

Análisis del Desarrollo Silvicultural de Clones de Eucalytus Spp en el Magdalena Medio
Colombiano

Zaira Wuasbledy Ortíz Collazos

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Estadística

Directora:

Tulia Ester Rivera Flórez

Magister en Estadística

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Matemáticas

Especialización en Estadística

Bucaramanga

2019

Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Justificación	13
2. Antecedentes	15
3. Objetivos	20
3.1 Objetivo general	20
3.2 Objetivos específicos	20
4. Metodología	21
4.1 Descripción de la población	21
4.2 Muestra de datos	24
4.3 Análisis de datos	28
5. Marco teórico	28
5.1 Características de la especie <i>Eucalyptus</i> spp	29
5.2 Plantación forestal comercial	29
5.3 Mejoramiento genético forestal (MGF)	29
5.4 Programa de mejoramiento genético (PMG)	31
5.5 Diseños experimentales	31
5.6 Ensayo clonal	32
5.7 Variables dasométricas	32

5.8 Componente estadístico	33
6. Resultados	36
6.1 Análisis descriptivo.....	36
6.1.1 Variable diámetro a la altura del pecho DAP (m).....	36
6.1.2 Prueba de normalidad para la variable diámetro a la altura del pecho DAP (m).....	39
6.1.3 Variable altura total en metros HT (m).....	43
6.1.4 Prueba de normalidad para la variable altura total en metros HT (m).....	46
6.1.5 Variable volumen (m ³).....	47
6.2 Análisis de supervivencia para los ensayos de las fincas Victoria y Berraquera.....	51
6.3 Prueba de Kruskal-Wallis	54
6.3.1 Planteamiento de la hipótesis.....	54
7. Conclusiones	61
Referencias bibliográficas.....	63

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Puerto Parra. Tomado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Puerto_Parra	22
Figura 2. Ubicación del ensayo F.01.60.59 finca Berraquera.....	23
Figura 3. Ubicación geográfica de ensayo F.01.60.57 finca Victoria.....	23
Figura 4. Parcela en campo formada por 5 árboles de la misma especie.....	25
Figura 5. Distribución de parcelas lineales en el ensayo de la finca Berraquera.....	25
Figura 6. Distribución de parcelas lineales en el ensayo de la finca Victoria.	26
Figura 7. Histograma de frecuencias para la variable DAP (m) finca Berraquera	37
Figura 8. Histograma de frecuencias para la variable DAP (m) finca Victoria.....	38
Figura 9. Gráfico Q-Q <i>plot</i> para la variable DAP (m) finca Victoria.....	40
Figura 10. Gráfico Q-Q <i>plot</i> para la variable DAP (m) en la finca Berraquera.....	41
Figura 11. Distribución de la variable DAP (m) discriminada por clon y finca.....	42
Figura 12. <i>Boxplot</i> para la variable HT (m) en la finca Berraquera.	44
Figura 13. <i>Boxplot</i> para la variable HT (m) en la finca Victoria	45
Figura 14. Q-Q <i>plot</i> para la variable HT (m) en la finca Berraquera	46
Figura 15. Gráfico Q-Q <i>plot</i> para la variable HT (m) en la finca victoria.....	47
Figura 16. Histograma para la variable Volumen (m ³) en la finca Berraquera.....	48
Figura 17. Q-Q <i>plot</i> para la variable Volumen (m ³) en la finca Berraquera.....	49

Figura 18. Histograma de frecuencias para la variable Volumen (m ³) en la finca victoria	49
Figura 19. Q-Q <i>plot</i> para la variable Volumen (m ³) en la finca victoria	50
Figura 20. Supervivencia de los clones para 12 meses	52
Figura 21. Dendrograma de supervivencia para la finca Berraquera.....	53
Figura 22. Dendrograma de supervivencia para la finca Victoria	54
Figura 23. Test Kruskal-Wallis para DAP y altura vs clon en la finca Victora.....	55
Figura 24. Test Kruskal-Wallis para volumen vs clon en la finca Victora.....	56
Figura 25. Comparación de los rangos promedio de la prueba Kruskal-Wallis en la finca Victoria	57
Figura 26. Test Kruskal-Wallis para la variable DAP vs clon en la finca Berraquera	58
Figura 27. Test Kruskal-Wallis para las variables altura y volumen vs clon en la finca Berraquera.....	59
Figura 28. Comparación de rangos promedio de Kruskal -Wallis para la finca Berraquera	60

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Resumen de los datos recolectados.....	24
Tabla 2. Total de parcelas lineales por ensayo	27
Tabla 3. Resumen de las variables analizadas	27
Tabla 4. Estadísticos descriptivos para la variable DAP (m) por finca	38
Tabla 5. Estadísticos descriptivos para la variable HT (m) para la finca Victoria	45
Tabla 6. Estadísticos descriptivos para la variable Volumen (m ³) por finca	51
Tabla 7. Rangos promedio de la prueba Kruskal-Wallis para la Finca Victoria	56
Tabla 8. Rangos promedio de la prueba Kruskal-Wallis para la Finca Berraquera.....	59

Resumen

TÍTULO: ANÁLISIS DEL DESARROLLO SILVICULTURAL DE CLONES DE *Eucalytus* SPP EN EL MAGDALENA MEDIO COLOMBIANO*

AUTOR: ZAIRA WUASBLEDY ORTIZ COLLAZOS **

PALABRAS CLAVE: Ensayo clonal, parcela lineal, clon, supervivencia de árboles

DESCRIPCIÓN:

El objetivo del estudio fue evaluar el desarrollo silvicultural de 5 clones de *Eucalytus* SPP que fueron sembrados Magdalena Medio colombiano en el en el municipio de Puerto Parra Santander. Los ensayos clonales fueron instalados en dos fincas en los años 2016 y 2017. Se evaluaron las variables altura total, diámetro a la altura del pecho, volumen del árbol y supervivencia de los árboles en los primeros 12 meses de siembra. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis descriptivo y sujetos a pruebas de normalidad, finalmente después de aplicar la prueba Kruskal-Wallis fue posible concluir que los clones DE00020 y GU01426 muestran un comportamiento sobresaliente de acuerdo a las variables evaluadas, en términos de supervivencia cabe mencionar que todos los clones evidenciaron valores interesantes que van desde 94% hasta 100% lo que podría dar cuenta de una buena adaptación a las condiciones ambientales del sitio en el primer año. Es preciso aclarar que los resultados obtenidos son parciales ya que corresponden al primer año de establecimiento, se recomienda replicar los clones evaluados en nuevos ensayos y continuar con la medición y evaluación anual de ensayos ya instalados para identificar posibles cambios en el comportamiento hasta que se haya alcanzado el séptimo año de edad.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ciencias. Escuela de Matemáticas. Director: Tulia Ester Rivera, Magister en Estadística.

Abstract

TITLE: ANALYSIS OF THE SILVICULTURAL DEVELOPMENT OF CLONES OF *Eucalyptus* SPP IN THE COLOMBIAN MEDIAN MAGDALENA *

AUTHOR: ZAIRA WUASBLEDY ORTIZ COLLAZOS **

KEYWORDS: Clonal test, linear *plot*, clone, tree survival

DESCRIPTION:

The objective of the study was to evaluate the silvicultural development of 5 *Eucalyptus* SPP clones that were planted in the Colombian Magdalena Medio in the municipality of Puerto Parra Santander. The clonal trials were installed in two farms in the years 2016 and 2017. The variables total height, diameter at breast height, tree volume and survival of the trees in the first 12 months of planting were evaluated. The obtained data were subjected to a descriptive analysis and subjected to normality tests, finally after applying the Kruskal-Wallis test it was possible to conclude that the clones DE00020 and GU01426 show an outstanding behavior according to the evaluated variables, in terms of survival it is worth mentioning that all the clones showed interesting values ranging from 94% to 100%, which could account for a good adaptation to the environmental conditions of the site in the first year. It is necessary to clarify that the results obtained are partial since they correspond to the first year of establishment, It is recommended to replicate the clones evaluated in new trials and continue with the measurement and annual evaluation of already installed trials to identify possible changes in behavior until the seventh year of age has been reached.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ciencias. Escuela de Matemáticas. Director: Tulia Ester Rivera, Magister en Estadística.

Introducción

El éxito financiero e industrial de un proyecto basado en la producción de biomasa a partir de árboles depende en gran medida de la capacidad productiva por hectárea y la homogeneidad de la materia prima producida. Por esta razón, la industria forestal en sus procesos productivos, requiere de materia prima homogénea, a precio competitivo y disponible durante todo el periodo de producción (Nieto *et al.*, 2017).

En este sentido, estadísticas recientes nos permiten afirmar que la explotación de los recursos forestales a nivel de América Latina y el Caribe se ha incrementado considerablemente en los últimos años observándose mayor producción, consumo y comercio al tiempo que se ha reducido el uso de bosques naturales. Adicional al aumento en áreas plantadas, se debe destacar la inversión en tecnología e investigación y una creciente internacionalización de la inversión privada.

En el caso particular de Colombia, este país se ubica tercero a nivel de Suramérica con la mayor área en bosques y con un potencial para el desarrollo de proyectos forestales cercano a los 6 millones de hectáreas de acuerdo a cifras entregadas por la unidad de planificación rural agropecuaria UPRA en el año 2015. No en vano, las autoridades ambientales se atreven a catalogar a Colombia como un país con vocación y potencial forestal; en este sentido debe destacarse que además de la extensión geográfica disponible, el futuro promisorio en la industria forestal lo aseguran las condiciones disponibles como son el clima, la calidad de los suelos y unos importantes incentivos económicos y tributarios de orden gubernamental como son el certificado de incentivo forestal y recientemente los bonos de carbono por citar algunos. No obstante, el panorama a 2016

no concuerda con las expectativas mencionadas, “se presume que el país tenía entre 340 a 360 mil hectáreas sembradas con plantaciones forestales comerciales” (PROFOR, 2017) y una “productividad media de las plantaciones de eucalipto muy baja, 24,5 m³/hectárea por año” (Refocosta, 2018) frente a “39 m³/hectárea de países del trópico como Brasil”(Dos Santos, 2017).

De otro lado, en el ámbito investigativo es conocido que para responder a las necesidades de la industria forestal se deben analizar varios pilares, el primero es la especie a utilizar; para ello, los expertos de todo el mundo han concluido que el mejor acceso a materia prima en biomasa forestal está fundamentado principalmente en especies de rápido crecimiento como los eucaliptos, los pinos, la melina y algunas especies del género *Populus*. El siguiente pilar está relacionado con el desarrollo de la especie bajo condiciones silviculturales adecuadas. De acuerdo con lo anterior si se avanza con una silvicultura adecuada y una especie de rápido crecimiento, el siguiente paso es entrar a analizar el componente genético con el fin de maximizar la producción.

El trabajo que se presenta a continuación se fundamenta en un análisis estadístico de una base de datos provenientes de las primeras etapas de un ensayo clonal conducido por una empresa reforestadora de Antioquia que utiliza como especies sembradas el *Eucalytus* sp. Se espera que los resultados obtenidos sirvan de base para la toma de decisiones de tipo económico, ya que si se obtienen resultados positivos la decisión sería continuar con la consecución de predios en la región para sembrar las mejores especies, lo que supone una inversión considerable en términos financieros para cubrir costos de actividades silviculturales como siembra, mantenimiento e insumos como fertilizantes sin desconocer los efectos de tipo social, ambiental y económico que este tipo de proyectos causan en las comunidades aledañas.

1. Justificación

En América latina se ha producido un aumento continuo en las superficies de plantaciones forestales establecidas para abastecer la madera industrial necesaria para enfrentar la reducción del rendimiento previsto de los bosques naturales debido a la deforestación (especialmente en los trópicos y subtropicos) o la suspensión del abastecimiento proveniente de los bosques naturales porque éstos se han destinado a cumplir funciones de servicio, tales como la conservación biológica o de la naturaleza (Palmberg-Lerche y Ball, 1998).

De acuerdo al diagnóstico del potencial reforestador comercial del país del año 2015, Colombia cuenta con un enorme potencial para desarrollar programas de reforestación comercial. Entre las principales razones aparecen las excelentes condiciones climáticas, geográficas y topográficas para el crecimiento de los árboles, además de que posee las condiciones geoestratégicas necesarias para potencializar el comercio exterior. “Más aún, con el incremento de tratados de libre comercio firmados en los últimos 10 años, también cuenta con una zonificación que da cuenta de la disponibilidad de 5.928.672 hectáreas aptas para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales” (UPRA, 2015). Sin embargo, pese a la disponibilidad de área con potencial forestal, para el año 2016 las hectáreas sembradas con plantaciones comerciales oscilaban entre 340 a 360 mil que es un área pequeña comparada con cifras de países como Brasil, Chile y Argentina que tienen 7,4 millones, 2,8 millones y 1,4 millones de hectáreas sembradas con plantaciones comerciales respectivamente.

