

Evaluación del desarrollo inicial del *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus grandis*, bajo un diseño de espaciamiento circular de tipo Nelder en el municipio de Málaga – Santander.

Adriana Milena Herrera Tutira

**Trabajo de Grado para Optar el título de
Ingeniera Forestal**

Director

Jorge Andrés Rodríguez Toro

Ph.D. en Cs Forestales

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia-IPRED

Programa de Ingeniería forestal

Málaga

2019

Dedicatoria

A Dios por permitirme compartir con mis padres una meta más en mi vida y a cada una de las personas que hicieron posible la ejecución de este proyecto con su apoyo incondicional.

A mis padres y hermana por ser parte esencial en cada momento de mi vida.

Agradecimientos

La autora de este proyecto expresa su gratitud a cada una de las personas que participaron de forma directa e indirecta en la ejecución del presente proyecto:

Al doctor en ciencias forestales, Jorge Andrés Rodríguez Toro, docente de la Universidad Industrial de Santander – Sede Málaga y director de este proyecto, por el apoyo, labor en campo, acompañamiento y observaciones dadas para la ejecución de este.

Al Ing. Agrónomo Rubén Carvajal y docente de la Universidad Industrial de Santander – Sede Málaga, por estar al pendiente y atento ante cualquier inquietud.

A la Ing. Forestal Sandra Milena Díaz y docente de la Universidad Industrial de Santander – Sede Málaga, por su colaboración en la toma de fotografías aéreas.

A mis compañeros Jhonatan Sandoval, Lisbeth Flórez, James Rodríguez y Andrés Martínez por su colaboración en la plantación de las especies utilizadas.

A mi hermana Carolina Herrera, mis sobrinos Michael y Brallan Herrera por su colaboración en la toma de registros en campo.

Al señor Hernando Castellanos por su colaboración en la finca de la universidad, estando siempre al pendiente de la plantación.

A la Universidad Industrial de Santander – Sede Málaga, por permitir desarrollar el diseño experimental en sus predios.

Y especialmente, a los señores Álvaro Barrera y Joaquín Moreno, por su apoyo incondicional en todo mi proceso de formación.

Tabla de Contenido

Introducción	18
1. Objetivos	19
1.1 Objetivo General	19
1.2 Objetivos Específicos	19
2. Hipótesis	20
3. Marco Referencial	20
3.1 Marco conceptual	20
3.1.1 Plantación forestal.	20
3.1.2 Plantaciones forestales a nivel mundial.	21
3.1.3 América latina y el caribe en el área forestal.	21
3.1.4 Actualidad de las plantaciones forestales en Colombia.	23
3.1.5 Plantaciones forestales de Eucalyptus.	24
3.2 Revisión de literatura	25
3.3 Marco legal	29
4. Diseño Metodológico	30
4.1 Localización del área de estudio	30
4.2 Recolección de información	31
4.3 Diseño de la parcela	31
4.4 Establecimiento del diseño	33
4.5 Análisis de suelos y fertilización.	35
4.6 Toma de datos	35

4.7 Variables de reporte	36
4.7.1 Diámetro a la altura de cuello.	36
4.7.2 Altura Total.	36
4.7.3 Área de copa.	36
4.7.4 Índice de biomasa.	36
4.7.5 Volumen.	37
4.8 Modelos de crecimiento	37
4.9 Biomasa seca	37
4.10 Poder calorífico	38
4.11 Análisis estadístico	39
5. Resultados	39
5.1 Variables productivas	39
5.1.1 Diámetro a la altura de cuello en <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>Eucalyptus globulus</i>	39
5.1.2 Altura total, <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>Eucalyptus globulus</i>	43
5.1.3 Área de copa del <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>Eucalyptus globulus</i>	46
5.1.4 Índice de biomasa <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>Eucalyptus globulus</i>	49
5.1.5 Volumen, <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>Eucalyptus globulus</i>	51
5.2 Modelos de crecimiento	54
5.2.1 Modelos de crecimiento <i>Eucalyptus grandis</i>	55
5.2.2 Modelos de crecimiento <i>Eucalyptus globulus</i>	59
5.3 Determinación de biomasa seca	63
5.3.1 Método Biomasa <i>Eucalyptus grandis</i>	63
5.3.2 Biomasa <i>Eucalyptus globulus</i>	66

5.4 Poder calorifico del <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>Eucalyptus globulus</i>	68
6. Discusión.....	70
7. Conclusiones	71
8. Recomendaciones	71
Referencias Bibliográficas	73
Apéndices	77

Lista de Tablas

Tabla 1. Resultados para el establecimiento de la parcela tipo Nelder.	32
Tabla 2. ANDEVA diámetro a la altura del cuello, <i>Eucalyptus grandis</i>	40
Tabla 3. ANDEVA diámetro a la altura del cuello, <i>Eucalyptus globulus</i>	41
Tabla 4. ANDEVA altura total, <i>Eucalyptus grandis</i>	43
Tabla 5. ANDEVA altura total, <i>Eucalyptus globulus</i>	44
Tabla 6. ANDEVA Área de copa, <i>Eucalyptus grandis</i>	46
Tabla 7. ANDEVA Área de copa, <i>Eucalyptus globulus</i>	47
Tabla 8. ANDEVA Índice de biomasa, <i>Eucalyptus grandis</i>	49
Tabla 9. ANDEVA Índice de biomasa, <i>Eucalyptus globulus</i>	49
Tabla 10. ANDEVA Volumen, <i>Eucalyptus grandis</i>	52
Tabla 11. ANDEVA Volumen, <i>Eucalyptus globulus</i>	52
Tabla 12. Resumen de las características de las ecuaciones encuadradas dentro del Grupo 1	54
Tabla 13. Parámetros de los modelos de crecimiento no lineales de <i>Eucalyptus grandis</i>	55
Tabla 14. Límites para modelos de crecimiento <i>Eucalyptus grandis</i>	56
Tabla 15. Parámetros de los modelos de crecimiento no lineales de <i>Eucalyptus globulus</i>	59
Tabla 16. Límites para modelos de crecimiento <i>Eucalyptus globulus</i>	60
Tabla 17. ANDEVA Biomasa seca de la corteza, <i>Eucalyptus grandis</i>	63
Tabla 18. ANDEVA Biomasa seco del follaje, <i>Eucalyptus grandis</i>	63
Tabla 19. ANDEVA Biomasa seca de las ramas, <i>Eucalyptus grandis</i>	63
Tabla 20. ANDEVA Biomasa seca de albura – duramen, <i>Eucalyptus grandis</i>	64
Tabla 21. Biomasa seca en <i>Eucalyptus grandis</i>	64

Tabla 22. ANDEVA Biomasa corteza <i>Eucalyptus globulus</i>	66
Tabla 23. ANDEVA Biomasa Follaje <i>Eucalyptus globulus</i>	66
Tabla 24. ANDEVA Biomasa ramas <i>Eucalyptus globulus</i>	66
Tabla 25. ANDEVA Biomasa Albura - duramen <i>Eucalyptus globulus</i>	66
Tabla 26. Biomasa seca <i>Eucalyptus globulus</i>	67
Tabla 27. Poder calorífico del <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>Eucalyptus globulus</i>	69
Tabla 28. Cantidad de energía en <i>Eucalyptus grandis</i>	69
Tabla 29. Cantidad de energía en <i>Eucalyptus grandis</i>	69

Lista de Figuras

Figura 1. The pour polar-coordinate grinds..	26
Figura 2. Localización del área de estudio.	31
Figura 3. Diseño de espaciamiento circular de tipo Nelder.	34
Figura 4. Conglomerados jerárquicos	38
Figura 5. Diámetros a la altura de cuello <i>Eucalyptus grandis</i>	41
Figura 6. Desarrollo del diámetro a la altura de cuello <i>Eucalyptus grandis</i>	42
Figura 7. Desarrollo del diámetro a la altura de cuello del <i>Eucalyptus globulus</i> .	42
Figura 8. Altura total <i>Eucalyptus grandis</i>	44
Figura 9. Desarrollo de la altura total <i>Eucalyptus grandis</i> .	45
Figura 10. Desarrollo de la altura total del <i>Eucalyptus globulus</i>	45
Figura 11. Área de copa <i>Eucalyptus grandis</i>	47
Figura 12. Desarrollo del Área de copa del <i>Eucalyptus grandis</i> .	48
Figura 13. Desarrollo del Área de copa del <i>Eucalyptus globulus</i>	48
Figura 14. Índice de biomasa <i>Eucalytus grandis</i>	50
Figura 15. Desarrollo de Índice de biomasa <i>Eucalyptus grandis</i> .	50
Figura 16. Desarrollo de Índice de biomasa <i>Eucalyptus globulus</i>	51
Figura 17. Volumen, <i>Eucalyptus grandis</i> .	52
Figura 18. Desarrollo del volumen del <i>Eucalyptus grandis</i> .	53
Figura 19. Desarrollo del volumen en <i>Eucalyptus globulus</i>	53
Figura 20. Hosffeld I modificada, <i>Eucalyptus grandis</i>	57
Figura 21. Moiseev I, <i>Eucalyptus grandis</i>	57

Figura 22. Strand I, <i>Eucalyptus grandis</i>	58
Figura 23. Terazaki, <i>Eucalytus grandis</i>	58
Figura 24. Moiseev I, <i>Eucalyptus globulus</i>	61
Figura 30. Strand, <i>Eucalyptus globulus</i>	61
Figura 26. Terazaki, <i>Eucalyptus globulus</i>	62
Figura 27. Tretyakov, <i>Eucalyptus globulus</i>	62
Figura 28. Biomasa, <i>Eucalyptus grandis</i>	65
Figura 29. Biomasa, <i>Eucalyptus globulus</i>	68

Lista de Apéndices

Apéndice 1. Tablas de valores para <i>Eucalyptus grandis</i>	77
Apéndice 2. Tablas de valores para <i>Eucalyptus globulus</i>	78
Apéndice 3. Resultados TukeyHSD para el diámetro en <i>Eucalyptus grandis</i>	79
Apéndice 4. Resultados TukeyHSD para el diámetro en <i>Eucalyptus globulus</i>	80
Apéndice 5. Resultados TukeyHSD para la altura total en <i>Eucalyptus grandis</i>	81
Apéndice 6. Resultados TukeyHSD para la altura total en <i>Eucalyptus globulus</i>	82
Apéndice 7. Resultados TukeyHSD para el área de copa en <i>Eucalyptus grandis</i>	83
Apéndice 8. Resultados TukeyHSD para el área de copa en <i>Eucalyptus globulus</i>	84
Apéndice 9. Resultados TukeyHSD para el Índice de biomasa en <i>Eucalyptus grandis</i>	85
Apéndice 10. Resultados TukeyHSD para el Índice de biomasa en <i>Eucalyptus globulus</i>	86
Apéndice 11. Resultados TukeyHSD para el Volumen en <i>Eucalyptus grandis</i>	87
Apéndice 12. Resultados TukeyHSD para el Volumen en <i>Eucalyptus globulus</i>	88
Apéndice 13. Transporte de estacas y demás materiales para el cercado del diseño.	89
Apéndice 14. Cercado de la parcela	89
Apéndice 15. Trazado del diseño de siembra	90
Apéndice 16. Preparación del terreno	90
Apéndice 17. Trazado de cunetas.....	91
Apéndice 18. Plantación del <i>Eucalyptus grandis</i>	91
Apéndice 19. Plantación del <i>Eucalyptus globulus</i>	92
Apéndice 20. Seguimiento del <i>Eucalyptus grandis</i>	92

Apéndice 21. Seguimiento del <i>Eucalyptus globulus</i>	93
Apéndice 22. Primera limpieza del terreno	93
Apéndice 23. Preparación del fertilizante	94
Apéndice 24. Fertilización del <i>Eucalyptus grandis</i> y el <i>Eucalyptus globulus</i>	94
Apéndice 25. Medición de variables	95
Apéndice 26. <i>Eucalyptus globulus</i> después de la fertilización	95
Apéndice 27. <i>Eucalyptus grandis</i> después de la fertilización.....	96
Apéndice 28. Plateado de la plantación	96
Apéndice 29. <i>Eucalyptus grandis</i>	97
Apéndice 30. <i>Eucalyptus globulus</i>	97
Apéndice 31. Medición de variables en <i>Eucalyptus grandis</i>	98
Apéndice 32. Medición de variables en <i>Eucalyptus globulus</i>	98
Apéndice 33. Diseño de espaciamiento circular en <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>E. globulus</i>	99
Apéndice 34. Aprovechamiento de <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>E. globulus</i>	100
Apéndice 35. Separación del <i>Eucalyptus grandis</i> , por componente	100
Apéndice 36. Separación del <i>Eucalyptus globulus</i> , por componente	101
Apéndice 37. Pesado de muestras del <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>Eucalyptus globulus</i>	102
Apéndice 38. Secado en horno de las muestras, su respectivo pesaje después de 24 horas ..	103
Apéndice 39. Biomasa de <i>Eucalyptus grandis</i>	103
Apéndice 40. Biomasa de <i>Eucalyptus globulus</i>	104
Apéndice 41. Muestras de <i>Eucalyptus grandis</i> pulverizadas para prueba de calorimetría	104
Apéndice 42 Muestras de <i>Eucalyptus globulus</i> pulverizadas para prueba de calorimetría ..	105

Apéndice 43. Laboratorio de suelos de La finca de la Universidad.....	106
---	-----

RESUMEN

TÍTULO: “EVALUACIÓN DEL DESARROLLO INICIAL DEL *Eucalyptus globulus* Y *Eucalyptus grandis*, BAJO UN DISEÑO DE ESPACIAMIENTO CIRCULAR DE TIPO NELDER EN EL MUNICIPIO DE MÁLAGA – SANTANDER” *

AUTORES: ADRIANA MILENA HERRERA TUTIRA**

PALABRAS CLAVES: BIOMASA, MODELOS DE CRECIMIENTO Y BIOENERGIA

DESCRIPCIÓN:

La implementación de plantaciones bioenergéticas de forma sostenible es una de las necesidades más importantes que se deben abarcar en las zonas rurales. En el presente estudio se lleva a cabo un diseño de espaciamiento circular de tipo Nelder bajo 8 densidades de plantación para las especies de *Eucalyptus grandis* y *E. globulus*, con el objetivo de evaluar su desarrollo inicial durante 8 meses de establecidas en la finca de la Universidad Industrial de Santander – Sede Málaga. Para evaluar cada una de las variables se realizó el test de Tukey en el software R-Project, el cual mostró que el *Eucalyptus grandis* presentó diferencias significativas entre las densidades de 2,500 y 15,000 árboles por hectárea, donde las variables de diámetro a la altura de cuello, altura total, área de copa, índice de biomasa y volumen presentaron mayor desarrollo en las densidades de 15,000 árboles por hectárea, en cuanto el *Eucalyptus globulus* no presentó diferencias significativas. Para la determinación de biomasa se realizó un análisis estadístico multivariable en software R-Project del índice de biomasa para la selección de las muestras, después de procesadas en laboratorio se mostró que no presentaron diferencias estadísticas en los componentes (ramas, corteza, follaje y albura – duramen) para ninguna de las especies, pero se determinó que la especie con mayor biomasa fue el *Eucalyptus globulus*. En cuanto a los modelos de crecimiento no lineales se determinó que el modelo que mejor se ajustó de acuerdo al AIC fue Moisev I en *E. grandis* y Moisev I par *E. globulus*. Se determinó que pese a que el *Eucalyptus grandis* presenta el mayor poder calorífico la especie con mayor potencia en bioenergía es el *Eucalyptus globulus* ya que presenta mayor biomasa por hectárea plantada.

*Trabajo de grado

** Instituto de Proyección Regional y de Educación a Distancia IPRED. Programa de Ingeniería Forestal. Director: Jorge Andrés Rodríguez Toro, PhD en Ciencias Forestales.

ABSTRACT

TÍTULO: " INITIAL DEVELOPMENT EVALUATION OF EUCALYPTUS GLOBULUS AND EUCALYPTUS GRANDIS, UNDER A CIRCULAR SPACING DESIGN OF THE NELDER TYPE IN THE MUNICIPALITY OF MÁLAGA - SANTANDER " *

AUTHORS: ADRIANA MILENA HERRERA TUTIRA**

KEY WORDS: BIOMASS, GROWTH MODELS AND BIOENERGY

DESCRIPTION:

The implementation of bioenergetic plantation in a sustainable way is one of the most important ways that should be covered in rural areas in the present study, a circular spacing design of the Nelder type is carried out under 8 planting densities for the species *Eucalyptus grandis* and *E. globulus*, with the objective of evaluating its initial development during 8 months of establishment in the farm of the Industrial University of Santander – Málaga. To evaluate each of the variables, the Tukey test was performed in the R-project software, which showed that the *Eucalyptus grandis* has significant differences between the density of 2500 and 15000 trees per hectare, where the variables of diameter at neck height, total height, canopy area, biomass index and volume presented greater development in the densities of 15000 trees per hectare since the *Eucalyptus globulus* did not show significant differences. For the determination of biomass a multivariate statistical analysis was performed in R-project software of the biomass index for sample selection after being processed in the laboratory it was shown that there were no statistical differences in the components (branches, bark, foliage and sapwood – heartwood) for any of the species with the greatest biomass was the *Eucalyptus globulus*. Regarding the non-linear growth models, it was determined that the model that best fit according to the AIC was Moisev I in *E. grandis* with Moisev I par *E. globulus*. It was determined that despite the fact that the *Eucalyptus grandis* has the highest calorific power, the species with the greatest potency in bioenergy is the *Eucalyptus globulus*, since it has more biomass per planted hectare.

*Bachelor Thesis

** Instituto de Proyección Regional y de Educación a Distancia IPRED. Programa de Ingeniería Forestal. Director: Jorge Andrés Rodríguez Toro, PhD en Ciencias Forestales.

Introducción

El género *Eucalyptus* corresponde a la familia *Mirtáceas* con más de 600 especies, originarias de Australia e islas colindantes, estas especies se desarrollan en gran variedad de condiciones ambientales, lo cual genera una alta adaptabilidad de estas en diferentes regiones del mundo, con alturas de tipo arbustivas de un metro hasta grandes alturas arbóreas de cuarenta y cinco metros (Fernandez & Silva, 2016). Los principales usos de estas especies en la industria son: la madera en rollo, aserrada, pulpa para papel, paneles a base de madera y bioenergía (FAO, 2017), por sus altos rendimientos económicos y comerciales (Martínez, Azpiroz, Rodriguez, Centria, & Gutierrez, 2006) En este último uso, la producción de biomasa para energía se genera en plantaciones de corta rotación y altas densidades (Esquivel et al., 2016).

En el presente estudio se propone la evaluación de plantaciones de altas densidades en turnos de corta rotación, mediante un diseño de espaciamiento circular de tipo Nelder para las especies de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus grandis*.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar el desarrollo inicial del *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus grandis*, en un diseño de espaciamiento circular tipo Nelder, en plantaciones de alta densidad y turnos de corta rotación en el municipio de Málaga – Santander.

1.2 Objetivos Específicos

Identificar la densidad optima de siembra por hectárea, para las especies de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus grandis*, en el municipio de Málaga – Santander, en sus primeros estadios de crecimiento.

Evaluar las especies de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus grandis* con base a su poder calorífico y producción de biomasa.

2. Hipótesis

Dado que las especies de *Eucalyptus* presentan una alta productividad de biomasa y poder calorífico, *además* de poseer una alta adaptabilidad a las condiciones de la región, *entonces* deberían ser evaluados diseños de plantación en alta densidad y en turnos de corta rotación, para fines de producción energética para la región.

3. Marco Referencial

3.1 Marco conceptual

3.1.1 Plantación forestal. Las plantaciones forestales corresponden a bosques cultivados, las cuales desempeñan una función relevante en el conflicto entre el hombre y el medio ambiente, ya que estas ofrecen beneficios directos e indirectos: ayudan a disminuir la presión sobre los bosques naturales, permiten la recuperación de suelos, la acumulación de carbono, mejoran las condiciones paisajísticas, aumentan la biodiversidad y el crecimiento de la dinámica ecológica, entre otras (Alice, Montagnini, & Montero, 2004). A su vez, permiten reducir la escorrentía y acrecentar la infiltración, permitiendo la recarga hídrica original (Schlichter & Laclau, 1998). Según Aguirre (2015) el manejo forestal en este siglo se basa en la sostenibilidad para asegurar la producción de

los diferentes bienes y servicios a partir de ecosistemas forestales, de manera óptima para el desarrollo económico, social y el estado de la plantación.

3.1.2 Plantaciones forestales a nivel mundial. En la evaluación de los recursos forestales mundiales (MacDicken et al., 2016), se identificó que en los últimos 25 años (a diferencia de 1990) el mundo tenía 4,128 millones de hectáreas de bosque y paso en 2015 a 3,999 millones de hectáreas. Estos 129 millones de hectáreas representan una tasa anual de pérdida de 0.13 por ciento de los cuales el detrimento más grande ocurrió en los trópicos, especialmente en América del Sur y en África. Según Mac Dicken et al. (2016), a partir de la evaluación 234 países en recursos forestales los países con mayor riqueza forestal son Rusia, Brasil, Canadá, Estados Unidos de América y China.

Según Mac Dicken et al. (2016) en el 2011 las extracciones mundiales de madera fueron cerca de 3,000 millones de m³, que equivalen a alrededor del 0.6 por ciento de las existencias en formación, en los cuales los cuatro países con mayor extracción de madera son: India, Estados Unidos de América, Brasil y Rusia; cada uno con una extracción de madera de 434766, 324433, 228929 y 197000 miles de m³, respectivamente, y con un porcentaje total de extracción de madera para combustible de madera de un 88,6 % para la India, un 12,5 % para Estados Unidos de América, un 50,7 % para Brasil y un 22,2 % para Rusia.

3.1.3 América latina y el caribe en el área forestal. La cobertura forestal en la región Latinoamericana y el Caribe conforman un 45 por ciento de su área, pero también tiene unas de las más altas tasas de deforestación, con una tasa anual de 0.45 por ciento en el mundo; solo superado por África por lo cual se estima que la pérdida de biomasa forestal en los últimos 20 años

es del 7.85 por ciento (Sanhueza & Antonissen, 2014). En América del Sur se encuentran la mayor área de bosque tropical, ya que en esta se encuentra la cuenca del Amazonas, generando así en la región una alta biodiversidad de flora y fauna, sumado a los diferentes pueblos indígenas que habitan estas áreas (Cordero, 2011).

En la industria se pueden identificar productos claves como los son: la madera en rollo, madera aserrada, pulpa para papel, paneles a base de madera y biomasa. La producción de madera en rollo y aserrada en el Caribe y América central mantuvieron una producción constante entre 1990 y 2005, luego por la crisis mundial financiera del 2007 su producción no se ha podido recuperar. Mientras que para América de sur la producción de madera en rollo y de aserrada han tenido un crecimiento constante junto a las plantaciones forestales, pero cabe destacar que la madera en rollo tiene mayor de producción por ser una materia prima para fabricar más productos. La pulpa para papel tiene una mayor producción en Sudamérica con un total hasta de 26,6 millones de toneladas hasta el 2015 siempre en un continuo crecimiento desde 1990; mientras que para el Caribe y Centro América su producción es menor y disminuyó para este periodo (FAO, 2017).

Las plantaciones dendroenergéticas brindan la madera como biomasa junto a ramas o corteza para producir biocombustibles y así poder obtener bioenergía, junto a los residuos pos cosecha y cultivos energéticos estos materiales son los más promisorios en el uso en energías sostenibles, (Paneque et al., 2011). La biomasa en países desarrollados es usada como fuente de energía en las grandes industrias y es transformada en electricidad mientras en los países en proceso de desarrollo la biomasa se usa como energía en los hogares, especialmente en el sector rural para las estufas de leña; Los cultivos bioenergéticos pueden generar grandes beneficios económicos y sociales siempre y cuando se implementen de manera adecuada (Hazell & Pachauri, 2006). Entre las densidades más usadas para plantaciones dendroenergéticas están las de 5000,

10000, 15000 y 20000 árboles por hectárea, (Rodríguez, Acuña, Cancino, Muñoz, & Rubilar, 2013),(Salazar, 2016).

