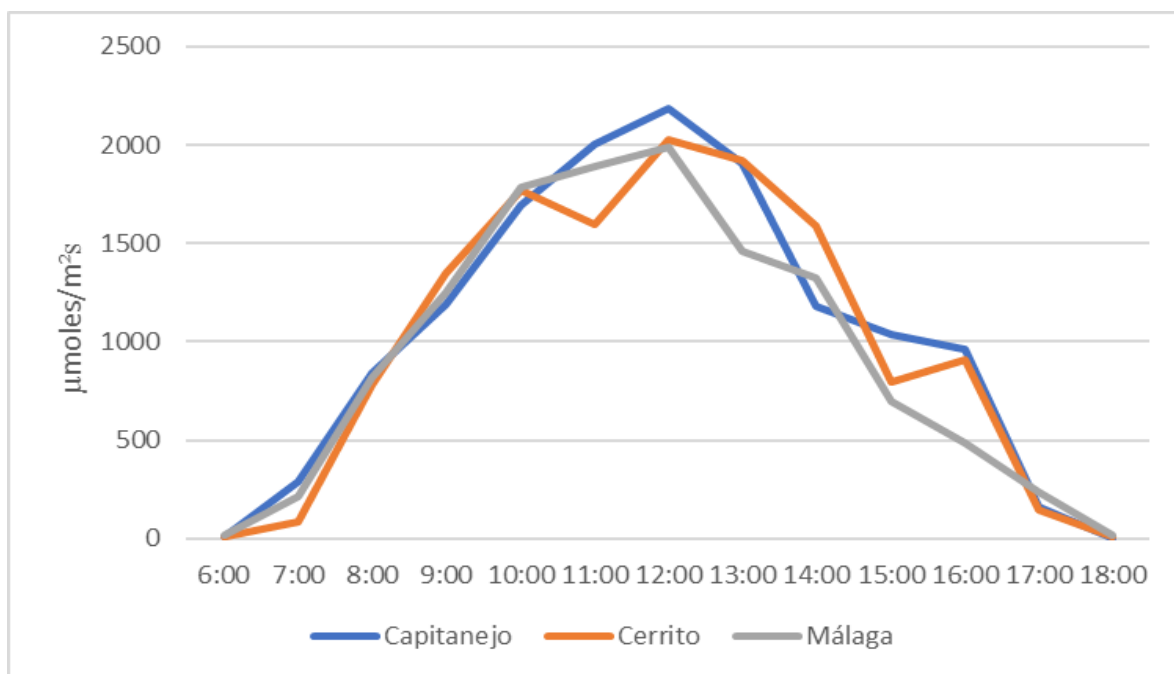


Figura 31. Radiación fotosintéticamente activa a los 183 días.

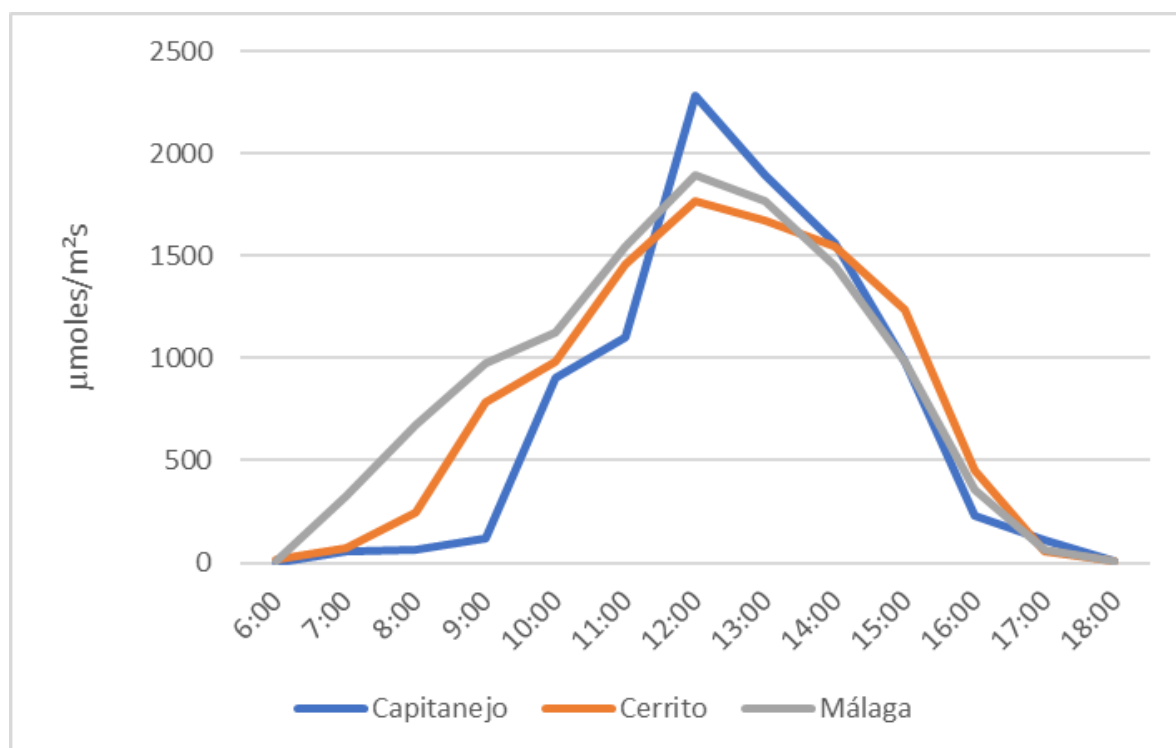


Figura 32. Radiación fotosintéticamente activa a los 281 días.

Se considera que una sola colonia de hormigas cortadoras puede reducir el crecimiento anual de árboles en un 5% en especies de *Eucalyptus* y en un 10% en *Pinus*, que representa pérdidas de 2.1% en la producción anual maderera (Moraes, 1983). Barmelli & Resquin (2005) realizaron un estudio sobre comportamiento de especies de *Eucalyptus* para sombra y abrigo en suelos sobre basalto, la sobrevivencia de las especies evaluadas fue *E. tereticornis* 85%, *E. grandis* 58%, *E. saligna* 55%, *E. pellita* 41% y *E. globulus* 9%.