De otro lado, la demanda de madera, celulosa y papel ha crecido significativamente en la última década, a nivel global y nacional. No obstante, mientras que otros países de América del Sur ya

han respondido a estas señales del mercado mundial, Colombia sigue abasteciendo su demanda de madera en gran parte de los bosques naturales (84,1 %). Con el fin de reducir el abastecimiento de madera de los bosques naturales el país ha venido ganando experiencia en el manejo de las plantaciones forestales y gracias a esfuerzos conjuntos entre instituciones del gobierno y las empresas privadas reforestadoras se ha avanzado en el conocimiento de las especies usadas en reforestación y en el desarrollo de técnicas silviculturales adecuadas que permitan el buen desarrollo de los árboles. Por último y no menos importante se debe mencionar que se han iniciado programas de mejora genética que después de años de investigación han permitido conocer cuáles son las especies adecuadas para sembrar de acuerdo a la ubicación geográfica y las condiciones del sitio como suelo, temperatura, topografía y distribución de lluvias.

Como se mencionó anteriormente, si bien desde el gobierno nacional se ha incentivado el crecimiento del sector, la academia también ha realizado sus aportes en cuanto a investigación, pero quienes realmente han buscado avances en el sector forestal han sido las empresas reforestadoras que a través de inversiones privadas y de programas de mejora genética en especies de rápido crecimiento han aumentado con el paso del tiempo la productividad de sus plantaciones. Una de las razones que motiva la mejora genética de las especies está basada en el recurso tierra que cada vez es más escaso y costoso por lo que resulta indispensable que las empresas dedicadas a la producción forestal obtengan mayor cantidad de madera por cada hectárea sembrada.

El anterior objetivo se puede alcanzar a través de un programa de mejoramiento genético forestal que tiene la responsabilidad de identificar, probar y entregar materiales que en términos de productividad –volumen (m^3 /hectárea), costo razonable, características deseables de la madera, resistencia a plagas y enfermedades y adaptabilidad de la especie sean los mejores de tal manera que puedan ser plantados a gran escala (Nieto *et al.*, 2017). Mediante el uso de ensayos clonales

los programas de mejora genética prueban las características de adaptación de las especies a unas condiciones determinadas de suelo, temperatura, humedad, régimen de lluvias o sequías, vientos y finalmente por medio de análisis estadísticos de las variables diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total es posible conocer cómo transcurre el desarrollo del crecimiento de los árboles, la tasa de supervivencia de las especies, permite evaluar el proceso silvicultural, la calidad del material al salir del vivero y la presencia y resistencia a plagas y enfermedades .

2. Antecedentes

A continuación, se citan algunos estudios realizados en América latina y Colombia que guardan relación con el tema central de este proyecto:

Para América se consultaron los siguientes estudios:

- Ensayos de especies y procedencias en el oeste de México: Se condujo un estudio cuyo objetivo fue determinar las tasas de crecimiento y características relevantes de la madera para la fabricación de pulpa y papel de varias especies forestales de rápido crecimiento. Mediante un análisis de varianza lograron concluir que los árboles sembrados con *Gmelina arborea* tenían una diferencia significativa respecto a la altura comparados con los árboles de *Eucalytus spp*, también consiguieron determinar los porcentajes de supervivencia de los árboles en el primer año. (Seppänen, et.al,1999)
- Evaluación de crecimiento y productividad de clones de *Eucalyptus urophylla*: Las mediciones de las variables diámetro a la altura del pecho, altura total y volumen

presentaron diferencias significativas y permitieron identificar un clon como el que presentó mejor crecimiento bajo las condiciones del estudio. (Paredes 2018)

- Se validó el desempeño silvicultural de 18 clones del género *Eucalyptus* en dos condiciones edafoclimáticas, el estudio fue realizado en el estado de Mato Grosso Brasil. Al final, se concluyó que el comportamiento fue diferente entre los materiales ensayados, por ejemplo, algunos clones presentaron características superiores de una de una región a otra. (Agostini, 2015)
- Se estudió el desempeño de cuatro especies de eucalipto de semillas de *Eucalyptus urophylla* de Avaré; *Eucalyptus pellita* de Kuranda y *Eucalyptus camaldulensis* de Petford con cuatro distancias de siembra diferentes. Al final logró concluir que, para el diámetro a la altura del pecho y volumen por árbol, las medias aumentaron conforme aumento la distancia de siembra, el volumen por hectárea presentó un comportamiento inverso y la altura sufrió influencia de las especies, la supervivencia presentó diferencia entre los espaciamientos, observándose la mayor media en la distancia de siembra más alta. (Magalhães, 2006)

Para el caso de Colombia se mencionan las ventajas de programas estatales que incentivan el crecimiento del sector forestal y algunos estudios de caso del sector:

- Se identificaron 5.928.672 hectáreas aptas para la actividad de plantaciones forestales con fines comerciales, ésta cifra permite concluir que existe un panorama favorable para inversiones nacionales y extranjeras que quieran invertir en plantaciones forestales comerciales. UPRA. (2015).
- Colombia: Potencial reforestación comercial – diagnóstico, es una publicación que contiene un diagnóstico publicado en el año 2015 donde describen los instrumentos financieros que

ha establecido el gobierno para fomentar la reforestación comercial entre ellos las exenciones tributarias, el certificado de incentivo forestal – CIF y el incentivo a la capitalización rural – ICR, sin duda éstos instrumentos resultan atractivos y han estimulado la inversión en plantaciones forestales en los últimos años.(DNP,2015)

- En el documento Ventajas y Estrategias de un programa de mejora en Eucalyptus sp se enfocó en presentar algunos de los avances alcanzados en los últimos años con relación al mejoramiento de las especies. (Nieto 2017)
- “Implementación de un esquema de valoración, producción, intercambio y cruzamiento de material vegetal” financiado con recursos de El Patrimonio Autónomo Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, Francisco José de Caldas, en el marco del Convenio Colciencias – CONIF – Monterrey Forestal GWR SAS: proyecto de investigación financiado por Colciencias, en el que lograron definir una nueva serie de clones con alta potencialidad de adaptación a las condiciones de la Costa Atlántica y posiblemente la Orinoquia. Estos clones representan ganancia genética para los atributos volumen y calidad de la madera. Cabe aclarar que muchos de estos recursos genéticos forestales que han ingresado al país han entrado por interés particular de cada una de las empresas reforestadoras y hasta el momento no todos han sido ordenados, estructurados o catalogados, lo que ha propiciado en gran medida un bajo nivel de precisión en el origen del material disponible y evaluaciones de adaptabilidad poco confiables (Nieto et al., 2017).
- Los árboles y el sexo: Se menciona los logros de la empresa Refocosta, en Villanueva (Casanare), en materia de selección de especies, caracterización y multiplicación clonal demostrando la potencialidad del Eucalyptus pellita en el desarrollo de la Orinoquia

colombiana y los resultados obtenidos por la empresa Reforestadora San Sebastián con estudios de *Eucalyptus* sp. (Nieto 2014)

A continuación, se presentan algunas experiencias de la industria forestal colombiana que han contribuido al desarrollo de la industria forestal nacional:

- Se expuso algunos resultados de los estudios adelantados en mejoramiento genético de los cuales es posible concluir que después de evaluar el crecimiento de las especies del género *Eucalyptus* fue posible conocer los rangos altitudinales adecuados para las especies de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus urograndis*, además presentaron los valores clonales estimados a 3 años que para la especie *Eucalyptus grandis* en el ciclo de mejora de segunda generación alcanzaron un promedio del 33% y se estima que para la tercera generación pudiera llegar hasta el 62%. Lo anterior quiere decir que la ganancia en términos de la cantidad de madera m³/ ha. año puede duplicarse gracias a la inversión en mejoramiento genético en dicha especie. (Smurfit Kappa 2017)
- Se ofreció un curso práctico de mejoramiento genético forestal en el año 2017. Allí se presentaron los resultados en mejora genética obtenidos para la especie forestal *Gmelina* arbórea en términos de reducción de tiempo al pasar de turnos de 6,8 años a 5,6 años, la reducción de la densidad de siembra al pasar de 1.466 árboles por hectárea y llegar a 868 árboles por hectárea, lo que representa en términos económicos una reducción en insumos y mantenimientos, también se mostró cómo la productividad en términos de volumen sin corteza se hizo mayor para la producción clonal que para las semillas alcanzando valores de 31,5 a 27 m³/ha año respectivamente. (FMC,2017)
- Tekia S.A.S consiguió a través del programa de mejoramiento genético reducir los turnos de cosecha, aumentar la altura total y el diámetro a la altura del pecho, también aumentaron

el volumen en m³/ha. año. pasando de 39.6 m³/ha. año, para semillas sin mejoramiento genético a alcanzar 63,94 m³/ha. año, evidencia un aumento importante en la productividad de la plantación. (Tekia,2017)

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar el crecimiento de la especie *Eucalyptus* spp en función de las variables diámetro a la altura del pecho, altura total, volumen por árbol y volumen por hectárea de 5 clones sembrados en ensayos forestales en el Magdalena Medio.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar un análisis descriptivo e inferencial de las variables objeto de estudio
- Analizar el desarrollo de las variables objeto de estudio en función de clon
- Conocer la diferencia en términos de volumen para cada clon en el primer año de edad.
- Conocer la supervivencia de los clones en el primer año de edad.

4. Metodología

El estudio que se desarrolla a continuación es de carácter aplicado ya que los datos usados fueron recolectados a partir de un diseño experimental, el objetivo es analizar dicha base de datos desde el punto de vista descriptivo e inferencial.

4.1 Descripción de la población

El ensayo en consideración fue implementado en la región del Magdalena Medio, territorio ubicado en el centro-nororiente de Colombia entre las cordilleras central y oriental justo en el corredor geográfico de la parte media del río Magdalena. Mide 34.610 Km² (equivalente al 3% del área nacional). Según cifras DANE 2013, “Puerto Parra tiene una población estimada de ochocientos veintinueve mil trescientas cuarenta y dos (829.342) personas, distribuidas en 4 departamentos, Antioquia, Bolívar, Cesar y Santander” (Picón y Ardila, 2013). En particular, el área objeto de estudio está ubicada en el municipio de Puerto Parra departamento de Santander, los ensayos clonales están sembrados en dos fincas conocidas como Victoria y Berraquera las cuales se ubican en una zona con una altitud de 120 metros sobre el nivel del mar caracterizado por tener un clima cálido, temperatura media de 27.8 °C, y una precipitación anual de 2.687 milímetros (Picón y Ardila, 2013). En la siguiente figura se observa en color rojo la ubicación del municipio de Puerto Parra dentro del departamento de Santander y éste a su vez ubicado en el territorio nacional.



Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Puerto Parra. Tomado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Puerto_Parra

La especie forestal objeto de ensayo es el *Eucalyptus* spp, el área de estudio cubre 5,3 hectáreas de las cuales serán estudiadas 0,6 hectáreas. El terreno escogido para sembrar los ensayos es plano para garantizar igualdad de condiciones en cuanto a la disponibilidad de nutrientes y la escorrentía en el suelo. En la siguiente figura se observa la ubicación geográfica del ensayo F.01.60.59 de la finca Berraquera.

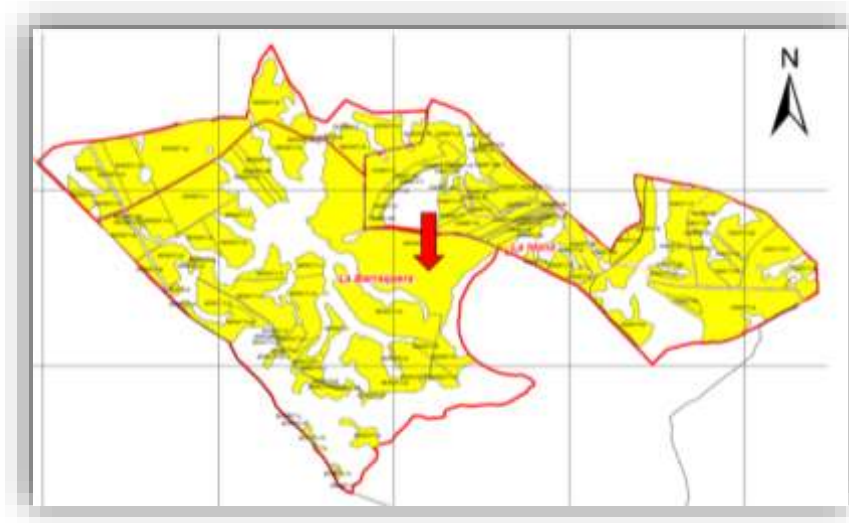


Figura 2. Ubicación del ensayo F.01.60.59 finca Berraquera

A continuación, se presenta una imagen que representa la ubicación geográfica de ensayo F.01.60.57 de la finca Victoria.