3.1.4 Actualidad de las plantaciones forestales en Colombia. PROFOR (2017a) registró un aumento de plantaciones forestales comerciales con respecto al 2002 , pues se estima que actualmente se cuenta con 310000 hectáreas de plantaciones forestales siendo la especie *Pinus sp* la más representativa del país, ocupando un área de 108.060 hectáreas seguida de la especie *Eucalyptus sp*, *Acacia mangium*, *Tectona grandis*, *Gmelina arborea* y otros con una presencia de 57447, 36986, 30045, 25317 y 52282 hectáreas, respectivamente; en términos de volumen potencial de cosecha se tiene que para el 2006 fue de 18,7 millones de m³ aunque para el periodo de 2017 a 2022 presentara una reducción de producción en donde se incrementara partir del 2023 hasta el 2029 el mercado con un aumento superior de 5 millones de m³, el cual decaerá nuevamente a 3.4 millones de m³, esta información basada en las edades de las plantaciones actuales (PROFOR, 2017a).

Para el año 2013 el consumo de productos de madera en país aumento a más de 5 millones de m³ en productos como madera rolliza, leña entre otros, de los cuales el 35 por ciento fueron productos elaborados y semielaborados importados. En cuanto a la producción en el 2015 se movieron entre 2,7 y 2,9 millones de m³; lo cual indica que en los próximos años se presentara un déficit en la producción para gran parte de la industria, afectando a pequeños y medianos productores. En cuanto a la pulpa de papel las industrias estas cuentan con condiciones para mejorar sus capacidades de producción a corto y mediano plazo ya que cuentan con reservas importantes de materia prima.

En el estudio titulado Madera, un potencial material lignocelulósico para la producción de biocombustibles de Colombia (Gómez, Ríos, & Peña, 2012), se identificó que aproximadamente la mitad del área reforestada en Colombia está formada por plantaciones de *Pinus patula*, *Pinus caribaea* y *Eucalyptus grandis*. En cuanto a las especies con los más altos rendimientos están el *Pinus patula*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Eucalyptus grandis*, y en cuanto especies con el más elevado contenido de celulosa están el *Pinus caribaea*, *Pinus patula* y *Eucalyptus camaldulensis*, por lo cual Gómez et al. (2012), concluyen que gracias a estos desarrollos en eucalipto y pino Colombia debe tomar como ventaja estos resultados e implementar reforestaciones comerciales con estas especies.

3.1.5 Plantaciones forestales de *Eucalyptus*. El género *Eucalyptus* pertenece a la familia *Mirtaceae* y subfamilia *Leptospermoide* con aproximadamente más de 600 especies con altas facilidades de adaptación a diferentes regiones (Fernandez & Silva, 2016), estas en su mayor parte junto a subespecies son endémicas de Australia e islas cercanas. Las especies de este género son de las más plantadas por sus rendimientos económicos, comerciales y su impacto en las selvas naturales ya que por su cultivo se disminuye la presión de explotación de estas áreas, (Martínez et al., 2006). Los principales usos de estas especies en la industria de productos son: la madera en rollo, aserrada, pulpa para papel, paneles a base de madera y para bioenergía (FAO, 2017). Las especies más conocidas de este género son: *Eucalyptus grandis* cultivada principalmente en América del sur y África, *Eucalyptus globulus* usada principalmente en Chile, Argentina y otros países, y *Eucalyptus deglupta* plantada principalmente en Uruguay y Costa Rica (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal & Forest Monoforing for REDD+ Costa Rica, 2015).

En cuanto a Colombia las áreas totales de plantaciones de especies de este género corresponden a 57 mil hectáreas para el 2016 ocupando el segundo lugar, en primer lugar está el Pino con 180 mil hectáreas, . En la industria maderera de Colombia la mayor demanda se encuentra en sector doméstico y aunque se cuente con un área aproximada de 340 y 360 mil hectáreas plantadas, estas apenas alcanzan para cubrir la demanda doméstica, limitando aún más las exportaciones sumado a los costos de materia prima. Los más representativos mercados domésticos y externos son: la construcción, muebles, pulpa y papel, embalajes de madera, servicios ambientales y biomasa de madera (PROFOR, 2017).

3.2 Revisión de literatura

Nelder (1962) presentó cinco diseños para facilitar la evaluación de espaciamiento, de los cuales, cuatro corresponden a diseños circulares con radios y arcos de círculos concéntricos, un diseño más con rejillas rectangulares. Estos diseños se caracterizan principalmente por presentar una malla de puntos donde cada uno es la posición de una planta y la propiedad de tener una rectangularidad definida para cada espaciamiento en una relación dada por el numerador que indica longitud de arco y denominador que es la longitud radial para las parcelas circulares, lo cual a la hora de diseño indican que los rayos son las densidades de plantación por hectárea y lo arcos las réplicas de estas densidades.

En los diseños circulares propuestos por Nelder (1962), están: 1) de forma fija y el área aumenta con los radios (Figura 1-a), 2) área fija que cambia de forma con el radio (Figura 1-b), 3) circuitos integrados de áreas equivalentes con líneas de contorno vertical (Figura 1-c) y 4) áreas equivalentes

contornos iguales a los radios e igualdad de curvas de nivel iguales a las líneas verticales (Figura 1-d).

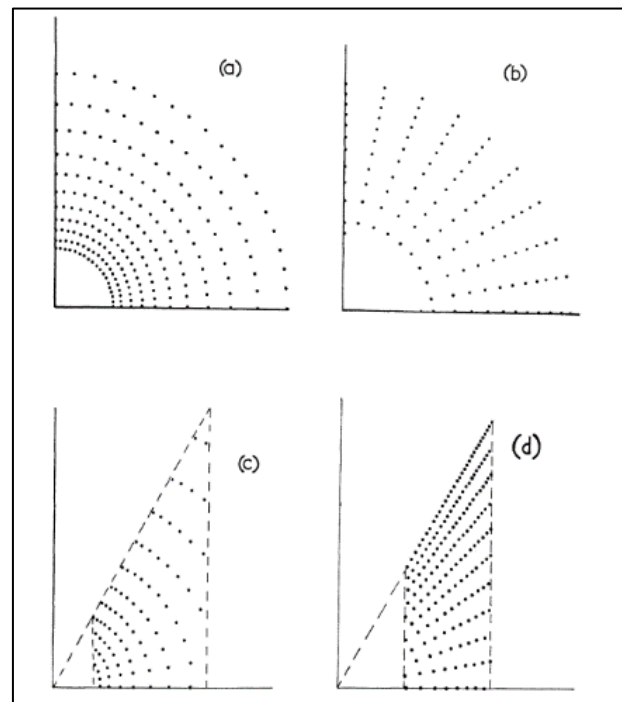


Figura 1. The four polar-coordinate grinds. Adaptado de Nelder, J. (1962). New kinds of systematic designs for spacing experiments. *Biometrics*, 18(3), 283-307.

Para la aplicación de los diseños Nelder, los autores Parrott, Brinks & Lhotka (2012), identificaron que en la aplicación de estos en investigación, la literatura muestra confusión ya que se presentan dos metodologías de diseño, una en la que se aplican ecuaciones basadas en trigonometría para realizar el diseño y las otras son las ecuaciones que señala Nelder (1962). Ya que en los diseños realizados no se muestran mucha información con respecto a la forma de realización estos diseños.

En Prieto, Bravo & Díez (2012) con el fin de evaluar la adaptación de los bosques atlánticos frente a los efectos del cambio climático participaron1 instituciones de diferentes países de la

Unión Europea en la que se seleccionaron 31 especies de importancia forestal para ser plantados en 37 arboletos distribuidos en diferentes zonas, en los cuales dentro de cada arboletos se evaluaron 9 procedencias instalando un bloque de 12 plántulas por unidad genética. Con una densidad de 1111 plantas por hectárea en un sistema de 3 por 3. Estas zonas de demostración se basaron en “anillos de Nelder” en los cuales varían las formas y las áreas (Nelder, 1962), se plantaron dos especies variando su grado de composición en los distintos cuadrantes y en cuatro “anillos de Nelder”. Estos experimentos de demostración permitirían tener resultados en densidad, compasión y la influencia de la densidad de siembra en mortalidad, tamaño, daños fitosanitarios y asignación de biomasa para cada individuo.

Cameron, Rance, Edwards & Jones (1994), desarrollaron un diseño de rueda Nelder para evaluar un sistema de árbol-pastura en un ambiente subtropical de Australia, en el cual se plantó *Eucalyptus grandis* en una pastura *Setaria sphacelata* cv. Pasto “Kazungula”, las densidades de *Eucalyptus grandis* estaban entre 3580 y 42000 árboles por hectárea. En la fertilización el Kazungula recibió nitrógeno, fosforo, y potasio en los primeros 15 meses con corta periódicamente y el *Eucalyptus grandis* recibió esta misma fertilización más otros nutrientes los 6 primeros meses. Los árboles se evaluaron en promedio cada 6 semanas por tres años y los pastos 2 veces al año; dando como resultado principalmente que con podas después del cuarto o quinto año se pueda culminar entre 50 y 80 árboles por hectárea para obtener una buena producción de pastura e implementar pastoreo cuando los árboles sobrepasan los 5 y 6 metros.

Ortiz (1984) realizó la evaluación de nueve especies diferentes para cada localidad bajo nueve espaciamientos en una parcela circular Nelder tipo 1a, en tres localidades de Costa Rica donde cada especie se plantó a lo largo de cinco radios consecutivos durante un periodo de 8 meses. En este ensayo las variables que se tuvieron en cuenta fueron: altura total, diámetro a cuello del tallo,

largo de copa y el ancho promedio de copa. Como resultado se obtuvo que, para todas las especies y sitios, a mayor espaciamiento los diámetros del tallo, largo de copa y diámetro de copa fueron mayores, mientras que para las alturas totales durante el tiempo de toma de datos las mayores alturas se desplazaron desde las mayores densidades hacia las menores densidades de siembra por hectárea. Y la variable con mayor respuesta en el ensayo con respecto a las densidades fue el diámetro.

Redmond, Gallagher & Mac Siúrtain (2005) realizó un análisis de los diseños de tipo Nelder y trabajos de investigación en los que se utilizaron, enfocándose en este caso en el experimento del bosque Ballyhours de Irlanda donde en 1966 se implementaron dos ensayos con dos especies diferentes, los cuales aún se encuentran a la edad de rotación, para el año 2003 se estimó un rendimiento de $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Estos Nelder tiene cuatro cuadrantes donde dos corresponden a cada diseño de tipo 1a y 1b. En este caso solo se tuvieron en cuenta un cuadrante para cada diseño. Para el tipo 1-a, el espaciamiento de los árboles aumenta desde adentro hacia afuera, de 0.4 m^2 a 25 m^2 por árbol y en el tipo 1-b el espacio creciente se mantiene constante en 9.29 m^2 ($1,000$ tallos ha^{-1}). En forma general se concluyó que la densidad tiene un alto efecto en las características medidas, excepto el factor forma y que en altas densidades el diámetro es reducido y la altura alta.

Ferrere et al. (2003) en un estudio Nelder que implementó en 1993 concluyó que al incrementar la densidad de siembra el diámetro disminuyó y el área basal se incrementó, luego Ferrere et al. (2005), haciendo seguimiento en la Provincia de Buenos Aires del diseño Nelder modificado en el que la distancia de radios es paralela y constante de 3 metros convirtiéndose en una fila de plantación con un área total de 4282 m^2 . En este se evaluó la especie de *Eucalyptus globulus* en 9 densidades de siembra que se encontraban entre los 582 y 2,083 árboles por hectárea, por un periodo de 10 años. Concluyeron que al aumentar los espaciamientos de siembra el diámetro

aumentó mientras la altura no obtuvo un buen crecimiento y con respecto al área basal esta fue alta en los espaciamientos intermedios, recomiendan para plantaciones de *Eucalyptus glóbulus* una densidad de 1095 plantas por hectárea para un óptimo desarrollo.

El *Eucalyptus grandis* Hill Vasquez & Navarro (1993), en un ensayo Nelder tipo 1-a identificó que la mejor densidad de siembra para esta especie oscilaba entre los 1111 y 1225 árboles por hectárea; este estudio lo realizó en Costa Rica junto a la especie de *Pinus Caribaea* para un total de 13 espaciamientos que se encontraban entre los 168 y 7500 árboles por hectárea.

3.3 Marco legal

Colombia. Congreso de la Republica. Decreto 2811 (18, diciembre, 1974), **el** cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Bogotá D. C. 1974.

Colombia. Congreso de la Republica Ley 99 (22, diciembre, 1993), Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Bogotá D. C. 2003.

Colombia. Congreso de la Republica. Ley 139 (21, junio, 1994), Por la cual se crea el Certificado de Incentivo Forestal y se dictan otras disposiciones. Bogotá D. C. 2003.

Artículo 6: Administración de los recursos.

Colombia. Congreso de la Republica Ley 1286 (23, enero, 2009), Por la cual se modifica la Ley 29 de 1990, se transforma a Colciencias en Departamento Administrativo, se fortalece el Sistema

Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Colombia y se dictan otras disposiciones. Bogotá D. C. 2009.

Colombia. Congreso de la Republica Decreto 1076 (26, mayo, 2015), Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá D. C. 2015.

Colombia. Congreso de la Republica. Decreto 1351 (22, agosto, 2016), Por el cual se adiciona un capítulo al Libro 2, Parte 2, Título 3, del Decreto 1074 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Comercio, Industria y Turismo, y se dictan otras disposiciones.

4. Diseño Metodológico

4.1 Localización del área de estudio

La parcela circular de tipo Nelder se localizó en la vereda Pescaderito, en el predio denominado “Finca UIS” de la Universidad Industrial de Santander Sede – Málaga, a una distancia de 7 km del casco urbano del municipio, esta se encuentra a una altitud de 2,744 msnm con una temperatura promedio de 13 grados centígrados y na precipitación promedio entre 1,64y 1,660 mm. La geomorfología corresponde a lomas, con un uso potencial al sector agroforestal con la principal aplicación de sistemas agrosilvopastoriles, actual correspondiente a territorios agrícolas principalmente de pastos limpios (Alcaldía Málaga, 2015).

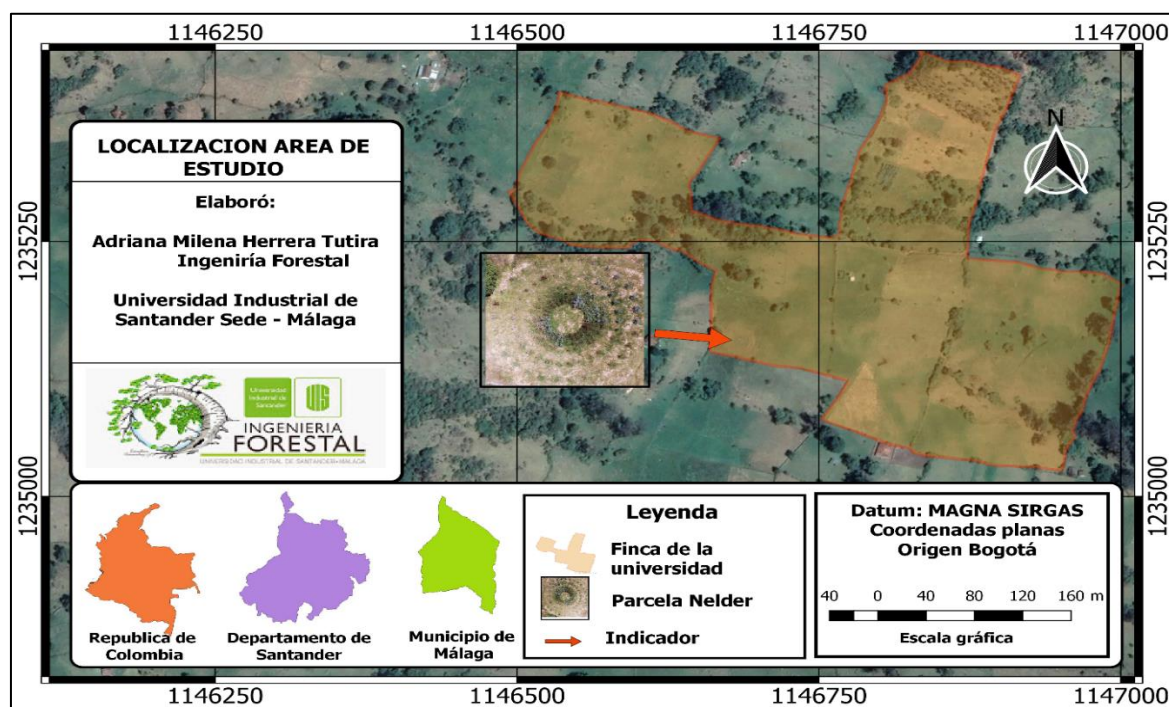


Figura 2. Localización del área de estudio.

4.2 Recolección de información

La información primaria se recolectó mediante la toma de datos en campo, la información secundaria se obtuvo por consulta en la base de datos del Plan de Ordenación Territorial del Municipio de Málaga (Alcaldía Málaga, 2015) e información cartográfica que sirvió para realizar la delimitación del área de estudio con el software libre QGIS.

4.3 Diseño de la parcela

El diseño de esta parcela se realizó de forma trigonométrica como adaptación a los diseños de tipo Nelder 1962 de la siguiente forma:

$$\text{Distancia} = \frac{100}{\sqrt{\text{Densidad}}}$$

$$\text{Arco} = \text{Distancia} \times \text{El numero de individuos}$$

$$\text{Radio} = \frac{\text{Arco}}{2 \times \pi}$$

Este diseño tiene 30 radios cada uno con una inclinación de 12° con respecto al anterior radio y ocho densidades de siembra representadas en cada una de las circunferencias, donde las densidades más altas se encuentran en el centro del diseño y estas van disminuyendo a medida que se alejan de este. Cada densidad está formada por 30 plantas las cuales se encuentran divididas en 15 individuos para *Eucalyptus grandis* y 15 para *E. globulus*, para un total de 240 árboles para las 8 densidades, *Figura 3*.

Tabla 1.

Resultados para el establecimiento de la parcela tipo Nelder.

Tratamiento	Densidad	Distancia (m)	Arco (m)	Radios (m)
T1	1250	2.83	84.85	13.50
T2	2500	2.00	60.00	9.55
T3	5000	1.41	42.43	6.75
T4	7500	1.15	34.64	5.51
T5	10000	1.00	30.00	4.77
T6	12500	0.89	26.83	4.27

Tratamiento	Densidad	Distancia (m)	Arco (m)	Radios (m)
T7	15000	0.82	24.49	3.90
T8	17500	0.76	22.68	3.61

El cálculo del arco para cada densidad se realizó para 30 individuos

4.4 Establecimiento del diseño

Como primera medida se realizó el cercado de la parcela con alambre, grampas y estacas para la protección del diseño. Para el trazado del diseño se utilizó un Teodolito, un jalón, una pita marcada con las distancias de cada uno de los radios definidos para el diseño y estacas para marcar los puntos de siembra, se inicia el trazado con la ubicación de una estaca y nivelación del teodolito en la mitad de la parcela, desde este punto se inicia la proyección del primer radio en dirección a la norte y los radios siguientes cada 12 grados uno con respecto al otro en dirección a las manecillas del reloj, sujetando la pita al centro de nivelación del teodolito y al jalón mientras se marcan los puntos de siembra. La siembra se realizó con un ahoyado de 30*30*40 Cm, y un plateado de 60 cm a la redonda para cada individuo.

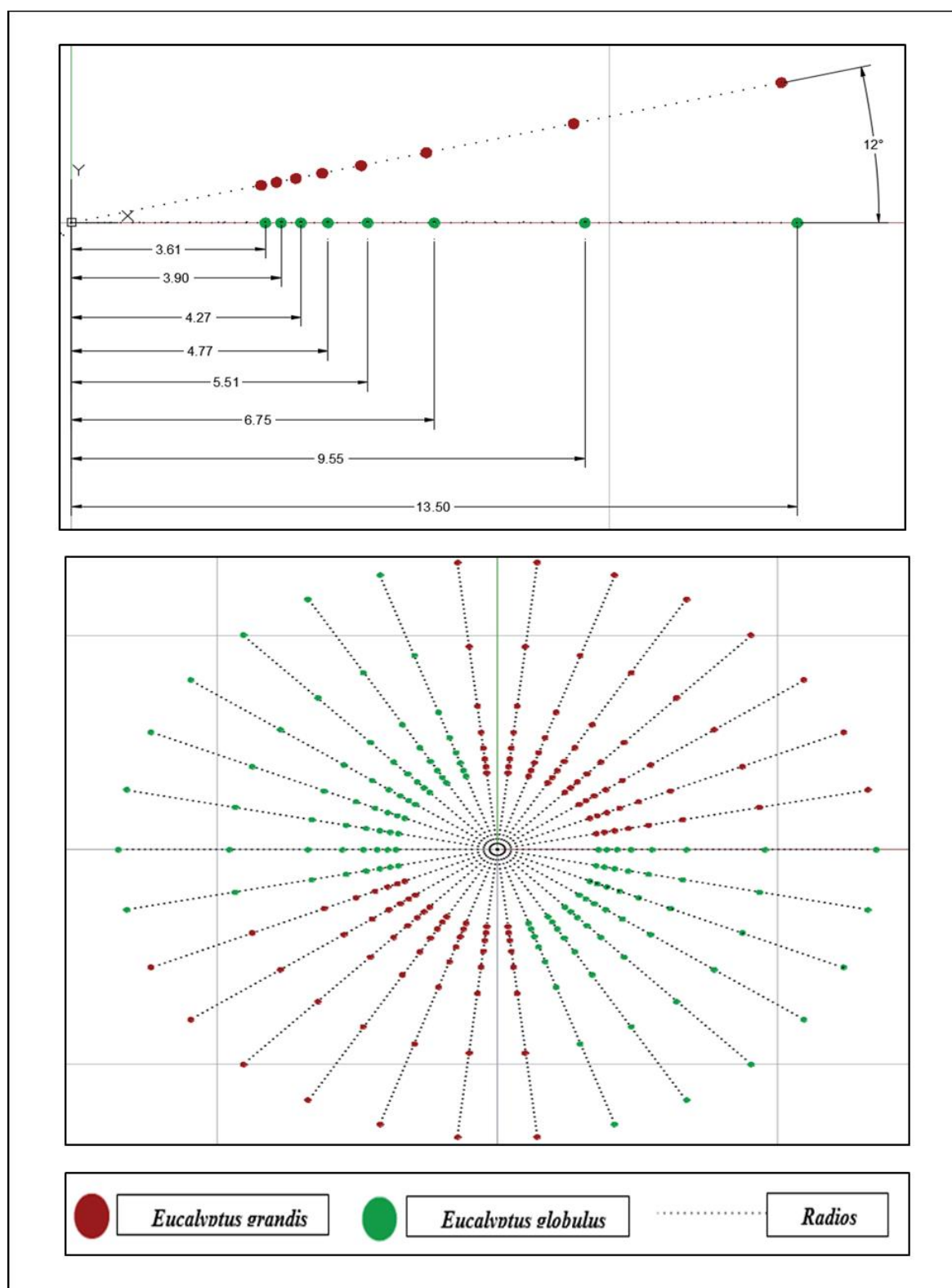


Figura 3. Diseño de espaciamiento circular de tipo Nelder.

4.5 Análisis de suelos y fertilización

La fertilización se realizó de acuerdo a un análisis de suelos del predio, por lo cual las fertilizaciones se realizaron de la siguiente manera:

La primera fertilización se realizó a los 125 días de establecida la plantación de la siguiente manera: Se utilizó un 1 kilo de DAP (Fosfato de Amonio Dibasico), dos kilos de Nitrato de Potasio (KNO_3), una libra de Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), dos kilos de sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y un kilo de Boro, estos se disolvieron en 192 Litros de agua ya que se aplicó para cada planta 800 Cm^3 ; más 10 gramos de elemento menores con el producto (que contenía: 8% Nitrógeno, 5% Fosforo asimilable y 6% Magnesio soluble) para cada planta, para un total de 2.4 kilogramos ,ver Apéndice 23. La segunda aplicación se realizó a los 210 días de la plantación con la mismos elementos y dosis, exceptuando el Nitrato de Potasio ya que de este se disolvieron cuatro kilos, ya que se presentó deficiencia de nitrógeno y el agua se aumentó a 240 litros, para aplicar litro por planta, Apéndice 24.

