

Modelos de predicción de variables dendrométricas y efecto de la fertilización en una plantación de *Pinus tecunumanii* en el municipio de Málaga Santander

Yeison Zolon Fajardo Murillo, Elkin Leonel Ravelo Sánchez

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Forestal

Director

Julián Mauricio Botero Londoño

Doctor en Ciencias Agrarias

Codirector

Jorge Andrés Rodríguez Toro

Doctor en Ciencias Forestales

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

Programa de Ingeniería Forestal

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación primeramente a Dios, quien es mi fuente de inspiración y me acompaña en todo momento para poder cumplir con mis metas y sueños. A mi familia en especial a mis padres Elvira Sánchez Barajas quien con su amor y comprensión me dio todo el apoyo necesario para culminar mis estudios, a mi Padre Arnulfo Ravelo Ortiz quien me inculco los valores necesarios para formarme como una persona ética y profesional y quien con su perseverancia y trabajo honesto me brindo el apoyo necesario para la culminación de mis estudios. A mis hermanos Alexis Ravelo Sánchez y Eduar Manuel Ravelo Sánchez quienes con su amor y comprensión me brindaron el apoyo necesario para formarme profesionalmente y me apoyan en mis metas y sueños por cumplir.

Elkin Leonel Ravelo Sánchez

Dedico a Dios este logro, quien es el que me da la salud, la capacidad y sabiduría para poder cumplir mis metas, logros y sueños. A mi familia, en especial a mi madre María Murillo quien siempre está ahí apoyándome en cada decisión que tomo para conseguir mis sueños, gracias por inculcarme grandes valores que me han permitido formarme como una buena persona, a mi padre Pablo Fajardo por su esfuerzo para ayudarme y guiarme en cada decisión de mi vida, a mi hermano Carlos Fajardo quien con su perseverancia y trabajo me ha ayudado en mi vida y en mis estudios para alcanzar cada meta, a mi hermano Jogly Fajardo quien gracias a su apoyo y trabajo me ha brindado oportunidades en mis sueños, a mi hermana Lucy Amparo quien cada día me apoya y me motiva con su forma de ser, a mi hermano Ender Fajardo quien gracias a su apoyo desde pequeño me ha motivado y me ha incentivado a ser una persona correcta, a mi abuela Luidina Murillo por ser mi guía y mi motivación con ese gran amor que me da.

Yeison Fajardo Murillo

Agradecimiento

Agradecemos primeramente a Dios por permitirnos culminar nuestros estudios, a la Universidad Industrial de Santander quien fue nuestra alma mater y nos brindó los conocimientos y enseñanzas éticas y profesionales para ejercer en el mundo laboral, a su personal docente en especial a nuestro director de tesis PhD. Julián Mauricio Botero Londoño quien con su comprensión y apoyo profesional nos guio en el desarrollo de este trabajo de investigación, a nuestro codirector PhD. Jorge Andrés Rodríguez Toro quien con su apoyo desde la distancia contribuyo con nuestra formación profesional en las ciencias forestales, a nuestros compañeros de carrera por su carisma y compañerismo en el camino del ser profesional.

Contenido

	Pág.
Introducción.....	13
1. Objetivos.....	15
1.1 Objetivo General	15
1.2 Objetivos Específicos	15
2. Marco Referencial.....	16
2.1 Marco teórico	16
2.2 Marco conceptual	18
2.3 Marco legal	19
2.3.1 Plantaciones forestales.....	19
3. Metodología	21
3.1 Ubicación.....	21
3.1.1 Corrección de pendiente	22
3.2 Establecimiento de parcelas.....	23
3.3 Elaboración de plateo a los individuos a estudiar	23
3.4 Cuantificación del crecimiento de los individuos	23
3.4.1 Características dendrométricas de las plantas antes de la primera fertilización	23
3.4.2 Medición de la altura	24