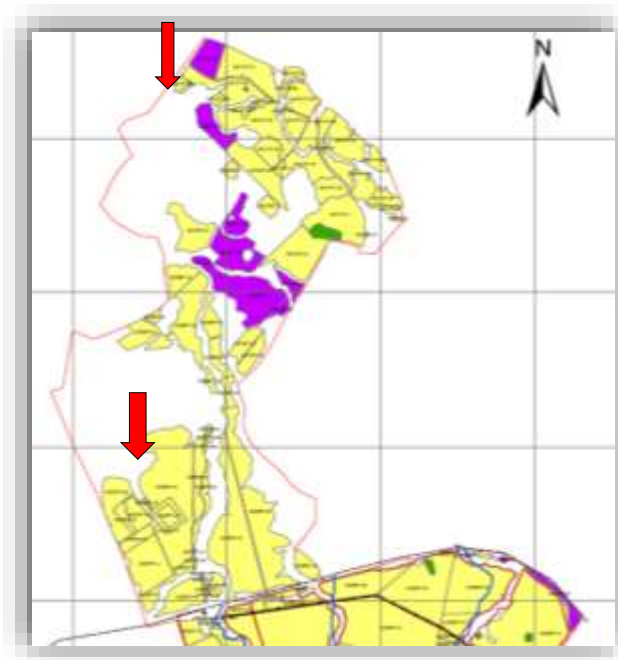


Figura 3. Ubicación geográfica de ensayo F.01.60.57 finca Victoria.

4.2 Muestra de datos

Los datos provienen de dos ensayos clonales sembrados en los años 2016 para el ensayo de la finca Victoria y 2017 para el ensayo de la finca Berraquera, las especies utilizadas correspondieron a 5 clones de la especie *Eucalyptus* spp. En la siguiente tabla se describen la cantidad de árboles medidos por finca y ensayo.

Tabla 1.

Resumen de los datos recolectados

Finca	Ensayo	F. Siembra	Clones /Numero de árboles					Total general
			DE00020	GU00061	GU01424	GU01425	GU01426	
Berraquera	F.01.60.59	Abril- 2017	120	120	120	120	120	600
Victoria	F.01.60.57	Nov - 2016	60	60	60	60	60	300
Total general			180	180	180	180	180	900

Nota: *Se detalla el nombre de la finca, el código del ensayo de relevancia para la empresa, la fecha de siembra y la codificación para los clones con el respectivo número de árboles medidos. Como se puede apreciar, en el ensayo de la finca Berraquera se midieron en total 600 árboles y en el ensayo de la finca Victoria se midieron 300 árboles en total. Los árboles en campo están sembrados a distancias de 3 metros por 2 metros conformando parcelas lineales de 5 árboles, en la siguiente imagen se aprecia un ejemplo lo que denominaremos parcela lineal.

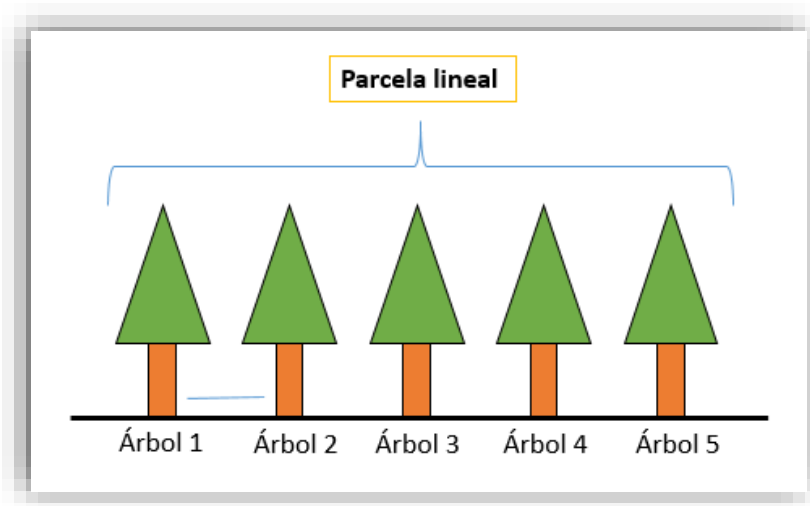


Figura 4. Parcela en campo formada por 5 árboles de la misma especie.

Así, cada parcela en campo dentro del ensayo corresponde a una repetición, en la siguiente figura se observa el croquis del ensayo de la finca Berraquera.

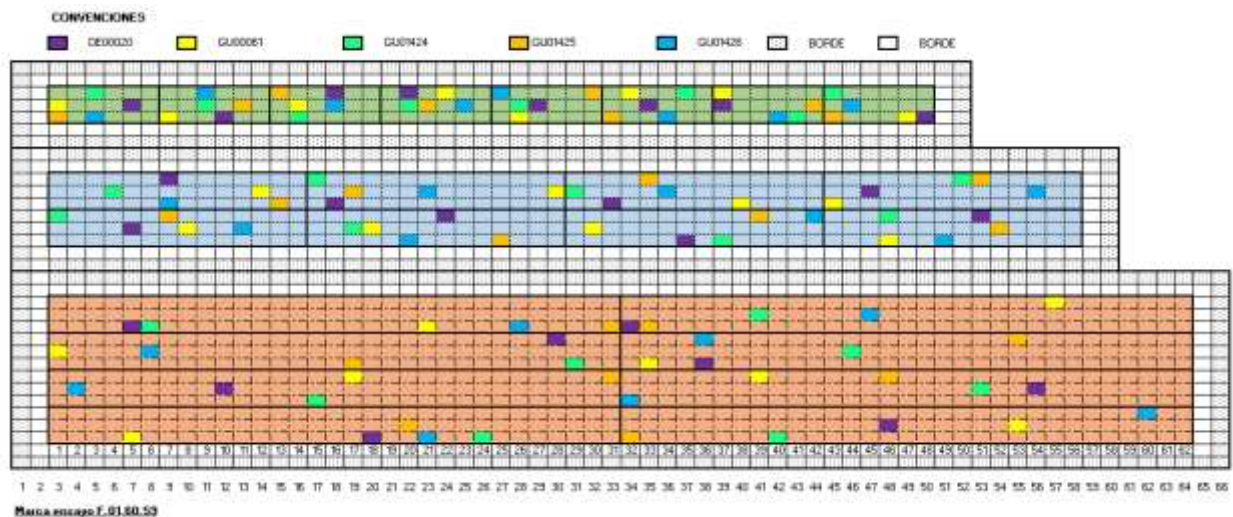


Figura 5. Distribución de parcelas lineales en el ensayo de la finca Berraquera.

Nota: *En la figura anterior cada celda representa una parcela lineal, para los 5 clones objeto de estudio el color morado corresponde al clon DE00020, el amarillo para el clon GU00061, la

verde menta para el clon GU01424, el naranjado para el clon GU01425 y el color azul para el clon GU01424, estas parcelas lineales son en total 120 que corresponden a su vez a 600 árboles, continuando con la descripción de la figura; las celdas de color blanco y blanco con puntos representan los bordes del ensayo, los números ubicados en la parte inferior de la figura corresponden a la numeración de los surcos en campo, las celdas que no tiene un color asignado corresponden a otros clones que no hacen parte del presente estudio.

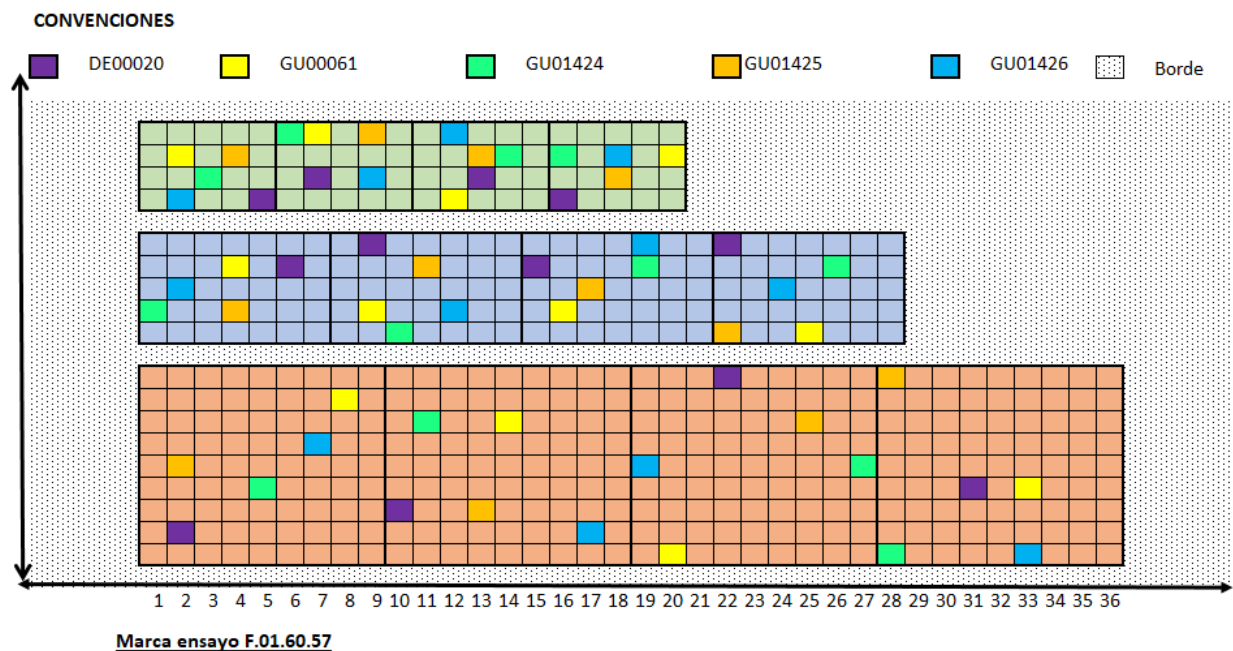


Figura 6. Distribución de parcelas lineales en el ensayo de la finca Victoria.

Nota: La figura corresponde al croquis del ensayo instalado en la finca Victoria, al igual que en la finca anterior cada cuadro representa una parcela lineal, para los 5 clones objeto de estudio el color morado corresponde al clon DE00020, el amarillo para el clon GU00061, el verde menta para el clon GU01424, el naranjado para el clon GU01425 y el color azul para el clon GU01424, éstas parcelas son en total 60 y corresponden a 300 árboles, continuando con la descripción de la

figura; las celdas blanco con puntos representan los bordes del ensayo, los números ubicados en la parte inferior de la figura corresponden a la numeración de los surcos en campo, las celdas que no tiene un color asignado corresponden a otros clones que no hacen parte del presente estudio.

Tabla 2.

Total de parcelas lineales por ensayo

FINCA	ENSAYO	CLONES /NÚMERO PARCELAS LINEALES					Total general
		DE00020	GU00061	GU01424	GU01425	GU01426	
BERRAQUERA	F.01.60.59	24	24	24	24	24	120
VICTORIA	F.01.60.57	12	12	12	12	12	60
Total general		36	36	36	36	36	180

Las unidades muestrales se miden cada año y en campo se registran las variables diámetro a la altura del pecho y altura total, además se registran eventos fitosanitarios y características físicas especiales de los árboles como la forma y las bifurcaciones observadas.

En la siguiente tabla se describen las variables aportadas para el presente estudio.

Tabla 3.

Resumen de las variables analizadas

Variables	Tipo
Diámetro a la altura del pecho (m)	Independiente
Altura Total (m)	Independiente
Volumen (m ³)	Dependiente
Clon	Independiente
Finca	Independiente
Fecha siembra	Independiente

Variables	Tipo
Ensayo	Independiente
Fecha de medición	Independiente

4.3 Análisis de datos

En campo son tomadas directamente del árbol las variables diámetro a la altura del pecho y altura total, con esta información es posible calcular nuevas variables como el volumen por árbol y la tasa de supervivencia. Al igual que Agostini (2015), Magalhães (2006) y Camargo (2016) se implementa un análisis de cluster para analizar la tasa de supervivencia que nos puede permitir agrupar los clones de acuerdo a esta variable. Adicional a esto, se aplicaron métodos estadísticos descriptivos tanto para presentar la información como para la validación de supuestos de normalidad y métodos inferenciales para contraste de medias en presencia de varios tratamientos.

5. Marco teórico

En el siguiente capítulo se describen los conceptos básicos del estudio tanto del área forestal como de herramientas estadísticas:

5.1 Características de la especie *Eucalyptus* spp

Es un árbol que puede alcanzar grandes dimensiones, entre 25 a 50 metros, de tronco grueso y corteza caduca de color claro desprendible en placas alargadas. “El eucalipto tiene la particularidad de producir brotes indefinidos y yemas desnudas, lo que le permite crecer continuamente y producir nuevos ordenes de ramas mientras subsisten las condiciones favorables para su desarrollo” (Farfan y Urrego, 2004).

5.2 Plantación forestal comercial

“Son aquellas plantaciones conformadas generalmente por individuos de la misma especie, con un arreglo espacial definido, cuyo propósito es la obtención de madera, pulpa, y otros productos forestales, caracterizada por su rentabilidad y articulación al mercado” (UPRA, 2015).

5.3 Mejoramiento genético forestal (MGF)

En Colombia, se introducen los principios del MGF y se desarrollan los primeros programas de mejoramiento genético para varias especies de pinos y eucaliptos en la década de los 70, a partir del interés de la empresa privada por considerar este aspecto genético –de la mano con la silvicultura– parte fundamental del desarrollo forestal, éstos programas con el paso del tiempo ha permitido aprovechar mejor el recurso suelos, ya que se ha llegado a producir más madera en menor área. Adicionalmente, “otras instituciones como el INDERENA lideraron ensayos de introducción de especies y procedencias en los años 80, con los cuales se logró el establecimiento

de algunas fuentes semilleras y la conservación de recursos genéticos para el inicio de estos programas en nuestro país” (Nieto, 2014).