4.6 Toma de datos

La recolección de datos se realizó cada 15 días a partir del establecimiento de la parcela, la cual se implementó el 8 de mayo del 2018 y finalizo el día 17 de enero del 2019 para un total de 15 visitas al área de estudio, Para el registro de datos se diseñaron dos formularios, uno para la recolección de información en campo en la cual se registraban el Dac (diámetro a la altura de cuello), Ht (altura total) y diámetros de copa, estos se complementaron con fecha, densidades

evaluadas, número de formulario, responsables y observaciones del sitio, y el segundo formulario corresponde a la determinación de biomasa en laboratorio; en este se registraron el tipo de componente (hojas, ramas, albura – duramen y corteza), peso húmedo total, peso húmedo de la muestra, peso seco de la muestra y peso seco total, complementado con especie, responsables y hora de inicio y finalización de las muestras en cámara de secado.

En cada visita se obtuvo registro de cada uno de los individuos en campo, que corresponden a un total de 240 árboles, divididos en 120 de *Eucalyptus grandis* y 120 de *Eucalyptus globulus*.

4.7 Variables de reporte

4.7.1 Diámetro a la altura de cuello. La toma de este dato se realizó a 1 centímetro de altura, con un calibrador digital que registra hasta dos decimales de milímetros.

4.7.2 Altura Total. La medición se realizó desde el cuello de la raíz hasta el ápice, con un metro de cinta metálica.

4.7.3 Área de copa. La medición de esta variable se realizó con dos medidas, una con dirección norte-sur y la oriente – occidente, con un metro de cinta metálica.

4.7.4 Índice de biomasa. Para este se utilizaron las variables de diámetro a la altura de cuello y altura total, la fórmula utilizada es la siguiente:

$$\text{Indice de biomasa} = dac^2 \times ht$$

Dac = Diámetro a la altura de cuello

Ht = altura total

4.7.5 Volumen. Para el cálculo de esta se utilizó el índice de biomasa en la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen} = \text{Índice de biomasa} \times 0,6$$

4.8 Modelos de crecimiento

Kiviste, González, Alboreca & González (2002) presentaron un resumen de modelos de crecimiento en el ámbito forestal, de los cuales se trabajó desde el grupo uno hasta el grupo cuatro en su primera parte y así determinar los modelos con mayor convergencia para las especies de *Eucalyptus grandis* y *E. globulus* con sus respectivas densidades, las variables utilizadas para los modelos fueron: Diámetro a la altura de cuello y altura total.

4.9 Biomasa seca

Para la determinación de biomasa se tomaron tres plantas por densidad para cada especie a través del método de Ward. Con este se identificaron los conglomerados de biomasa con los valores más altos, medianos y bajos, de los cuales se seleccionaba el individuo dominante; Se obtuvieron 24 individuos por especie para un total de 48 individuos, el aprovechamiento de estos individuos se

realizó a 10 centímetros de altura. Los individuos fueron llevados a laboratorio donde se separaron por componente (ramas, corteza, albura – duramen y follaje), estos se pesaron en una balanza digital para tener el peso en verde, luego se sacaron muestras en bolsas de papel para ser sacadas en horno durante 26 horas a 65 grados centígrados. Luego de este tiempo las muestras secas se pesaron nuevamente para determinar posteriormente el peso del componente en seco.

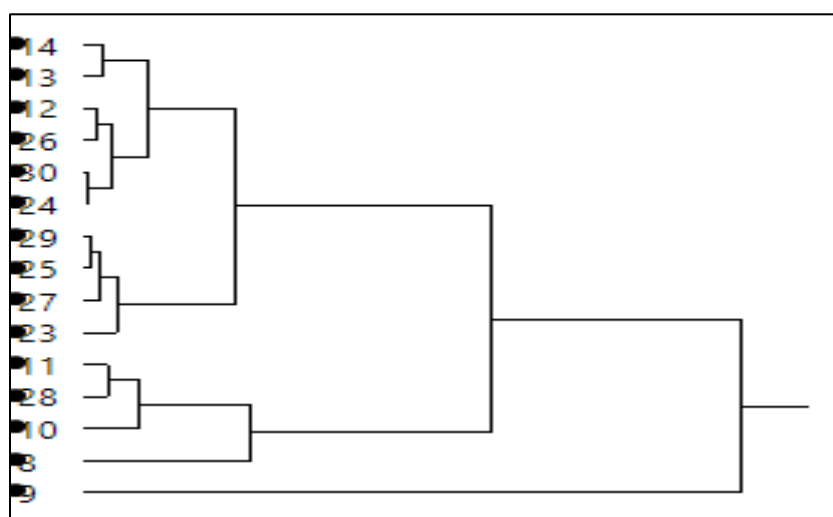


Figura 4. Conglomerados jerárquicos

4.10 Poder calorífico

Para determinar el poder calorífico se tomaron muestras por componentes secos y se mezclaron entre densidades de la misma especie, las cuales posteriormente se pulverizaron para realizar la prueba de calorimetría (parr).

4.11 Análisis estadístico

Este análisis incluye las relaciones de crecimiento para cada una de las densidades. Las relaciones que se hicieron fueron de diámetro a la altura de cuello, altura total, área de copa, índice de biomasa, volumen, biomasa, modelos de crecimiento y datos obtenidos del laboratorio de colorimetría, para todos estos datos estadísticos se utilizó el software libre R –Project.

Los registros de las variables analizadas se sometieron a un análisis de varianza (ANDEVA) las cuales al presentar diferencias ($P < 0.05$) se utilizó la prueba de Tukey ya que permite el encontrar altas diferencias, identificarlas y calcular intervalos de confianza, (Abdi & Williams, 2010) . En cuanto a la selección del mejor modelo se usó el criterio de información de Akaike (AIC), el cual indica que el modelo que mejor ajusta presentando el menor valor, (Martinez et al., 2009).

5. Resultados

5.1 Variables productivas

5.1.1 Diámetro a la altura de cuello en *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus*. Los valores dimétricos registrados para el *Eucalyptus grandis*, presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) ver Tabla 2, entre las densidades 2500 y 15000 árboles por hectárea Figura 5. La

densidad de 15000 árboles por hectárea presento los diámetros a la altura del cuello más altos con un promedio final en diámetros de 1.55centímetros, con un incremento total promedio de 1.39 centímetros con respecto a su primer registro. En cuanto a la densidad de 2500 árboles por hectárea, presentó el menor desarrollo con un promedio final en el diámetro de 1.11 centímetros con un incremento total de 0.96 centímetros con respecto a al primer registro para esta densidad, ver Figura 6.

En cuanto al *Eucalyptus globulus* no presentó diferencias estadísticas ($P < 0.05$) en ninguna de las densidades Tabla 3. La de densidad 2500 árboles por hectárea alcanzo el promedio final más alto con un diámetro de 1.50 centímetros mostrando un incremento total promedio de 1.23 centímetros con respecto a su primer registro. En cuanto a la densidad de 5000 árboles por hectárea, obtuvo el menor desarrollo con un promedio final en el diámetro de 1.13 centímetros para un incremento total de 0.87 centímetros con respecto al primer registro Figura 7.

Tabla 2.

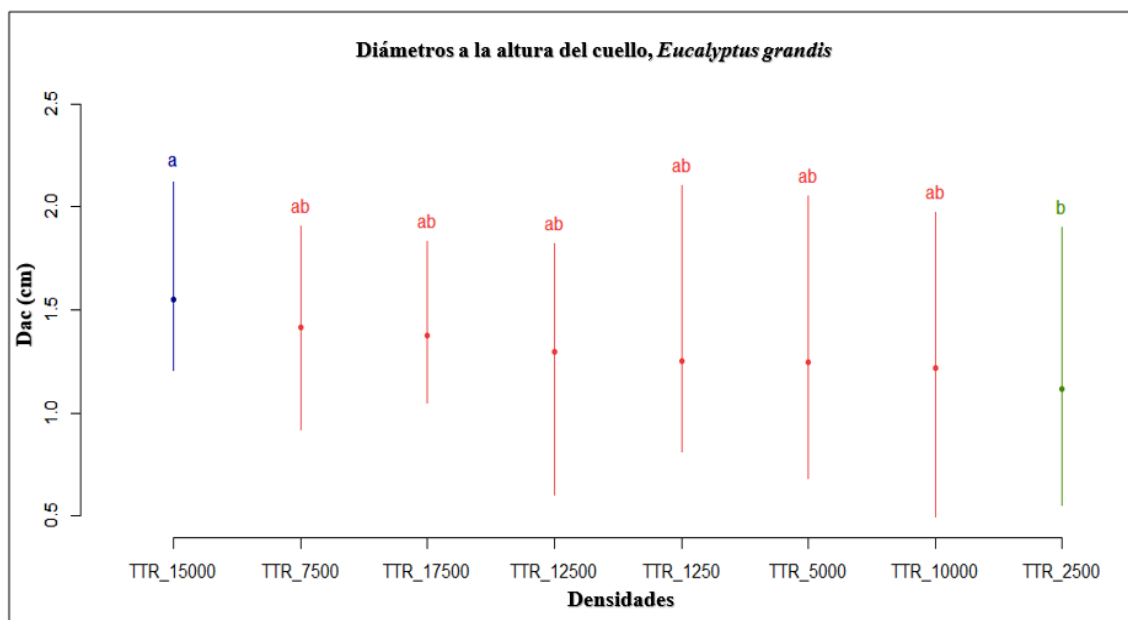
ANDEVA diámetro a la altura del cuello, *Eucalyptus grandis*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Densidad	7	1.935	0.2764	2.098	0.0494 *
Error	112	14.756	0.1318		
Total	119	16.691			

Tabla 3.

ANDEVA diámetro a la altura del cuello, *Eucalyptus globulus*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Densidad	7	1.485	0.2121	1.648	0.129
Error	109	14.027	0.1287		
Total	116	15.512			



Medias en cotizaciones con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0,05$) prueba de Tukey.

Figura 5. Diámetros a la altura de cuello *Eucalyptus grandis*

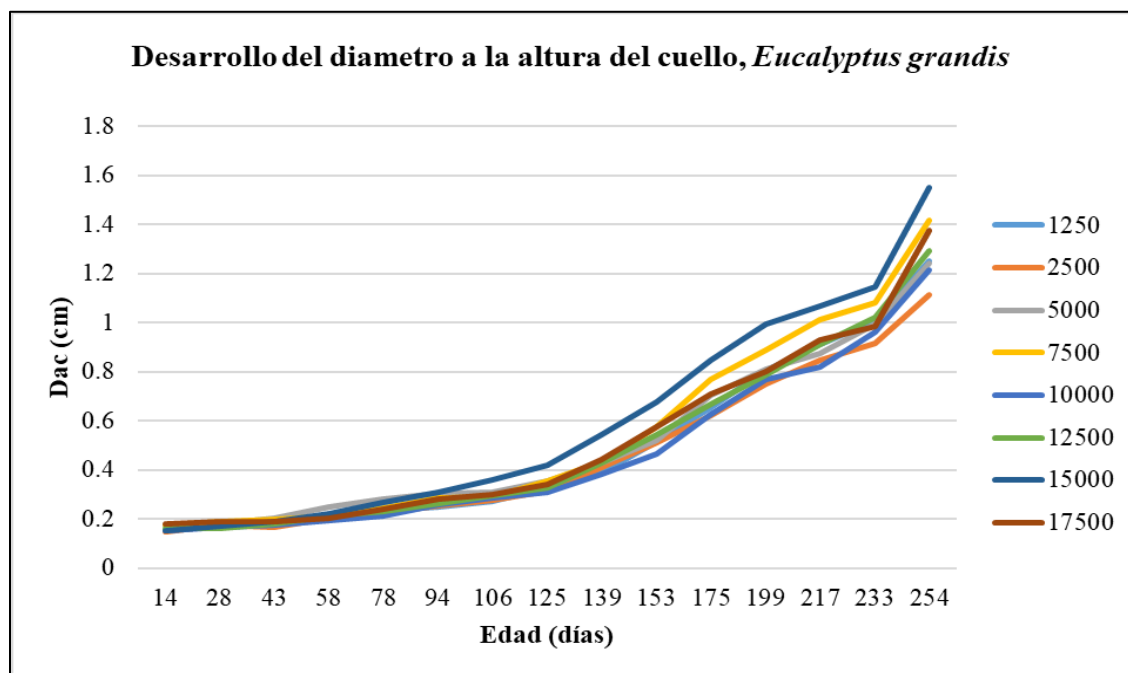


Figura 6. Desarrollo del diámetro a la altura de cuello *Eucalyptus grandis*

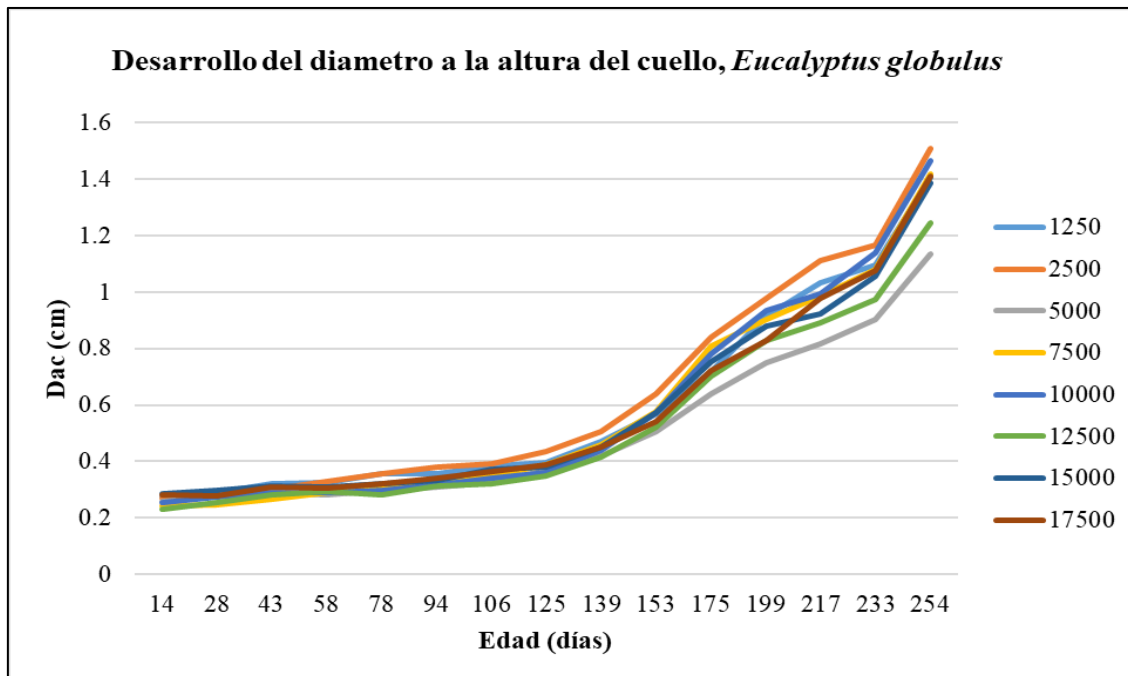


Figura 7. Desarrollo del diámetro a la altura de cuello del *Eucalyptus globulus*

5.1.2 Altura total, *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus*. Los valores de esta variable en el *Eucalyptus grandis* mostraron diferencias muy significativas ($P < 0.05$) Tabla 4, las cuales se presentaron entre las densidades 2500 – 15000 y 5000 – 15000 árboles por hectárea. La densidad de 15000 alcanzo un promedio final en altura de 106.8 centímetros, con un incremento total promedio de 99.81 centímetros con respecto a su primer registro. La densidad 2500 presentó la mayor significancia, con un promedio final en altura de 75.8 centímetros presentando un incremento total de 68.29 centímetros con respecto a al primer registro para esta densidad, la densidad de 5000 alcanzo un promedio final de 78,26 centímetros con un incremento de 76.16 centímetros con respecto al primer registro *Figura 9*.

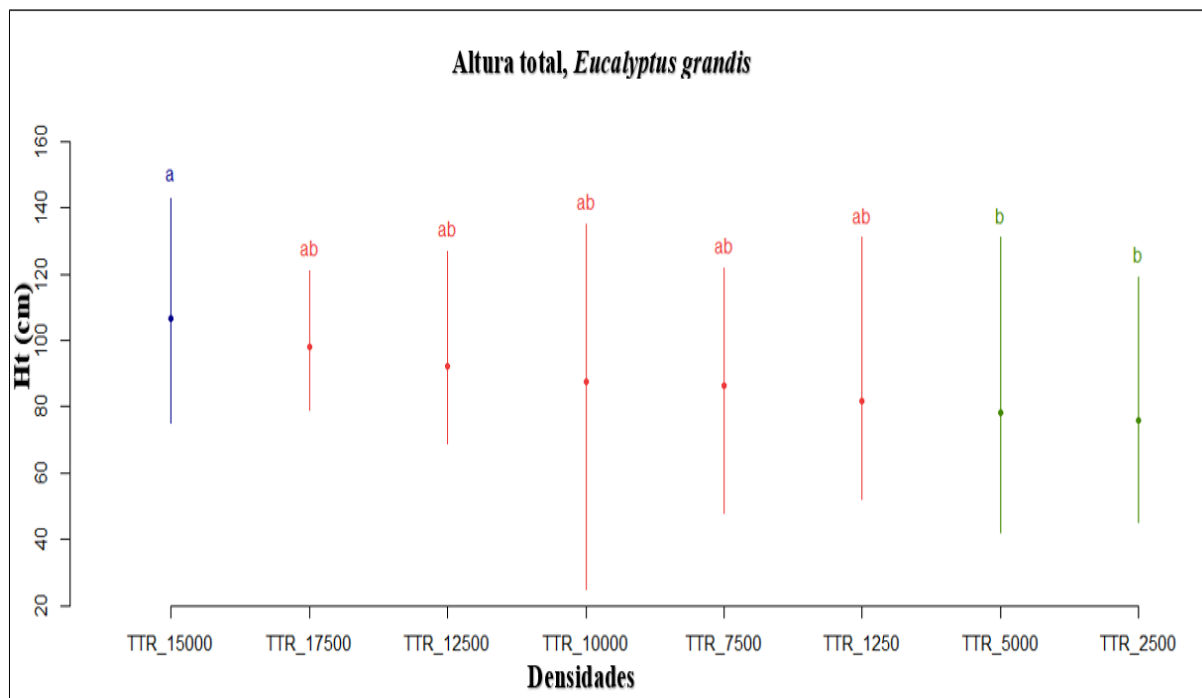
El *Eucalyptus globulus* para los valores de altura total registrados para esta especie mostro que la variable no presento diferencias estadísticas ($P < 0.05$) Tabla 5, en ninguna de las densidades. La densidad 2500 árboles por hectárea alcanzo el promedio final en altura más alto con 112.06 centímetros incrementando en promedio 87.83 centímetros con respecto a su primer registro. En cuanto al promedio más bajo lo presento la densidad de 5000 árboles por hectárea, presento el menor desarrollo con un promedio final en altura total de 92 centímetros (cm), incremento en promedio de 68.62 centímetros con respecto al primer registro, *Figura 10*.

Tabla 4.
ANDEVA altura total, *Eucalyptus grandis*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Densidad	7	11358	1623	3.079	0.00527 **
Error	112	59028	527		
Total	119	70386			

Tabla 5.
ANDEVA altura total, *Eucalyptus globulus*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Densidad	7	3765	537.9	1.468	0.186
Error	109	39943	366.5		
Total	116	43708			



Medias en cotizaciones con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0,05$) prueba de Tukey

Figura 8. Altura total *Eucalyptus grandis*

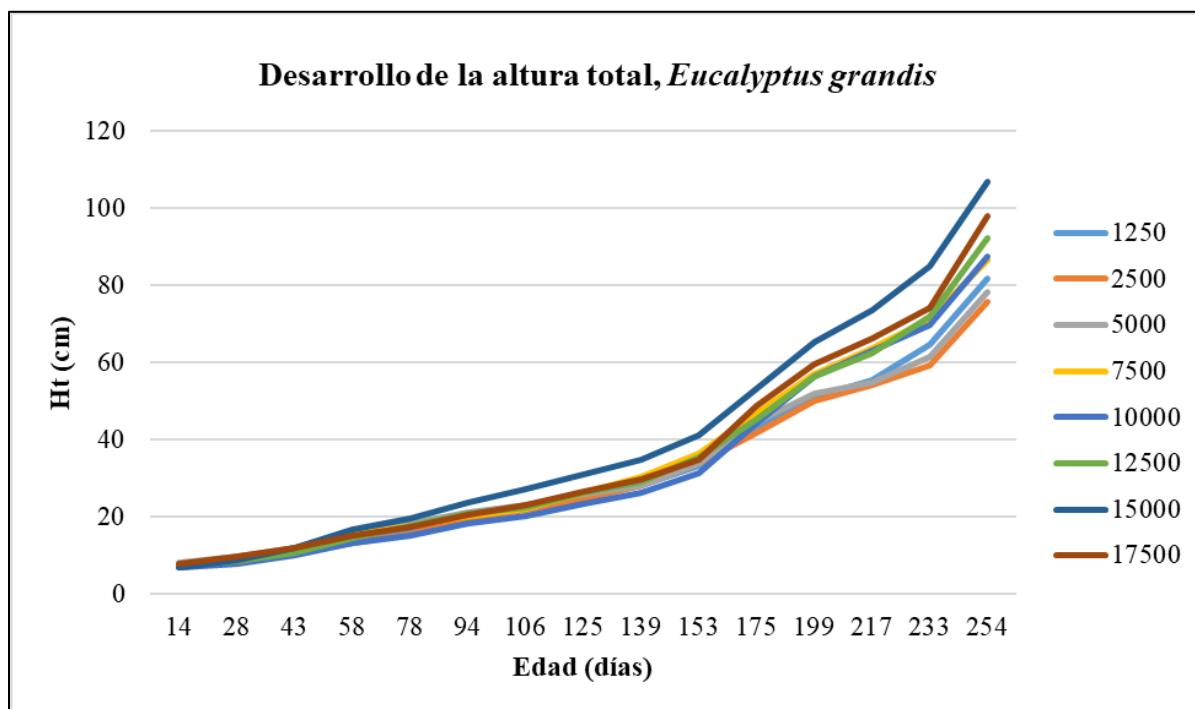


Figura 9. Desarrollo de la altura total *Eucalyptus grandis*

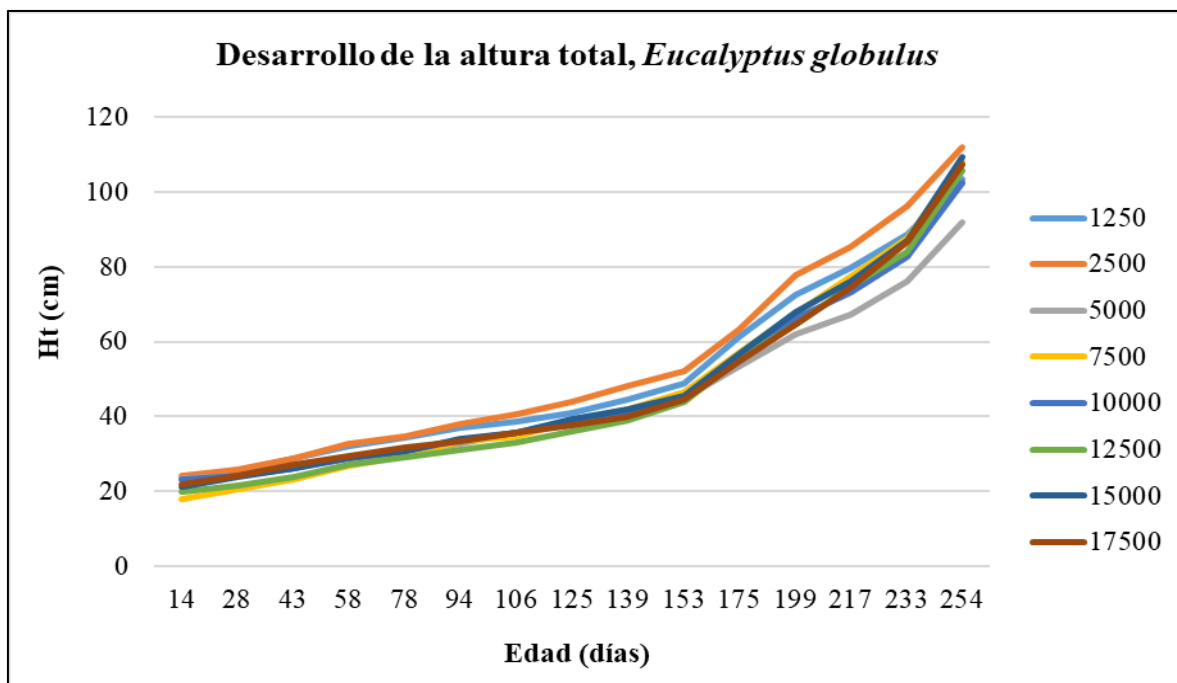


Figura 10. Desarrollo de la altura total del *Eucalyptus globulus*

5.1.3 Área de copa del *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus*. El área de copa para la especie de *Eucalyptus grandis* no presentó diferencias estadísticas ($P < 0.05$) Tabla 6, en ninguna de las densidades evaluadas. La densidad de 15000 árboles por hectárea alcanzó el promedio final en altura más alto con 3520.10 cm², aumentando en promedio 3498.09 cm² con respecto al primer registro. La densidad de 10000 árboles por hectárea obtuvo el promedio más bajo con un área de copa final en promedio de 2178.43 cm², incremento de 2162,380 cm² con respecto al primer registro Figura 12.