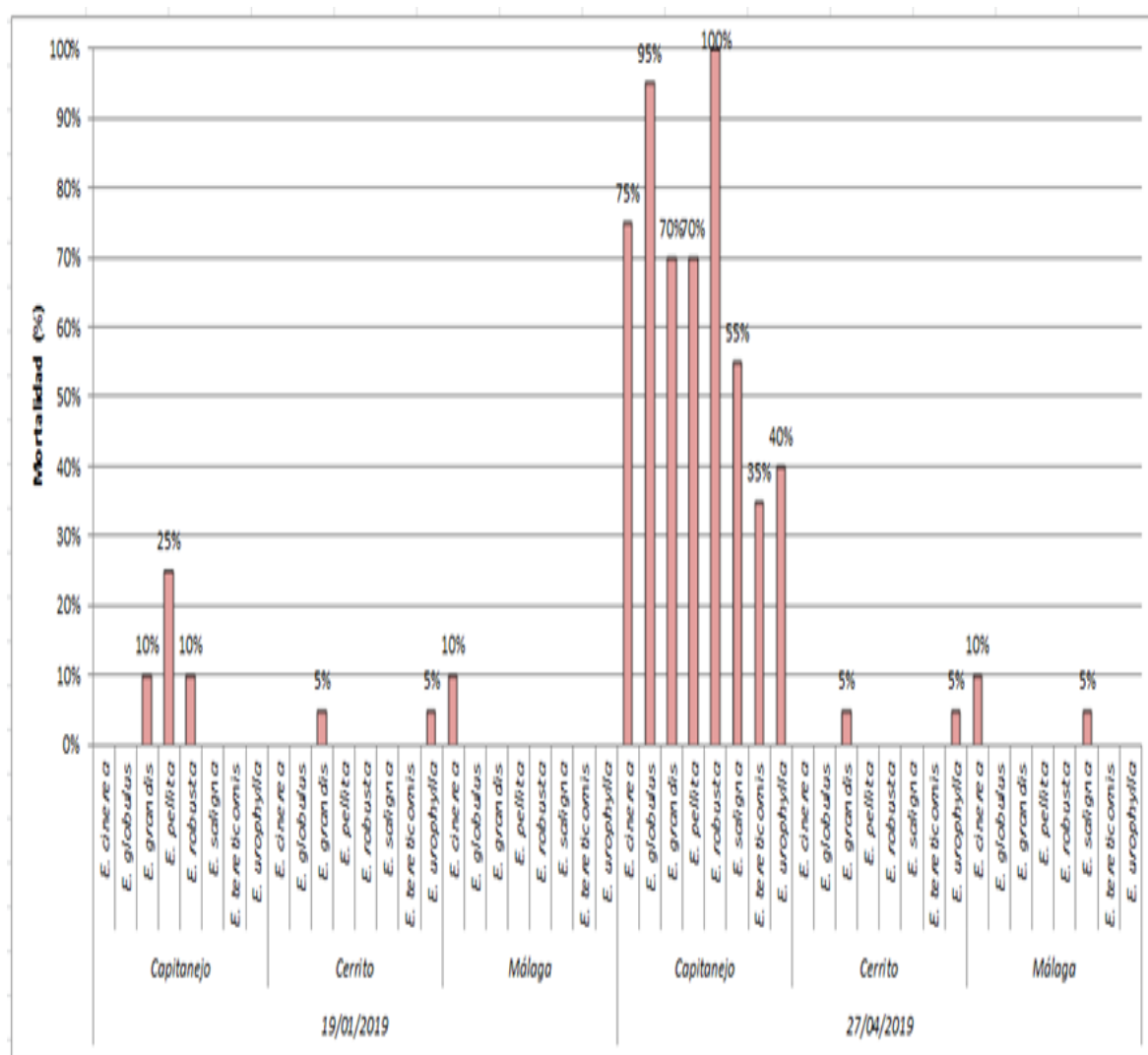


Figura 33. Mortalidad en plantas.

2.2.2.11 Determinación del grado de adaptación. Al ponderar los valores en los diferentes sitios de cada una de las variables en porcentaje se observó que:

Para el sitio 1 (Figura 34) la especie *E. saligna* a pesar de tener un valor de conductancia estomática bajo, presentó los mayores valores en producción de biomasa, altura, diámetro y eficiencia fotosintética, pero está condicionada a tener altos porcentajes de mortalidad por intensos y prolongados periodos de estrés hídrico; las especies que menos se adaptaron fueron *E. robusta* y *E. globulus* puesto que presentaron altos niveles de mortalidad 100% y 95% respectivamente bajo condiciones naturales de crecimiento. Por tanto, se plantea que las especies que mejor se adaptan a pesar de tener menores valores de crecimiento con respecto a *E. saligna* son *E. tereticornis* y *E. urophylla*, igualmente estas especies toleraron la sequía y el estrés hídrico por sus bajos porcentajes de mortalidad. Se considera entonces que bajo condiciones de sequias prolongadas o estrés hídrico muy severo, las especies que más se desarrollan en el sitio 1 son *E. tereticornis* y *E. urophylla* y bajo condiciones controladas (manejo de riego) *E. saligna* presenta mejor comportamiento por sus altos valores en producción de biomasa.

Para el sitio 2 (Figura 35) debido a los mayores niveles de precipitación medio anual (1212 mm) se observan bajos valores de mortalidad en todas las especies. En cuanto a producción de biomasa, altura, DAC, área foliar y eficiencia fotosintética las especies con un mejor comportamiento fueron *E. saligna* y *E. tereticornis* seguidas de *E. urophylla* que a su vez presenta un 5% de mortalidad; la especie con un menor desarrollo fue *E. globulus*, pues a pesar de tener altos valores de eficiencia fotosintética y DAC, presentó bajos valores de producción de biomasa. Se esperaba que *E. globulus* tuviera los mayores niveles de

crecimiento y desarrollo en este sitio, pero se vio afectada por los altos niveles de toxicidad de aluminio y los ataques de afidos (*ctenarytaina eucalypti*).

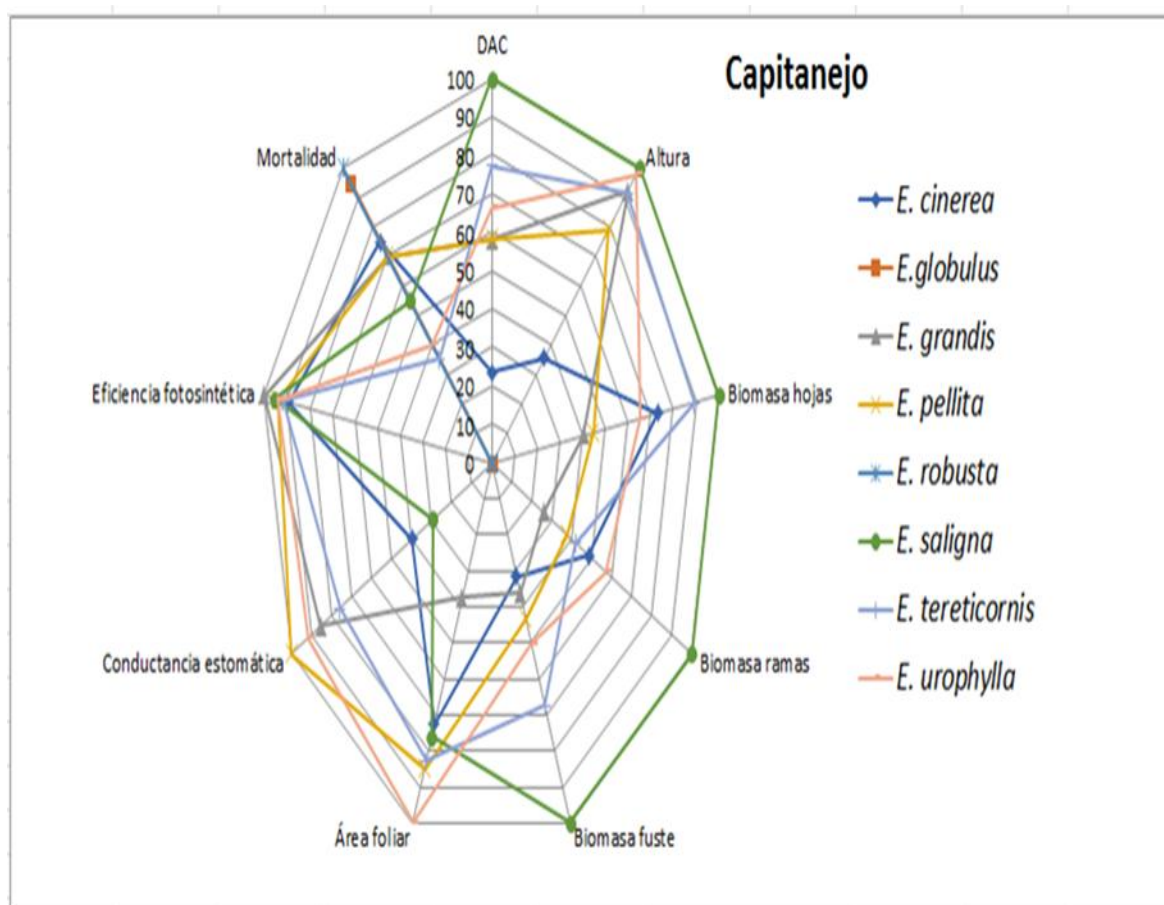


Figura 34. Adaptación de las especies para el sitio 1.

En el sitio 3 (Figura 36), las especies *E. cinérea* y *E. saligna* a pesar de tener altos valores en altura y DAC, tienen muy bajos valores en producción de biomasa y son las únicas especies que presentan mortalidad en el sitio 10% y 5% respectivamente. La especie *E. globulus* a pesar de tener un valor de conductancia estomática bajo, fue la que presentó los menores valores en producción de biomasa y área foliar. Se considera entonces que la especie que más se adapta en este sitio es *E. globulus* seguido de *E. grandis* y *E. robusta*.