En términos generales el MGF se encarga de reconocer la variabilidad que puede tener un árbol en una plantación, la aísla en un área específica por medio de ensayos de progenie y, con base en selecciones recurrentes, reúne esta variabilidad en un árbol con todas las características productivas deseables para, finalmente, multiplicarlo (por semillas o métodos vegetativos) en las plantaciones forestales comerciales. En este sentido el MGF puede entenderse como el avance continuo de un ciclo cuyo inicio lo constituye una población de árboles con la máxima variabilidad genética (Zobel *et al*, 1988 citado por Nieto 2014), de ahí que:

Los objetivos del MGF son mejorar la uniformidad de las plantaciones forestales, reducir la ausencia de árboles, mejorar las formas del fuste del árbol, aumentar el diámetro y la altura total, mejorar la capacidad de para generar rebrotes y aumentar la producción por unidad de área (De Asis *et al*, 2016).

Alcanzar los objetivos del MGF implica considerar que se debe realizar una inversión económica importante en aspectos como: recurso humano calificado para el diseño de las pruebas genéticas, una colección de semillas que reúna una muestra representativa de procedencias, personal capacitado para implementar ensayos en terreno y, en fases más avanzadas, el dominio de técnicas especiales como los protocolos de cruzamientos controlados, entre otras actividades, lo que significa que un programa de reforestación a pequeña escala no admitiría, en términos de rentabilidad, una inversión de este tipo, por tanto, “esto solo será financieramente viable para empresas reforestadoras consolidadas y con proyecciones importantes de plantación” (Nieto *et al*, 2014)

5.4 Programa de mejoramiento genético (PMG)

“El objetivo principal de un PMG es maximizar las ganancias volumétricas a una determinada edad y a un costo razonable, generando o manteniendo la variabilidad genética” (Nieto *et al*, 2017), actualmente “los principales desafíos de los PMG están asociados al aumento de la productividad, la adaptación a ambientes bióticos y abióticos estresantes y mejor calidad de la madera para los diversos productos forestales” (De Assis *et al*, 2016), vale señalar que “todo PMG se alimenta continuamente del análisis estadístico para poder determinar las diferencias a nivel de crecimiento en altura, diámetro y demás caracteres de mejoramiento entre los orígenes e individuos que conforman la población” (Nieto *et al*, 2014). Los PMG se deben caracterizar por ser programas serios, estructurados y permanentes, en donde las etapas iniciales de selección de las especies o procedencias más adecuadas para componer la población base son fundamentales ya que esta se constituye en la estructura de la base genética del programa y garantizará las ganancias que se puedan alcanzar a futuro. De ahí que “es clave escoger la especie a utilizar de acuerdo con las condiciones climáticas y edáficas del sitio de cultivo (tipos de suelos, limitantes nutricionales, precipitación, temperatura, etc.), potenciales plagas y enfermedades y capacidad productiva del material genético” (Adaptado de Nieto *et al.*, 2017).

5.5 Diseños experimentales

Los diseños experimentales empleados en la realización de ensayos clonales de eucalipto varían ampliamente dependiendo de la empresa, el número de clones a ser ensayados y las condiciones ambientales de las áreas de siembra comercial.

Normalmente cuando el número de clones es elevado, es necesario hacer una selección inicial y en ese caso la parcela está conformada por una única planta, también pueden usarse parcelas mayores que pueden ser rectangulares de 16 o 25 plantas o lineales con seis plantas, cuanto menor sea la parcela va a permitir establecer más repeticiones que pueden ir desde 4 a 10 repeticiones (adaptado de Couto *et al*, 2009).

5.6 Ensayo clonal

Antes de sembrar las especies en escala comercial, es decir antes de sembrar muchas hectáreas, los clones deben ser sometidos a ensayos clonales que consiste básicamente en plantarlos en diferentes condiciones edafo-climáticas con el fin de confirmar la superioridad del material genético originalmente seleccionado, “lo ideal es que los clones sean sometidos a una amplia diversidad de situaciones ambientales que podrían ocurrir en la práctica y que permiten validar la resistencia a plagas y enfermedades” (Couto *et al* 2009).

Gracias al establecimiento y evaluación de dichos ensayos por ejemplo de interacción genotipo-ambiente, y de otro tipo de ensayos de evaluación, es posible implementar con seguridad estrategias de propagación cuando hay certeza sobre cuáles serán los mejores individuos representantes de las mejores familias o de las mejores procedencias (Nieto *et al*, 2014).

5.7 Variables dasométricas

“Para validar el crecimiento de los materiales genéticos existen diversas variables dasométricas que pueden expresar la adaptabilidad del material en el campo, principalmente el diámetro a la

altura del pecho, la altura y la tasa de supervivencia” (Vilas Bôas *et al.*, 2009). Sobre la tasa de supervivencia cabe mencionar que el propósito de cualquier lote plantado destinado a la reforestación es superar satisfactoriamente la fase de establecimiento, además de lograr altas tasas de supervivencia y crecimiento en el campo, es decir conseguir mayor número de árboles vivos en determinado periodo de tiempo (Navarro *et al.*, 2006).

Finger (1992, según citado en Camargo en 2016) concluyó que dentro de las variables dasométricas medibles, el diámetro es el más importante porque se mide directamente y sirve como base para otros cálculos como el área basal y el volumen, puede servir también para obtener la frecuencia con la que los árboles ocurren en la población, midiendo también el grado de ocupación dentro del terreno.

Golfari (1975 citado por Agostini en 2015) concluye que la altura es una de las características biométricas utilizadas para comprobar si una especie está adaptada al lugar en el que fue plantada. Una variable que se deriva de la altura total es la altura dominante que corresponde a la altura media de los árboles más altos de la población, Tonini (2009) es una variable muy usada en ciencias forestales para cultivos homogéneos ya que determina la calidad del sitio y tiene una relación estrecha con la edad de la plantación, la interacción con factores ambientales y una correlación con la productividad en volumen.

5.8 Componente estadístico

Es evidente que el tipo de datos con que se cuenta y acorde al objetivo del proyecto, los primeros resultados a obtener dependerán de implementar un análisis de varianza y la prueba de Tukey si se concluye que hay diferencia entre tratamientos. En la segunda parte se prevé que un análisis de

conglomerados pueda ser suficiente para analizar la variable supervivencia en relación con la demás información recolectada. A continuación, se describe brevemente los fundamentos teóricos de cada procedimiento.

- El dendrograma, o árbol jerárquico, una característica importante de los procedimientos jerárquicos es que los resultados obtenidos en un paso previo siempre necesitan encajarse dentro de los resultados del siguiente paso, creando algo parecido a un árbol. Por ejemplo, una solución de seis conglomerados se obtiene uniendo dos de los conglomerados encontrados en el paso de siete conglomerados. “Dado que los conglomerados se forman sólo por unión de los conglomerados existentes, se puede rastrear hasta su origen de simple observación cualquier miembro de un conglomerado. la representación se denomina dendrograma o gráfico en forma de árbol” (Hair *et al.*, 1999).

El dendrograma se construye como sigue como se describe a continuación:

En la parte inferior del gráfico se disponen los n elementos iniciales. Las uniones entre elementos se representan por tres líneas rectas. Dos dirigidas a los elementos que se unen y que son perpendiculares al eje de los elementos y una paralela a este eje que se sitúa al nivel en que se unen. El proceso se repite hasta que todos los elementos están conectados por líneas rectas.

Si cortamos el dendrograma a un nivel de distancia dado, obtenemos una clasificación de la muestra en grupos existentes a ese nivel y los elementos que los forman (Adaptado de Peña, 2002).

- “El análisis de varianza (ANOVA por sus siglas en inglés) compara la variabilidad debida a unas determinadas fuentes con la existente entre individuos que deberían ser similares”. (Moore, 2000). Se tiene el modelo del análisis de varianza simple o de un solo factor que se basa en la siguiente ecuación:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, n \end{array}$$

En este modelo, Y_{ij} es la observación ij -ésima de la variable dependiente, μ es un parámetro común a todos los tratamientos al que se llama la media global y τ_i es un parámetro único del tratamiento i -ésimo al que se le llama el efecto del tratamiento i -ésimo, ε_{ij} es un componente del error aleatorio que incorpora todas las demás fuentes de variabilidad del experimento, incluyendo las mediciones, la variabilidad que surge de factores no controlados, las diferencias entre las unidades experimentales (como los materiales de prueba, etc.) a las que se aplican los tratamientos, y el ruido de fondo general en el proceso que reúne factores como la variabilidad con el tiempo, los efectos de variables ambientales, etc. (Montgomery, 2004).

De otro lado, la prueba de Tukey se implementa después de un análisis de varianza en el que se ha rechazado la hipótesis nula de la igualdad de las medias de los tratamientos, quiere probarse entonces para todas las comparaciones de las medias por pares las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j$$

Para toda $i \neq j$. Tukey propuso un procedimiento para probar hipótesis para las que el nivel de significación global sea exactamente α cuando los tamaños de las muestras son iguales y es la suma α cuando los tamaños de las muestras no son iguales. “Este procedimiento puede usarse también para contraer los intervalos de confianza para las diferencias en todos los pares de medias” (Montgomery, 2004). La fórmula que representa esta prueba es:

$$T_\alpha = q_\alpha(a, f) \sqrt{\frac{MS_E}{n}}$$

6. Resultados

A continuación, se presentan los resultados del estudio, la primera parte corresponde al análisis descriptivo de las variables, seguido por las pruebas de normalidad, el análisis de supervivencia de los clones haciendo uso del dendrograma y finalmente la prueba de kruskal-Wallis.

6.1 Análisis descriptivo

6.1.1 Variable diámetro a la altura del pecho DAP (m). De acuerdo al histograma para la variable diámetro a la altura del pecho en metros DAP (m) en la finca Berraquera es posible observar que el clon DE00020 y GU01425 tienen valores más heterogéneos ya que hay presencia de árboles con diámetros que oscilan entre 0 y 0,06 m, los clones GU00061, GU01424 y GU01426, pese a tener también presencia de valores en cero (0), la mayoría de diámetros están concentrados en valores cercanos a 0,07 metros, interesante resaltar la forma del histograma del gráfico del clon GU01426 que tienen valores de 0.06 a 0.08 metros de diámetro en donde la mayoría de los árboles están concentrados en los diámetros más altos. Los clones GU00061 y GU01424 presentan frecuencias similares cuando los diámetros se acercan a 0,07 metros.

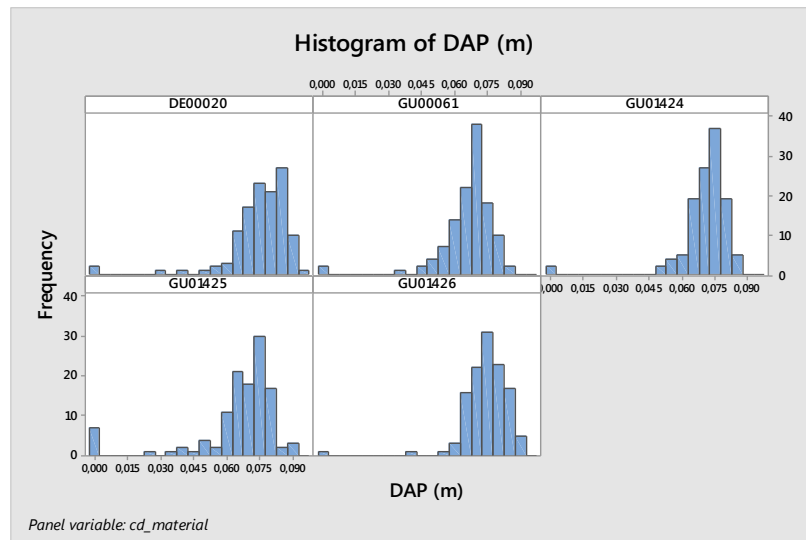


Figura 7. Histograma de frecuencias para la variable DAP (m) finca Berraquera

El siguiente histograma corresponde a la variable DAP (m) en la finca Victoria, se puede observar que el clon GU01426 es más heterogéneo ya que tienen presencia de árboles 0 hasta 0,072 metros respectivamente, sin embargo, su ubicación en la parte extrema derecha del gráfico da cuenta de que también posee diámetros interesantes entre los 0,072 y 0,097 metros. Los demás clones tienen distribuciones similares que oscilan entre los 0,072 y 0,087 metros de diámetro.