La especie de *Eucalyptus globulus* no presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) en ninguna de las densidades evaluadas Tabla 7. La densidad 7500 árboles por hectárea alcanzó el promedio final en área de copa más alto con un valor de 4954.553 cm², con un incremento total promedio de 4902.51 cm² con respecto al primer registro. En cuanto al promedio más bajo lo presentó la densidad de 5000 árboles por hectárea con un valor final de 2992.14 cm² con un aumento total promedio de 2928.366 cm² con respecto al primer registro, ver Figura 13.

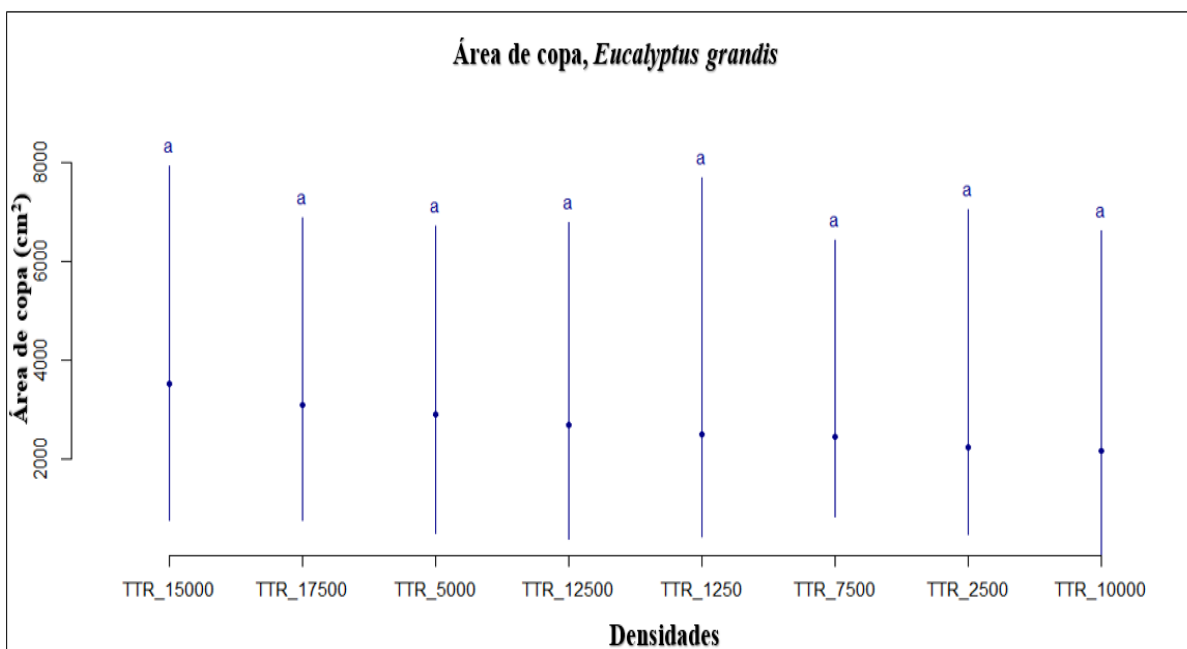
Tabla 6.
ANDEVA Área de copa, *Eucalyptus grandis*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Densidad	7	21843666	3120524	0.908	0.503
Error	112	385098529	3438380 527		
Total	119	406942195			

Tabla 7.

ANDEVA Área de copa, *Eucalyptus globulus*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Densidad	7	41644513	5949216	0.903	0.507
Error	109	718164096	6588661		
Total	116	759808609			



Medias en cotizaciones con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0,05$) prueba de Tukey

Figura 11. Área de copa *Eucalyptus grandis*

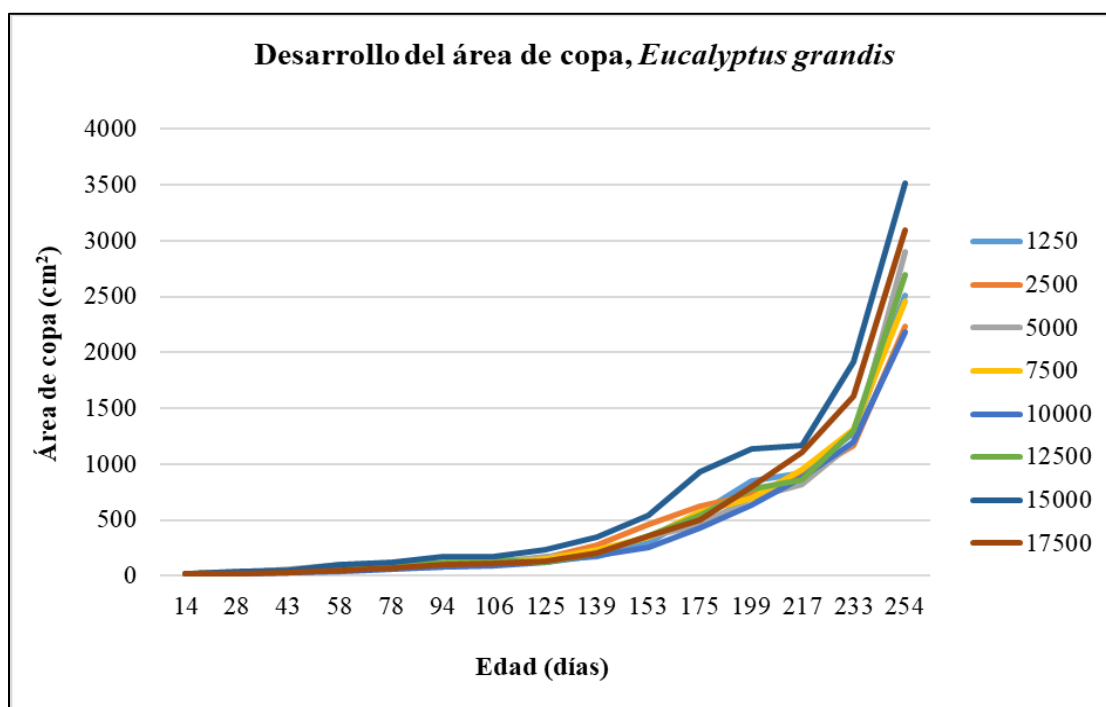


Figura 12. Desarrollo del Área de copa del *Eucalyptus grandis*

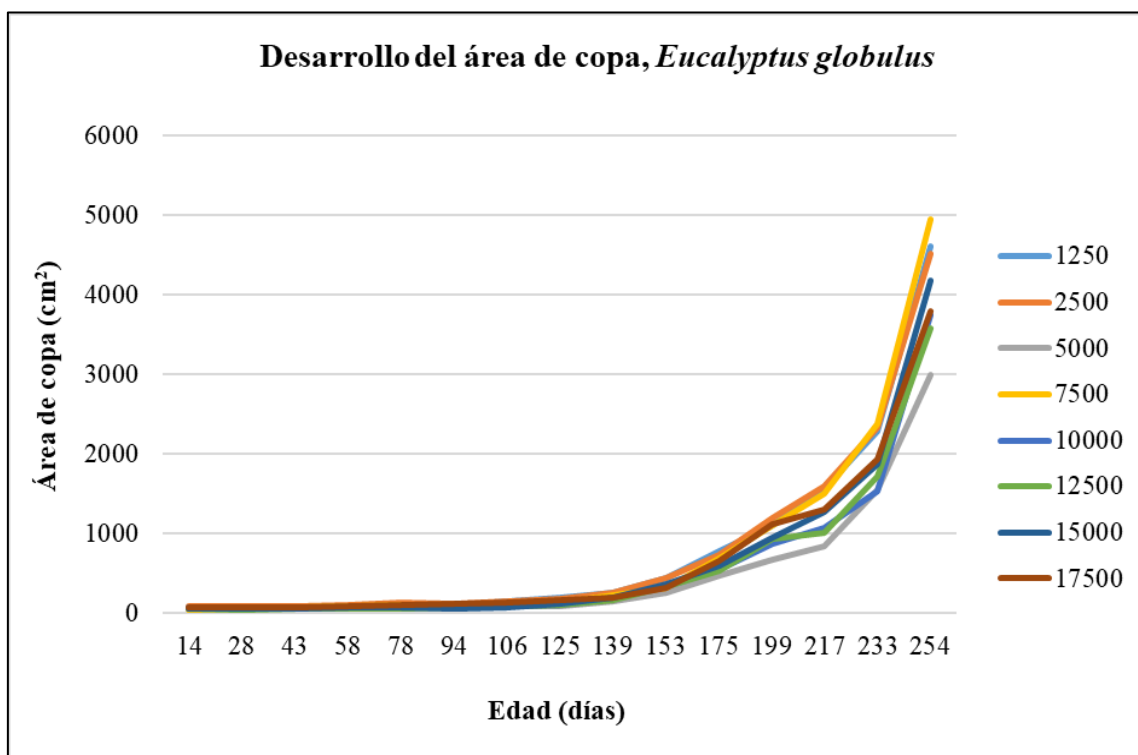


Figura 13. Desarrollo del Área de copa del *Eucalyptus globulus*

5.1.4 Índice de biomasa *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus*. Para el *Eucalyptus grandis* los índices de biomasa mostraron significancia ($P < 0.1$) Tabla 8, con una diferencia significativa de $P = 0.0413$ ver Apéndice 9, entre las densidades 2500 y 15000 árboles por hectárea. La densidad de 15000 árboles por hectárea alcanzó el valor de índice de biomasa promedio más alto con 269.63 cm^3 , el valor final más bajo lo presento de la densidad 2500 árboles por hectárea en 125.2404 cm^3 , Figura 15.

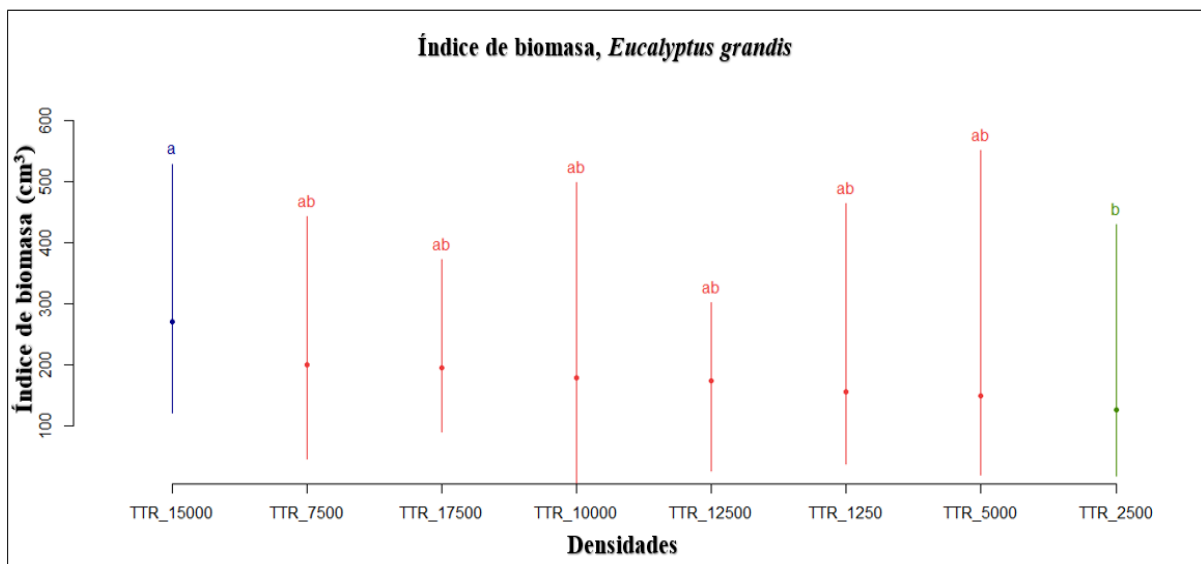
En la especie de *Eucalyptus globulus* el índice de biomasa no presentó diferencias estadísticas ($P < 0.05$) en ninguna de las densidades Tabla 9. La densidad de 2500 árboles por hectárea fue el índice de biomasa más alto con un valor promedio de 282.07 cm^3 , el valor final más bajo lo presento de la densidad 5000 árboles por hectárea con un valor de 133.52 cm^3 Figura 16.

Tabla 8.
ANDEVA Índice de biomasa, *Eucalyptus grandis*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Densidad	7	198663	28380	1.809	0.0923 .
Error	112	1756908	15687		
Total	119	1955571			

Tabla 9.
ANDEVA Índice de biomasa, *Eucalyptus globulus*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Densidad	7	213758	30537	1.345	0.236
Error	109	2474961	22706		
Total	116	2688719			



Medias en cotizaciones con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0,05$) prueba de Tukey

Figura 14. Índice de biomasa *Eucalyptus grandis*

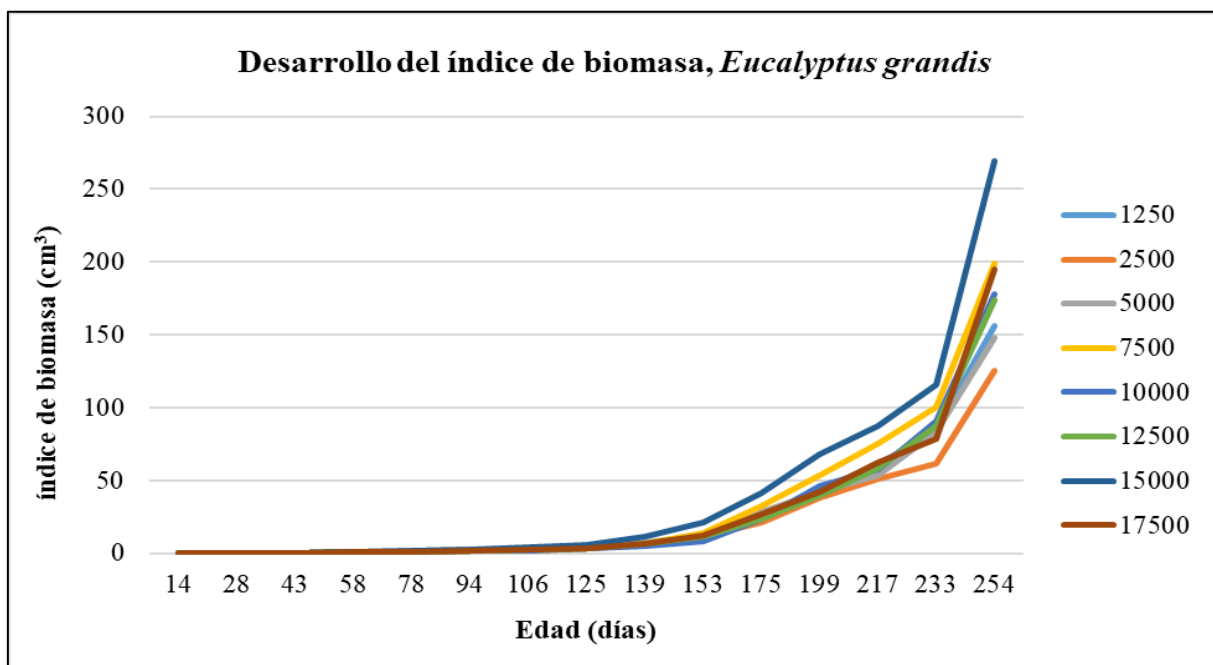


Figura 15. Desarrollo de Índice de biomasa *Eucalyptus grandis*

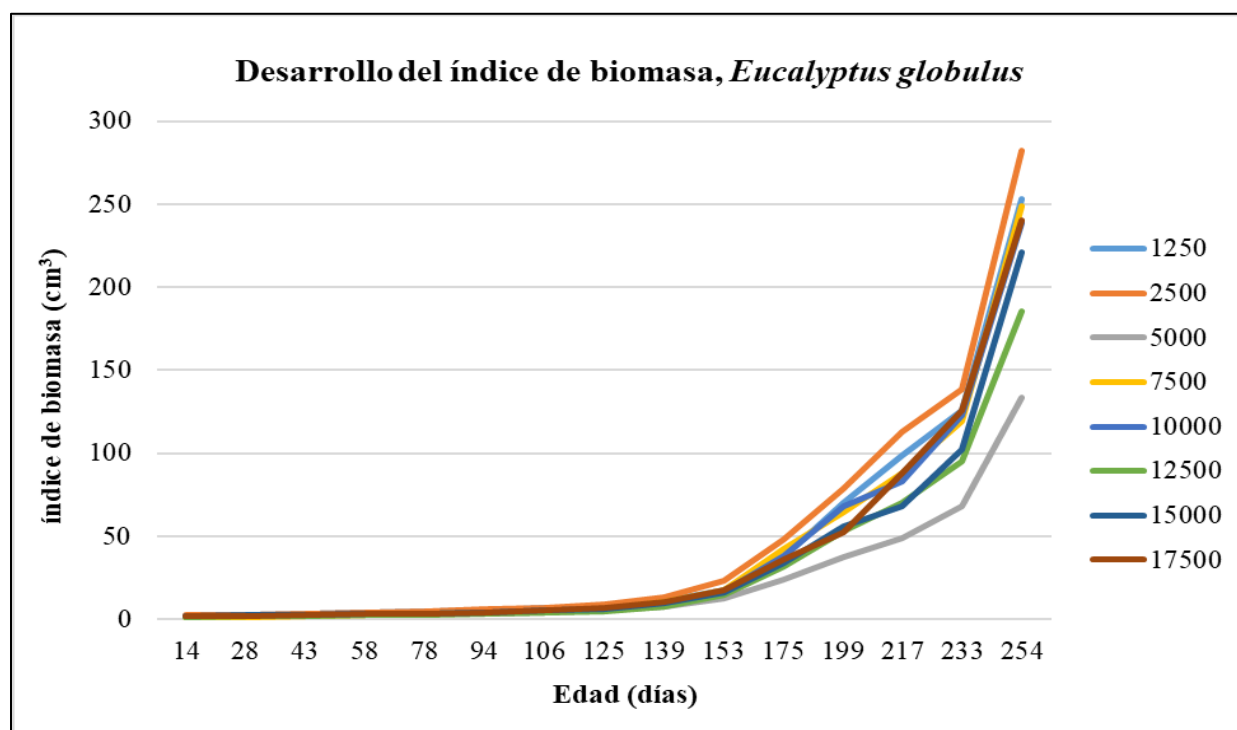


Figura 16. Desarrollo de Índice de biomasa *Eucalyptus globulus*

5.1.5 Volumen, *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus*. El *Eucalyptus grandis* presentó una baja significancia ($P < 0.01$) Tabla 10, entre las densidades 2500 y 15000 árboles por hectárea. La densidad de 15000 árboles por hectárea alcanzó el valor de índice de biomasa promedio más alto con 161.78 cm^3 . La densidad de 2500 presentó el rendimiento más menor con un valor final promedio de 75.14 cm^3 .

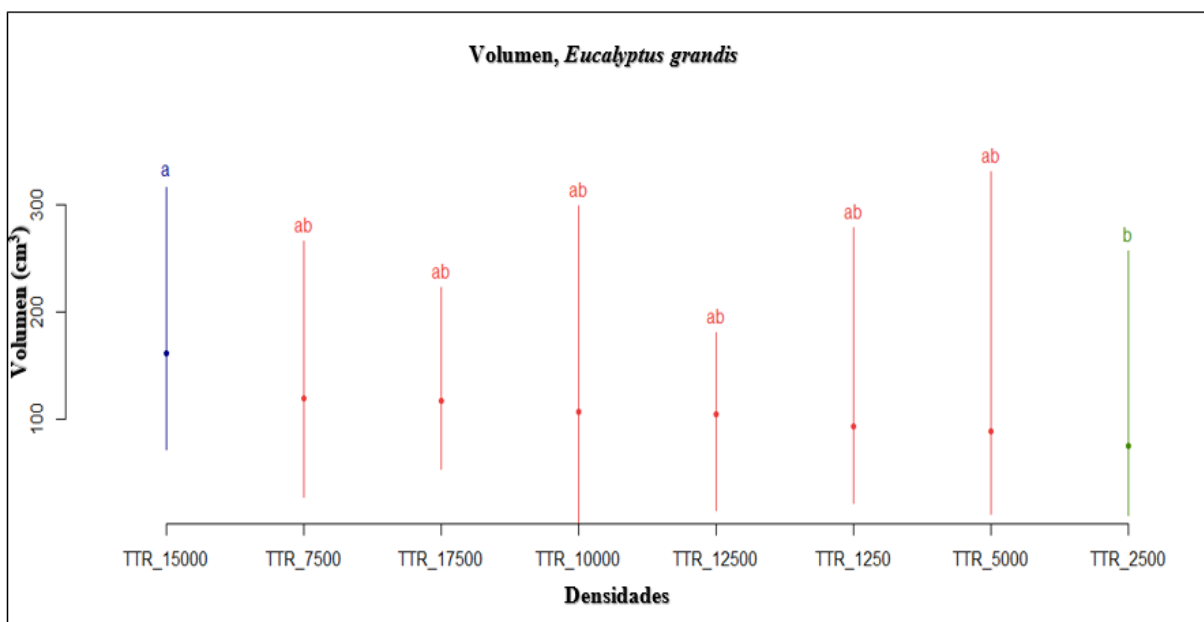
En cuanto al *Eucalyptus globulus* esta no presentó significancia ($P < 0.05$) Tabla 11. La densidad de 2500 árboles por hectárea presentó el de índice de biomasa promedio más alto con un valor de 169.24 cm^3 , el valor más bajo lo presentó de la densidad 5000 árboles por hectárea con un valor de 80.11 cm^3 Figura 19.

Tabla 10.
ANDEVA Volumen, *Eucalyptus grandis*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Densidad	7	71519	10217	1.809	0.0923 .
Error	112	632487	5647		
Total	119	704006			

Tabla 11.
ANDEVA Volumen, *Eucalyptus globulus*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Densidad	7	76953	10993	1.345	0.236
Error	109	890986	8174		
Total	116	967939			



Medias en cotizaciones con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0,05$) prueba de Tukey.