3.4.3 Medición de DAC	24
3.4.4 Medición de longitud de copa norte-sur y este-oeste	24
3.4.5 Conteo del número de ramas.....	24
3.4.6 Determinación del volumen para cada individuo.....	25
3.5 Análisis químico del suelo	27
3.6 Determinación de los tratamientos.....	28
3.6.1 Fertilizantes empleados	29
3.6.2 Aplicación del fertilizante.....	30
3.6.3 Marcaje de los árboles por tratamiento a aplicar	30
3.7 Mediciones experimentales.....	31
3.8 Absorción de nutrientes	31
3.9 Diseño experimental.....	31
3.10 Análisis estadístico	31
3.10.1 Hipótesis	32
3.11 Modelo de regresión lineal biomasa-volumen.....	32
3.12 Modelo de regresión lineal altura-DAC	32
3.13 Modelo de regresión lineal volumen-altura	33
3.14 Modelo de regresión lineal DAC-volumen.....	33
4. Resultados.....	34
4.1 Calculo de la pendiente del lugar	34
4.2 Características dendrométricas de las plantas antes de la primera fertilización	34
4.1.2 Densidad básica de la madera	35
4.3 Interpretación análisis de suelos	38

4.3.1 variables químicas del suelo	38
4.3.14 Absorción de nutrientes de <i>Pinus tecunumanii</i>	40
4.4 Características dendrométricas de las plantas después de la primera fertilización	43
4.5 Características dendrométricas de las plantas después de la segunda fertilización.	46
4.6 Características dendrométricas de las plantas después de la tercera fertilización.	49
4.7 Modelo de regresión lineal biomasa-volumen	63
4.8 Modelo de regresión lineal DAC-volumen.....	64
4.9 Modelo de regresión lineal altura-DAC	66
4.10 Modelo de regresión lineal volumen-altura	67
5. Discusión	69
6. Conclusiones	70
7. Recomendaciones.....	71
Referencias Bibliográficas.....	73
Apéndices	75

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Tratamientos aplicados a los individuos</i>	30
Tabla 2. <i>Resultados primera medición de las parcelas</i>	36
Tabla 3. <i>Cantidad de nutrientes presentes en el suelo</i>	40
Tabla 4. <i>Contenidos foliares y absorción de nutrientes de la especie Pinus tecunumanii</i>	41
Tabla 5. <i>Porcentajes de saturación de bases</i>	41
Tabla 6. <i>Resultados segunda medición de las parcelas</i>	44
Tabla 7. <i>Resultados tercera medición de las parcelas</i>	47
Tabla 8. <i>Resultados cuarta medición de las parcelas</i>	50
Tabla 9. <i>Análisis de varianza altura</i>	53
Tabla 10. <i>Análisis de varianza DAC</i>	55
Tabla 11. <i>Análisis de varianza longitud de copa norte-sur</i>	56
Tabla 12. <i>Análisis de varianza longitud de copa este-oeste</i>	58
Tabla 13. <i>Análisis de varianza número de ramas</i>	59
Tabla 14. <i>Análisis de varianza Volumen</i>	61
Tabla 15. <i>Análisis de varianza biomasa</i>	62

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Mapa plantación Pinus tecunumanii</i>	22
Figura 2. <i>Crecimiento en las variables dendrométricas en la tercera y cuarta medición</i>	52
Figura 3. <i>Blox-plot Altura al mes tres en Pinus tecunumanii</i>	52
Figura 4. <i>Blox-plot DAC al mes tres en Pinus tecunumanii</i>	54
Figura 5. <i>Blox-plot de longitud de copa norte-sur al mes tres en Pinus tecunumanii</i>	55
Figura 6. <i>Blox-plot de longitud de copa este-oeste al mes tres en Pinus tecunumanii</i>	57
Figura 7. <i>Blox-plot de número de ramas al mes tres en Pinus tecunumanii</i>	58
Figura 8. <i>Blox-plot de volumen al mes tres en Pinus tecunumanii</i>	60
Figura 9. <i>Blox-plot de biomasa al mes tres en Pinus tecunumanii</i>	61
Figura 10. <i>Modelo de regresión lineal biomasa-volumen</i>	63
Figura 11. <i>Modelo de regresión lineal DAC-volumen</i>	64
Figura 12. <i>Modelo de regresión lineal altura-DAC</i>	66
Figura 13. <i>Modelo de regresión lineal volumen-altura</i>	67