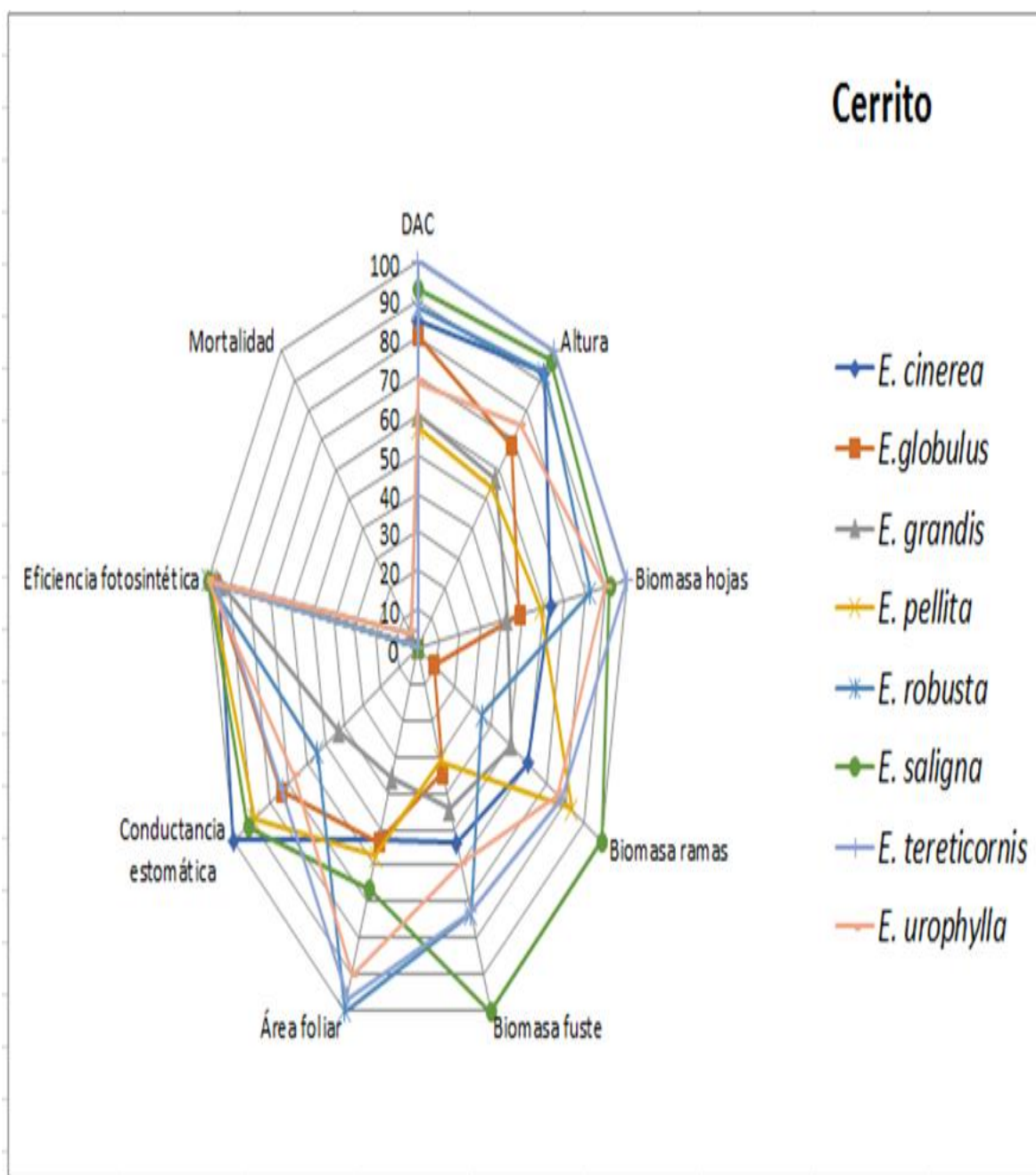


Figura 35. Adaptación de las especies para el sitio 2.

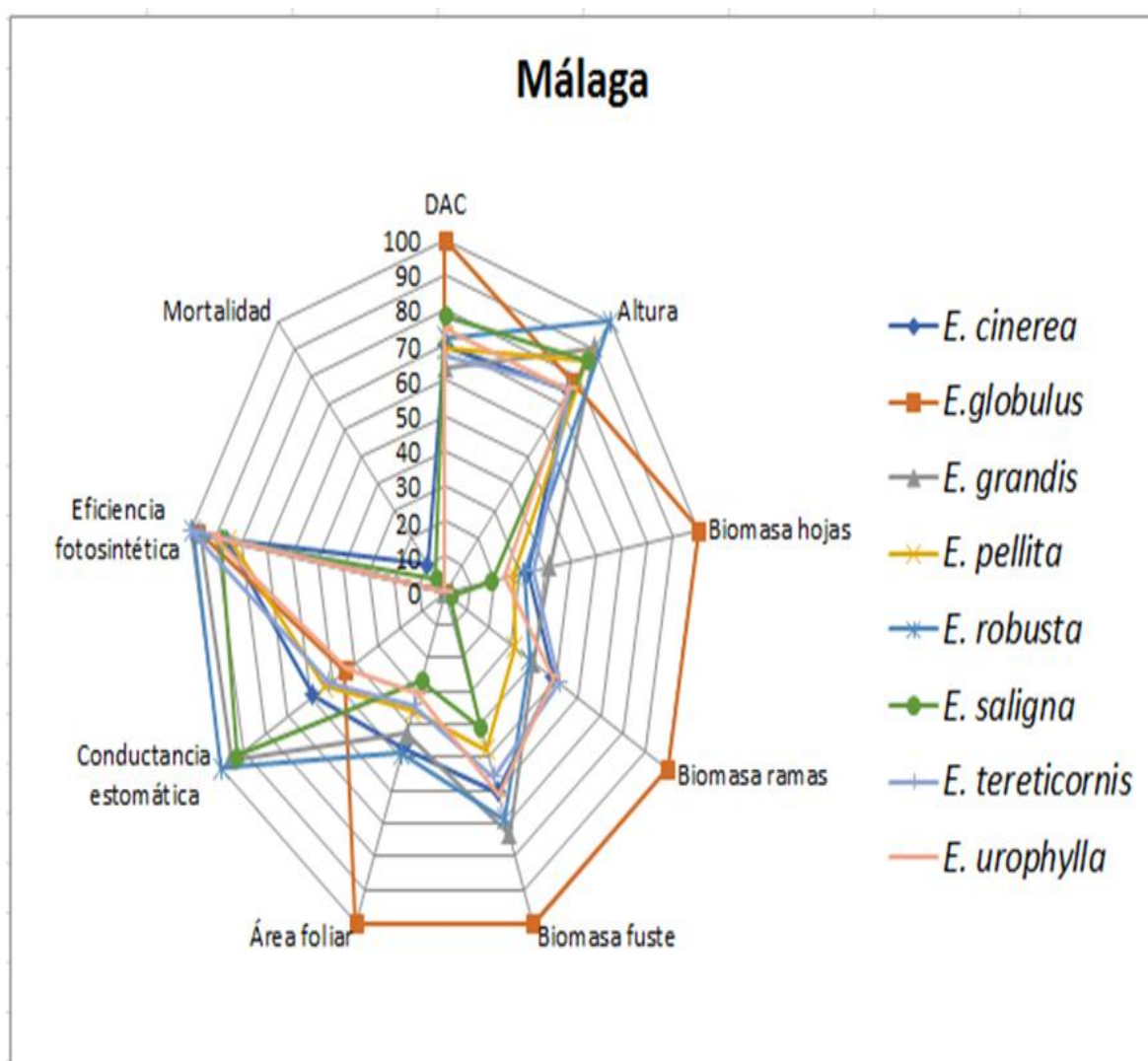


Figura 36. Adaptación de las especies para el sitio 3.

3. Conclusiones

La evaluación de las variables fisiológicas y morfológicas de las plantas, permitió determinar que las especies con mayores valores en producción de biomasa total fueron *E. saligna* (1326g) en el sitio 1, en el sitio 2 *E. saligna* y *E. tereticornis* con 115,38g y 102,36g y en el sitio 3 *E. globulus* (160,97g). Así mismo se determinó que las especies con bajos valores en producción de biomasa total fueron *E. grandis* y *E. pellita* con 476,11g y 567,82g en el sitio 1, *E. globulus* y *E. grandis* con 44,47g y 53,10g en el sitio 2 y en el sitio 3 *E. saligna* y *E. pellita* con 37,56g y 55,06g.