Figura 17. Volumen, *Eucalyptus grandis*

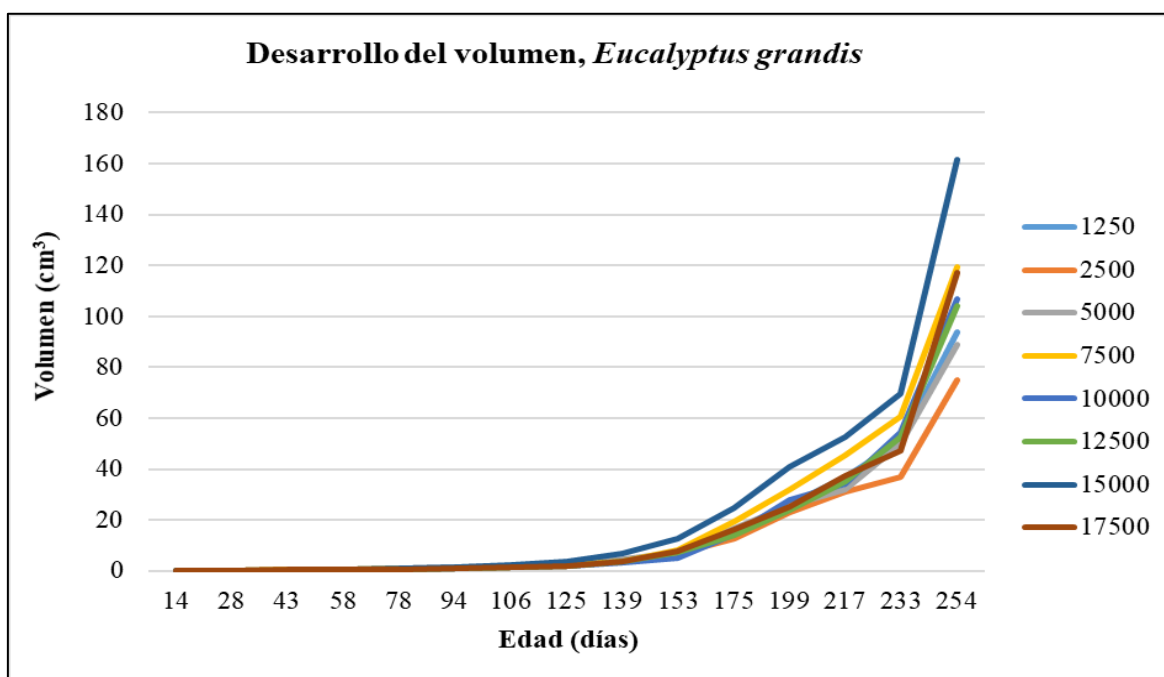


Figura 18. Desarrollo del volumen del *Eucalyptus grandis*

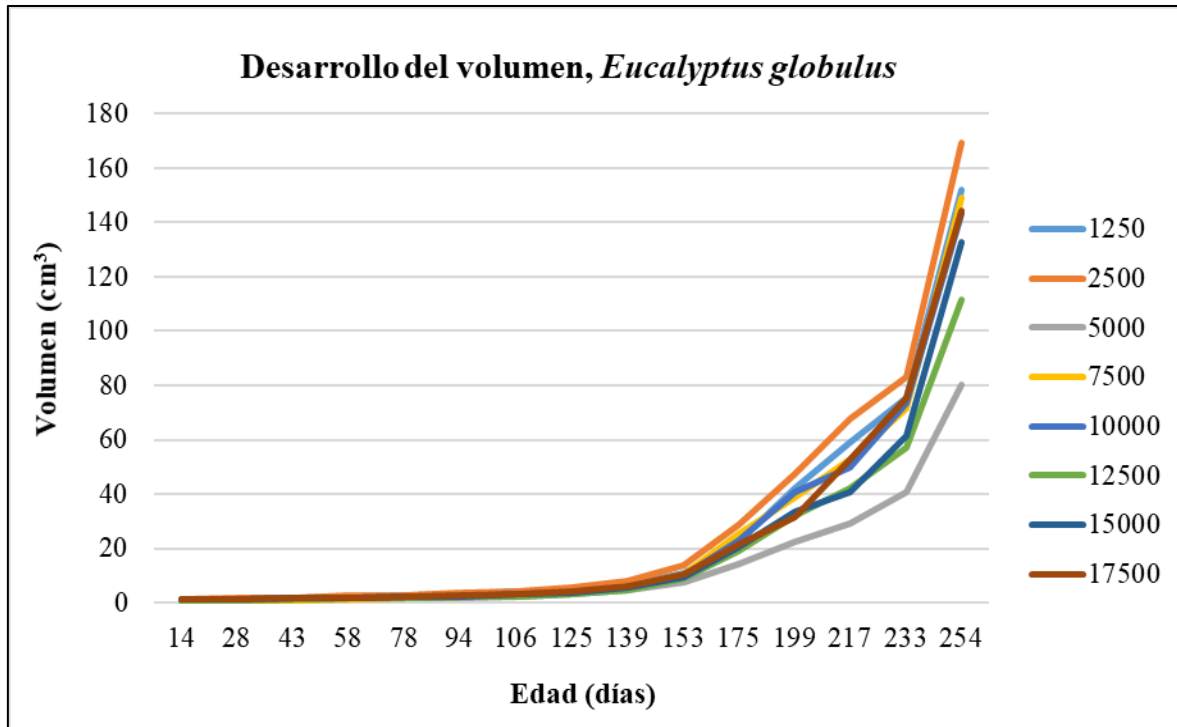


Figura 19. Desarrollo del volumen en *Eucalyptus globulus*

5.2 Modelos de crecimiento

Los modelos de crecimiento que se utilizaron, fueron aquellos que presentaron la mayor convergencia en cada uno de los parámetros de manera altamente significativa ($P < 0.05$) y a su vez cada uno de estos se ejecutaron para la totalidad de densidades de la misma especie, de esta manera los modelos trabajados para el *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus grandis* fueron los siguientes:

Tabla 12.

Resumen de las características de las ecuaciones encuadradas dentro del Grupo 1

Referencia	Nº	Expresión matemática del modelo	Número de parámetros	Ámbito de definición	Pasa por el origen	Asíntota horizontal	Máximo	Punto de inflexión	$y'=f(y)$
Moissev I	1	$y = a + b \log(t) + c \log^2(t)$	3	$\forall t > 0$	No	No	Si	Si	No
Tretyakov	2	$y = \frac{\sqrt{a^2 + 4bt^2} - a}{2t}$	2	$\forall t > 0$	No	Si	No	Si	Si
Hossfeld I (mod.)	3	$y = \frac{t^2}{(a + bt)^2}$ $a > 0$	2	$\forall t \geq 0/t \neq \frac{-a}{b}$	Si	Si	No	Si	Si
Strand	4	$y = \left(\frac{t}{a + bt}\right)^3$ $a > 0, b > 0$	2	$\forall t \geq 0$	Si	Si	No	Si	Si
Terazaki	5	$y = e^{a-b/t}$ $a > 0, b > 0$	2	$\forall t > 0$	No	Si	No	Si	Si

Nota: * Resumen de las características de las ecuaciones encuadradas dentro del Grupo 1. Adaptado de Kiviste, A, González, J, Alboreca, A, & González, A. (2002). *Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/305473874_Funciones_de_crecimiento_de_aplicacion_en_elambito_forestal.

Los parámetros para los modelos son: en Moissev I son lineales; Tretyakov ; para Hossfeld I modificada y en Stran el parámetro “a” al aumentar provoca un aumento en el diámetro a la altura de cuello mientras que el parámetro “b” afecta la asíntota horizontal y el diámetro a la altura del cuello donde se alcanza el punto de inflexión; y para Terazaki el parámetro “a” afecta la asíntota horizontal y el diámetro a la altura del cuello donde se alcanza el punto de inflexión mientras que para “b” al aumentar genera un aumento en el diámetro a la altura de cuello.

5.2.1 Modelos de crecimiento *Eucalyptus grandis*. Los modelos que se trabajaron para esta especie fueron: Moissev I, Hossfeld I modificada, Strand y Terazaki, con los cuales cada uno de los parámetros presentaron una alta significancia ($P < 0.05$). El modelo que mejor se ajustó a la totalidad de densidades y con el menor AIC para cada una de estas fue Moissev I fluctuando en valores entre (1534.23 – 1654.39).

Tabla 13.

Parámetros de los modelos de crecimiento no lineales de Eucalyptus grandis

Densidad	Modelo	a	b	c	AIC
17500	3	0.0451***	0.0723***		1593.23
17500	1	71.3288***	135.9881***	75.0197***	1584.52
17500	4	0.0561***	0.1834***		1610.33
17500	5	4.8502***	4.8502***		1659.92
15000	3	0.0516***	0.0667***		1657.06
15000	1	70.1982***	142.4123***	85.0924***	1641.69
15000	4	0.0641***	0.1760***		1682.3
15000	5	4.9360***	0.6457***		1738.52
12500	3	0.0426***	0.0763***		1645.50
12500	1	69.353***	125.66***	65.476***	1638.72
12500	4	0.0526***	0.1890***		1659.34
12500	5	4.7777***	0.5243***		1699.80
10000	3	0.0511***	0.0635***		1550.65
10000	1	74.684***	153.534***	90.126***	1534.23
10000	4	0.0645***	0.1707***		1588.18

Continuación Tabla 13.					
10000	5	5.0210***	0.6744***		1673.07
7500	3	0.0471***	0.0755***		1613.58
7500	1	64.9265***	122.2847***	67.5853***	1594.60
7500	4	0.0577***	0.1885***		1633.92
7500	5	4.7724***	0.5652***		1682.78
5000	3	0.0455***	0.0785***		1630.93
5000	1	63.912***	115.266***	58.576***	1624.42
5000	4	0.0555***	0.1928***		1642.39
5000	5	4.7139***	0.5408***		1675.97
2500	3	0.0421***	0.0809***		1635.14
2500	1	65.193***	114.839***	58.028***	1620.89
2500	4	0.0510***	0.1963***		1649.50
2500	5	4.6710***	0.4950***		1686.85
1250	3	0.0444***	0.0778***		1662.95
1250	1	65.47***	118.039***	61.068***	1654.39
1250	4	0.0545***	0.1913***		1677.71
1250	5	4.7368***	0.5346***		1718.10

El método de convergencia para todos los modelos fue Newton; a, b, y c: parámetros del modelo; ***: extremadamente significativo ($P < 0.001$); AIC: criterio de información de Akaike

Los parámetros de los modelos de crecimiento de esta especie están determinados por los límites de altura total y diámetro a la altura del cuello mostrados en la Tabla 14. Las siguientes gráficas son la representación de cada uno de los modelos, en las cuales se realizó una estimación de la altura total a partir de los valores mínimos y máximo del diámetro a la altura del cuello y los parámetros anteriormente definidos para cada uno de ellos, evidenciando una vez más que el modelo Moissev I permite predecir de manera acertada y de forma directa la altura total siempre y cuando se mantengan los límites del diámetro a la altura de cuello.

Tabla 14.

Límites para modelos de crecimiento Eucalyptus grandis

Altura total (cm)		Diámetro a la altura del cuello (cm)	
Mínima	Máxima	Mínimo	Máxima
4	143	0.092	2.143

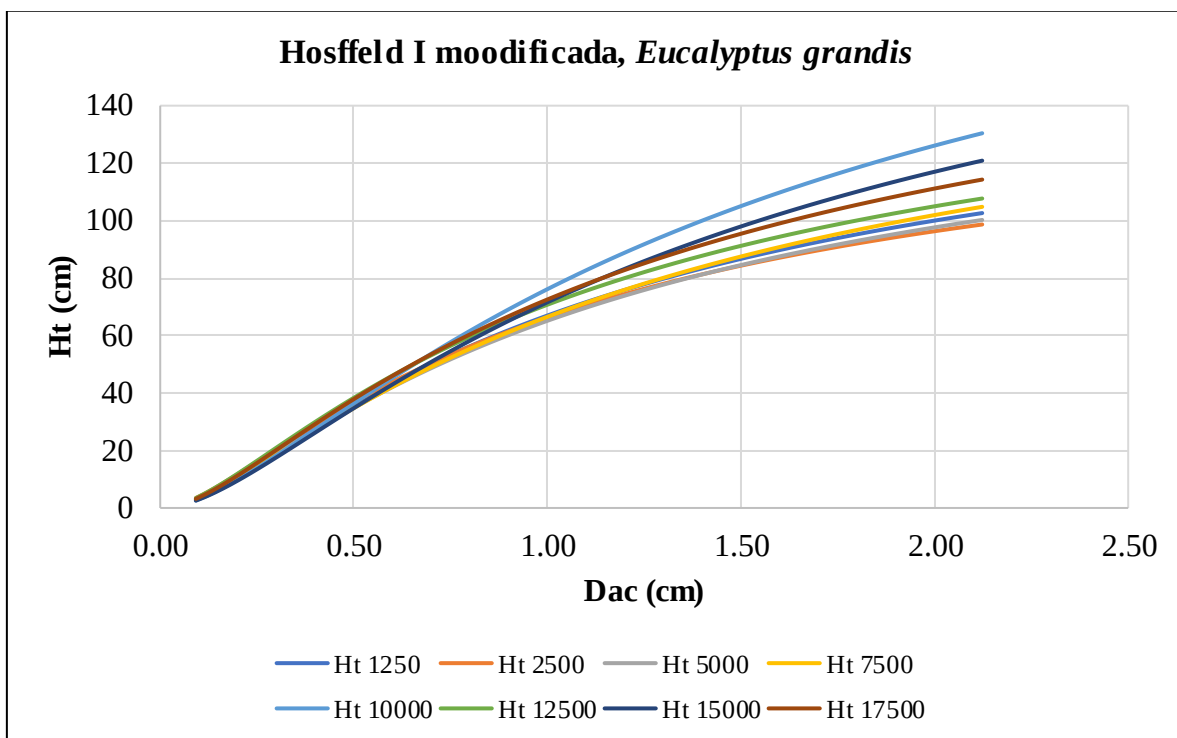


Figura 20. Hosfeld I modificada, *Eucalyptus grandis*

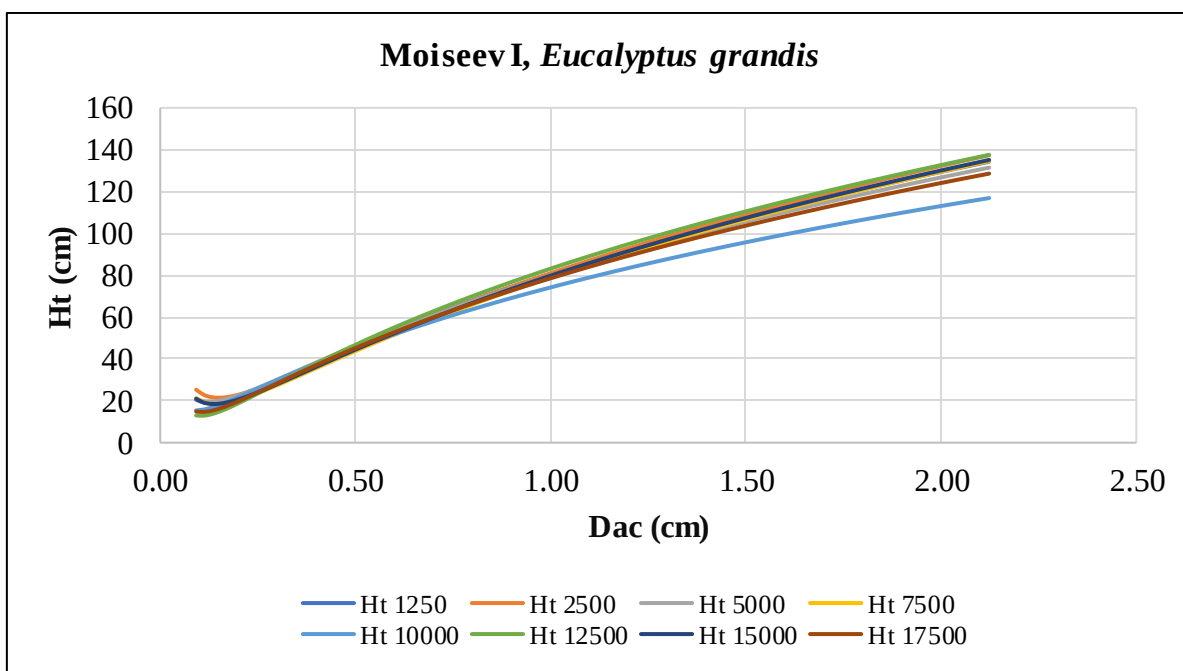
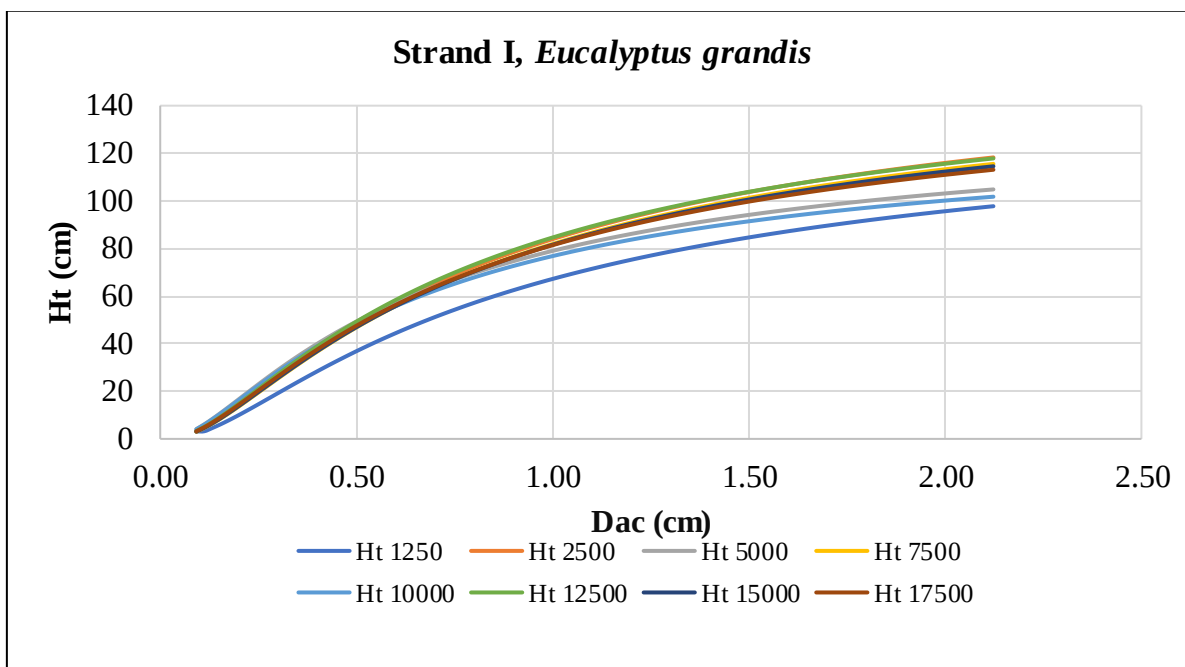
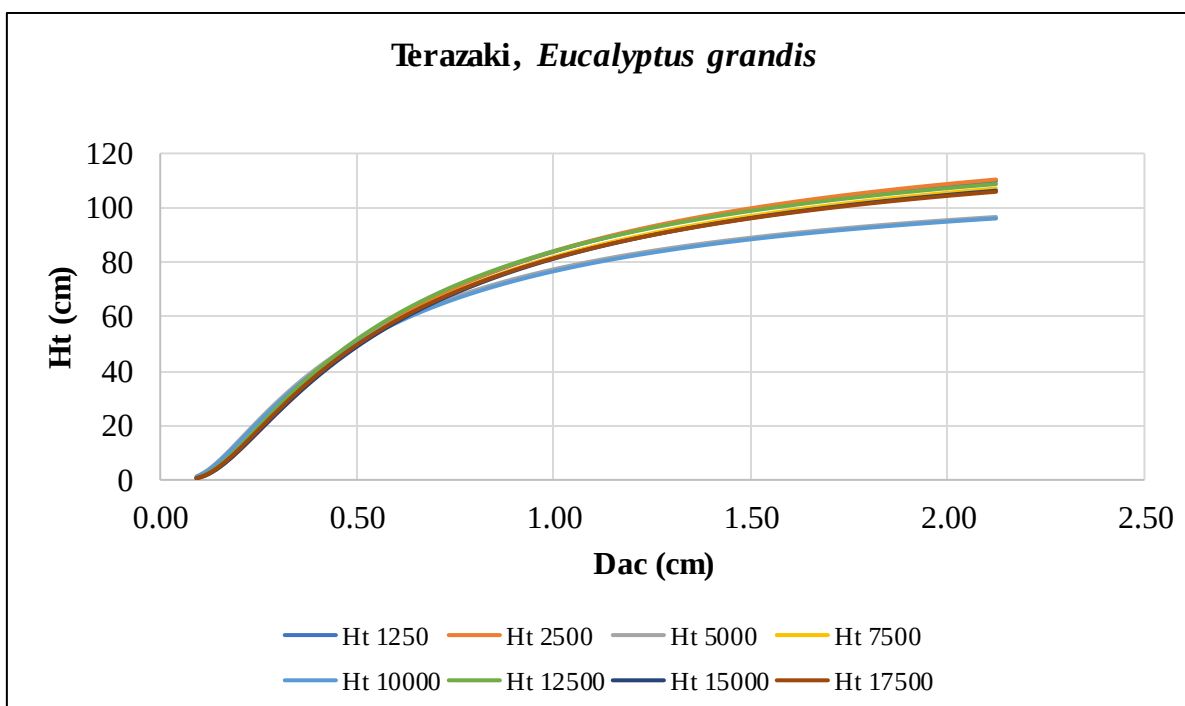


Figura 21. Moiseev I, *Eucalyptus grandis*

Figura 22. Strand I, *Eucalyptus grandis*Figura 23. Terazaki, *Eucalyptus grandis*

5.2.2 Modelos de crecimiento *Eucalyptus globulus*. Los modelos trabajados para esta especie fueron: Moissev I, Tretyakov, Hossfeld I modificada, Strand y Terazaki, en los cuales cada uno de los parámetros presentaron una alta significancia ($P < 0.05$). El modelo que mejor se ajustó a la totalidad de densidades y con el menor AIC al igual que el *Eucalyptus grandis* fue Moissev I fluctuando en valores entre (1454.32 – 1669.25).

Tabla 15.

Parámetros de los modelos de crecimiento no lineales de Eucalyptus globulus

Densidad	Modelo	a	b	c	AIC
17500	2	422.7200***	40069.7700***		1608.26
17500	1	78.5670***	131.0180***	67.1400***	1608.61
17500	4	0.0453***	0.1855***		1633.21
17500	5	4.8957***	0.4950***		1662.25
15000	2	528.4900***	49039.2100***		1619.83
15000	1	79.8074***	142.2030***	82.4377***	1621.93
15000	4	0.0466***	0.1840***		1647.84
15000	5	4.9047***	0.5063***		1677.19
12500	1	83.1680***	142.6571***	72.3338***	1520.30
12500	2	573.0900***	54878.6600***		1520.39
12500	4	0.0450***	0.1828***		1551.76
12500	5	4.9180***	0.4864***		1589.58
10000	2	246.3100***	24553.5900***		1590.63
10000	4	0.0398***	0.1955***		1623.09
10000	5	4.7662***	0.4263***		1659.33
10000	1	74.2042***	112.8590***	54.1669***	1669.25
7500	1	79.0380***	142.3390***	83.6290***	1587.14
7500	2	624.5400***	56252.3500***		1589.32
7500	4	0.0472***	0.1831***		1639.53
7500	5	4.9121***	0.5059***		1682.54
5000	1	79.8004***	133.6575***	74.1808***	1454.32
5000	2	315.7800***	31875.3600***		1462.37
5000	4	0.0396***	0.1934***		1504.79
5000	5	4.7686***	0.4194***		1544.65
2500	1	80.9868***	143.9756***	87.1004***	1585.45
2500	2	537.1200***	50952.4900***		1594.14
2500	4	0.0466***	0.1818***		1653.03

Continuación Tabla 15.					
2500	5	4.9466***	0.5146***		1702.86
1250	2	459.4000***	44490.8600***		1633.38
1250	1	80.7077***	138.3923***	77.4806***	1635.46
1250	4	0.0460***	0.1824***		1671.14
1250	5	4.9399***	0.5102***		1711.07

El método de convergencia para todos los modelos fue Newton; a, b, y c: parámetros del modelo; ***: extremadamente significativa ($P < 0.001$); AIC: criterio de información de Akaike.

Los parámetros de los modelos de crecimiento de esta especie están determinados por los límites de altura total y diámetro a la altura del cuello mostrados en la Tabla 16. Las siguientes gráficas son la representación de cada uno de los modelos, en las cuales se realizó una estimación de la altura total a partir de los valores mínimos y máximo del diámetro a la altura del cuello y los parámetros anteriormente definidos para cada uno de ellos, evidenciando de igual manera que el modelo Moissev I permite predecir de manera acertada y de forma directa la altura total siempre y cuando se mantengan los límites del diámetro a la altura de cuello.

Tabla 16.