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice 1. Parcelas de la plantación de <i>Pinus tecunumanii</i>	75
Apéndice 2. Elaboración de plateo de la plantación de <i>Pinus tecunumanii</i>	76
Apéndice 3. Recolección en campo de las mediciones de la plantación de <i>Pinus tecunumanii</i> ...	77
Apéndice 4. Medición de la altura de los individuos de la plantación de <i>Pinus tecunumanii</i>	78
Apéndice 5. Medición del DAC de los individuos de la plantación de <i>Pinus tecunumanii</i>	79
Apéndice 6. Medición de la copa de los individuos de la plantación de <i>Pinus tecunumanii</i>	80
Apéndice 7. Conteo de ramas de los individuos de la plantación de <i>Pinus tecunumanii</i>	81
Apéndice 8. Trozas de <i>Pinus tecunumanii</i>	82
Apéndice 9. Toma de muestras de suelo	83
Apéndice 10. Medición del peso de EDTA Mn	84
Apéndice 11. Medición del peso de Urea.....	85
Apéndice 12. Medición del peso de DAP	86
Apéndice 13. Medición del peso de KCl.....	87
Apéndice 15. Medición del peso de Sulfato Cu	89
Apéndice 16. Medición del peso de EDTA zn	90
Apéndice 17. Medición del peso de EDTA MgO.....	91
Apéndice 18. Medición del peso de Borax.....	92

Apéndice 19. Mezcla de los fertilizantes empleados	93
Apéndice 20. Medición 40 g de la mezcla del fertilizante	94
Apéndice 21. Medición 80 g de la mezcla del fertilizante	95
Apéndice 22. Medición 120 g de la mezcla del fertilizante	96
Apéndice 23. Aplicación de los fertilizantes	97
Apéndice 24. Control	98
Apéndice 25. Marcación del fertilizante 40 gramos	99
Apéndice 26. Marcación del fertilizante 80 gramos	100
Apéndice 27. Marcación del fertilizante 120 gramos	101
Apéndice 28. Prueba de Tukey altura	102
Apéndice 29. Prueba de Tukey DAC	103
Apéndice 30. Prueba de Tukey longitud de copa norte-sur.....	104
Apéndice 31. Prueba de Tukey longitud de copa este-oeste	105
Apéndice 32. Prueba de Tukey ramas.....	106
Apéndice 33. Prueba de Tukey volumen.....	107
Apéndice 34. Prueba Tukey biomasa.....	108
Apéndice 35. Árbol con poco desarrollo.....	109
Apéndice 36. Elaboración de plateo	110
Apéndice 37. Árbol con buen desarrollo.....	111

Resumen

Título: Modelos de predicción de variables dendrométricas y efecto de la fertilización en una plantación de *Pinus tecunumanii* en el municipio de Málaga Santander*

Autores: Yeison Fajardo Murillo, Elkin Leonel Ravelo Sanchez**

Palabras Clave: Deficiencias nutricionales, medición, plantaciones forestales, suelo

Descripción:

La especie forestal *Pinus tecunumanii*, es una especie que posee un gran valor comercial por eso es de gran importancia establecer plantaciones en diferentes partes del país, ya que la madera es un material amigable con el planeta. En este trabajo de investigación se encontró que la plantación establecida en el municipio de Málaga Santander presenta poco desarrollo en variables como (altura, diámetro, longitud de copa norte-sur, longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa). Por lo que se efectuó un estudio de suelos en el que se encontró que el suelo presenta deficiencias nutricionales en algunos elementos como fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), azufre (S), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn) y boro (B), por lo que se planteó un sistema de fertilización empleando los fertilizantes Urea, DAP, KCl, EDTA MgO, Azufre, Borax, Sulfato de cobre, EDTA Zn, EDTA Mn.

Según las deficiencias nutricionales encontradas en el suelo se mezclaron los fertilizantes y se plantearon cuatro tratamientos, un control, 40 g de la mezcla, 80 g de la mezcla y 120 g de la mezcla. Se analizaron los incrementos en las variables estudiadas para cada tratamiento después de la fertilización aplicada y se plantearon modelos de regresión lineal los cuales pueden predecir el comportamiento de variables como biomasa, diámetro, altura y volumen. Gracias a esto se puede hacer una estimación del desarrollo futuro de la plantación dada a estudio. Con los datos obtenidos en las mediciones se plantearon cuatro modelos de regresión lineal los cuales fueron biomasa-volumen, diámetro-volumen, altura-diámetro y volumen-altura.

Según los resultados encontrados de incremento en las variables estudiadas se encontraron que ninguno de los tratamientos aplicados presento diferencias significativas, esto puede ser debido a la baja actividad microbiana presente en el suelo y a la alta saturación de calcio.