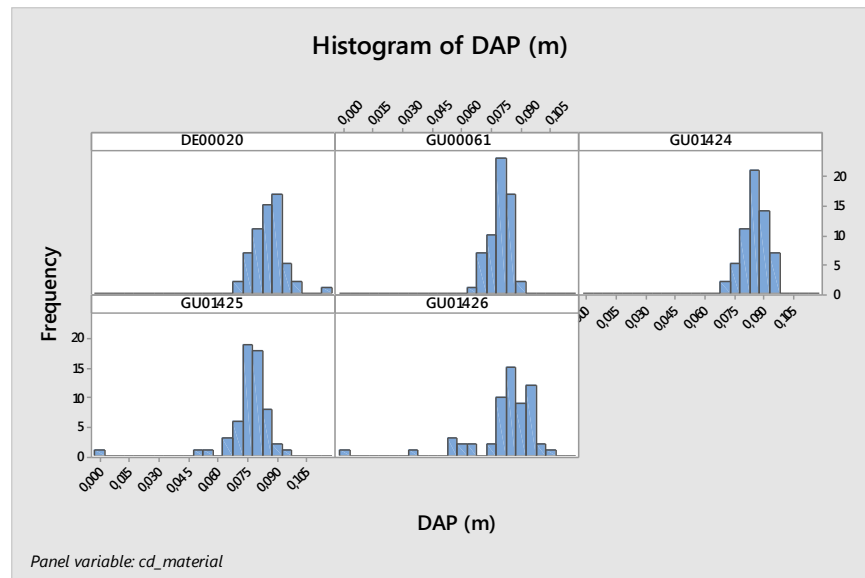


Figura 8. Histograma de frecuencias para la variable DAP (m) finca Victoria

En la siguiente tabla se observan los estadísticos descriptivos para la variable DAP (m) para las dos fincas.

Tabla 4.

Estadísticos descriptivos para la variable DAP (m) por finca

Ítem	Finca	
	Berraquera	Victoria
Recuento	600	300
Promedio	0,070	0,081
Mediana	0,073	0,083
Desviación estándar	0,014	0,011
Coefficiente de variación (C.V)	20,54%	13,59%
Mínimo	0	0
Máximo	0,096	0,117

Dada la distribución asimétrica de la variable técnicamente convendría analizar el comportamiento de la mediana y del rango intercuartílico, pero los datos anteriores no exhiben grandes diferencias entre estos y los promedios y desviaciones estándar por esto se procederá a describir el comportamiento de la variable a partir de estos últimos. El resumen anterior muestra que los datos en la finca Victoria se extienden desde 0 hasta 0,11 metros y en la finca Berraquera desde 0 hasta 0,096 metros. El promedio de la variable está en 0,070 metros y 0,081 metros para las fincas Berraquera y Victoria respectivamente con desviaciones estándar similares; aunque el escenario es de poca variabilidad se evidencia mayor heterogeneidad en el crecimiento del DAP en la finca Berraquera (C.V=20.5%) respecto de la finca Victoria (C.V =13.5%).

6.1.2 Prueba de normalidad para la variable diámetro a la altura del pecho DAP (m). Se aplica la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para la variable DAP (m) en la finca Victoria para los 300 datos sin hacer diferencia entre los clones, se obtiene una significancia de 0,000 por tanto se rechaza la hipótesis de normalidad, lo anterior se corrobora al examinar el gráfico Q-Q *plot* (Gráfico 6) en donde es posible observar que los puntos se alejan de la recta de referencia.

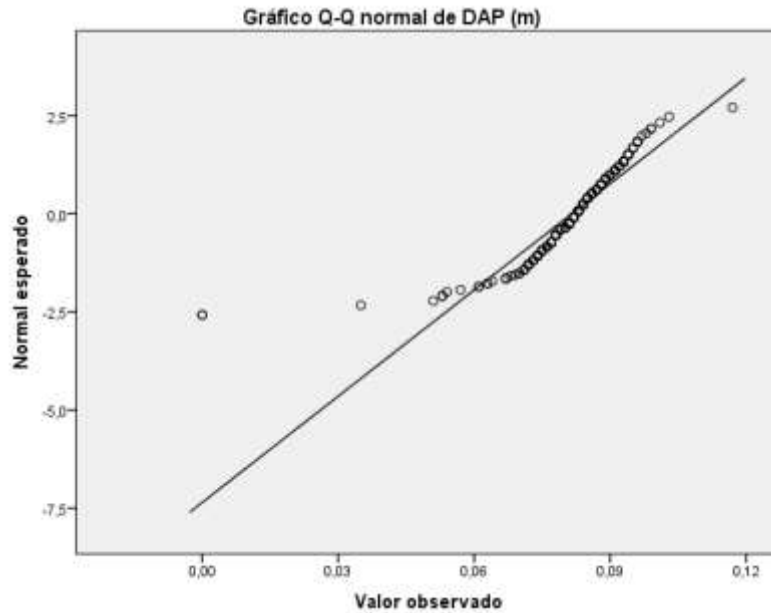


Figura 9. Gráfico Q-Q plot para la variable DAP (m) finca Victoria

De siguiente gráfico Q-Q *plot* es posible concluir que la variable DAP (m) en la finca Berraquera tampoco se distribuye de manera normal debido a que los valores observados versus los valores esperados no siguen la recta de normalidad. En la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para la variable DAP (m) en la finca Berraquera se obtuvo una significancia de 0,000 lo que indica que se rechaza la hipótesis de nula de normalidad de los datos.

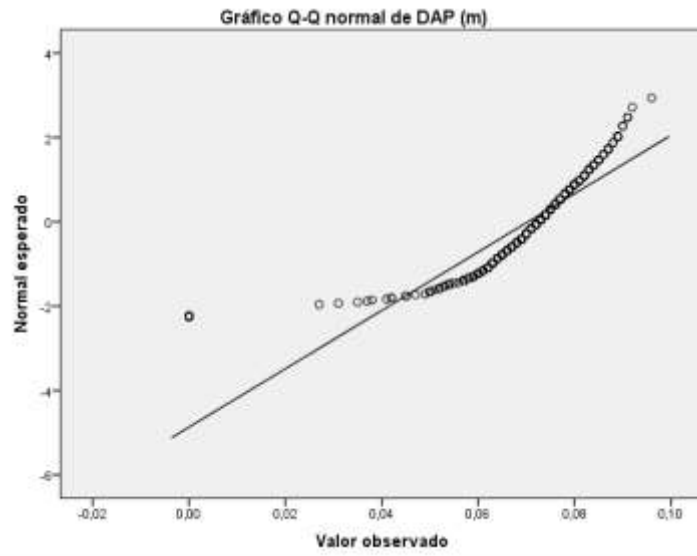


Figura 10. Gráfico Q-Q plot para la variable DAP (m) en la finca Berraquera

En la prueba de normalidad de kolmogorov-Smirnov para la variable DAP (m) en la finca Berraquera se obtuvo una significancia de 0,000 por lo tanto también se rechaza la hipótesis nula de normalidad de los datos.

Con el fin de analizar si en los datos de la variable DAP (m) hay simetría se presenta el siguiente gráfico *boxplot* discriminado por clon y por finca. Para el caso de la finca Berraquera cuyos datos están ubicados a la izquierda del gráfico, se observa que no hay simetría ya que las cajas de los clones GU00061, GU01424 muestra asimetría hacia la derecha, el clon GU01426 muestra asimetría hacia la izquierda, en el caso de los clones DE00020 y GU01425 aparentemente son simétricos pues los datos están repartidos en igual proporción en la caja. El clon con la mediana más baja es el GU00061 con un valor de 0,069, los clones con medianas parecidas son el DE00020 y GU01426 que tienen valores de 0,077 y 0,075 respectivamente, los clones GU01424 y GU01425 tienen medianas que van desde 0,07 hasta 0,073 respectivamente. Sobre el rango intercuartílico se puede mencionar que los valores son los mismos para los clones DE00020 y GU01425 y

corresponde a 0,01375, los rangos intercuartílicos de los clones GU00061, GU01424 y GU01426 están en 0,0105, 0,01 y 0,011 respectivamente. El bigote más amplio le corresponde al clon GU01425 que tiene árboles cuyos diámetros van desde 0,045 metros de diámetro hasta 0,092 metros de diámetro.

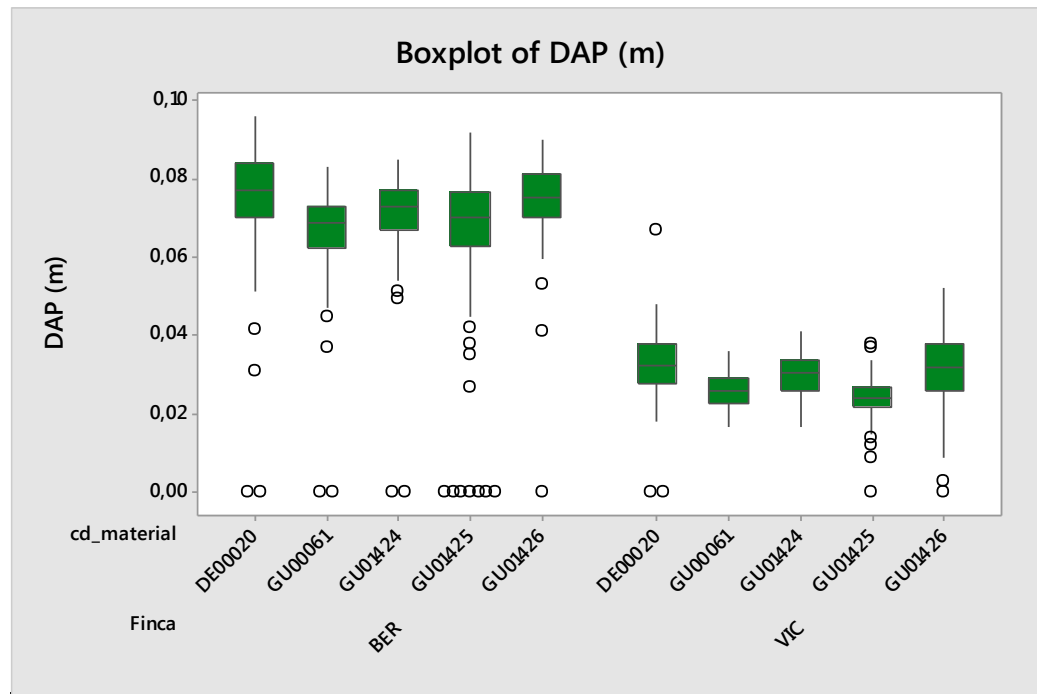


Figura 11. Distribución de la variable DAP (m) discriminada por clon y finca

En el caso de los clones de la finca Victoria que está ubicado al lado derecho de la figura 11, es posible observar que no hay simetría en la variable DAP (m), los clones, los clones DE00020, GU00061 y GU01425 son asimétricos hacia la derecha y el clon GU01424 es asimétrico hacia la izquierda, sobre el clon GU01426 aparentemente es simétrico ya que los datos están repartidos en igual proporción en la caja, la mediana se extiende desde 0,024 hasta 0,0325 iniciando en el clon GU00061 y terminando en DE00020. Sobre el rango intercuartílico cabe mencionar que los valores que sobresalen son de los clones DE00020 y GU01426 que tiene valores de 0,01, el rango

intercuartílico más bajo es el del clon GU01425 con un valor de 0,005. El clon GU01426 tiene árboles cuyo diámetro va desde 0,052 hasta 0,009 lo que se refleja en un bigote más largo que el de los demás clones.

La asimetría que se evidencia en el gráfico anterior corrobora el resultado de la prueba de normalidad kolmogorov-Smirnov en la que se obtuvo que no hay normalidad en los datos.

6.1.3 Variable altura total en metros HT (m). Haciendo uso del gráfico diagrama de cajas o *boxplot* se presentan a continuación los datos de altura por cada clon para la finca Berraquera, de acuerdo con éste gráfico al observar las medias es posible concluir que cierta variación en los valores para cada clon, por ejemplo la media del clon DE00020 y GU01425 está cerca del límite inferior del cuartil 1 y corresponde a 10,5 y 9,0 respectivamente, situación que se explica debido a la cantidad de datos que tienen valores de cero para el caso del clon GU01425 y en el caso del clon DE00020 a pesar de tener pocos valores en cero tiene datos que se agrupan en 8 metros de altura por fuera de la caja, los datos más homogéneos corresponden al clon GU00061 en donde la caja es de una proporción parecida a ambos lados, la media y mediana son muy cercanas y solo hay tres datos extremos, para resaltar el tamaño de la caja del clon GU01426 en donde la parte superior de la caja es más pequeña que la parte inferior indicando que en la parte superior hay menor concentración de datos, el tamaño de la caja es más reducido parecido a la caja del clon DE00020 y coincide con que ambos clones son las que más valores tienen por fuera de la caja.