Límites para modelos de crecimiento Eucalyptus globulus

Altura total (cm)		Diámetro a la altura del cuello (cm)	
Mínima	Máxima	Mínimo	Máxima
10	153	0.13	2.37

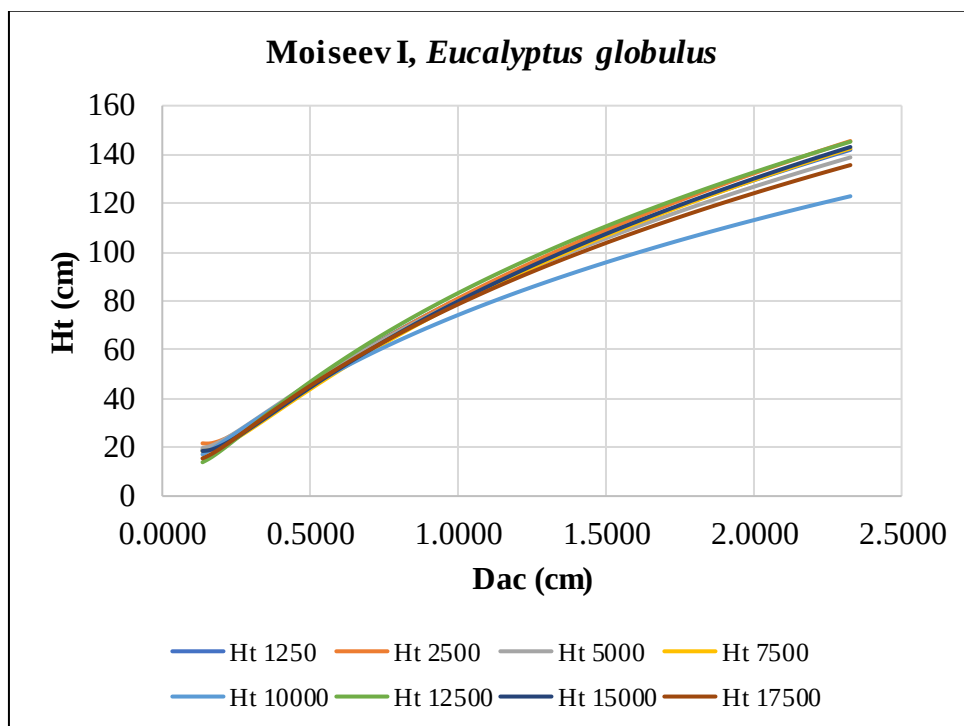


Figura 24. Moiseev I, *Eucalyptus globulus*

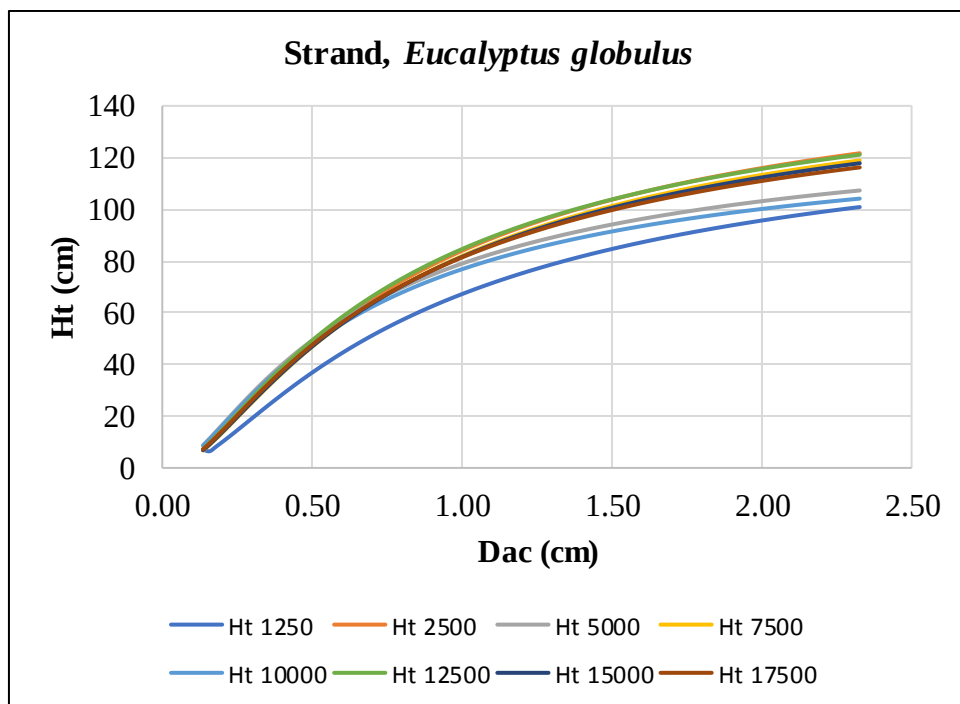


Figura 25. Strand, *Eucalyptus globulus*

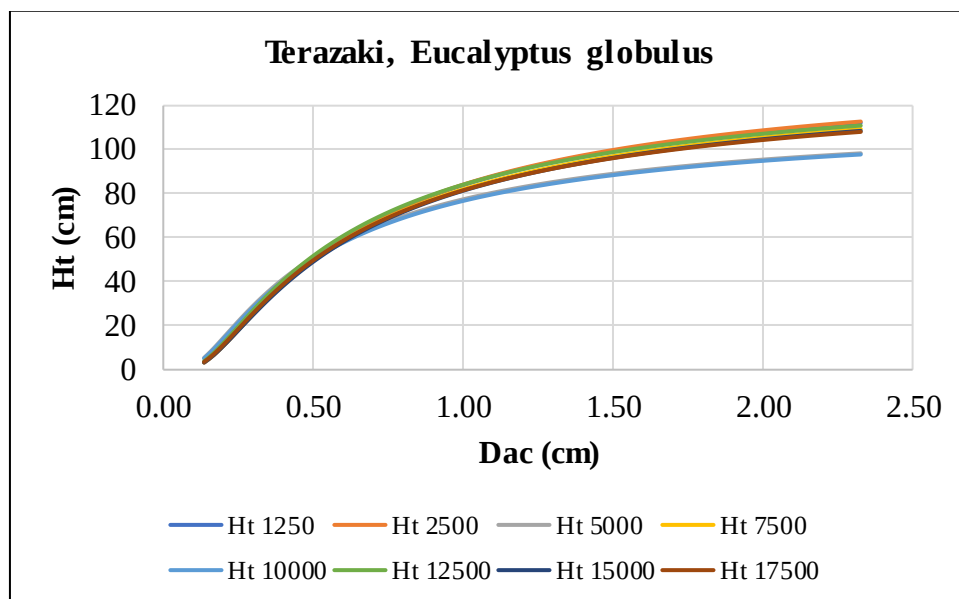


Figura 26. Terazaki, *Eucalyptus globulus*

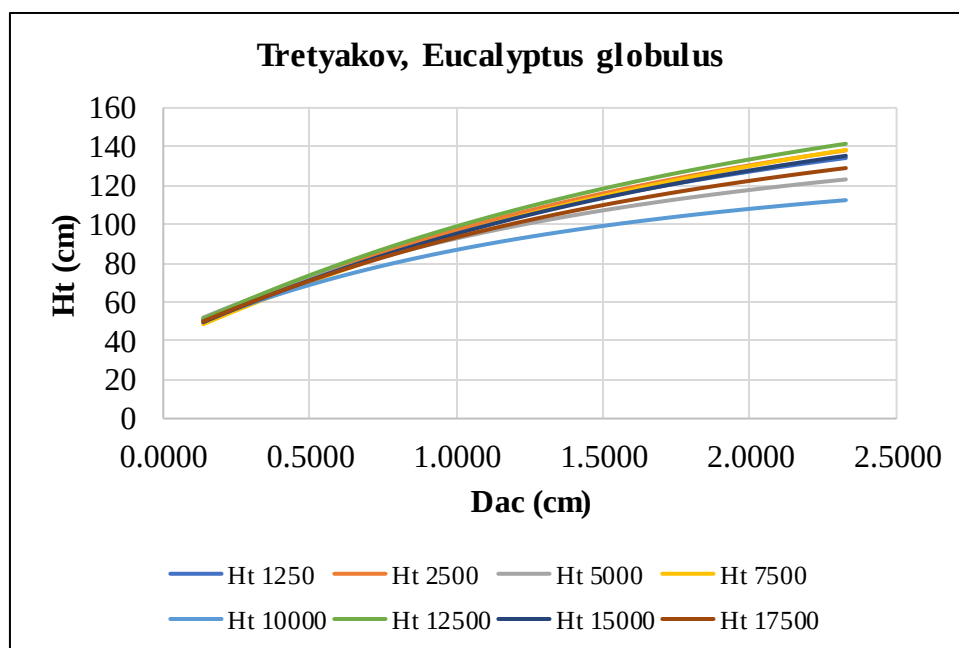


Figura 27. Tretyakov, *Eucalyptus globulus*

5.3 Determinación de biomasa seca

5.3.1 Biomasa seca *Eucalyptus grandis*.

Tabla 17.

ANDEVA Biomasa seca de la corteza, *Eucalyptus grandis*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Densidad	7	1078	154	1.05	0.437
Error	16	2347	146.7		
Total	23	3425			

Tabla 18.

ANDEVA Biomasa seco del follaje, *Eucalyptus grandis*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Densidad	7	11882	1697	0.887	0.538
Error	16	30617	1914		
Total	23	42499			

Tabla 19.

ANDEVA Biomasa seca de las ramas, *Eucalyptus grandis*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Densidad	7	9666	1381	1.337	0.296
Error	16	16524	1033		
Total	23	26190			

Tabla 20.

ANDEVA Biomasa seca de albura – duramen, *Eucalyptus grandis*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Densidad	7	8761	1252	1.089	0.415
Error	16	18395	1150		
Total	23	27156			

No se presentaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) en las variables de biomasa para esta especie Tukey. Las ramas presentaron el mayor valor en la densidad de 2500 árboles por hectárea con un valor de 25.46 gramos, el follaje y la albura - duramen presentaron su mayor valor en la densidad de 15000 árboles por hectárea con 120.14 y 82.58 gramos respectivamente y las ramas presentaron un mayor peso en la densidad de 10000 árboles por hectárea con un valor de 68.74 gramos.

Tabla 21.

Biomasa seca en *Eucalyptus grandis*

Densidad	Componente	Media	std	Min	Max	Grupo
17500	Ramas	21.58	11.50	8.73	30.91	a
17500	Albura-Duramen	51.89	30.70	19.76	80.93	a
17500	Corteza	18.14	4.17	15.14	22.90	a
17500	Follaje	87.53	51.24	51.26	146.14	a
15000	Ramas	58.93	35.75	22.49	93.95	a
15000	Albura-Duramen	82.58	36.89	50.66	122.98	a
15000	Corteza	23.08	10.35	15.06	34.77	a
15000	Follaje	93.03	27.37	65.20	119.93	a
12500	Ramas	21.22	17.27	5.88	39.93	a
12500	Albura-Duramen	43.31	39.03	6.41	84.17	a
12500	Corteza	10.92	8.94	2.22	20.08	a
12500	Follaje	49.12	28.23	18.11	73.35	a
10000	Ramas	68.74	75.14	17.90	155.05	a
10000	Albura-Duramen	44.92	37.21	15.92	86.87	a
10000	Corteza	9.57	11.62	0.38	22.63	a
10000	Follaje	66.67	34.26	36.83	104.09	a
7500	Ramas	14.26	14.39	2.23	30.21	a

Continuación Tabla 21						
7500	Albura-Duramen	26.08	19.06	5.16	42.47	a
7500	Corteza	9.26	5.54	2.88	12.83	a
7500	Follaje	47.88	43.38	14.11	96.80	a
5000	Ramas	9.82	10.23	2.23	21.46	a
5000	Albura-Duramen	14.13	13.39	5.16	29.52	a
5000	Corteza	5.30	4.53	2.49	10.52	a
5000	Follaje	30.73	27.41	14.11	62.37	a
2500	Ramas	25.48	20.13	8.68	47.79	a
2500	Albura-Duramen	40.81	30.91	12.09	73.51	a
2500	Corteza	25.47	26.82	4.22	55.61	a
2500	Follaje	83.16	64.90	31.42	155.98	a
1250	Ramas	22.18	13.81	6.38	31.95	a
1250	Albura-Duramen	56.37	49.88	8.38	107.94	a
1250	Corteza	12.72	7.96	3.85	19.25	a
1250	Follaje	92.00	55.84	32.16	142.71	a

Se utilizó el test de Tukey para la identificación de significancias; std: error estándar; a: grupos de significancia, valores diferentes indican significancias $P < 0.05$; Max: valores máximos; Min: valores mínimos

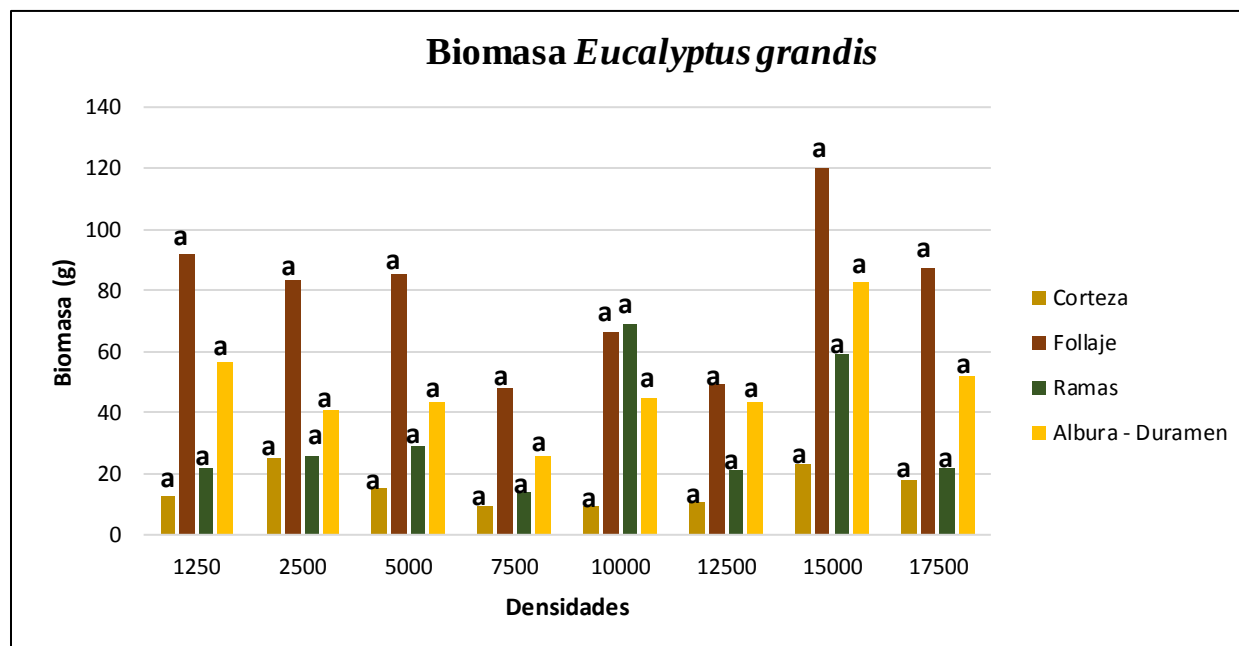


Figura 28. Biomasa, *Eucalyptus grandis*

5.3.2 Biomasa *Eucalyptus globulus*

Tabla 22.

ANDEVA Biomasa corteza *Eucalyptus globulus*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Densidad	7	1119	159.8	0.427	0.871
Error	16	5984	374		
Total	23	7103			

Tabla 23.

ANDEVA Biomasa Follaje *Eucalyptus globulus*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Densidad	7	27838	3977	0.378	0.902
Error	16	168293	10518		
Total	23	196131			

Tabla 24.

ANDEVA Biomasa ramas *Eucalyptus globulus*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Densidad	7	11851	1693	0.565	0.773
Error	16	47928	2996		
Total	23	59779			

Tabla 25.

ANDEVA Biomasa Albura - duramen *Eucalyptus globulus*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Densidad	7	10414	1488	0.561	0.776
Error	16	42411	2651		
Total	23	52825			

Las variables no presentaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$). Las ramas presentaron el mayor valor en la densidad de 1250 árboles por hectárea con un valor de 82.46 gramos, el follaje y la albura - duramen presentaron su mayor valor en la densidad de 17500 árboles por hectárea con 194.34 y 108.10 gramos respectivamente y las ramas presentaron un mayor peso en la densidad de 1250 árboles por hectárea con un valor de 82.46 gramos.

Tabla 26.
Biomasa seca Eucalyptus globulus

Densidad	Componente	Media	std	Min	Max	Grupo
17500	Ramas	79.93	8.44	71.78	88.63	a
17500	Corteza	30.24	4.50	25.04	32.89	a
17500	Follaje	194.35	50.14	146.45	246.46	a
17500	Albura-Duramen	108.10	28.91	74.97	128.18	a
15000	Ramas	33.52	17.87	19.17	53.53	a
15000	Corteza	14.47	6.04	9.16	21.05	a
15000	Follaje	100.87	47.93	59.24	153.27	a
15000	Albura-Duramen	58.15	42.62	20.47	104.40	a
12500	Ramas	42.08	49.58	2.32	97.63	a
12500	Corteza	17.93	18.15	3.55	38.33	a
12500	Follaje	91.30	78.73	15.29	172.49	a
12500	Albura-Duramen	60.46	55.62	7.65	118.53	a
10000	Ramas	38.85	24.76	14.55	64.04	a
10000	Corteza	15.79	9.60	5.23	24.00	a
10000	Follaje	103.37	74.09	41.54	185.49	a
10000	Albura-Duramen	63.31	57.78	16.75	127.97	a
7500	Ramas	35.27	47.67	2.47	89.96	a
7500	Corteza	15.63	14.48	5.19	32.16	a
7500	Follaje	105.14	110.00	17.98	228.73	a
7500	Albura-Duramen	41.00	49.76	11.03	98.44	a
5000	Ramas	23.13	29.91	5.63	57.66	a
5000	Corteza	12.53	13.99	3.12	28.60	a
5000	Follaje	104.63	83.38	35.52	197.24	a
5000	Albura-Duramen	34.50	40.70	6.58	81.20	a
2500	Ramas	20.98	23.49	3.65	47.72	a
2500	Corteza	17.98	15.67	4.91	35.36	a

Continuación Tabla 26.						
2500	Follaje	86.73	79.23	23.85	175.73	a
2500	Albura-Duramen	48.71	41.81	13.75	95.03	a
1250	Ramas	82.47	129.55	1.65	231.89	a
1250	Corteza	31.75	43.16	0.88	81.07	a
1250	Follaje	148.32	205.71	15.83	385.31	a
1250	Albura-Duramen	62.42	79.00	2.76	152.01	a

Se utilizó el test de tukey para la identificación de significancias; std: error estándar; a: grupos de significancia, valores diferentes indican significancias $P < 0.05$; Max: valores máximos; Min: valores mínimos

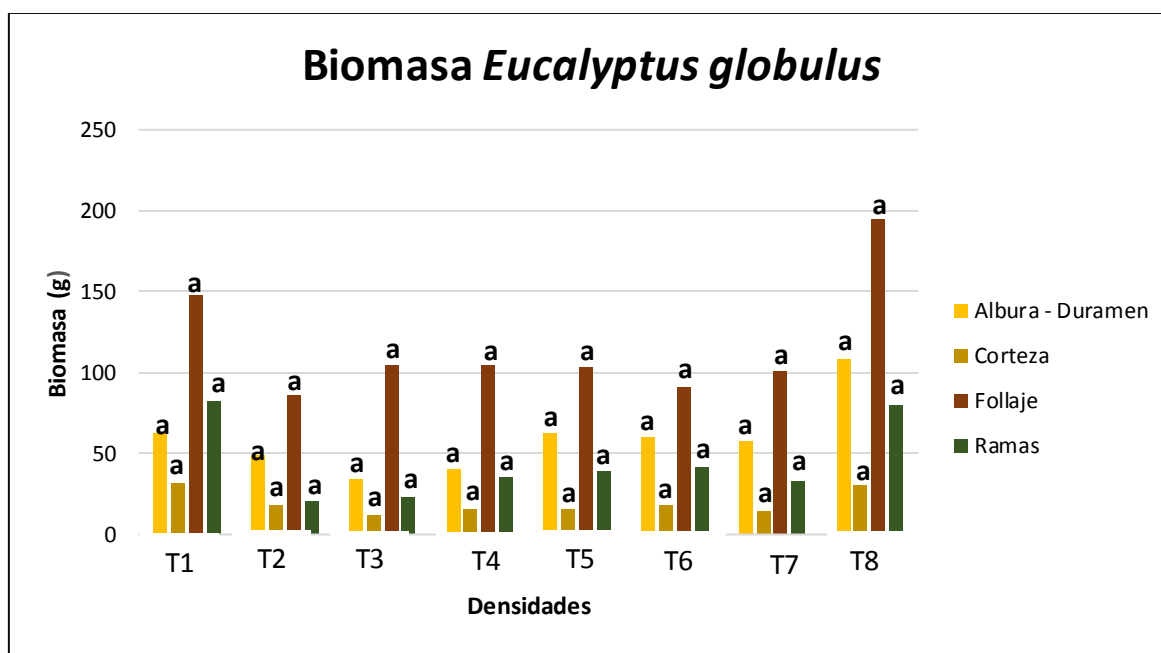


Figura 29. Biomasa, *Eucalyptus globulus*

5.4 Poder calorífico del *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus*

La especie de *Eucalyptus grandis* presentó el mayor poder calorífico para los componentes de: albura–duramen, ramas y hojas con un valor de 4424, 4054.37 y 4316.51 Kilo calorías / kilogramos

respectivamente; La corteza presentó el mayor poder calorífico en el *Eucalyptus globulus* con un valor de 3867.72 Kilo calorías/ kilogramos. Se determinó que pese a que el *Eucalyptus grandis* presenta el mayor poder calorífico la especie con mayor potencia en bioenergía es el *Eucalyptus globulus* ya que presenta mayor biomasa por hectárea plantada.

Tabla 27.

Poder calorífico del Eucalyptus grandis y Eucalyptus globulus

Especie	Albura-Duramen Kcal/Kg	Corteza Kcal/Kg	Follaje Kcal/Kg	Ramas Kcal/Kg
<i>Eucalyptus globulus</i>	4195.87	3867.72	4265.37	3904.71
<i>Eucalyptus grandis</i>	4424	3779.77	4316.51	4054.37

Tabla 28.

Cantidad de energía en Eucalyptus grandis

Densidades	Kcal (Promedio)	Kcal (ha)	KWh	Habitantes
17500	763.38	13,359,151.32	15,533.90	17
15000	1,210.11	18,151,688.05	21,106.61	23
12500	530.94	6,636,786.23	7,717.19	8
10000	801.40	8,013,984.82	9,318.59	10
7500	414.84	3,111,278.03	3,617.77	4
5000	737.60	3,688,006.27	4,288.38	5
2500	739.04	1,847,592.60	2,148.36	2
1250	784.52	980,646.88	1,140.29	1

Tabla 29.

Cantidad de energía en Eucalyptus grandis

Densidades	Kcal (Promedio)	Kcal (ha)	KWh	Habitantes
17500	1,711.63	29,953,487.21	34,829.64	38
15000	861.10	12,916,542.42	15,019.24	17
12500	876.79	10,959,822.01	12,743.98	14
10000	919.27	9,192,703.70	10,689.19	12
7500	818.66	6,139,951.12	7,139.48	8
5000	729.79	3,648,954.29	4,242.97	5
2500	725.81	1,814,514.30	2,109.90	2

Continuación Tabla 29.				
1250	1,339.31	1,674,142.39	1,946.68	2

6. Discusión

Según Ortiz (1984) el diseño de espaciamiento circular de tipo Nelder para las variables de diámetro del tallo, largo y diámetro de copa fueron mayores en las densidades de siembra más baja, mientras la altura obtuvo un mayor desarrollo en las densidades más altas; Redmond, Gallagher, and Mac Siúrtáin (2005) también afirma que que mayor densidad menor diámetro y altura alta. En este trabajo se determinó que contrario a Ortiz (1984) y Redmond, Gallagher, and Mac Siúrtáin (2005) la especie de *Eucalyptus grandis* las variables de diámetro a la altura de cuello, altura total y área de copa presentaron mayor desarrollo en las densidades de más altas, (15000 árboles por hectárea); En el caso del *Eucalyptus glóbulos* las variables de diámetro a la altura de cuello, altura total y área de copa, no presentaron una diferencia significativa aunque los promedios más altos para el último registro lo presentaron unas de las densidades más bajas (2,500 y 7500 árboles por hectárea), concordando con Ortiz (1984) y Redmond, Gallagher, and Mac Siúrtáin (2005).