* Trabajo de Grado

** Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia-IPRED. Programa de Ingeniería Forestal. Director: Julián Mauricio Botero Londoño, PhD. En Ciencias Agrarias. Codirector: Jorge Andrés Rodríguez Toro, PhD. En Ciencias Forestales

Abstract

Title: Prediction models of dendrometric variables and effect of fertilization in a *Pinus tecunumanii* plantation in the municipality of Málaga Santander *

Author: Yeison Fajardo Murillo, Elkin Leonel Ravelo Sanchez **

Key Words: Nutritional deficiencies, measurement, forest plantations, soil

Description:

The forest species *Pinus tecunumanii*, is a species that has a great commercial value that is why it is of great importance to establish plantations in different parts of the country, since wood is a friendly material with the planet. In this research work, it was found that the plantation established in the municipality of Málaga Santander presents little development in variables such as (height, diameter, length of north-south crown, length of east-west crown, number of branches, volume and biomass). Therefore, a soil study was carried out in which it was found that the soil presents nutritional deficiencies in some elements such as phosphorus (P), potassium (K), magnesium (Mg), sulfur (S), copper (Cu), zinc (Zn), manganese (Mn) and boron (B), for which a fertilization system was proposed using the fertilizers Urea, DAP, KCl, EDTA MgO, Sulfur, Borax, Copper sulfate, EDTA Zn, EDTA Mn.

According to the nutritional deficiencies found in the soil, the fertilizers were mixed and four treatments were proposed, a control, 40 g of the mixture, 80 g of the mixture and 120 g of the mixture. The increases in the variables studied for each treatment after applied fertilization were analyzed and linear regression models were proposed which can predict the behavior of variables such as biomass, diameter, height and volume. Thanks to this, an estimate of the future development of the plantation under study can be made. With the data obtained in the measurements, four linear regression models were proposed, which were biomass-volume, diameter-volume, height-diameter and volume-height.

According to the results found of the increase in the variables studied, it was found that none of the applied treatments presented significant differences, this may be due to the low microbial activity present in the soil and the high calcium saturation.

* Degree Work

** Institute for Regional Projection and Distance Education-IPRED. Forest Engineering Program. Director: Julián Mauricio Botero Londoño, PhD. In Agricultural Sciences. Codirector: Jorge Andrés Rodríguez Toro, PhD. In Forest Sciences

Introducción

El aumento en la población mundial es uno de los factores que influyen en el aumento de la demanda de productos maderables, se prevé que la población mundial presente un aumento desde los 6400 millones en 2015 hasta los 7500 millones en 2020 y los 8200 millones en 2030. Otros de los factores importantes en la demanda de productos madereros son el crecimiento económico continuado, los cambios regionales, las políticas, los reglamentos ambientales y las políticas energéticas (FAO, 2009). Todos estos factores hacen que el establecimiento de las plantaciones forestales en este caso de *Pinus tecunumanii* sean de gran importancia a la hora de mirar alternativas de producción amigable con los demás recursos naturales.

El aumento en la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI) se considera como uno de los factores principales que influyen directamente en el cambio climático global, principalmente del dióxido de carbono (CO₂). Este gas tiene una relación directa con la vegetación ya que ésta tiene la capacidad de fijar el carbono atmosférico emitido principalmente por los procesos industriales (Rojo, Mata, & Velázquez, 2003). La mayoría de los productos que se consumen en el mercado no son sostenibles ni renovables, por lo que el uso de la madera es amigable con el medio ambiente y provee materia prima para productos de primera necesidad de la población (Vasallo, 2018).

La importancia de la fertilización es que busca mejorar la supervivencia y el óptimo desarrollo de las plantas, esto gracias a que estimula el desarrollo de sus raíces, optimiza el aprovechamiento eficiente del agua, además de la captación de nutrientes de una mejor manera lo que garantiza la ocupación óptima del suelo. El uso de fertilizantes minerales de acción lenta

proporciona un crecimiento longitudinal de las plantas por lo menos durante los dos primeros años del establecimiento de la plantación, por lo que su empleo puede ser de gran ayuda en terrenos pobres y con abundante competencia con otras especies vegetales (León, Reyes, Herrero, & Pérez, 2016). Una de las principales funciones de la medición del crecimiento de los árboles consiste en presentar información sobre la producción que se presenta en el momento de la medición y la producción futura de los árboles, rodales forestales y bosques nativos. Esto por medio de la predicción del crecimiento. (Imaña & Encinas, 2008)

Finalmente, la presente investigación se llevará a cabo por la necesidad de conocer el potencial crecimiento que presenta la especie *Pinus tecunumanii* en plantación en el municipio de Málaga Santander. Dicho estudio es importante ya que se puede hacer un análisis de la productividad del sitio en el cual está establecida la plantación, además de los requerimientos nutricionales que presenta la especie en el momento del estudio.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar modelos de predicción de variables dendrométricas y los efectos de fertilización en una plantación de *Pinus tecunumanii*.