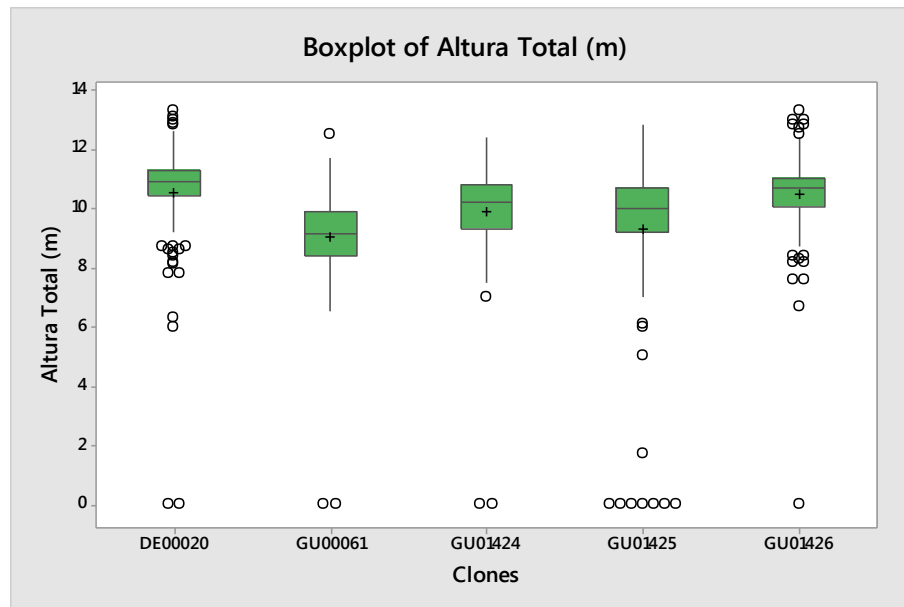


Figura 12. Boxplot para la variable HT (m) en la finca Berraquera.

En el siguiente gráfico se puede observar los datos de la variable altura total (m) en la finca Victoria por cada clon, es posible concluir que hay pocos casos con valores cero (0) por ejemplo en el caso de los clones GU00061 y GU01424, en ambos casos el tamaño de las cajas son parecidos y la posición de las medianas es similar a la media, lo que podría dar cuenta de una homogeneidad en los datos, para el clon GU01425 la media también coincide con la mediana, sin embargo en la parte superior de la caja están concentrados la mayor cantidad de los datos, es una situación parecida a la del clon DE00020 en donde pese a que la media se aleja un poco de la mediana, la parte superior de la caja concentra la mayor cantidad de datos.

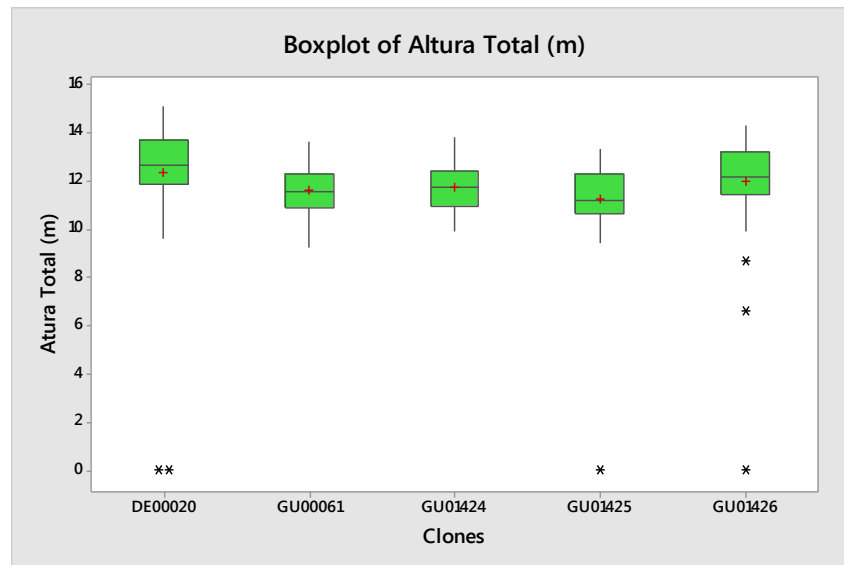


Figura 13. Boxplot para la variable HT (m) en la finca Victoria

En la siguiente tabla se encuentra un breve resumen de los estadísticos descriptivos para la variable altura total (m), se debe resaltar que hay diferencia considerable en cuanto a la altura promedio, para la finca Berraquera se tiene 9,8m y para la Victoria de 11,7m, la desviación estándar es similar con valores de 2 y 1,8 metros respectivamente, el coeficiente de variación es más bajo en la finca Victoria con 15,5% comparado con el de 20,75 obtenido en la finca Berraquera, los valores mínimos son iguales con cero (0) y en los valores máximos la mayor altura la tiene la finca Victoria con 15,1 metros.

Tabla 5.

Estadísticos descriptivos para la variable HT (m) para la finca Victoria

Ítem	Finca	
	Berraquera	Victoria
Recuento	600	300
Promedio	9,84	11,77
Mediana	10,20	11,9

Ítem	Finca	
	Berraquera	Victoria
Desviación estándar	2,03	1,83
Coefficiente de variación	20,69%	15,54%
Mínimo	0	0
Máximo	13,3	15,1

6.1.4 Prueba de normalidad para la variable altura total en metros HT (m). A continuación, se presenta la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para la variable Altura Total (m) por finca. Para ambas fincas Berraquera y Victoria se obtiene una significancia asintótica de 0,000 que indica que se debe rechazar la hipótesis de normalidad en los datos. Esta afirmación se corrobora con los gráficos Q-Q *plot* que se observan enseguida en el que los valores observados versus los esperados no siguen la línea de normalidad.

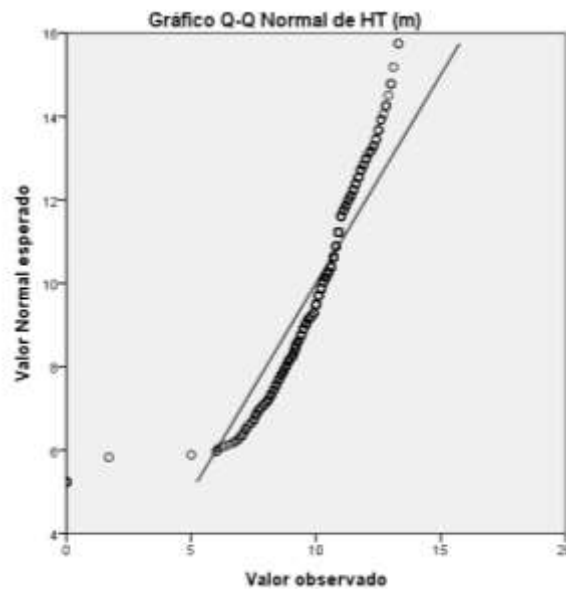


Figura 14. Q-Q plot para la variable HT (m) en la finca Berraquera

El siguiente gráfico Q-Q *plot* corresponde a la variable HT (m) para la finca Victoria, también es posible corroborar que los valores observados versus los esperados no siguen la recta de normalidad, los puntos se rozan brevemente con la línea de normalidad cuando los valores van desde 10 hasta 14 metros de altura.

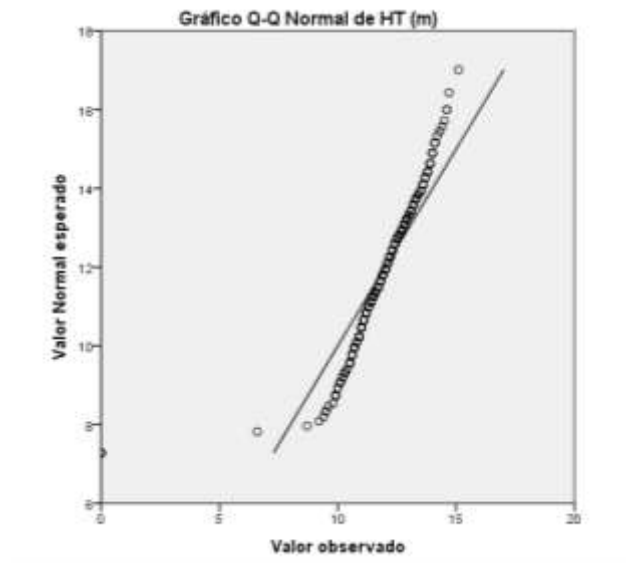


Figura 15. Gráfico Q-Q plot para la variable HT (m) en la finca victoria

6.1.5 Variable volumen (m³). En los siguientes histogramas se observan por cada clon la frecuencia de los datos para la variable volumen (m³) en la finca Berraquera, para resaltar la forma del histograma del clon GU01426 en el que a juzgar por el gráfico la mayoría de los datos se ubican a la derecha del plano en donde el volumen es más alto, hay cierta heterogeneidad en los datos de los clones DE00020 y GU01425 en donde particularmente la cima del histograma es más baja comparada con los otros clones, para los clones GU00061 y GU01424 tienen una distribución parecida que denota homogeneidad aparente en los datos, las barras del histograma del clon

GU00061 están ubicadas en su mayoría hacia la izquierda del plano en donde el volumen es más bajo

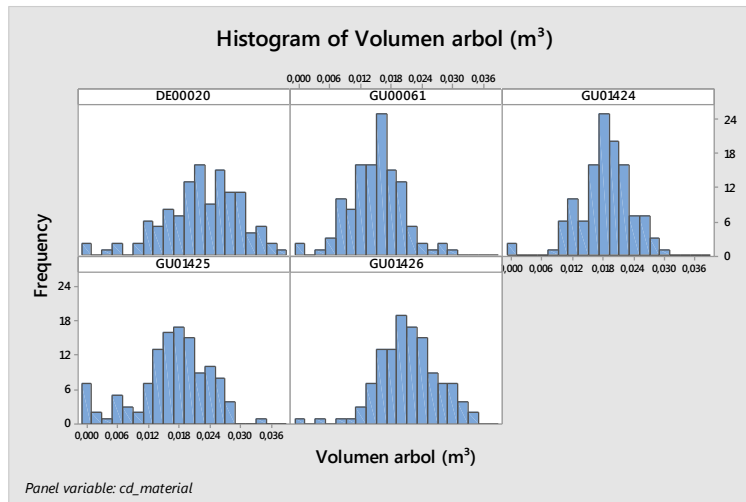


Figura 16. Histograma para la variable Volumen (m³) en la finca Berraquera

Se aplica la prueba de Kolmogorov-Smirnof para determinar la normalidad de los datos, se obtiene una significancia asintótica de 0,000 que indica que se rechaza la hipótesis nula de normalidad de los datos.

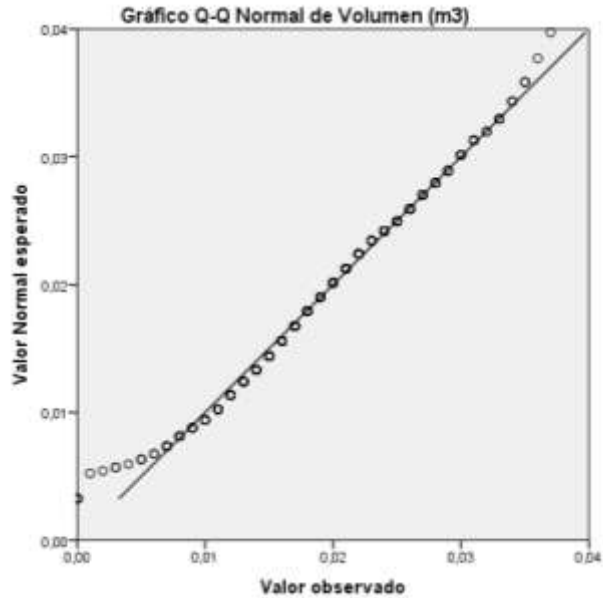


Figura 17. Q-Q plot para la variable Volumen (m³) en la finca Berraquera

Los siguientes histogramas corresponden a la variable Volumen (m³) para la finca Victoria, se puede apreciar que hay menor homogeneidad en los datos de los clones DE00020 y GU01426 en donde se presenta una distribución más amplia para la variable analizada, en los demás clones los datos están concentrados cerca del 0,03 m³.

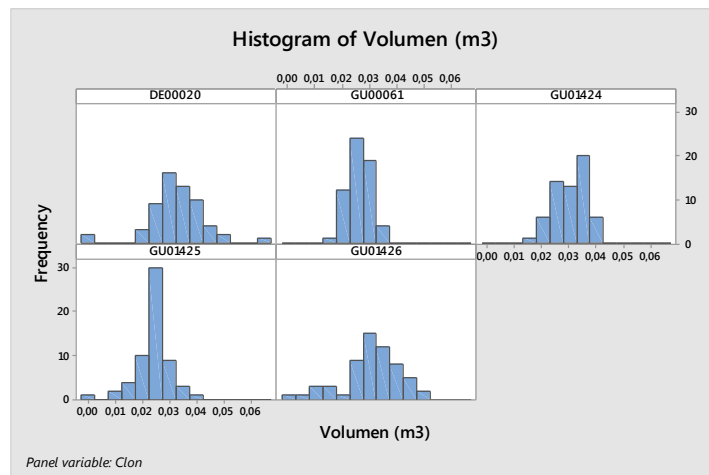


Figura 18. Histograma de frecuencias para la variable Volumen (m³) en la finca victoria

Se aplica la prueba de Kolmogorov-Smirnov y se obtiene una significancia asintótica de 0,000 lo que indica que se rechaza la hipótesis nula de normalidad de los datos.