En cuanto a al poder calorífico el *Eucalyptus grandis* y *E. globulus* presentaron valores inferiores en todos sus componentes con respecto a Covecevi 1974 ya que no presentan una buena lignificación al ser una plantación joven. Covecevi (1979) muestra que la especie de *Eucalyptus globulus* en madera contiene 4,636 Kcal/Kg, en ramas 4,580 Kcal/Kg, en hojas 5,268 Kcal/Kg y corteza 3,944 Kcal/Kg siendo esta la especie con el menor poder calorífico en su estudio con respecto a especies de pino y nativas.

7. Conclusiones

Se determinó con respecto al incremento del diámetro a la altura del cuello, altura total, área de copa, índice de biomasa y volumen en *Eucalyptus grandis*, que la densidad optima de siembra para esta es de 15000 árboles por hectárea, lo cual se re afirma ya que se encontró que la cantidad de energía producida por este tratamiento por hectárea es mayor con respecto a los otros tratamientos de esta especie.

Se mostró que el *Eucalyptus globulus* estadísticamente no presentó diferencias en ninguna de sus densidades de plantación para ninguna variable, lo cual conlleva a ver que, aunque esta especie presentaba valores altos en cada una de las variables es necesario evaluarla por más tiempo para identificar de manera clara la densidad optima de plantación de esta especie.

Se evidenció que, aunque el *Eucalyptus grandis* obtuvo mayor poder calorífico, su producción de biomasa fue baja, lo cual la pone en desventaja con respecto al *Eucalyptus globulus*, ya que el *globulus* al presentar mayor producción de biomasa produjo un 40% más de energía entre la densidad de 17000 del *E. globulus* y la densidad de 15000 árboles por hectárea del *E. grandis*.

8. Recomendaciones

Se recomienda ampliar el periodo de medición de variables especialmente en el *Eucalyptus glóbulos* para identificar de forma más clara densidad optima de desarrollo.

Es importante mejorar los niveles de fertilización, ya que al presentarse altas densidades de siembra la competencia por nutrientes aumenta en las densidades más altas, lo cual influye en el desarrollo de especie.

Seguir con la recolección de datos especialmente en estos momentos donde la competencia de individuos en el espaciamiento es mayor por el desarrollo de estos con el fin de tener resultados más significativos.

Referencias Bibliográficas

- Abdi, H, & Williams, L. (2010). *Newman-Keuls test and Tukey test*. Recuperado de <https://personal.utdallas.edu/~herve/abdi-NewmanKeuls2010-pretty.pdf>.
- Alcaldía municipal de Málaga. (2015). Esquema de Ordenamiento Territorial Málaga Santander. Málaga, Colombia: Alcaldía Málaga.
- Aguirre, O. (2015). Manejo forestal en el siglo XXI. *Madera y bosques*, 21(9), 17-28. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v21nspe/v21nspea2.pdf>.
- Alice, F, Montagnini, F, & Montero, M. (2004). Productividad en plantaciones puras y mixtas de especies forestales nativas en la Estación Biológica La Selva, Sarapiquí, Costa Rica. *Agronomía costarricense*, 28(2), 61-71. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/436/43628206.pdf>.
- Cameron, D, Rance, S, Edwards, D, & Jones, D. (1994). Árboles y pasturas: un estudio sobre los efectos del espaciamiento. *Agroforestería en las Américas*, 1(1), 18. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-x6301s.pdf>.
- Cordero, D. (2011). *Los bosques en América Latina*. Recuperado de <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/quito/08364.pdf>.
- Covacevic, R. (1979). Poder Calorífico de Pinus Insigne y otras Especies Forestales Chilenas. (tesis Doctoral). Facultad de Ciencias Forestales, U. de Chile. Santiago, Chile.
- Esquivel, E, Rubilar, R, Sandoval, S, Cancino, J, Espinosa, M, & Muñoz, F. (2016). Sustentabilidad en el uso de nutrientes de plantaciones dendroenergéticas en dos suelos marginales de la Región de Biobío, Chile. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13, 11-19. Recuperado de <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/2573/2358>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). El estado de los bosques y el sector forestal en la región. Comisión forestal para América latina y el Caribe, Honduras: FAO.
- Fernandez, A. & Silva, F. (2016). El género Eucalyptus (Myrtaceae) en Galicia: Claves y Descripción. *Herbario LOU. Centro de Investigación Forestal de Lourizán. DXOPF Consellería do Medio Rural*, 23, 23-51.
- Ferrere, P, Galetti, M, Esparrach, C, Gelid, P, Pathauer, P, & López, G. (2003). Incidencia de la densidad inicial de plantación sobre el crecimiento de *Eucalyptus globulus*. *Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales*, 10, 25-27.

- Ferrere, P, López, G, Boca, R, Galetti, MA, Esparrach, C, & Pathauer, P. (2005). Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento de *Eucalyptus globulus* en un ensayo Nelder modificado. *Invest Agrar: Sist. Recur. For*, 14(2), 174-184. Recuperado de [http://www.inia.es/GCONTREC/PUB/174-184-\(61_04\)-Efecto_1162281329671.pdf](http://www.inia.es/GCONTREC/PUB/174-184-(61_04)-Efecto_1162281329671.pdf).
- Fondo Nacional de Financiamiento Forestal & Forest Monoforing for REDD+ Costa Rica. (2015). Eucalipto (*Eucalyptus spp.*): *Condiciones para su cultivo "Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono"*. Recuperado de http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/fomento_de_la_reforestacion_comercial_para_la_mejora_y_conservacion_de_las_reservas_de_carbono.pdf
- Gómez, E., Ríos, L., & Peña, J. (2012). Madera, un potencial material lignocelulósico para la producción de biocombustibles en Colombia. *Información tecnológica*, 23(6), 73-86. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v23n6/art09.pdf>.
- Hazell, P, & Pachauri, R. (2006). *Bioenergía y agricultura: promesas y retos*. Recuperado de http://www.biopasos.com/biblioteca/Bioenergia%20agricultura%20promesas%20retos_IFPRI.pdf.
- Kiviste, A, González, J, Alboreca, A, & González, A. (2002). *Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/305473874_Funciones_de_crecimiento_de_aplicacion_en_elambito_forestal.
- Mac Dicken, K., Jonsson, Ö., Piña, L., Maulo, S., Contessa, V., Adikari, & Annunzio, R. (2016). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015: cómo están cambiando los bosques del mundo?: *FAO*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i4793s.pdf>.
- Martínez, D, Albin, J, Cabaleiro, J, Pena, T, Rivera, F, & Blanco, V. (Septiembre de 2009). El Criterio de Información de Akaike en la Obtención de Modelos Estadísticos de Rendimiento, *XX Jornadas de Paralelismo*. Retomado de https://www.researchgate.net/profile/Tomas_Pena/publication/236279245_El_criterio_de_informacion_de_Akaike_en_la_obtencion_de_modelos_estadisticos_de_Rendimiento/links/58904f334585157323404fd4/El-criterio-de-informacion-de-Akaike-en-la-obtencion-de-modelos-estadisticos-de-Rendimiento.pdf.
- Martínez, R, Azpiroz, H, Rodríguez, J, Centria, V, & Gutierrez, M. (2006). Importancia de las plantaciones forestales de *Eucalyptus*. *Ra Ximhai*, 2(3), 815-846. Recuperado de [file:///E:/Descargas/Dialnet-ImportanciaDeLasPlantacionesForestalesDeEucalyptus-2213988%20\(5\).pdf](file:///E:/Descargas/Dialnet-ImportanciaDeLasPlantacionesForestalesDeEucalyptus-2213988%20(5).pdf).
- Nelder, J. (1962). New kinds of systematic designs for spacing experiments. *Biometrics*, 18(3), 283-307.

- Ortiz, L. (1984). *Crecimiento inicial de 18 especies forestales con diseño de espaciamiento Nelder en tres localidades de Costa Rica*. Recuperado de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=orton.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mn=055798>
- Paneque, M, Román, C, Vázquez, R, Arriaza, J, Morales, D, & Zulantay, M. (2011). *Bioenergía en Chile. Santiago de Chile, Chile: FAO-Universidad de Chile*.
- Parrott, D, Brinks, J, & Lhotka, J. (2012). Designing Nelder wheel plots for tree density experiments. *New forests*, 43(2), 245-254. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11056-011-9278-4>.
- Prieto, C, Bravo, F, & Diez, J. (2012). REsource INFrastructure for monitoring and adapting European Atlantic FORests under Changing climatE "Establecimiento de una red de arbores y de zonas de demostración". *Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 36, 183-188. Recuperado de <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/C36-Acta26%20NT.pdf>.
- PROFOR. (2017). *Fomento de plantaciones forestales comerciales en Colombia: Oportunidades y Desafíos*. Bogotá, Colombia: PROFOR.
- PROFOR. (2017). *Situación actual y potenciales de fomento de plantaciones forestales con fines comerciales en Colombia*. Bogotá, Colombia: PROFOR.
- Redmond, J, Gallagher, G, & Mac Siúrtáin, M. (2005). *Systematic spacing trials for plantation research and demonstration*. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Mairtin_Mac_Siurtain/publication/265224980_Systematic_Spacing_Trials_for_Plantation_Research_and_Demonstration/links/562fe2bf08aed649430e02e5.pdf.
- Rodríguez, A, Acuña, E, Cancino, J, Muñoz, F, & Rubilar, R. (2013). Evaluación del crecimiento de plantaciones dendroenergéticas de *Eucalyptus globulus*, según densidad de plantación y turno de rotación en suelos contrastantes de la región del Biobío, Chile. *Ciencia e Investigación Forestal INFOR Chile*, 19(1), 7-18. Recuperado de <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/20682/31215.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Salazar, E. (2016). Influencia de altas densidades de plantación en el poder calorífico y propiedades físicas de la madera para la especie *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(30), 51-56. Recuperto de <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/2460/2255>.
- Sanhueza, J, & Antonissen, M. (2014). *Estado actual de las estrategias de reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal*. Recuperado de

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36810/S2014280_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

- Schlichter, T, & Laclau, P. (1998). Ecotono estepa-bosque y plantaciones forestales en la Patagonia norte. *Ecologia Austral*. 8, 285-296.
- Vasquez, W, & Navarro, C. (1993). *Spacing trial in the systematic NELDER scheme for Pinus caribaea var. hondurensis B et G and Eucalyptus grandis Hill Exmaiden in Turrialba, Costa Rica*. Recuperado de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CR9400233>.

Apéndices

Apéndice 1. Tablas de valores para *Eucalyptus grandis*

	dec	std	r	Min	Max
TTR_10000	1.216067	0.4579494	15	0.496	1.974
TTR_1250	1.249267	0.396561	15	0.811	2.101
TTR_12500	1.2948	0.3482719	15	0.601	1.82
TTR_15000	1.5514	0.2375785	15	1.206	2.123
TTR_17500	1.374933	0.2456672	15	1.047	1.83
TTR_2500	1.114933	0.4223684	15	0.555	1.898
TTR_5000	1.2438	0.3956453	15	0.681	2.05
TTR_7500	1.4166	0.3376858	15	0.918	1.905

	Ht	std	r	Min	Max
TTR_10000	87.6	32.28179	15	25	135
TTR_1250	81.73333	26.80476	15	52	131
TTR_12500	92.26667	18.26967	15	69	127
TTR_15000	106.8	19.89329	15	75	143
TTR_17500	98.06667	11.78659	15	79	121
TTR_2500	75.8	22.33255	15	45	119
TTR_5000	78.26667	23.3589	15	42	131
TTR_7500	86.46667	23.29889	15	48	122

	AreaCopa	std	r	Min	Max
TTR_10000	2178.433	2046.03	15	78.53982	6627.975
TTR_1250	2508.143	2213.733	15	433.53979	7690.619
TTR_12500	2696.324	1608.503	15	397.41147	6785.84
TTR_15000	3520.102	2143.532	15	777.54418	7932.521
TTR_17500	3096.354	1411.973	15	758.69463	6889.513
TTR_2500	2230.95	1771.708	15	487.73226	7049.734
TTR_5000	2897.91	1989.256	15	494.80084	6719.867
TTR_7500	2457.982	1465.746	15	827.02427	6427.699

	IndBiomasa	std	r	Min	Max
TTR_10000	177.8538	159.7625	15	6.1504	498.7745
TTR_1250	156.066	134.9906	15	36.83238	463.4911
TTR_12500	173.7344	96.1826	15	25.28407	301.4284
TTR_15000	269.6346	119.1029	15	120.01688	527.3341
TTR_17500	195.3786	84.0333	15	89.88914	371.7279
TTR_2500	125.2405	122.1025	15	16.63335	428.6861
TTR_5000	148.4724	137.3113	15	19.47796	550.5275
TTR_7500	199.1807	132.2318	15	45.5071	442.741

	Volumen	std	r	Min	Max
TTR_10000	106.71228	95.85752	15	3.69024	299.2647
TTR_1250	93.63959	80.99433	15	22.09943	278.0947
TTR_12500	104.24065	57.70956	15	15.17044	180.857
TTR_15000	161.78078	71.46176	15	72.01013	316.4005
TTR_17500	117.22716	50.41998	15	53.93348	223.0367
TTR_2500	75.14429	73.26151	15	9.98001	257.2116
TTR_5000	89.08342	82.38679	15	11.68678	330.3165
TTR_7500	119.50841	79.3391	15	27.30426	265.6446

Apéndice 2. Tablas de valores para *Eucalyptus globulus*

	dac	std	r	Min	Max
TTR_10000	1.463933	0.3454642	15	0.97	2.04
TTR_1250	1.4042	0.5041609	15	0.563	2.239
TTR_12500	1.245857	0.3195826	14	0.663	1.804
TTR_15000	1.387267	0.2690853	15	1.028	1.936
TTR_17500	1.411	0.3719396	14	0.922	2.327
TTR_2500	1.508467	0.3521247	15	0.968	2.259
TTR_5000	1.135143	0.2815686	14	0.803	1.68
TTR_7500	1.417467	0.3675589	15	0.757	1.929

	Ht	std	r	Min	Max
TTR_10000	102.4	15.34741	15	76	126
TTR_1250	103.4	26.04337	15	59	138
TTR_12500	105.7857	19.4627	14	64	139
TTR_15000	109.3333	13.64167	15	84	128
TTR_17500	107.5	21.98863	14	63	153
TTR_2500	112.0667	17.72596	15	88	144
TTR_5000	92	15.18603	14	66	123
TTR_7500	108	20.59473	15	78	144

	AreaCopa	std	r	Min	Max
TTR_10000	3745.511	1832.593	15	1731.803	8171.282
TTR_1250	4613.115	3141.865	15	490.0885	10659.424
TTR_12500	3576.423	1939.607	14	636.1725	6764.634
TTR_15000	4186.067	1972.897	15	1306.9025	7386.67
TTR_17500	3793.698	3074.314	14	471.2389	13160.132
TTR_2500	4514.573	2595.56	15	1005.3096	10477.211
TTR_5000	2992.143	1956.606	14	824.6681	6850.243
TTR_7500	4954.553	3407.925	15	678.584	12173.672

	IndBiomasa	std	r	Min	Max
TTR_10000	238.7596	130.7347	15	71.5084	479.115
TTR_1250	253.0755	203.2968	15	18.70117	631.6532
TTR_12500	185.7852	112.9159	14	28.13242	452.3638
TTR_15000	221.3323	100.9315	15	106.73518	417.9057
TTR_17500	240.3609	192.9884	14	77.35764	828.4841
TTR_2500	282.0746	171.0542	15	84.33216	724.6375
TTR_5000	133.5229	88.9669	14	46.42625	347.1552
TTR_7500	248.4968	158.5617	15	45.27087	528.0804

	Volumen	std	r	Min	Max
TTR_10000	143.25576	78.44083	15	42.90504	287.469
TTR_1250	151.84528	121.97808	15	11.2207	378.9919
TTR_12500	111.47109	67.74953	14	16.87945	271.4183
TTR_15000	132.7994	60.55892	15	64.04111	250.7434
TTR_17500	144.21653	115.79306	14	46.41459	497.0905
TTR_2500	169.24477	102.63252	15	50.5993	434.7825
TTR_5000	80.11375	53.38014	14	27.85575	208.2931
TTR_7500	149.09811	95.13704	15	27.16252	316.8482

Apéndice 3. Resultados TukeyHSD para el diámetro en *Eucalyptus grandis*

```
Fit: aov(formula = dac ~ Densidad, data = Grandis)
```

```
$Densidad
```

	diff	lwr	upr	p adj
TTR_1250-TTR_10000	0.033200000	-0.37622321	0.44262321	0.9999967
TTR_12500-TTR_10000	0.078733333	-0.33068988	0.48815655	0.9988920
TTR_15000-TTR_10000	0.335333333	-0.07408988	0.74475655	0.1938617
TTR_17500-TTR_10000	0.158866667	-0.25055655	0.56828988	0.9307621
TTR_2500-TTR_10000	-0.101133333	-0.51055655	0.30828988	0.9946112
TTR_5000-TTR_10000	0.027733333	-0.38168988	0.43715655	0.9999991
TTR_7500-TTR_10000	0.200533333	-0.20888988	0.60995655	0.7989503
TTR_12500-TTR_1250	0.045533333	-0.36388988	0.45495655	0.9999713
TTR_15000-TTR_1250	0.302133333	-0.10728988	0.71155655	0.3141440
TTR_17500-TTR_1250	0.125666667	-0.28375655	0.53508988	0.9804278
TTR_2500-TTR_1250	-0.134333333	-0.54375655	0.27508988	0.9715167
TTR_5000-TTR_1250	-0.005466667	-0.41488988	0.40395655	1.0000000
TTR_7500-TTR_1250	0.167333333	-0.24208988	0.57675655	0.9105376
TTR_15000-TTR_12500	0.256600000	-0.15282321	0.66602321	0.5295034
TTR_17500-TTR_12500	0.080133333	-0.32928988	0.48955655	0.9987584
TTR_2500-TTR_12500	-0.179866667	-0.58928988	0.22955655	0.8743624
TTR_5000-TTR_12500	-0.051000000	-0.46042321	0.35842321	0.9999381
TTR_7500-TTR_12500	0.121800000	-0.28762321	0.53122321	0.9836447
TTR_17500-TTR_15000	-0.176466667	-0.58588988	0.23295655	0.8849134
TTR_2500-TTR_15000	-0.436466667	-0.84588988	-0.02704345	0.0280021
TTR_5000-TTR_15000	-0.307600000	-0.71702321	0.10182321	0.2918114
TTR_7500-TTR_15000	-0.134800000	-0.54422321	0.27462321	0.9709647
TTR_2500-TTR_17500	-0.260000000	-0.66942321	0.14942321	0.5122222
TTR_5000-TTR_17500	-0.131133333	-0.54055655	0.27828988	0.9750973
TTR_7500-TTR_17500	0.041666667	-0.36775655	0.45108988	0.9999844
TTR_5000-TTR_2500	0.128866667	-0.28055655	0.53828988	0.9774239
TTR_7500-TTR_2500	0.301666667	-0.10775655	0.71108988	0.3160940
TTR_7500-TTR_5000	0.172800000	-0.23662321	0.58222321	0.8956778

Apéndice 4. Resultados TukeyHSD para el diámetro en *Eucalyptus globulus*

```
Fit: aov(formula = dac ~ Densidad, data = Globulus)
```

```
$Densidad
```

	diff	lwr	upr	p adj
TTR_1250-TTR_10000	-0.059733333	-0.4645784	0.34511176	0.9998054
TTR_12500-TTR_10000	-0.218076190	-0.6300872	0.19393486	0.7276019
TTR_15000-TTR_10000	-0.076666667	-0.4815118	0.32817843	0.9989918
TTR_17500-TTR_10000	-0.052933333	-0.4649444	0.35907771	0.9999233
TTR_2500-TTR_10000	0.044533333	-0.3603118	0.44937843	0.9999733
TTR_5000-TTR_10000	-0.328790476	-0.7408015	0.08322057	0.2211712
TTR_7500-TTR_10000	-0.046466667	-0.4513118	0.35837843	0.9999643
TTR_12500-TTR_1250	-0.158342857	-0.5703539	0.25366819	0.9338130
TTR_15000-TTR_1250	-0.016933333	-0.4217784	0.38791176	1.0000000
TTR_17500-TTR_1250	0.006800000	-0.4052110	0.41881105	1.0000000
TTR_2500-TTR_1250	0.104266667	-0.3005784	0.50911176	0.9930145
TTR_5000-TTR_1250	-0.269057143	-0.6810682	0.14295391	0.4745800
TTR_7500-TTR_1250	0.013266667	-0.3915784	0.41811176	1.0000000
TTR_15000-TTR_12500	0.141409524	-0.2706015	0.55342057	0.9634080
TTR_17500-TTR_12500	0.165142857	-0.2539116	0.58419734	0.9249378
TTR_2500-TTR_12500	0.262609524	-0.1494015	0.67462057	0.5067811
TTR_5000-TTR_12500	-0.110714286	-0.5297688	0.30834020	0.9918500
TTR_7500-TTR_12500	0.171609524	-0.2404015	0.58362057	0.9017155
TTR_17500-TTR_15000	0.023733333	-0.3882777	0.43574438	0.9999997
TTR_2500-TTR_15000	0.121200000	-0.2836451	0.52604509	0.9829670
TTR_5000-TTR_15000	-0.252123810	-0.6641349	0.15988724	0.5598470
TTR_7500-TTR_15000	0.030200000	-0.3746451	0.43504509	0.9999981
TTR_2500-TTR_17500	0.097466667	-0.3145444	0.50947771	0.9958543
TTR_5000-TTR_17500	-0.275857143	-0.6949116	0.14319734	0.4638923
TTR_7500-TTR_17500	0.006466667	-0.4055444	0.41847771	1.0000000
TTR_5000-TTR_2500	-0.373323810	-0.7853349	0.03868724	0.1055864
TTR_7500-TTR_2500	-0.091000000	-0.4958451	0.31384509	0.9969870
TTR_7500-TTR_5000	0.282323810	-0.1296872	0.69433486	0.4102861

Apéndice 5. Resultados TukeyHSD para la altura total en *Eucalyptus grandis*

```
Fit: aov(formula = Ht ~ Densidad, data = Grandis)
```

```
$Densidad
```

	diff	lwr	upr	p adj
TTR_1250-TTR_10000	-5.866667	-31.7613512	20.028018	0.9968491
TTR_12500-TTR_10000	4.666667	-21.2280178	30.561351	0.9992735
TTR_15000-TTR_10000	19.200000	-6.6946845	45.094685	0.3081713
TTR_17500-TTR_10000	10.466667	-15.4280178	36.361351	0.9152294
TTR_2500-TTR_10000	-11.800000	-37.6946845	14.094685	0.8519756
TTR_5000-TTR_10000	-9.333333	-35.2280178	16.561351	0.9526486
TTR_7500-TTR_10000	-1.133333	-27.0280178	24.761351	1.0000000
TTR_12500-TTR_1250	10.533333	-15.3613512	36.428018	0.9125670
TTR_15000-TTR_1250	25.066667	-0.8280178	50.961351	0.0651846
TTR_17500-TTR_1250	16.333333	-9.5613512	42.228018	0.5211181
TTR_2500-TTR_1250	-5.933333	-31.8280178	19.961351	0.9966180
TTR_5000-TTR_1250	-3.466667	-29.3613512	22.428018	0.9998992
TTR_7500-TTR_1250	4.733333	-21.1613512	30.628018	0.9992030
TTR_15000-TTR_12500	14.533333	-11.3613512	40.428018	0.6653653
TTR_17500-TTR_12500	5.800000	-20.0946845	31.694685	0.9970673
TTR_2500-TTR_12500	-16.466667	-42.3613512	9.428018	0.5104178
TTR_5000-TTR_12500	-14.000000	-39.8946845	11.894685	0.7062978
TTR_7500-TTR_12500	-5.800000	-31.6946845	20.094685	0.9970673
TTR_17500-TTR_15000	-8.733333	-34.6280178	17.161351	0.9668567
TTR_2500-TTR_15000	-31.000000	-56.8946845	-5.105315	0.0078811
TTR_5000-TTR_15000	-28.533333	-54.4280178	-2.638649	0.0200960
TTR_7500-TTR_15000	-20.333333	-46.2280178	5.561351	0.2394699
TTR_2500-TTR_17500	-22.266667	-48.1613512	3.628018	0.1474319
TTR_5000-TTR_17500	-19.800000	-45.6946845	6.094685	0.2704714
TTR_7500-TTR_17500	-11.600000	-37.4946845	14.294685	0.8627938
TTR_5000-TTR_2500	2.466667	-23.4280178	28.361351	0.9999901
TTR_7500-TTR_2500	10.666667	-15.2280178	36.561351	0.9070843
TTR_7500-TTR_5000	8.200000	-17.6946845	34.094685	0.9766380