1.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar el crecimiento de los individuos desde la primera medida antes de la fertilización hasta la fecha de estudio.

- Evaluar los efectos de la fertilización sobre variables dendrométricas (altura, diámetro a la altura del cuello (DAC), longitud de copa norte-sur, longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa) en la plantación de *Pinus tecunumanii*.

- Seleccionar modelos de predicción de altura, DAC, volumen y biomasa para la plantación de *Pinus tecunumanii*.

2. Marco Referencial

2.1 Marco teórico

El *Pinus tecunumanii* es originario desde México hasta Nicaragua, pero ha sido plantado extensamente en muchos países de los trópicos y subtrópicos. Puede alcanzar alturas de hasta 55 m y diámetro a la altura del pecho (DAP) de 50-90 cm con fuste recto y limpio de ramas hasta 40-60% de su altura. Es considerado el pino con mejor forma del fuste de todos los pinos de México y América Central (Catie, 2019).

El *Pinus tecunumanii* es una de las especies más sobresalientes, presenta excelentes características fenotípicas y silviculturales, además de un rápido crecimiento y probablemente la mejor forma del fuste de todos los pinos tropicales, lo cual lo convierte en una especie con un alto valor para fines de reforestación en regiones tropicales y subtropicales. También se puede utilizar en linderos y sistemas agroforestales, Aunque por ser una especie relativamente nueva, no se conocen muchos estudios en la utilización de estos sistemas, Debido a que esta especie no produce gran cantidad de semillas, no es apropiada para manejo de la regeneración natural (Árboles de Centroamérica, 2012).

Taxonomía Botánica:

- Nombre Científico: *Pinus tecunumanii* F. Schwerdtf. ex Eguluz & J.P. Perry
- Nombre común: Pinabete (Honduras), pino ocote (Guatemala), pino rojo (Nicaragua), pino rojo (Colombia)
- Familia: Pinaceae.

- Sinónimos: *Pinus patula ssp. tecunumanii* (Eguiluz & J.P. Perry) Styles, *Pinus oocarpa* var. *Ochoterena* Martínez.

El *Pinus tecunumanii* parece apropiado para sistemas agroforestales y linderos. Por su escasa producción de semilla posiblemente no sea apropiado para manejo de la regeneración natural, aunque la protección de estos bosques es importante como fuente de semillas. (Torres, 2005)

Tiene un amplio rango altitudinal, desde 440 hasta 2800 m s. n. m., la distribución de la especie parece estar determinada por la geología y la precipitación, con ocurrencia en sitios de suelos moderadamente fértiles y profundos, ligeramente ácidos a neutros con pH 4,8- 7 y bien drenados, con precipitaciones de 790 a 2200 mm y temperaturas de 14 a 25°C. Puede crecer tanto en áreas donde llueve a lo largo de todo el año como en sitios con estaciones secas de hasta seis meses. Se le encuentra frecuentemente en los valles fértiles o cañones de los ríos (Torres, 2005).

La madera de *Pinus tecunumanii* tiene un color amarillento, con escaso contenido de extractos. Con respecto a los otros pinos mesoamericanos plantados como especies exóticas, la densidad de la madera del *Pinus tecunumanii* es generalmente mayor que la del *Pinus patula*, mayor que la del *Pinus caribaea*, e inferior a la del *Pinus oocarpa*, cuando se planta en altitudes intermedias. Cuando se planta en altitudes bajas, la densidad de la madera del *Pinus tecunumanii* es igual o inferior a la del *Pinus caribaea*. (Hodge Garcia, 2001)

Esta especie ha sido plantada en muchos países de los trópicos y subtrópicos, por el Instituto Forestal de Oxford y CAMCORE. En ensayos de adaptación se han establecido en grandes plantaciones. Los países con los mayores programas de evaluación son Australia, Brasil, Colombia, Malawi, Sur África, Suazilandia, Venezuela y Zimbabue (Christofer, 2019)

2.2 Marco conceptual

Un modelo de crecimiento y rendimiento es una abstracción de la dinámica de un rodal, puede abarcar el crecimiento, rendimiento, la mortalidad, y otros cambios en la estructura y composición del rodal. La definición general de un modelo se refiere como un sistema de ecuaciones que puede predecir el crecimiento y rendimiento de un rodal bajo una amplia variedad de condiciones. Un modelo de crecimiento puede comprender una serie de ecuaciones matemáticas. (Fernández, Goya, & Achinelli, 2013)