En la partición de carbohidratos, se determinó que las especies con los mayores valores de producción de biomasa en fuste fueron *E. saligna* en los sitios 1 y 2 con 674,62g y 51,15g respectivamente y *E. globulus* (49,70g) en el sitio 3; por el contrario las especies que presentaron los menores valores de producción de biomasa en fuste fueron *E. cinérea* *E. grandis* y *E. pellita* con 212,80g, 245,08g y 291,90g respetivamente en el sitio 1, *E. globulus* y *E. pellita* con 17,56g y 15,87g en el sitio 2 y en el sitio 3 *E. pellita*, *E. saligna* y *E. tereticornis* con 23,64g, 20,38g y 27,75g. Las especies con mayores valores de producción de biomasa en hojas fueron *E. saligna* (427,32g) en el sitio 1, *E. tereticornis* (52,59g) en el sitio 2 y *E. globulus* (90,15g) en el sitio 3; por el contrario, las especies con menores valores de producción de biomasa en hojas fueron *E. grandis* y *E. pellita* con 172,21g y 191,36g en el sitio 1, *E. globulus* y *E. grandis* con 25,49g y 22,35g en el sitio 2 y *E. saligna* (16,73g) en el sitio 3. La mayor producción de biomasa en ramas la presentaron las especies *E. saligna* en los sitios 1 y 2 con 224,38g y 15,98g respetivamente y *E. globulus* (21,13g) en el sitio 3, por el contrario, los menores valores de producción de

biomasa en hojas los presentaron las especies *E. grandis* (58,82g) en el sitio 1, *E. globulus* (1,41g) en el sitio 2 y *E. pellita* y *E. saligna* con 6,62g y 0,54 g en el sitio 3.

En el muestreo de los 281 días, se observó que las especies que presentaron mayores valores en área foliar fueron *E. urophylla* (21287,1 cm²) en el sitio 1, *E. Robusta* y *E. tereticornis* con 1815,7 cm² y 1751,4 cm² en el sitio 2 y *E. globulus* (6102,6 cm²) en el sitio 3; por el contrario la especie que presentó los menores valores en área foliar en los sitios 1 y 2 fue *E. grandis* con 7991,6 cm² y 651,5 cm² respectivamente y en el sitio 3 las especies *E. saligna* y *E. urophylla* con 1633,3 cm² y 1880,5 cm².

De acuerdo al porcentaje de mortalidad de las plantas, se observó que en el sitio 1 las especies *E. tereticornis* y *E. urophylla* presentaron los valores más bajos con 35% y 40% respectivamente y los valores más altos de mortalidad se presentaron en *E. robusta* y *E. globulus* con 100% y 95%; para el sitio 2 las especies *E. grandis* y *E. urophylla* presentaron un 5% de mortalidad siendo estos valores muy bajos y para el sitio 3 las especies que presentaron porcentajes de mortalidad fueron *E. cinérea* y *E. saligna* con 10% y 5% respectivamente.

Las especies que presentaron mayor grado de adaptabilidad en el sitio 1 fueron *E. saligna*, *E. tereticornis* y *urophylla* con un 87,61%, 77,24% y 77,86%, en el sitio 2 *E. saligna* y *E. tereticornis* con un 92,48% y 89,66% y en el sitio 3 *E. globulus* con un 89,87% puesto que presentaron los mayores valores en producción de biomasa, área foliar, conductancia estomática, eficiencia fotosintética y los menores valores de mortalidad.

4. Recomendaciones

Continuar con la evaluación del crecimiento y desarrollo de las plantaciones hasta el cuarto y quinto año según lo recomendado por las corporaciones autónomas regionales implementando la aplicación de técnicas silviculturales y a partir de la medición de más variables que permitan determinar de una forma más detallada el rendimiento de las plantaciones en cada uno de los sitios. Fortalecer estas investigaciones con visitas a las plantaciones para estudiar lo referente a variables fisiológicas y morfológicas de las diferentes especies del género *Eucalyptus* en sitios altitudinales.

Realizar la siembra en la primera época de lluvias (Abril), con el fin de aprovechar la disponibilidad de agua y evitar mortalidad por sequía y estrés hídrico en la fase de adaptación, garantizando un mejor desarrollo y mayor adaptabilidad en cada uno de los sitios, debido a que si se realiza la siembra en la segunda temporada de lluvias, los árboles aún no han alcanzado un buen desarrollo radicular y el estrés hídrico generado por los meses de intenso calor (parte de Diciembre, Enero, Febrero y Marzo) causan altos niveles de mortalidad.

Para el manejo de plagas se recomienda tomar como primera medida la técnica de conservación (control biológico) para evitar la alteración del ecosistema y así lograr un equilibrio ecológico. De no ser posible esta técnica, proceder a la aplicación de productos químicos como insecticidas sistémicos para picadores y chupadores e insecticidas de contacto para defoliadores como la hormiga arriera (*Atta cephalotes*).

Una vez las plantas se llevan a los sitios es necesario antes de su siembra definitiva someterlas a un proceso de rusificación como una técnica de adaptación al terreno, con el

objetivo de lignificarlas, endurecer sus tejidos y lograr una mayor aclimatación y adaptación.

Es necesario que bajo las condiciones restrictivas tanto de clima como de suelo y bióticas (pulgonas y hormigas) se ejecuten practicas silviculturales relacionadas con el manejo de riego, fertilización y sanidad durante los dos primeros años sobre todo en aquellos ambientes con bajos niveles de precipitación para garantizar un mayor crecimiento, desarrollo y supervivencia de las plantas, dado que pueden tolerar mucho mejor las condiciones de estrés ya sea por condiciones de suelo, sequia o factores bióticos.

Referencias bibliográficas

- Achard, P., Cheng, H., De Grauwe, L., Decat, J., Schoutteten, H., Moritz, T., ... y Harberd, N. P. (2006). Integration of plant responses to environmentally activated phytohormonal signals. *Science*, 311(5757), 91-94. Recuperado de <https://science.sciencemag.org/content/311/5757/91/tab-pdf>
- Aitken, S. N., y Whitlock, M. C. (2013). Assisted gene flow to facilitate local adaptation to climate change. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 44, 367-388. Recuperado de <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-ecolsys-110512-135747>
- Allendorf, F. W., Luikart, G., y Aitken, S. N. (2007). Conservation and the genetics of populations. *mammalia*, 2007(2007), 189-197. Recuperado de <https://www.degruyter.com/view/j/mamm.2007.71.issue-4/mamm.2007.038/mamm.2007.038.xml>
- Balmelli, A. M. G., y Resquin, A. M. F. (2005). Comportamiento de especies de *Eucalyptus* para sombra y abrigo en suelos sobre basalto. *Revista INIA-Nº*, 5, 26. Recuperado de <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807160909.pdf>
- Bergamin Filho, A., & Amorim, L. (1996). Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico. Recuperado de <https://bdpi.usp.br/item/000901700>
- Binkley, D., Stape, J. L., & Ryan, M. G. (2004). Thinking about efficiency of resource use in forests. *Forest Ecology and Management*, 193(1-2), 5-16. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112704000477>
- Binkley, D., Stape, J. L., Bauerle, W. L., & Ryan, M. G. (2010). Explaining growth of individual trees: light interception and efficiency of light use by *Eucalyptus* at four sites in Brazil. *Forest Ecology and Management*, 259(9), 1704-1713. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112709003910>
- Binkley, D., Stape, J. L., Ryan, M. G., Barnard, H. R., & Fownes, J. (2002). Age-related decline in forest ecosystem growth: an individual-tree, stand-structure hypothesis. *Ecosystems*, 5(1), 58-67. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10021-001-0055-7>