Apéndice 6. Resultados TukeyHSD para la altura total en *Eucalyptus globulus*

```
Fit: aov(formula = Ht ~ Densidad, data = Globulus)
```

```
$Densidad
```

	diff	lwr	upr	p adj
TTR_1250-TTR_10000	1.000000	-20.603647	22.603647	0.9999999
TTR_12500-TTR_10000	3.385714	-18.600328	25.371757	0.9997412
TTR_15000-TTR_10000	6.933333	-14.670314	28.536981	0.9747143
TTR_17500-TTR_10000	5.100000	-16.886042	27.086042	0.9963309
TTR_2500-TTR_10000	9.666667	-11.936981	31.270314	0.8631178
TTR_5000-TTR_10000	-10.400000	-32.386042	11.586042	0.8256201
TTR_7500-TTR_10000	5.600000	-16.003647	27.203647	0.9927356
TTR_12500-TTR_1250	2.385714	-19.600328	24.371757	0.9999756
TTR_15000-TTR_1250	5.933333	-15.670314	27.536981	0.9897212
TTR_17500-TTR_1250	4.100000	-17.886042	26.086042	0.9990876
TTR_2500-TTR_1250	8.666667	-12.936981	30.270314	0.9180367
TTR_5000-TTR_1250	-11.400000	-33.386042	10.586042	0.7478135
TTR_7500-TTR_1250	4.600000	-17.003647	26.203647	0.9978600
TTR_15000-TTR_12500	3.547619	-18.438423	25.533661	0.9996471
TTR_17500-TTR_12500	1.714286	-20.647614	24.076185	0.9999978
TTR_2500-TTR_12500	6.280952	-15.705090	28.266995	0.9870279
TTR_5000-TTR_12500	-13.785714	-36.147614	8.576185	0.5503325
TTR_7500-TTR_12500	2.214286	-19.771757	24.200328	0.9999854
TTR_17500-TTR_15000	-1.833333	-23.819376	20.152709	0.9999960
TTR_2500-TTR_15000	2.733333	-18.870314	24.336981	0.9999308
TTR_5000-TTR_15000	-17.333333	-39.319376	4.652709	0.2346455
TTR_7500-TTR_15000	-1.333333	-22.936981	20.270314	0.9999995
TTR_2500-TTR_17500	4.566667	-17.419376	26.552709	0.9981728
TTR_5000-TTR_17500	-15.500000	-37.861899	6.861899	0.3950259
TTR_7500-TTR_17500	0.500000	-21.486042	22.486042	1.0000000
TTR_5000-TTR_2500	-20.066667	-42.052709	1.919376	0.1004902
TTR_7500-TTR_2500	-4.066667	-25.670314	17.536981	0.9990303

Apéndice 7. Resultados TukeyHSD para el área de copa en *Eucalyptus grandis*

```
Fit: aov(formula = AreaCopa ~ Densidad, data = Grandis)
```

```
$Densidad
```

	diff	lwr	upr	p adj
TTR_1250-TTR_10000	329.71015	-1761.8387	2421.2590	0.9996992
TTR_12500-TTR_10000	517.89155	-1573.6573	2609.4404	0.9945307
TTR_15000-TTR_10000	1341.66950	-749.8793	3433.2183	0.4989006
TTR_17500-TTR_10000	917.92101	-1173.6278	3009.4699	0.8749426
TTR_2500-TTR_10000	52.51696	-2039.0319	2144.0658	1.0000000
TTR_5000-TTR_10000	719.47708	-1372.0718	2811.0259	0.9630984
TTR_7500-TTR_10000	279.54939	-1811.9995	2371.0982	0.9999003
TTR_12500-TTR_1250	188.18140	-1903.3674	2279.7302	0.9999933
TTR_15000-TTR_1250	1011.95935	-1079.5895	3103.5082	0.8088107
TTR_17500-TTR_1250	588.21086	-1503.3380	2679.7597	0.9882230
TTR_2500-TTR_1250	-277.19319	-2368.7420	1814.3556	0.9999059
TTR_5000-TTR_1250	389.76693	-1701.7819	2481.3158	0.9990963
TTR_7500-TTR_1250	-50.16076	-2141.7096	2041.3881	1.0000000
TTR_15000-TTR_12500	823.77795	-1267.7709	2915.3268	0.9253955
TTR_17500-TTR_12500	400.02946	-1691.5194	2491.5783	0.9989303
TTR_2500-TTR_12500	-465.37459	-2556.9234	1626.1742	0.9971873
TTR_5000-TTR_12500	201.58553	-1889.9633	2293.1344	0.9999892
TTR_7500-TTR_12500	-238.34216	-2329.8910	1853.2067	0.9999662
TTR_17500-TTR_15000	-423.74849	-2515.2973	1667.8004	0.9984496
TTR_2500-TTR_15000	-1289.15255	-3380.7014	802.3963	0.5511745
TTR_5000-TTR_15000	-622.19243	-2713.7413	1469.3564	0.9836486
TTR_7500-TTR_15000	-1062.12012	-3153.6690	1029.4287	0.7677631
TTR_2500-TTR_17500	-865.40406	-2956.9529	1226.1448	0.9050767
TTR_5000-TTR_17500	-198.44394	-2289.9928	1893.1049	0.9999903
TTR_7500-TTR_17500	-638.37163	-2729.9205	1453.1772	0.9810468
TTR_5000-TTR_2500	666.96012	-1424.5887	2758.5090	0.9757037
TTR_7500-TTR_2500	227.03243	-1864.5164	2318.5813	0.9999757
TTR_7500-TTR_5000	-439.92769	-2531.4765	1651.6211	0.9980300

Apéndice 8. Resultados TukeyHSD para el área de copa en *Eucalyptus globulus*

```
Fit: aov(formula = AreaCopa ~ Densidad, data = Globulus)
```

```
$Densidad
```

	diff	lwr	upr	p adj
TTR_1250-TTR_10000	867.60317	-2029.1855	3764.392	0.9829239
TTR_12500-TTR_10000	-169.08874	-3117.1520	2778.975	0.9999997
TTR_15000-TTR_10000	440.55601	-2456.2327	3337.345	0.9997618
TTR_17500-TTR_10000	48.18605	-2899.8772	2996.249	1.0000000
TTR_2500-TTR_10000	769.06188	-2127.7268	3665.851	0.9916081
TTR_5000-TTR_10000	-753.36888	-3701.4322	2194.694	0.9933376
TTR_7500-TTR_10000	1209.04193	-1687.7468	4105.831	0.9007496
TTR_12500-TTR_1250	-1036.69192	-3984.7552	1911.371	0.9583056
TTR_15000-TTR_1250	-427.04716	-3323.8359	2469.742	0.9998065
TTR_17500-TTR_1250	-819.41712	-3767.4804	2128.646	0.9889646
TTR_2500-TTR_1250	-98.54129	-2995.3300	2798.247	1.0000000
TTR_5000-TTR_1250	-1620.97205	-4569.0353	1327.091	0.6876429
TTR_7500-TTR_1250	341.43876	-2555.3500	3238.227	0.9999572
TTR_15000-TTR_12500	609.64475	-2338.4185	3557.708	0.9982235
TTR_17500-TTR_12500	217.27479	-2781.1864	3215.736	0.9999985
TTR_2500-TTR_12500	938.15063	-2009.9127	3886.214	0.9758871
TTR_5000-TTR_12500	-584.28013	-3582.7413	2414.181	0.9987872
TTR_7500-TTR_12500	1378.13068	-1569.9326	4326.194	0.8341825
TTR_17500-TTR_15000	-392.36996	-3340.4333	2555.693	0.9999026
TTR_2500-TTR_15000	328.50587	-2568.2828	3225.295	0.9999671
TTR_5000-TTR_15000	-1193.92489	-4141.9882	1754.138	0.9141508
TTR_7500-TTR_15000	768.48592	-2128.3028	3665.275	0.9916458
TTR_2500-TTR_17500	720.87583	-2227.1875	3668.939	0.9949130
TTR_5000-TTR_17500	-801.55493	-3800.0161	2196.906	0.9912537
TTR_7500-TTR_17500	1160.85589	-1787.2074	4108.919	0.9252360
TTR_5000-TTR_2500	-1522.43076	-4470.4941	1425.633	0.7516674
TTR_7500-TTR_2500	439.98005	-2456.8087	3336.769	0.9997639
TTR_7500-TTR_5000	1962.41081	-985.6525	4910.474	0.4489986

Apéndice 9. Resultados TukeyHSD para el Índice de biomasa en *Eucalyptus grandis*

```
Fit: aov(formula = IndBiomasa ~ Densidad, data = Grandis)
```

```
$Densidad
```

	diff	lwr	upr	p adj
TTR_1250-TTR_10000	-21.787831	-163.05997	119.484312	0.9997399
TTR_12500-TTR_10000	-4.119382	-145.39153	137.152761	1.0000000
TTR_15000-TTR_10000	91.780832	-49.49131	233.052975	0.4820169
TTR_17500-TTR_10000	17.524801	-123.74734	158.796944	0.9999398
TTR_2500-TTR_10000	-52.613326	-193.88547	88.658817	0.9438306
TTR_5000-TTR_10000	-29.381445	-170.65359	111.890699	0.9981667
TTR_7500-TTR_10000	21.326881	-119.94526	162.599024	0.9997745
TTR_12500-TTR_1250	17.668448	-123.60369	158.940592	0.9999364
TTR_15000-TTR_1250	113.568663	-27.70348	254.840806	0.2134702
TTR_17500-TTR_1250	39.312632	-101.95951	180.584775	0.9889364
TTR_2500-TTR_1250	-30.825495	-172.09764	110.446648	0.9975134
TTR_5000-TTR_1250	-7.593614	-148.86576	133.678529	0.9999998
TTR_7500-TTR_1250	43.114711	-98.15743	184.386855	0.9810560
TTR_15000-TTR_12500	95.900215	-45.37193	237.172358	0.4233284
TTR_17500-TTR_12500	21.644183	-119.62796	162.916326	0.9997511
TTR_2500-TTR_12500	-48.493943	-189.76609	92.778200	0.9635181
TTR_5000-TTR_12500	-25.262062	-166.53421	116.010081	0.9993095
TTR_7500-TTR_12500	25.446263	-115.82588	166.718406	0.9992760
TTR_17500-TTR_15000	-74.256031	-215.52817	67.016112	0.7350920
TTR_2500-TTR_15000	-144.394158	-285.66630	-3.122015	0.0413781
TTR_5000-TTR_15000	-121.162277	-262.43442	20.109867	0.1497399
TTR_7500-TTR_15000	-70.453951	-211.72609	70.818192	0.7837713
TTR_2500-TTR_17500	-70.138127	-211.41027	71.134017	0.7876247
TTR_5000-TTR_17500	-46.906245	-188.17839	94.365898	0.9695834
TTR_7500-TTR_17500	3.802080	-137.47006	145.074223	1.0000000
TTR_5000-TTR_2500	23.231881	-118.04026	164.504025	0.9996020
TTR_7500-TTR_2500	73.940207	-67.33194	215.212350	0.7392849
TTR_7500-TTR_5000	50.708325	-90.56382	191.980468	0.9536747

Apéndice 10. Resultados TukeyHSD para el Índice de biomasa en *Eucalyptus globulus*

```
Fit: aov(formula = IndBiomasa ~ Densidad, data = Globulus)
```

```
$Densidad
```

	diff	lwr	upr	p adj
TTR_1250-TTR_10000	14.315868	-155.73904	184.37077	0.9999957
TTR_12500-TTR_10000	-52.974446	-226.03940	120.09051	0.9806522
TTR_15000-TTR_10000	-17.427258	-187.48216	152.62765	0.9999835
TTR_17500-TTR_10000	1.601293	-171.46367	174.66625	1.0000000
TTR_2500-TTR_10000	43.315023	-126.73988	213.36993	0.9934690
TTR_5000-TTR_10000	-105.236679	-278.30164	67.82828	0.5679214
TTR_7500-TTR_10000	9.737245	-160.31766	179.79215	0.9999997
TTR_12500-TTR_1250	-67.290314	-240.35527	105.77465	0.9298173
TTR_15000-TTR_1250	-31.743126	-201.79803	138.31178	0.9990818
TTR_17500-TTR_1250	-12.714575	-185.77953	160.35038	0.9999983
TTR_2500-TTR_1250	28.999155	-141.05575	199.05406	0.9994917
TTR_5000-TTR_1250	-119.552547	-292.61751	53.51241	0.3995297
TTR_7500-TTR_1250	-4.578623	-174.63353	165.47628	1.0000000
TTR_15000-TTR_12500	35.547188	-137.51777	208.61215	0.9982988
TTR_17500-TTR_12500	54.575738	-121.44781	230.59929	0.9791852
TTR_2500-TTR_12500	96.289469	-76.77549	269.35443	0.6745951
TTR_5000-TTR_12500	-52.262234	-228.28578	123.76132	0.9837622
TTR_7500-TTR_12500	62.711691	-110.35327	235.77665	0.9511275
TTR_17500-TTR_15000	19.028551	-154.03641	192.09351	0.9999733
TTR_2500-TTR_15000	60.742281	-109.31262	230.79719	0.9546914
TTR_5000-TTR_15000	-87.809422	-260.87438	85.25554	0.7680304
TTR_7500-TTR_15000	27.164503	-142.89040	197.21941	0.9996699
TTR_2500-TTR_17500	41.713731	-131.35123	214.77869	0.9953452
TTR_5000-TTR_17500	-106.837972	-282.86152	69.18558	0.5702723
TTR_7500-TTR_17500	8.135953	-164.92901	181.20091	0.9999999
TTR_5000-TTR_2500	-148.551703	-321.61666	24.51326	0.1488483
TTR_7500-TTR_2500	-33.577778	-203.63268	136.47713	0.9986793
TTR_7500-TTR_5000	114.973925	-58.09103	288.03888	0.4516555

Apéndice 11. Resultados TukeyHSD para el Volumen en *Eucalyptus grandis*

```
Fit: aov(formula = Volumen ~ Densidad, data = Grandis)
```

```
$Densidad
```

	diff	lwr	upr	p adj
TTR_1250-TTR_10000	-13.072698	-97.83598	71.690587	0.9997399
TTR_12500-TTR_10000	-2.471629	-87.23492	82.291656	1.0000000
TTR_15000-TTR_10000	55.068499	-29.69479	139.831785	0.4820169
TTR_17500-TTR_10000	10.514880	-74.24841	95.278166	0.9999398
TTR_2500-TTR_10000	-31.567996	-116.33128	53.195290	0.9438306
TTR_5000-TTR_10000	-17.628867	-102.39215	67.134419	0.9981667
TTR_7500-TTR_10000	12.796128	-71.96716	97.559414	0.9997745
TTR_12500-TTR_1250	10.601069	-74.16222	95.364355	0.9999364
TTR_15000-TTR_1250	68.141198	-16.62209	152.904484	0.2134702
TTR_17500-TTR_1250	23.587579	-61.17571	108.350865	0.9889364
TTR_2500-TTR_1250	-18.495297	-103.25858	66.267989	0.9975134
TTR_5000-TTR_1250	-4.556168	-89.31945	80.207118	0.9999998
TTR_7500-TTR_1250	25.868827	-58.89446	110.632113	0.9810560
TTR_15000-TTR_12500	57.540129	-27.22316	142.303415	0.4233284
TTR_17500-TTR_12500	12.986510	-71.77678	97.749796	0.9997511
TTR_2500-TTR_12500	-29.096366	-113.85965	55.666920	0.9635181
TTR_5000-TTR_12500	-15.157237	-99.92052	69.606049	0.9993095
TTR_7500-TTR_12500	15.267758	-69.49553	100.031044	0.9992760
TTR_17500-TTR_15000	-44.553619	-129.31690	40.209667	0.7350920
TTR_2500-TTR_15000	-86.636495	-171.39978	-1.873209	0.0413781
TTR_5000-TTR_15000	-72.697366	-157.46065	12.065920	0.1497399
TTR_7500-TTR_15000	-42.272371	-127.03566	42.490915	0.7837713
TTR_2500-TTR_17500	-42.082876	-126.84616	42.680410	0.7876247
TTR_5000-TTR_17500	-28.143747	-112.90703	56.619539	0.9695834
TTR_7500-TTR_17500	2.281248	-82.48204	87.044534	1.0000000
TTR_5000-TTR_2500	13.939129	-70.82416	98.702415	0.9996020
TTR_7500-TTR_2500	44.364124	-40.39916	129.127410	0.7392849
TTR_7500-TTR_5000	30.424995	-54.33829	115.188281	0.9536747

Apéndice 12. Resultados TukeyHSD para el Volumen en *Eucalyptus globulus*

```
Fit: aov(formula = Volumen ~ Densidad, data = Globulus)
```

```
$Densidad
```

	diff	lwr	upr	p adj
TTR_1250-TTR_10000	8.5895208	-93.44342	110.62246	0.9999957
TTR_12500-TTR_10000	-31.7846674	-135.62364	72.05431	0.9806522
TTR_15000-TTR_10000	-10.4563547	-112.48930	91.57659	0.9999835
TTR_17500-TTR_10000	0.9607757	-102.87820	104.79975	1.0000000
TTR_2500-TTR_10000	25.9890140	-76.04393	128.02196	0.9934690
TTR_5000-TTR_10000	-63.1420076	-166.98098	40.69697	0.5679214
TTR_7500-TTR_10000	5.8423472	-96.19060	107.87529	0.9999997
TTR_12500-TTR_1250	-40.3741882	-144.21316	63.46479	0.9298173
TTR_15000-TTR_1250	-19.0458755	-121.07882	82.98707	0.9990818
TTR_17500-TTR_1250	-7.6287451	-111.46772	96.21023	0.9999983
TTR_2500-TTR_1250	17.3994932	-84.63345	119.43244	0.9994917
TTR_5000-TTR_1250	-71.7315284	-175.57050	32.10745	0.3995297
TTR_7500-TTR_1250	-2.7471736	-104.78012	99.28577	1.0000000
TTR_15000-TTR_12500	21.3283127	-82.51066	125.16729	0.9982988
TTR_17500-TTR_12500	32.7454431	-72.86869	138.35957	0.9791852
TTR_2500-TTR_12500	57.7736814	-46.06529	161.61266	0.6745951
TTR_5000-TTR_12500	-31.3573403	-136.97147	74.25679	0.9837622
TTR_7500-TTR_12500	37.6270146	-66.21196	141.46599	0.9511275
TTR_17500-TTR_15000	11.4171304	-92.42185	115.25611	0.9999733
TTR_2500-TTR_15000	36.4453687	-65.58757	138.47831	0.9546914
TTR_5000-TTR_15000	-52.6856529	-156.52463	51.15332	0.7680304
TTR_7500-TTR_15000	16.2987020	-85.73424	118.33164	0.9996699
TTR_2500-TTR_17500	25.0282383	-78.81074	128.86721	0.9953452
TTR_5000-TTR_17500	-64.1027833	-169.71691	41.51135	0.5702723
TTR_7500-TTR_17500	4.8815716	-98.95740	108.72055	0.9999999
TTR_5000-TTR_2500	-89.1310216	-192.97000	14.70795	0.1488483
TTR_7500-TTR_2500	-20.1466668	-122.17961	81.88628	0.9986793
TTR_7500-TTR_5000	68.9843549	-34.85462	172.82333	0.4516555

Apéndice 13. Transporte de estacas y demás materiales para el cercado del diseño.



Apéndice 14. Cercado de la parcela



Apéndice 15. Trazado del diseño de siembra



Apéndice 16. Preparación del terreno



Apéndice 17. Trazado de cunetas



Apéndice 18. Plantación del *Eucalyptus grandis*



Apéndice 19. Plantación del *Eucalyptus globulus*



Apéndice 20. Seguimiento del *Eucalyptus grandis*



Apéndice 21. Seguimiento del *Eucalyptus globulus*



Apéndice 22. Primera limpieza del terreno



Apéndice 23. Preparación del fertilizante



Apéndice 24. Fertilización del *Eucalyptus grandis* y el *Eucalyptus globulus*



Apéndice 25. Medición de variables



Apéndice 26. *Eucalyptus globulus* después de la fertilización



Apéndice 27. *Eucalyptus glrandis* después de la fertilización



Apéndice 28. Plateado de la plantación



Apéndice 29. *Eucalyptus grandis*



Apéndice 30. *Eucalyptus globulus*



Apéndice 31. Medición de variables en *Eucalyptus grandis*



Apéndice 32. Medición de variables en *Eucalyptus globulus*



Apéndice 33. Diseño de espaciamiento circular en *Eucalytus grandis* y *E. globulus*



Apéndice 34. Aprovechamiento de *Eucalyptus grandis* y *E. globulus*



Apéndice 35. Separación del *Eucalyptus grandis*, por componente



Apéndice 36. Separación del *Eucalyptus globulus*, por componente



Apéndice 37. Pesado de muestras del *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus*

Apéndice 38. Secado en horno de las muestras, su respectivo pesaje después de 24 horas



Apéndice 39. Biomasa de *Eucalyptus grandis*



Apéndice 40. Biomasa de *Eucalyptus globulus***Apéndice 41.** Muestras de *Eucalyptus grandis* pulverizadas para prueba de calorimetría



Apéndice 42 Muestras de Eucalyptus globulus pulverizadas para prueba de calorimetría



Apéndice 43. Laboratorio de suelos de La finca de la Universidad

		LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS			Código: P-LQS-04
		CONVENIO UIS-COOPERACIÓN DE SANTANDER			Versión: 02
		RESULTADO ANÁLISIS DE SUELOS			Página 1 de 2

Cliente:	Andrés Rodríguez	Fecha de Ingreso de la muestra:	Febrero 21 de 2017	Departamento:	Santander	Municipio:	Málaga
Entidad:	UIS - Málaga	Fecha de Análisis:	Marzo 6 de 2017	Vereda:	Centro	Cultivo:	Pino - Eucalipto
Dirección:	N.S.	Fecha de Emisión de Resultado:	Marzo 6 de 2017			Finca:	Campus UIS
Análisis solicitado:	Caracterización	Elementos Menores	Azufré	C.I.C.	C.E.		

RESULTADO DEL ANÁLISIS DE SUELOS

Cód. Muestra	pH	SC	P (ppm)	Ca	Mg	Na	K	Al	% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura	B	Fe	Mn	Cu	Zn	S	CE	CE
17 - 0074	6.1	2.48	28.1	19.8	0.22	0.05	0.24	N.D.	80	20	50	Arcilloso	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.C	N.S.C

PARÁMETROS	MÉTODO ANALÍTICO	NOTAS	ABREVIATURAS
pH: Potencial de Hidrógeno C: Carbono P: Fósforo disponible Ca, Mg, Na, K N: Nitrógeno S: Sodio Fe, Mn, Cu, Zn S: Azufre	Electrométrico: Relación 1:1 Agua destilada Colorimétrico: Winkler Black K₂Cr₂O₇ H₂SO₄ Colorimétrico: Soy. II. HCl 0,1 N-NH ₄ F 0,02 N Absorción Atómica; Extracción: Acetato de Amonio Spectrofotómetro 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	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.

		LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS			Código: P-LQS-04
		CONVENIO UIS-COOPERACIÓN DE SANTANDER			Versión: 02
		RESULTADO ANÁLISIS DE SUELOS			Página 2 de 2

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico CE: Conductividad Eléctrica	Colorimétrico: Extracción Fosfato Monosélice Absorción Atómica: Extracción con DTPA Turbidimétrico Extracción Fosfato Monosélice Extracción: Acetato de Amonio Electrométrico: Agua destilada	características físicas similares. Nota 5: La condición 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 6524361 ó al correo electrónico: laboratorioquimicosuelos_uis@yahoo.com	VoBo ROSA CLAUDIA LÓPEZ QUIROGA Química Mat. Prof. 0591
--	--	---	--

OBSERVACIONES:

20 - 40