Los cultivos o plantaciones forestales se definen como la siembra o plantación de especies arbóreas forestales realizada por la mano del hombre, para la obtención y comercialización de productos maderables, con densidad de siembra uniforme e individuos coetáneos. (Ministerio de Agricultura, 2015)

El diámetro a la altura del pecho es el diámetro del círculo que se aproxima a la forma de la figura transversal del tronco de un árbol. (SlidesShare, 2015)

La altura de un árbol es una importante variable dasométrica, necesaria para estimar junto con el diámetro el volumen de la madera de un árbol y sus componentes. La altura total de un árbol se define como la distancia vertical desde el suelo hasta el ápice de la copa (Imaña et al., 2014).

La biomasa forestal se define como el peso de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo. Normalmente es cuantificada en toneladas por hectárea de peso verde o seco (Bastienne, Gayoso y Guerra, 2000).

La Dasonomía se define como el conjunto de disciplinas que estudian los bosques desde su formación hasta su aprovechamiento. La Dasometría es la parte de la Dasonomía que se ocupa de las mediciones de árboles y masas forestales, así como su crecimiento (Esquivel y Guevara, 2016).

Los tratamientos silviculturales son intervenciones que se realizan en un bosque existente, con el objetivo de controlar su estructura, composición, dinámica y longevidad. Esto se logra mediante dos procesos indispensables la regeneración y las cortas intermedias (Vita y Hernández, 2004).

2.3 Marco legal

2.3.1 Plantaciones forestales

Artículo 22. Plantación forestal. Se entiende por plantación forestal el cultivo originado por la intervención directa del hombre. Se entiende a su vez por sistema agroforestal, la combinación en tiempo y espacio de especies arbóreas con cultivos agrícolas o ganadería, con el fin de integrar armónicamente la actividad agropecuaria con la forestal para garantizar la sostenibilidad del sistema productivo (Colombia, 2006).

Es de carácter productor la plantación forestal, o el sistema agroforestal establecido con fines de aprovechamiento comercial y de carácter protector los establecidos con el fin prioritario de generar servicios ambientales o servir a la protección de uno o varios recursos naturales renovables y el ambiente (Colombia, 2006).

Parágrafo 1°. Las plantaciones de carácter protector únicamente podrán ser objeto de aprovechamiento maderable mediante sistemas que garanticen la conservación de la cobertura arbórea suficiente para brindar los servicios ambientales a que están destinadas. A tal efecto, el Plan de Establecimiento y Manejo Forestal deberá determinar el sistema de corta, extracción y cosecha aplicable (Colombia, 2006).

Parágrafo 2°. El carácter productor o protector está determinado ante la autoridad competente al establecerse la plantación forestal (Colombia, 2006)

Parágrafo 3°. Todo sistema agroforestal podrá ser objeto de las prácticas silviculturales requeridas para el desarrollo del cultivo sin que se exija autorización por parte de la autoridad ambiental. El aprovechamiento y la movilización de los productos forestales obtenidos de estos sistemas gozarán del mismo tratamiento de las plantaciones comerciales y no requieren permiso o autorización (Colombia, 2006).

Artículo 23. Dominio. Son de propiedad de la Nación las plantaciones forestales ubicadas en baldíos y demás terrenos de dominio público, establecidas por las entidades públicas o por los particulares en cumplimiento de las obligaciones de reposición, restitución o compensación del recurso. Son de propiedad privada las plantaciones forestales establecidas por los particulares en terrenos de propiedad privada, así como las efectuadas por el Estado en tierras de particulares por vía de actividades de fomento. La propiedad de las plantaciones forestales que sean efectuadas por el Estado con la participación de agentes privados quedará sujeta a lo que se establezca en los respectivos contratos (Colombia, 2006).

Artículo 24. Establecimiento y aprovechamiento. Toda plantación forestal, agroforestal de carácter productor realizada con recursos propios, implica el derecho de su titular al aprovechamiento o a darle el destino que determine según la soberanía de su voluntad. Cuando se traten de otros productos del bosque usados para consumo humano entre ellos los derivados de la apicultura, no se podrán anunciar ni comercializar si no tienen las pruebas analíticas tales como Físicoquímicas, Microbiológicas, Bromatológicas y Organolépticas, le corresponde al Invima la vigilancia y control, y a la Federación Nacional de Apicultores o su delegatario, la expedición de la certificación respectiva (Colombia, 2006).