- Brooker, M. I. H. (2000). A new classification of the genus *Eucalyptus* L'Her.(Myrtaceae). *Australian Systematic Botany*, 13(1), 79-148. Recuperado de <http://www.publish.csiro.au/sb/SB98008>
- Brooker, M., Duffy, S., Slee, A. y West, J. (2015). EUCLID *Eucalyptus* of Australia. Recuperado de <http://keyserver.lucidcentral.org:8080/euclid/data/02050e02-0108-490e-8900-0e0601070d00/media/Html/index.htm>
- Carvajal, R. (2017). Caracterización edafoclimática provincia de García Rovira. SENNOVA, 1(1), 1-25
- Caballero, R. C., & Bermudez, A. A. M. (2018). Cosecha, reciclaje y manejo eficiente del recurso hídrico como estrategia de adaptación al cambio climático por parte de AESMEVI. *Revista Sennova: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 67-84. Recuperado de <http://revistas.sena.edu.co/index.php/sennova/article/view/1639/1843>
- Cannell, M. G. R. (1989). Physiological basis of wood production: a review. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 4(1-4), 459-490. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02827588909382582>
- Castro, A., & Vera, S. (2018). *Caracterización del género Eucalyptus en las provincias de García Rovira, Norte y Gutiérrez* (Campamento). Universidad Industrial de Santander, Málaga.
- Coppen, J. J. (Ed.). (2002). *Eucalyptus: the genus Eucalyptus*. CRC Press. Recuperado de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=0dRlDMvLhQ0C&oi=fnd&pg=PP1&dq=Coppen,+J.+J.+\(Ed.\)](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=0dRlDMvLhQ0C&oi=fnd&pg=PP1&dq=Coppen,+J.+J.+(Ed.))
- Cremer, K. W. (1977). Distance of seed dispersal in *Eucalyptus* estimated from seed weights. *Australian Forest Research*, 7, 225-228.
- Daetz Escalante, C. G. (2015). *Evaluación del crecimiento de plantaciones de Eucalipto en Lanquín* (Tesis de Maestría). Universidad Rafael Landívar Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Alta Verapaz. México
- Darriba, A. F., & Pando, F. J. S. (2016). El Género *Eucalyptus* (Myrtaceae) en Galicia: Claves y descripción. *Nova Acta Científica Compostelana*, 23. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Silva-

Pando/publication/292616950_El_Genero_Eucalyptus_Myrtaceae_en_Galicia_Claves_y_descripcion/links/56fcdba908ae8239f6dc4f7d/El-Genero-Eucalyptus-Myrtaceae-en-Galicia-Claves-y-descripcion.pdf

de Tafur, M. S. M., Diaz, R. A. B., Díaz, M. A. G., & García, D. B. (2014). Respuesta fotosintética de *Eucalyptus grandis* W. Hill a la disponibilidad de agua en el suelo ya la intensidad de luz. *Acta Agronómica*, 63(4), 311-317. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169932435002.pdf>

de Tafur, M. S. M., Zapata, C. M., Urrego, J. B., Ibarra, D. M., & Leal, J. J. (2017). Efecto del estrés hídrico sobre la acumulación y distribución de biomasa en *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. *Acta Agronómica*, 66(1), 56-62. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169949139009.pdf>

Della Lucia, T. M., Gandra, L. C., & Guedes, R. N. (2014). Managing leaf- cutting ants: peculiarities, trends and challenges. *Pest management science*, 70(1), 14-23. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.3660>

Di Benedetto, A., & Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 42(3), 258-282. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/864/86449712008.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *Datos y cifras globales de productos forestales*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/I7034ES/i7034es.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra*. Recuperado de fao.org/publications/sofo/2016/es/

Fidalgo, P., Olivares, T. S., Martínez, A., & Baraño, J. J. (2005). Control biológico de *Ctenarytaina eucalypti* (Hem.: Psyllidae), plaga del eucalipto en Argentina. *Bosque (Valdivia)*, 26(2), 91-93. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-92002005000200011&script=sci_arttext

García, H. (2014). Deforestación en Colombia: Retos y perspectivas. Recuperado de <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/337>

- Gava, J. L. (2005). *Relações entre atributos do solo e qualidade da madeira de clone de Eucalyptus grandis para produção de celulose* (Tesis de Doctoral). Universidad de São Paulo, Brasil. Recuperado de <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-10112005-151917/en.php>
- Gindaba, J., Rozanov, A., & Negash, L. (2004). Response of seedlings of two Eucalyptus and three deciduous tree species from Ethiopia to severe water stress. *Forest Ecology and Management*, 201(1), 119-129. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112704005183>
- Gómez, L., Montoya, E., López, Y., & Riaño, N. (2001). Estimación de la fotosíntesis en plantas completas y validación de un modelo matemático para el café Coffea arabica L. En M. González (Presidencia), *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*, Valdivia, Chile. Recuperado de http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/33_Gomez.PDF
- Goncalves, J. D. M., Dematte, J. L. I., & Couto, H. D. (1990). Relações entre a produtividade de sítios florestais de Eucalyptus grandis e Eucalyptus saligna com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo. *IPEF, Piracicaba*, 43(44), 24-39. Recuperado de <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr43-44/cap04.pdf>
- Goudriaan, J. Y., & Van Laar, H. H. (1995). *Modeling Potential Growth Processes. Textbook with exercises*. Recuperado de <https://www.springer.com/gp/book/9780792332190>
- Gower, S. T., Vogel, J. G., Norman, J. M., Kucharik, C. J., Steele, S. J., & Stow, T. K. (1997). Carbon distribution and aboveground net primary production in aspen, jack pine, and black spruce stands in Saskatchewan and Manitoba, Canada. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D24), 29029-29041. Recuperado de <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/97JD02317%4010.1002%28ISSN%292169-8996.BOREAS2>
- Grace, J. O. H. N. (1988). Temperature as a determinant of plant productivity. In *Symposia of the Society for Experimental Biology* Vol. 42, pp. 91-107. Recuperado de <https://europepmc.org/abstract/med/3270210>
- Graciano, C., Goya, J. F., & Caldiz, D. O. (2004). Acumulación y distribución de materia seca en Eucalyptus globulus (Labill.) plantado en macetas con tres tipos de suelo y fertilizado con fósforo. *Ecología austral*, 14(1), 53-63. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Corina_Graciano2/publication/231405122_Acumulacion_y_distribucion_de_materia_seca_en_Eucalyptus_globulus_Labill_planta

do_en_macetas_con_tres_tipos_de_suelo_y_fertilizado_con_fosforo/links/0fcfd5069b8862f6bb000000.pdf

- Griffin, A. R. (1980). Floral phenology of a stand of mountain ash (*Eucalyptus regnans* F. Muell.) in Gippsland, Victoria. *Australian Journal of Botany*, 28(4), 393-404. Recuperado de <http://www.publish.csiro.au/BT/BT9800393>
- Gualtero Rodríguez, K. J. (2019). Sostenibilidad de la producción de energía a partir de la biomasa forestal en la Orinoquía colombiana. Recuperado de <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/23622>
- Ipinza, R., Gutiérrez, B., & Molina, M. P. (2014). Mejoramiento genético de eucaliptos, historia, avances y tendencias. Mejoramiento Genético de Eucaliptos en Chile. *Instituto Forestal*, 17(34). Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Roberto_Ipinza2/publication/262185077_MEJORAMIENTO_GENETICO_DE_EUCALIPTOS_HISTORIA_AVANCES_Y_TENDENCIAS/links/53d091230cf2f7e53cfb8241.pdf
- Jalota, R. K., Sangha, K. K., & Kohli, R. K. (2000). Under-storey vegetation of forest plantations in NW India-an ecological economic assessment. *Journal of Tropical Medicinal Plants*, 1(1/2), 115-124. Recuperado de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20023035777>
- Kaspar, T. C., & Bland, W. L. (1992). Soil temperature and root growth. *Soil Science*, 154(4), 290-299. Recuperado de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/46311380/Soil_Temperature_and_Root_Growth20160607-12338
- Kiviste, A., Alvarez Gonzalez, J. G., Rojo Alboreca, A., & Ruiz González, A. D. (2002). *Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal*. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/JG_Alvarez_Gonzalez/publication/305473874_Funciones_de_crecimiento_de_aplicacion_en_elambito_forestal/links/59ad673ba6fdcce55a414f8e/Funciones-de-crecimiento-de-aplicacion-en-el-ambito-forestal.pdf
- Klein, T. (2014). The variability of stomatal sensitivity to leaf water potential across tree species indicates a continuum between isohydric and anisohydric behaviours. *Functional Ecology*, 28(6), 1313-1320. Recuperado de <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2435.12289>