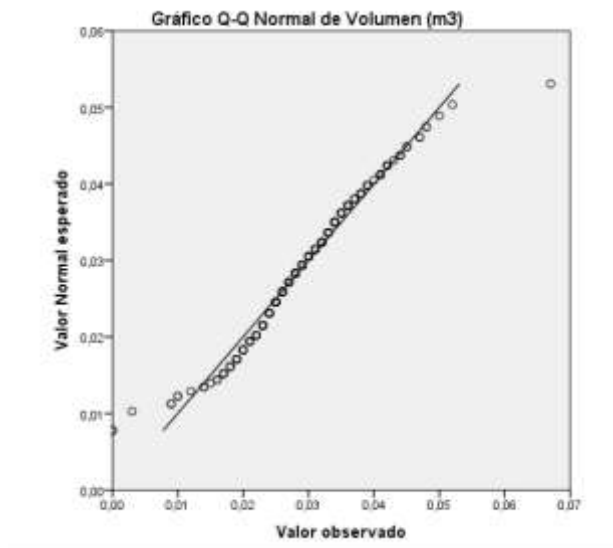


Figura 19. Q-Q plot para la variable Volumen (m³) en la finca victoria

En la siguiente tabla se encuentran los estadísticos descriptivos para la variable volumen (m³) en ambas fincas, se aprecia que los promedios difieren para el caso de la finca Berraquera la media es menor estando en 0,019 metros cúbicos, particularmente para ambos casos la media y la median son muy similares, se presenta mayor variación en los datos de la finca Berraquera con un coeficiente de variación de 36,5%, los valores mínimos en ambas fincas coinciden en cero (0) y el valor máximo es mayor en la finca Victoria con 0,067 metros cúbicos.

Tabla 6.

Estadísticos descriptivos para la variable Volumen (m³) por finca

Ítem	Finca	
	Berraquera	Victoria
Recuento	600	300
Promedio	0,019	0,029
Mediana	0,019	0,028
Desviación estándar	0,0068	0,0085
Coefficiente de variación	36,5%	29,7%
Mínimo	0	0
Máximo	0,037	0,067

6.2 Análisis de supervivencia para los ensayos de las fincas Victoria y Berraquera

La supervivencia de los clones está representada por un porcentaje que se calcula a partir del número de árboles que se plantaron versus el número de árboles que continúan vivos una vez han transcurrido 12 meses después de la siembra. En el siguiente gráfico se observan los porcentajes de supervivencia para los 5 clones evaluados a los 12 meses de edad, para la finca Victoria el ensayo fue sembrado en el mes de noviembre de 2016 y en la finca Berraquera el ensayo fue sembrado en abril de 2017, ambos datos corresponden a mediciones realizadas a los 12 meses de edad.



Figura 20. Supervivencia de los clones para 12 meses

Es posible observar en el gráfico 14 que la supervivencia de los clones fue mejor en la finca Victoria ya que clones como DE00020, GU00061 y GU01424 tienen el 100% de supervivencia, los clones GU01425 y GU01426 tienen un 98% de supervivencia. Para la finca Berraquera el clon GU01426 tiene el 100% de supervivencia, lo siguen los clones DE00020, GU00061 y GU01424 con 98 % de supervivencia, cabe resaltar que el clon GU01425 tiene el porcentaje más bajo entre las dos fincas con 94%. Los porcentajes de supervivencia alcanzados para ambos ensayos son elevados lo que puede indicar que la especie en los 12 primeros meses ha tenido una adaptación adecuada a las condiciones climáticas y de suelos del lugar. Estos porcentajes de supervivencia dan cuenta del cuidado que se tuvo en otros aspectos como la buena preparación del suelo, la calidad de las plántulas, la oportuna realización de las resiembras y la época de siembra que coincide con el invierno en la región de la Magdalena medio.

Con el fin de agrupar los clones de acuerdo a los porcentajes de supervivencia se utilizó el análisis de clúster jerárquico, se graficaron los dendrogramas por cada finca. A continuación, se observa el dendrograma para la finca Berraquera.

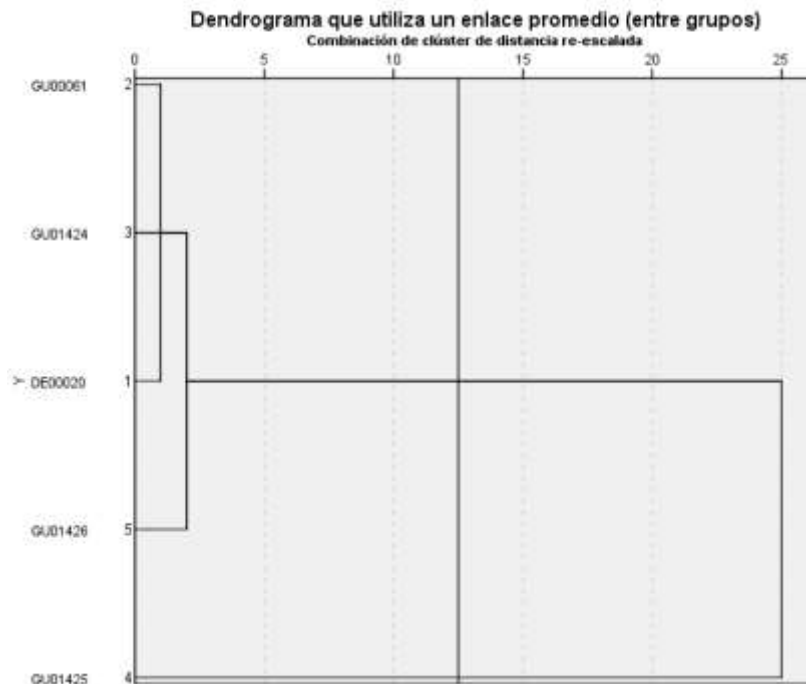


Figura 21. Dendrograma de supervivencia para la finca Berraquera.

En el gráfico 15 es posible apreciar que al cortar el gráfico a una altura de 2,5 se forman tres grupos el primero formado por los clones GU00061, GU01424 y DE00020, el segundo grupo está conformado por el clon GU01426 y el último grupo por el clon GU01425 que presenta menor supervivencia con un 94%.

El gráfico 16 corresponde al dendrograma para la finca Victoria, es posible diferenciar 2 subgrupos conformados por los clones GU01425 y GU01426 que tienen supervivencias similares de 98 %, al segundo grupo pertenecen los clones GU00061, GU01424 y DE00020 que tienen 100% de supervivencia.

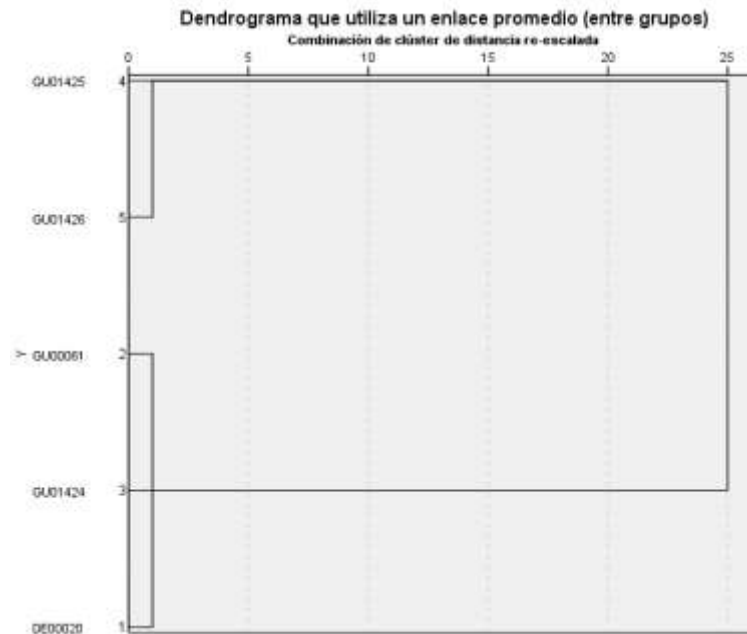


Figura 22. Dendrograma de supervivencia para la finca Victoria

6.3 Prueba de Kruskal-Wallis

De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de normalidad Kolmogorov-Smirnov que arrojaron significancias asintóticas de 0,000 que indican que los datos de las variables estudiadas diámetro a la altura del pecho (m), altura total (m) y volumen por árbol (m³), no se distribuyen de manera normal para las fincas Victoria y Berraquera, se procede a aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para conocer si hay diferencias significativas en cada variable para los datos analizados por cada uno de los clones.

6.3.1 Planteamiento de la hipótesis

H_0 : las k muestras provienen de la misma población

H_1 : alguna muestra proviene de una población con mediana diferente a las demás

La prueba fue aplicada para las tres variables numéricas y se utilizó como factor el tipo de clon en la finca Victoria. Se obtuvo un p-valor de 0,000 en los tres casos, que evidencia que la muestra proporciona evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula de igualdad, es decir que las variables diámetro a la altura del pecho, altura total y volumen muestran diferencias significativas de acuerdo al clon. Los resultados obtenidos se pueden verificar en la siguiente imagen que corresponde a los resultados obtenidos en el software Minitab 17 para la prueba Kruskal-Wallis.

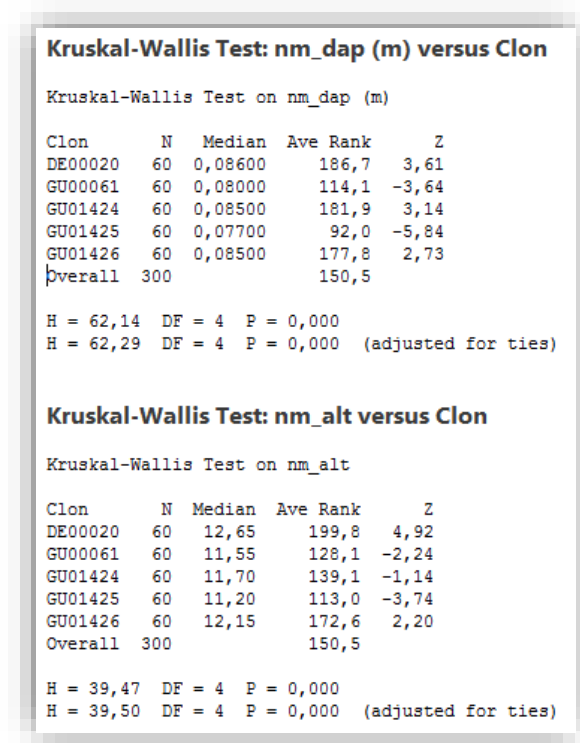


Figura 23. Test Kruskal-Wallis para DAP y altura vs clon en la finca Victoria

Kruskal-Wallis Test: Vol versus Clon				
Kruskal-Wallis Test on Vol				
Clon	N	Median	Ave Rank	Z
DE00020	60	0,03250	194,2	4,37
GU00061	60	0,02600	115,2	-3,53
GU01424	60	0,03050	171,4	2,09
GU01425	60	0,02400	92,6	-5,78
GU01426	60	0,03200	179,0	2,85
Overall	300		150,5	
H = 61,88 DF = 4 P = 0,000				
H = 62,01 DF = 4 P = 0,000 (adjusted for ties)				

Figura 24. Test Kruskal-Wallis para volumen vs clon en la finca Victoria

Para conocer cuál es el clon que muestra diferencia se determinó analizar los rangos promedios que arroja la prueba de Kruskal-Wallis, los rangos promedios se presentan en la siguiente tabla y fueron graficados para facilitar la interpretación.

Tabla 7.

Rangos promedio de la prueba Kruskal-Wallis para la Finca Victoria

Clon	Rango promedio para Kruskal-Wallis		
	DAP (m)	Altura Total (m)	Volumen (m ³)
DE00020	186,7	199,8	194,2
GU00061	114,1	128,1	115,2
GU01424	181,9	139,1	171,4
GU01425	92,0	113,0	92,6
GU01426	177,8	172,6	179,0

En el siguiente gráfico se resumen los valores de rango promedio obtenidos en la prueba Kruskal-Wallis para la finca Victoria. Una información interesante que permite concluir que el clon DE00020 es el más sobresaliente en las tres variables, presenta un buen desempeño en altura

respecto a los otros clones, también resulta importante revisar el comportamiento del clon GU01426 que en orden descendente ocupa el segundo lugar en desempeño, el caso del clon GU01424 es particular ya que tiene diámetros a la altura del pecho altos, sin embargo la altura es menor, al tener diámetros altos y alturas bajas se podría presentar una compensación entre los valores lo que permite que el volumen sea sobresaliente, los casos de los clones GU00061 y GU01425 es de especial interés ya que es el clon que actualmente se tiene planeado usar en las nuevas siembras del Magdalena Medio tiene rangos promedio menores a los otros clones es menor en las tres variables analizadas, le sigue el clon GU01425 que tiene el comportamiento más bajo de los 5 clones evaluados.