Cuando excepcionalmente, y por causa de utilidad pública o interés social, el Estado requiriere expropiar tierras con plantaciones forestales, deberá incluirse en la indemnización el valor medio de mercado, al estado de cosecha, de las especies cultivadas, menos el monto de los costos de mantenimiento y manejo que el expropiado tendría que erogar hasta que alcanzaren su madurez. A conveniencia del interés público, la entidad expropiante podrá conceder al expropiado el plazo necesario para la cosecha (Colombia, 2006).

3. Metodología

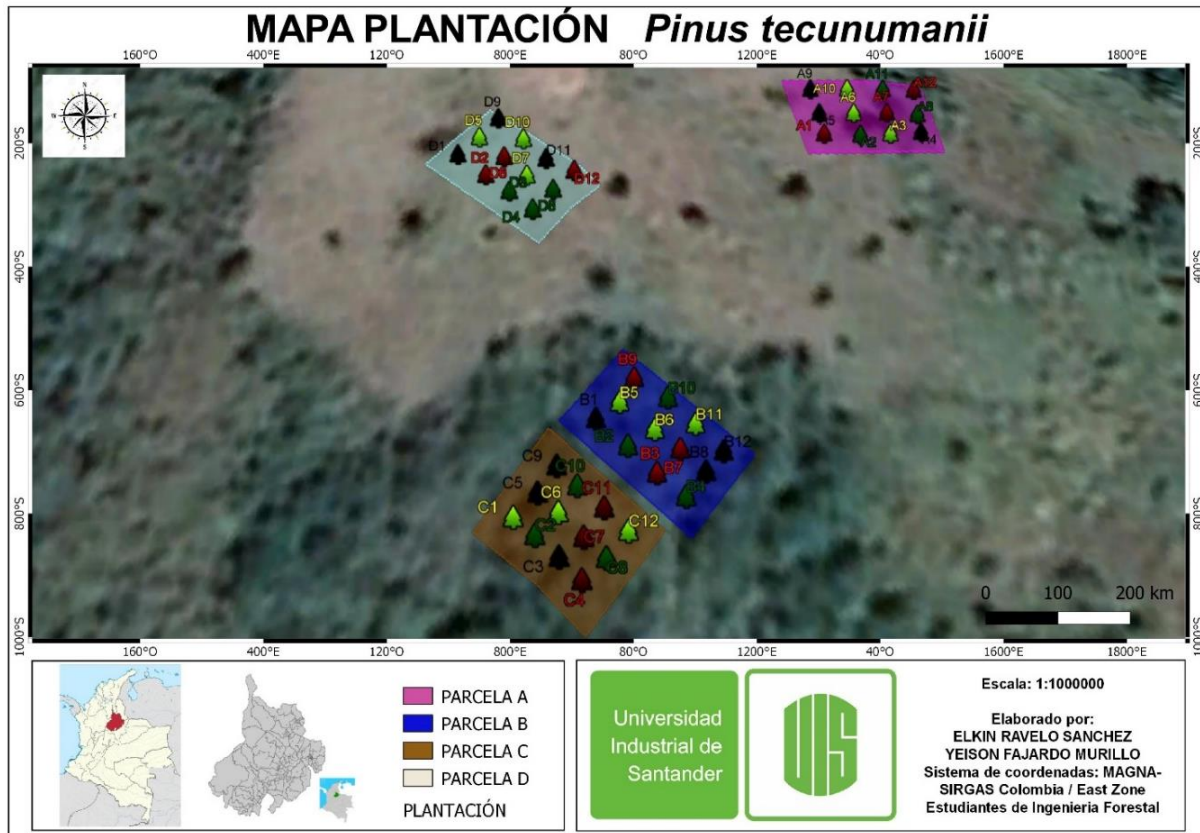
El estudio se desarrolló en las siguientes etapas metodológicas:

3.1 Ubicación

El estudio se desarrolló en el municipio de Málaga Santander en una plantación con una densidad de siembra de 2,5 m x 2,5 m. Esta plantación de *Pinus tecunumanii* se encuentra en la vereda Calichal con una latitud de 6°43' 10,17" N y una longitud de 72° 42' 46,05" O, con una altura de 1935 m s. n. m., el relieve en el cual se encuentra la plantación presenta una pendiente de 29°. La temperatura media anual generalmente varía de 11°C a 19°C y rara vez baja a menos de 9°C o sube a más de 21°C (Weather Spark, 2016).