- Lee, E. J., & Paek, K. Y. (2012). Effect of nitrogen source on biomass and bioactive compound production in submerged cultures of *Eleutherococcus koreanum* nakai adventitious roots. *Biotechnology progress*, 28(2), 508-514. Recuperado de <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/btpr.1506>
- Lenton, J. (1998). *Plant hormones on the move!*. *Trends in plant science*. Recuperado de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302892980>
- Lewis, J. D., Phillips, N. G., Logan, B. A., Hricko, C. R., & Tissue, D. T. (2011). Leaf photosynthesis, respiration and stomatal conductance in six *Eucalyptus* species native to mesic and xeric environments growing in a common garden. *Tree Physiology*, 31(9), 997-1006. Recuperado de <https://academic.oup.com/treephys/article/31/9/997/1676405>
- Lima, W. D. P., Jarvis, P., & Rhizopoulou, S. (2003). Stomatal responses of *Eucalyptus* species to elevated CO₂ concentration and drought stress. *Scientia Agricola*, 60(2), 231-238. Recuperado de http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90162003000200005&script=sci_arttext&tlng=es
- Lizaso, J. I., Batchelor, W. D., & Westgate, M. E. (2003). A leaf area model to simulate cultivar-specific expansion and senescence of maize leaves. *Field Crops Research*, 80(1), 1-17. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037842900200151X>
- Lockaby, B. G., & Caulifield, J. P. (1989). Geographic gradients in loblolly pine site productivity and related environmental factors. *Southern Journal of Applied Forestry*, 13(2), 72-76. Recuperado de <https://academic.oup.com/sjaf/article-abstract/13/2/72/4793860>
- Londoño, C. (2001). *Cuencas hidrográficas: Bases conceptuales-caracterización planificación-administración*. Ibagué, Colombia: Universidad del Tolima. Recuperado. http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwff/mdez/~edisp/inea_013115.pdf
- Madeira, M. V., Fabião, A., Pereira, J. S., Araújo, M. C., & Ribeiro, C. (2002). Changes in carbon stocks in *Eucalyptus globulus* Labill. plantations induced by different water and nutrient availability. *Forest Ecology and Management*, 171(1-2), 75-85. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112702004620>

- Martínez-Ruiz, R., Azpíroz-Rivero, H. S., Cetina-Alcalá, V. M., & Gutiérrez-Espinoza, M. A. (2006). Importancia de las plantaciones forestales de *Eucalyptus*. *Ra Ximhai*, 2(3), 815-846. Recuperado de <http://revistas.unam.mx/index.php/rxm/article/view/6903>
- McCourt, P. (1999). Genetic analysis of hormone signaling. *Annual review of plant biology*, 50(1), 219-243. Recuperado de <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.arplant.50.1.219>
- Melgarejo, L. M., Hernández, S., Barrera, J., Solarte, M. E., Suárez, D., Pérez, L. V., ... & Pérez, W. (2010). Experimentos en fisiología vegetal. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/8545/>
- Montero Mata, M. (1999). *Factores de sitio que influyen en el crecimiento de Tectona grandis LF y Bombacopsis quinata (Jacq.) Dugand, en Costa Rica* (Tesis de Maestría). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Recuperado de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=orton.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=070697>
- Moraes, J. S. A. (1983). Conhecimentos básicos para o combate às formigas cortadeiras. *Belo Horizonte: Cia Agrícola e Florestal Santa Bárbara*. Recuperado de <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/509/395>
- Nicolle, D. (2015). *Classification of the eucalypts (Angophora, Corymbia and Eucalyptus) version 2*. Recuperado de <http://www.dn.com.au/Classification-Of-The-Eucalypts.pdf>.
- Noble, A. D., Donkin, M. J., Smith, C. W., Cromer, R. N., Sands, P. J., & Kirschbaum, M. U. F. (1991, September). The importance of soil properties as indicators of site quality for *Eucalyptus grandis* on the Zululand coastal plain. In *Proceedings of the IUFRO Symposium on Intensive Forestry: The Role of Eucalypts*, 1, 433-443. Recuperado de <https://books.google.com.co/>
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 37, 637-669. Recuperado de <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100>

- Pask, A. J. D., Pietragalla, J., Mullan, D. M., & Reynolds, M. P. (2012). *Physiological breeding II: a field guide to wheat phenotyping*. Recuperado de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=LYVL-db0AtQC&oi=fnd&pg=PA2&dq=Pask,+A.+J.+D.,+Pietragalla,+J.,+Mullan,+D.+M.,+%26+Reynolds,+M.+P.+\(2012\).+Physiological+breeding+II:+a+field+guide+to+wheat+phenotyping.+Cimmyt&ots=Rmi54W_MbQ&sig=-8q4dE-HFHrciJRylEmb35aBHA8](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=LYVL-db0AtQC&oi=fnd&pg=PA2&dq=Pask,+A.+J.+D.,+Pietragalla,+J.,+Mullan,+D.+M.,+%26+Reynolds,+M.+P.+(2012).+Physiological+breeding+II:+a+field+guide+to+wheat+phenotyping.+Cimmyt&ots=Rmi54W_MbQ&sig=-8q4dE-HFHrciJRylEmb35aBHA8)
- Pereira, J. S., & Pallardy, S. (1989). Water stress limitations to tree productivity. In *Biomass production by fast-growing trees* 1, 37-56. Recuperado de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-2348-5_3
- Potts, B. M., & Dungey, H. S. (2004). Interspecific hybridization of *Eucalyptus*: key issues for breeders and geneticists. *New Forests*, 27(2), 115-138. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1025021324564>
- Queiroz, T. B., Pereira, N. N. D. J., Silva, J. C. R. L., Fonseca, F. S. A. D., & Martins, E. R. (2017). Influence of water regime on initial growth and essential oil of *Eucalyptus globulus*. *Ciência Rural*, 47(3). Recuperado de http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782017000300301&script=sci_abstract&tlng=pt
- Radosevich, S. R., & Holt, J. S. (1984). Plant growth and interference. *Weed Ecology: Implications for Vegetation Management*. New York: J. Wiley, 93-135. Recuperado de <https://academic.oup.com/aob/article-abstract/62/1/31/151517>
- Rhoades, C., & Binkley, D. (1996). Factors influencing decline in soil pH in Hawaiian *Eucalyptus* and *Albizia* plantations. *Forest Ecology and Management*, 80(1-3), 47-56. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378112795036466>
- Rocha, J. H. T., de Moraes Gonçalves, J. L., de Vicente Ferraz, A., Poiati, D. A., Junior, J. C. A., & Hubner, A. (2019). Growth dynamics and productivity of an *Eucalyptus grandis* plantation under omission of N, P, K Ca and Mg over two crop rotation. *Forest Ecology and Management*, 447, 158-168. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112719300386>
- Ryan, M. G., Binkley, D., Fownes, J. H., Giardina, C. P., & Senock, R. S. (2004). An experimental test of the causes of forest growth decline with stand age. *Ecological Monographs*, 74(3), 393-414. Recuperado de <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/03-4037>