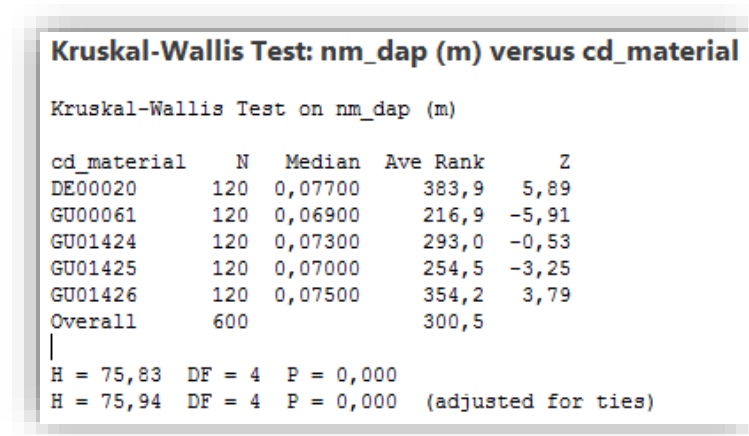


Figura 25. Comparación de los rangos promedio de la prueba Kruskal-Wallis en la finca Victoria

Resultados similares a los anteriores fueron obtenidos para la finca Berraquera. Así, la prueba de Kruskal-Wallis fue aplicada para las tres variables mencionadas y el factor utilizado fue la variable clon. Se obtuvo un p-valor de 0,000 en los tres casos, que evidencia que la muestra proporciona evidencia estadística suficiente para determinar rechazar la hipótesis nula, es decir

que las variables diámetro a la altura del pecho, altura total y volumen muestran diferencias de acuerdo a la variable clon.

En las siguientes imágenes se observa los resultados arrojados por el programa Minitab 17 para dicha prueba.



```
Kruskal-Wallis Test: nm_dap (m) versus cd_material
Kruskal-Wallis Test on nm_dap (m)
cd_material    N    Median  Ave Rank    Z
DE00020       120  0,07700   383,9    5,89
GU00061       120  0,06900   216,9   -5,91
GU01424       120  0,07300   293,0   -0,53
GU01425       120  0,07000   254,5   -3,25
GU01426       120  0,07500   354,2    3,79
Overall        600                300,5
|
H = 75,83  DF = 4  P = 0,000
H = 75,94  DF = 4  P = 0,000 (adjusted for ties)
```

Figura 26. Test Kruskal-Wallis para la variable DAP vs clon en la finca Berraquera

Kruskal-Wallis Test: nm_alt versus cd_material

Kruskal-Wallis Test on nm_alt

cd_material	N	Median	Ave Rank	Z
DE00020	120	10,900	395,6	6,72
GU00061	120	9,160	180,4	-8,49
GU01424	120	10,200	291,4	-0,64
GU01425	120	10,000	268,8	-2,24
GU01426	120	10,700	366,4	4,65
Overall	600		300,5	

H = 115,35 DF = 4 P = 0,000
H = 115,53 DF = 4 P = 0,000 (adjusted for ties)

Kruskal-Wallis Test: Volumen arbol (m³) versus cd_material

Kruskal-Wallis Test on Volumen arbol (m³)

cd_material	N	Median	Ave Rank	Z
DE00020	120	0,02257	394,7	6,65
GU00061	120	0,01535	192,0	-7,67
GU01424	120	0,01831	289,6	-0,77
GU01425	120	0,01732	257,2	-3,06
GU01426	120	0,02127	369,0	4,84
Overall	600		300,5	

H = 109,13 DF = 4 P = 0,000
H = 109,13 DF = 4 P = 0,000 (adjusted for ties)

Figura 27. Test Kruskal-Wallis para las variables altura y volumen vs clon en la finca Berraquera

Se analizaron los rangos promedio arrojados en la prueba Kruskal-Wallis para conocer las diferencias que se presentaban a nivel de clones. A continuación, se presentan los rangos promedio obtenidos para el ensayo de la finca Berraquera y en el gráfico se muestran con mayor detalle las diferencias encontradas.

Tabla 8.

Rangos promedio de la prueba Kruskal-Wallis para la Finca Berraquera

Clon	Rango promedio para Kruskal-Wallis		
	DAP (m)	Altura Total (m)	Volumen (m ³)
DE00020	383,9	395,6	394,7
GU00061	216,9	180,4	192,0
GU01424	293,0	291,4	289,6

Clon	Rango promedio para Kruskal-Wallis		
	DAP (m)	Altura Total (m)	Volumen (m ³)
GU01425	254,5	268,8	257,2
GU01426	354,2	366,4	369,0

Este gráfico permite identificar con mayor detalle las diferencias por clon para cada variable, nuevamente al igual que los resultados obtenidos para la finca Victoria, los clones con desempeño sobresalientes son en orden el clon DE00020 seguido por GU01426, el clon GU01424 también presenta rangos promedios parecidos para las 3 variables y de especial interés el comportamiento del clon GU00061 que tiene los promedios más bajos comparado con los demás clones.



Figura 28. Comparación de rangos promedio de Kruskal -Wallis para la finca Berraquera

7. Conclusiones

Para la valoración de las siguientes conclusiones, se debe tener presente que estas son parciales ya que corresponden al análisis de datos durante el primer año de establecimiento del ensayo y que por la dinámica natural de las variables en mención y lo novedoso de esta metodología en el país, tener datos completos involucrará un período aproximado de recolección de 7 años.

La supervivencia en ambos ensayos fue muy buena con porcentajes que van desde 94% hasta 100%, éstos valores podrían indicar que la adaptabilidad de las especies plantadas fue excelente en el primer año, lo que se ve reflejado en que no se observaron síntomas que den cuenta de presencia de plagas o enfermedades en los árboles, también gracias a factores como la calidad de las plántulas, la presencia de lluvias en el establecimiento, el tipo de suelo y las labores silviculturales fue posible obtener estos resultados.

De especial interés el comportamiento que muestran los clones DE00020 y GU01426 que en ambas fincas Victoria y Berraquera fueron los más sobresalientes en cuanto a las variables diámetro, altura y volumen en el primer año, lo que por el momento los ubica como una opción a recomendar para replicar en ensayos más grandes en donde sea posible medir también la respuesta a la fertilización.

De acuerdo a los datos del primer año analizados para los clones GU00061, GU01424 y GU01425 se evidencia que su desempeño no es sobresaliente si se compara con los clones DE00020 y GU01426, lo que podría indicar una posible baja adaptación quizá debida al suelo o a

las condiciones climáticas del lugar, de igual manera es primordial continuar replicando estos clones en nuevos ensayos y continuar midiendo y analizando los ensayos que están establecidos.

Aunque al momento de realizar este trabajo sólo se contaba con una o máximo dos mediciones para cada ensayo, la idea es continuar analizando los datos de las mediciones de los siguientes años para conocer las diferencias que pueden presentarse en las variables incluidas en el presente estudio, si bien en campo en el primer año fue evidente el buen desempeño de los clones, es primordial continuar haciendo mediciones anuales y análisis estadísticos hasta completar el año 7, ya que la dinámica del crecimiento puede variar de acuerdo con las condiciones climáticas del sitio.

Se sugiere que para próximos análisis se deberían integrar los siguientes elementos:

- Una variable que permita clasificar la rectitud del fuste de los árboles, ya que es importante tenerlo en cuenta para que el transporte de la madera sea eficiente y también para conocer la adaptación de la especie.
- Una variable que permita medir la densidad básica de la madera que podrá aportar información importante para el proceso industrial y sería decisivo para escoger el clon adecuado.
- Utilizar una variable que permita conocer el estado fitosanitario de los árboles, esto va a permitir tener más información sobre las posibles causas de la muerte de los árboles.

Referencias bibliográficas

- Agostini, A. (2015). *Desempenho silvicultural de clones de Eucalyptus em duas regiões do estado de Mato Grosso*. Universidad Federal de Mato Grosso. 1-54
- Camargo de Oliveira, A. (2016). *Avaliação do crescimento de clones de Eucalyptus spp. em duas regiões do estado de Mato Grosso*. Universidad Federal de Mato Grosso. Cuiabá. 14, 25.
- Couto, A., Valverde, E., Gonçalves, R y Francisco de Assis, T. (2009). *Clonagem e doenças do eucalipto*. 2 ed. Universidade Federal de Viçosa (UFV). 36.
- De Assis, T., Muro, J y Mendes, A. (2016). *Melhoramento Genético do Eucalipto. Silvicultura do Eucalipto no Brasil*. Capítulo 7. 225-226.
- DNP, (2015). Colombia: Potencial de reforestación forestal-Diagnostico. Recuperado de: <https://vuf.minagricultura.gov.co/Documents/5.%20Estadisticas%20Sector%20Forestal/Potencial%20de%20Reforestacio%CC%81n%20Comercial%20en%20Colombia.pdf>. 5-43.
- Dos Santos, G. (2017). Evolución de la productividad de bosques en Brasil y las perspectivas de Colombia sobre la base de esa experiencia. Universidade Federal de Viçosa (UFV). 39.
- Farfan, F y Urrego, J. (2004). *Comportamiento de las especies forestales Cordia alliodora, Pinus patula y Eucalyptus grandis como sombrío e influencia en la producción de café*. Cenicafe. 55 (4), 317-329.
- Forestal Monterrey Colombia S.A.S. (2017). *Experiencias de la industria forestal colombiana. Forestal Monterrey Colombia S.A.S. FMC en curso práctico de mejoramiento genético forestal*. Cali Colombia. 26.
- Hair, J., Anderson, R., Tatham, R y Black W. (1999). *Análisis Multivariante*. 5 ed. Prentice Hall Iberia. Madrid. 530

- Magalhães, W., Macedo, R., Venturim, N., Higashikawa, E., y Yoshitani, M. (2006). *Desempenho silvicultural de espécies de Eucalyptus spp. em quatro espaçamentos de plantio na região noroeste de Minas Gerais*. Floresta & Ambiente. 12 (2). 4.
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. Universidad Estatal de Arizona. Editorial Limusa S.A de C.V. Grupo Noriega Editores. 2 ed. 64, 97.
- Moore, D. (2000). *Estadística aplicada básica*. 2 ed. Purdue University. Antoni Bosch, editor. ISBN: 84-95348-04-7. Barcelona. 661
- Navarro, R., Del Campo, A y Cortina J (2006). *Factores que afectan al éxito de una repoblación y su relación con la calidad de la planta*. Cap. 2. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente.
- Nieto, V., Dos Santos, G y Pires, A. (2017). *Ventajas y Estrategias de un Programa de Mejora Genética en Eucalyptus sp.* Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal CONIF. ISBN 78-958-57454-6-9. Bogotá Colombia. 1 ed. 5-9.
- Nieto, V., Ipinza, R y Salas, M. (2014). *Los árboles y el sexo*. Disponible en: www.revista-MM.com. 18-24.
- Palmberg-Lerche, C y Ball, J. (1998). *El estado actual de las plantaciones forestales en América latina y el Caribe y examen de las actividades relacionadas con el mejoramiento genético*. Servicio de Desarrollo de los Recursos Forestales Dirección de Recursos Forestales Departamento de Montes FAO, Roma (Italia). Disponible en: <http://www.fao.org/forestry/25871-07097f984c72179df8ec185fd30ae7faf.pdf>. 2.
- Paredes, E. (2018). *Evaluación de crecimiento y productividad de clones de Eucalyptus urophylla S.T. Blake durante el cuarto año de desarrollo, en el campus San Pedro Claver, S.J. de la Universidad Rafael Landívar; Alta Verapaz*. Tesis de grado. Universidad Rafael Landívar. Alta Verapaz, Guatemala. 13-43.
- Peña, D. (2002). *Análisis de datos multivariantes*. 246, 247.
- Picón Páez, J y Ardila García J. (2013). *Diagnóstico del territorio Magdalena Medio gran acuerdo social Barrancabermeja 100 años*. Centro de Estudios Regionales del Magdalena Medio. 11.

PROFOR (2017). *Situación actual y potencial de fomento de plantaciones forestales con fines comerciales en Colombia. Informe final del programa "Colombia: Reforestación Comercial Potencial del Banco Mundial / PROFOR (P148233)*. 26.

Puerto parra. En Wikipedia. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Puerto_Parra

Refocosta. (2018). *Resumen plan de manejo forestal 2018. Proceso: Manejo forestal de unidades operativas La Gloria y Villanueva*. 23.

Seppänen, P., Sanchez, E y Wright, J. (1999). *Ensayos de especies y procedencias en el oeste de México: Resultados del primer año. Foresta Veracruzana. Recursos Geneticos Forestales. Xalapa, Mexico*. 1 (2), 1, 6.

Smurfit Kappa Colombia. (2017). *Experiencias de la Industria Forestal Colombiana: Smurfit Kappa Colombia. Curso Teórico -Práctico Mejoramiento Genético Forestal. Cali Colombia*. 28.

Tekia S.A.S. *Experiencias de la industria forestal colombiana. Tekia S.A.S año 2017 en curso práctico de mejoramiento genético forestal. Cali Colombia*. 11.

Tonini, H., Gomes Costa, M y Mello Schewengber. (2009). *Crescimento de Teca (Tectona grandis) em Reflorestamento na Amazônia Setentrional. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo*. (59). 6.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria UPRA. (2015). *Zonificación para plantaciones forestales con fines comerciales-Colombia, escala 1:100000. Memoria Técnica*. 21-25.

Vilas Bôas, O., Max, J. y Melo, A. (2009). *Crescimento comparativo de espécies de Eucalyptus E Corymbia no município de Marília, SP. Revista do Instituto Florestal, São Paulo*. 21 (1). 63-72.