- Srivastava, L. M. (2002). *Plant growth and development: hormones and environment*. Recuperado de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=wXLBKdncciQC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Srivastava,+L.+M.+\(2002\).+Plant+growth+and+development:+hormones+and+environment.+Elsevier.&ots=zeAI8XQwue&sig=DAVo_SzWZB0e3R3SK3jqwuDU3wc#v=onepage&q=Srivastava%2C%20L.%20M.%20\(2002\).%20Plant%20growth%20and%20development%3A%20hormones%20and%20environment.%20Elsevier.&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=wXLBKdncciQC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Srivastava,+L.+M.+(2002).+Plant+growth+and+development:+hormones+and+environment.+Elsevier.&ots=zeAI8XQwue&sig=DAVo_SzWZB0e3R3SK3jqwuDU3wc#v=onepage&q=Srivastava%2C%20L.%20M.%20(2002).%20Plant%20growth%20and%20development%3A%20hormones%20and%20environment.%20Elsevier.&f=false)
- Stackpole, D. J., Vaillancourt, R. E., Alves, A., Rodrigues, J., & Potts, B. M. (2011). Genetic variation in the chemical components of *Eucalyptus globulus* wood. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 1(2), 151-159. Recuperado de <https://www.g3journal.org/content/1/2/151.short>
- Stape, J. L. (2002). *Production ecology of clonal Eucalyptus plantations in northeastern Brazil* (tesis de doctorado,) Universidad de Colorado, Estados Unidos. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Jose_Stape/publication/33786502_Production_ecology_of_clonal_Eucalyptus_plantations_in_northeastern_Brazil/links/02e7e5332cf0e1a156000000/Production-ecology-of-clonal-Eucalyptus-plantations-in-northeastern-Brazil.pdf
- Stape, J. L., Binkley, D., Ryan, M. G., Fonseca, S., Loos, R. A., Takahashi, E. N., ... & Lima, A. M. (2010). The Brazil *Eucalyptus* Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. *Forest Ecology and Management*, 259(9), 1684-1694. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112710000186>
- Villar, R., Ruiz-Robledo, J., Quero, J. L., Poorter, H., Valladares, F., & Marañón, T. (2004). Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, 191-227. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Jose_Quero4/publication/46651576_Tasas_de_crecimiento_en_especies_lenosas_aspectos_funcionales_e_implicaciones_ecologicas/links/0c960516424950207c000000/Tasas-de-crecimiento-en-especies-lenosas-aspectos-funcionales-e-implicaciones-ecologicas.pdf
- Waring, R. H. (1983). Estimating forest growth and efficiency in relation to canopy leaf area. In *Advances in Ecological Research* (Vol. 13, pp. 327-354). Academic Press. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065250408601117>

- Wilcken, C. F., Lima, A. C. V., Dias, T. K. R., Masson, M. V., Ferreira Filho, P. J., & Pogetto, M. H. F. A. (2008). Guia prático de manejo de plantações de eucalipto. *Botucatu: FEPAF*. Recuperado de <http://www.iandebo.com.br/pdf/plantioeucalipto.pdf>
- Zanetti, R., Zanuncio, J. C., Souza-Silva, A., Mendonça, L. A., Mattos, J. O. S., & Rizental, M. S. (2008). Eficiência de produtos termonebulígenos no controle de *Atta laevigata* (Hymenoptera: Formicidae) em plantio de eucalipto. *Ciência e Agrotecnologia*, 32(4), 1313-1316. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Jose_Zanuncio/publication/250050381_Efficiency_of_products_for_thermonebulization_on_the_control_of_Atta_laevigata_Hymenoptera_Formicidae_in_eucalyptus_plantations/links/00463536c473dc988f000000/Efficiency-of-products-for-thermonebulization-on-the-control-of-Atta-laevigata-Hymenoptera-Formicidae-in-eucalyptus-plantations.pdf
- Zapata Duque, C. M. (2013). *Influencia edafoclimática en el desarrollo de plantaciones juveniles de Eucalyptus grandisen en el suroccidente colombiano* (tesis de doctorado) Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/10436/>
- Zeide, B. (1993). Analysis of growth equations. *Forest science*, 39(3), 594-616. Recuperado de <https://academic.oup.com/forestscience/article-abstract/39/3/594/4627173>

Apéndices

Apéndice A.
Análisis de suelo sitio 1

				LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS CONVENIO UIS-GOVERNACIÓN DE SANTANDER. RESULTADO ANÁLISIS DE SUELOS				Código: F-AA-03 Versión: 01 Página 1 de 1	
Cliente:	Rubén Canvajal Caballero	Fecha de Ingreso de la muestra:	Mayo 20 de 2019	Departamento:	Santander	Municipio:	Capitanejo		
Entidad:	Particular	Fecha de Análisis:	Junio 17 de 2019	Vereda:	Molinos	Cultivo:	Eucalyptus		
Dirección:	Carrera 7 A #15 A-17, El Guamo	Fecha de Emisión de Resultado:	Junio 17 de 2019			Finca:	Molinos		
Análisis solicitado:	Caracterización	X	Elementos Menores	X	Azufre	X	C.I.C.	X	C.E.

Cód. Muestra	pH Unid	%C	P (ppm)	Ca	Mg	Na	K	Al	%Arena	%Limo	%Arcilla	Textura	B Fe Mn Cu Zn S					CIC meq/100g	CE meq/100g	
													(ppm)							
19-0470	7,7	0,88	14,5	14,2	0,98	0,07	0,29	N.A	60	24	16	Fco- Arenoso	0,11	1,73	0,77	0,37	0,38	10,8	6,00	N.S.C.

PARÁMETROS	MÉTODO ANALÍTICO	NOTAS	ABREVIATURAS
pH: Potencial de Hidrógeno C: Carbono P: Fósforo disponible Ca, Mg, Na, K % Textura B: Boro Fe, Mn, Cu, Zn S: Azufre CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico CE: Conductividad Eléctrica	Electrométrico: Relación 1:1 Agua destilada Colorimétrico: Walkley Black $K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$ Colorimétrico: Bray II. $HClO_4$ 1 N- NH_4F 0,03 N Absorción Atómica: Extracción: Acetato de Amonio Bouyoucos: Agua destilada Colorimétrico: Extracción Fosfato Monocálcico Absorción Atómica: Extracción con DTPA Turbidimétrico: Extracción Fosfato Monocálcico Extracción: Acetato de Amonio Electrométrico: Agua destilada	Nota 1: Los resultados almacenados en la base de datos y los enviados por fax ó e-mail se conservarán durante tres meses a partir de la entrega de los mismos. Nota 2: Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. Nota 3: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras suministradas por el cliente. Nota 4: Los métodos analíticos aplicados en el laboratorio son válidos únicamente para muestras de suelos, y no a otros materiales de características físicas similares. Nota 5: La contramuestra de la muestra a analizar se almacenará por un periodo de tiempo de 2 meses a partir de la fecha de emisión del resultado. Nota 6: Información y muestra suministrada por el cliente. Nota 7: Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al teléfono 6324861 ó al correo electrónico: laboratorioquimicosuelos_us@yahoo.com	N.D: No Detectable a la mínima concentración establecida por el método. N.S: No Suministrado por el Cliente. N.A: No Aplica. N.S.C: No Solicitado por el Cliente. VoBbo LUZ YOLANDA VARGAS FIALLO Directora Matrícula PQ- 1144
OBSERVACIONES:			

Apéndice B.
Análisis de suelo sitio 2

				LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS CONVENIO UIS-GOVERNACIÓN DE SANTANDER. RESULTADO ANÁLISIS DE SUELOS				Código: F-AA-03 Versión: 01 Página 1 de 1	
Cliente:	Rubén Canvajal Caballero	Fecha de Ingreso de la muestra:	Mayo 20 de 2019	Departamento:	Santander	Municipio:	Cerroto		
Entidad:	Particular	Fecha de Análisis:	Junio 17 de 2019	Vereda:	Ovejeras	Cultivo:	Eucalyptus		
Dirección:	Carrera 7 A #15 A-17, El Guamo	Fecha de Emisión de Resultado:	Junio 17 de 2019			Finca:	Ovejeras		
Análisis solicitado:	Caracterización	X	Elementos Menores	X	Azufre	X	C.I.C.	X	C.E.

Cód. Muestra	pH Unid	%C	P (ppm)	Ca	Mg	Na	K	Al	%Arena	%Limo	%Arcilla	Textura	B Fe Mn Cu Zn S					CIC meq/100g	CE meq/100g	
													(ppm)							
19-0471	4,2	3,15	11,9	0,74	0,21	0,07	0,33	4,4	60	26	14	Fco- Arenoso	0,06	90,9	3,56	0,46	0,30	7,02	17,4	N.S.C.

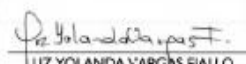
PARÁMETROS	MÉTODO ANALÍTICO	NOTAS	ABREVIATURAS
pH: Potencial de Hidrógeno C: Carbono P: Fósforo disponible Ca, Mg, Na, K % Textura B: Boro Fe, Mn, Cu, Zn S: Azufre CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico CE: Conductividad Eléctrica	Electrométrico: Relación 1:1 Agua destilada Colorimétrico: Walkley Black $K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$ Colorimétrico: Bray II. $HClO_4$ 1 N- NH_4F 0,03 N Absorción Atómica: Extracción: Acetato de Amonio Bouyoucos: Agua destilada Colorimétrico: Extracción Fosfato Monocálcico Absorción Atómica: Extracción con DTPA Turbidimétrico: Extracción Fosfato Monocálcico Extracción: Acetato de Amonio Electrométrico: Agua destilada	Nota 1: Los resultados almacenados en la base de datos y los enviados por fax ó e-mail se conservarán durante tres meses a partir de la entrega de los mismos. Nota 2: Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. Nota 3: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras suministradas por el cliente. Nota 4: Los métodos analíticos aplicados en el laboratorio son válidos únicamente para muestras de suelos, y no a otros materiales de características físicas similares. Nota 5: La contramuestra de la muestra a analizar se almacenará por un periodo de tiempo de 2 meses a partir de la fecha de emisión del resultado. Nota 6: Información y muestra suministrada por el cliente. Nota 7: Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al teléfono 6324861 ó al correo electrónico: laboratorioquimicosuelos_us@yahoo.com	N.D: No Detectable a la mínima concentración establecida por el método. N.S: No Suministrado por el Cliente. N.A: No Aplica. N.S.C: No Solicitado por el Cliente. VoBbo LUZ YOLANDA VARGAS FIALLO Directora Matrícula PQ- 1144
OBSERVACIONES:			

Apéndice C.

Análisis de suelo sitio 3

				LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS CONVENIO UIS-GOVERNACIÓN DE SANTANDER RESULTADO ANÁLISIS DE SUELOS				Código: F-AA-03 Versión: 01 Página 1 de 1	
Cliente:	Rubén Carvajal Caballero	Fecha de Ingreso de la muestra:	Mayo 20 de 2019	Departamento:	Santander	Municipio:	Málaga		
Entidad:	Particular	Fecha de Análisis:	Junio 17 de 2019	Vereida:	Centro	Cultivo:	Eucalyptus		
Dirección:	Carrera 7 A #15 A-17, El Guamo	Fecha de Emisión de Resultado:	Junio 17 de 2019	C.E.		Fincas:	Sede UIS Málaga		
Análisis solicitado:	Caracterización	X	Elementos Menores	X	Azufre	X	C.I.C.	X	

RESULTADO DEL ANÁLISIS DE SUELOS																				
Cód. Muestra	pH Unid	%C	P (ppm)	Ca	Mg	Na	K	Al	%Arena	%Limo	%Arcilla	Textura	B	Fe	Mn	Cu	Zn	S	CIC meq/100g	CE meq/100g
													(ppm)							
19-0472	5,0	2,45	25,2	5,41	0,72	0,11	0,55	0,8	40	34	26	Francos	0,11	359	8,48	1,23	2,19	9,08	18,0	N.S.C.

PARÁMETROS	MÉTODO ANALÍTICO	NOTAS	ABREVIATURAS
pH: Potencial de Hidrógeno C: Carbono P: Fósforo disponible Ca, Mg, Na, K % Textura B: Boro Fe, Mn, Cu, Zn S: Azufre CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico CE: Conductividad Eléctrica	Electrométrico: Relación 1:1 Agua destilada Colorimétrico: Waldley Black K ₂ Cr ₂ O ₇ -H ₂ SO ₄ Colorimétrico: Bray II: HCl 0,1 N-NH ₄ F 0,03 N Absorción Atómica: Extracción: Acetato de Amonio Bouyoucos: Agua destilada Colorimétrico: Extracción Fosfato Monocálcico Absorción Atómica: Extracción con DTPA Turbidimétrico: Extracción Fosfato Monocálcico Extracción: Acetato de Amonio Electrométrico: Agua destilada	Nota 1: Los resultados almacenados en la base de datos y los enviados por fax o e-mail se conservarán durante tres meses a partir de la entrega de los mismos. Nota 2: Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. Nota 3: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras suministradas por el cliente. Nota 4: Los métodos analíticos aplicados en el laboratorio son válidos únicamente para muestras de suelos, y no a otros materiales de características físicas similares. Nota 5: La contramuestra de la muestra analizada se almacenará por un periodo de tiempo de 2 meses a partir de la fecha de emisión del resultado. Nota 6: Información y muestra suministrada por el cliente. Nota 7: Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al teléfono 6324861 o al correo electrónico: laboratorioquimicosuelos_uis@yahoo.com	N.D: No Detectable a la mínima concentración establecida por el método. N.S: No Suministrado por el Cliente. N.A: No Aplica. N.S.C: No Solicitado por el Cliente. VoBoo  LUZ YOLANDA VARGAS FIALLO Directora Matrícula PQ- 1144
OBSERVACIONES:			

Apéndice D.

Análisis de varianza crecimiento en altura a los 43 días

```
> Anova(LinearModel.1, type="II")
```

```
Anova Table (Type II tests)
```

```
Response: Altura
```

```

              Sum Sq   Df   F value    Pr(>F)
Bloque      224581     3 499.4171 < 2.2e-16 ***
Especie      43753     7  41.6984 < 2.2e-16 ***
Bloque:Especie 19526   14   9.3047 < 2.2e-16 ***
Residuals    68352  456

```

```
---
```

```
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Apéndice E.

Análisis de varianza de crecimiento DAC a los 43 días

```
> Anova(LinearModel.2, type="II")
Anova Table (Type II tests)

Response: DAC
```

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Bloque	13.3752	3	528.1995	< 2.2e-16 ***
Especie	1.6346	7	27.6647	< 2.2e-16 ***
Bloque:Especie	0.9660	14	8.1747	1.043e-15 ***
Residuals	3.8490	456		

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Apéndice F.

Análisis de varianza de crecimiento en altura a los 135 días

```
> Anova(LinearModel.3, type="II")
Anova Table (Type II tests)

Response: Altura
```

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Bloque	483240	3	562.1571	< 2.2e-16 ***
Especie	50983	7	25.4182	< 2.2e-16 ***
Bloque:Especie	23622	14	5.8884	1.125e-10 ***
Residuals	130662	456		

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Apéndice G.

Análisis de varianza de crecimiento DAC a los 135 días

```
> Anova(LinearModel.4, type="II")
Anova Table (Type II tests)

Response: DAC
```

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)	
Bloque	29.4563	3	519.9704	< 2.2e-16	***
Especie	0.9580	7	7.2473	3.023e-08	***
Bloque:Especie	0.9422	14	3.5641	1.331e-05	***
Residuals	8.6108	456			

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Apéndice H.

Análisis de varianza de crecimiento en altura a los 281 días

```
> Anova(LinearModel.5, type="II")
Anova Table (Type II tests)

Response: Altura
```

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)	
Bloque	694594	3	186.4669	< 2.2e-16	***
Especie	37301	7	4.2916	0.0001302	***
Bloque:Especie	92773	14	5.3369	1.861e-09	***
Residuals	566204	456			

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Apéndice I.

Análisis de varianza de crecimiento en DAC a los 281 días

```
> Anova(LinearModel.6, type="II")
Anova Table (Type II tests)

Response: DAC

      Sum Sq   Df  F value    Pr(>F)
Bloque    71.666    3 182.8265 < 2.2e-16 ***
Especie     5.214    7   5.7001 2.478e-06 ***
Bloque:Especie 10.110 14   5.5269 7.082e-10 ***
Residuals   59.583 456
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Apéndice J

Registro fotográfico

Reconocimiento de los predios a utilizar en cada uno de los ambientes.



Siembra de las ocho especies evaluadas en el vivero de la Universidad Industrial de Santander, sede Málaga.



Toma de muestras de suelo para cada ambiente.



Germinación y conteo de plántulas en vivero.



Aplicación de fertilizantes.



Trasplante de individuos a bolsa.



Trasplante de individuos a terreno.



Medición de la variable altura



Medición de la variable conductancia estomática



Medición de la variable eficiencia fotosintética



Medición de la variable radiación fotosintética



Selección de individuos para biomasa



Peso fresco de individuos



Área foliar



Presencia de lepidóptero



*Defoliación de *E. grandis* por hormiga arriera*



*Presencia de pulgón en *E. globulus**



Marchitamiento de individuos