Figura 1.

Mapa plantación *Pinus tecunumanii*



3.1.1 Corrección de pendiente

La pendiente del lugar en el cual está establecida la plantación se halló utilizando el método manual, el cual consiste en clavar dos estacas ubicadas en diferentes altitudes, midiendo la distancia entre las dos estacas y con la utilización de la aplicación Medir ángulo se determinó el ángulo de elevación entre las estacas.

3.2 Establecimiento de parcelas

En esta primera etapa metodológica se establecieron cuatro parcelas al azar de 10 m x 10 m, distribuidas en la plantación de *Pinus tecunumanii* de una hectárea. Las parcelas se delimitaron con fibra de textil de color amarillo (Apéndice 1).

3.3 Elaboración de plateo a los individuos a estudiar

En esta etapa del estudio se deshierbaron los 48 individuos sometidos a la posterior fertilización, el plateo consistió en dejar un metro desde la plántula de manera circulas, libre de cualquier otro tipo de vegetación que pueda competir por luz, agua y nutrientes en el suelo, para que los individuos presenten un óptimo desarrollo en la etapa de estudio (Apéndice 2).

3.4 Cuantificación del crecimiento de los individuos

La cuantificación de los individuos desde la época de fertilización de la plantación se llevó a cabo mediante las siguientes etapas metodológicas.

3.4.1 Características dendrométricas de las plantas antes de la primera fertilización

Para determinar las características dendrométricas se hicieron mediciones en campo obteniendo los datos iniciales de la plantación antes de la primera fertilización (altura, DAC, longitud de copa norte-sur, longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa) (Apéndice 3).

3.4.2 Medición de la altura

La medición de la altura para los individuos sometidos a estudio se ejecutó de manera manual, ya que los individuos presentan poco desarrollo en las variables estudiadas y se facilita la medición de esta manera. Para esto se utilizó una cinta métrica profesional para obtener así medidas precisas (Apéndice 4).

3.4.3 Medición de DAC

Para la medición del DAC de los individuos se utilizó el Pie de rey o calibrador, debido a que los individuos presentan un bajo desarrollo en esta variable la utilización del Pie de rey es adecuado para medir con mayor precisión. Esta variable se midió a una altura de 20 cm ya que algunos de los individuos presentan alturas inferiores a 1,30 m (Apéndice 5).

3.4.4 Medición de longitud de copa norte-sur y este-oeste

La medición de esta variable se hizo de manera manual con la ayuda de la cinta métrica profesional, se calculó la longitud de copa de norte a sur y de este a oeste de manera manual ya que los individuos presentan poco desarrollo en estas variables estudiadas (Apéndice 6).

3.4.5 conteo del número de ramas

El conteo del número de ramas se hizo de manera manual, para esto solo se tuvieron en cuenta las ramas que estaban en buenas condiciones fitosanitarias. Ya que los individuos presentan bajo desarrollo en las demás variables estudiadas (Apéndice 7).

3.4.6 Determinación del volumen para cada individuo

El volumen de cada árbol se determinó mediante la fórmula de árbol en pie, la cual incluye variables como DAC, altura y, además, una constante denominada factor de forma el cual está ya especificado para el género *Pinus* y tiene un valor de 0,60 (Moyobamba, 2012). La ecuación utilizada fue.

$$V = (D)^2(h)\left(\frac{\pi}{4}\right)(f)$$

Donde:

V: volumen en centímetros cúbicos

D: DAC

h: Altura en centímetros

f: Factor de forma

- Determinación de la densidad básica de la madera

La densidad básica de cada individuo se determinó mediante la ecuación

$$d = \frac{m}{v}$$

Donde:

d: Densidad en gramos/centímetros cúbicos

m: Masa en gramos

v: Volumen en centímetros cúbicos

Se tomaron cuatro trozas de madera de 10 cm de longitud de un individuo para la determinación de la densidad básica de la madera (Apéndice 8).

Troza 1

Diámetro: 11,8 mm

m: 11 g

Troza 2

Diámetro: 11,2 mm

m: 10 g

Troza 3

DAC: 9,85 mm

m: 8 g

Troza 4

DAC: 12,9 mm

m: 13 g

Se determinó el volumen para cada troza mediante la ecuación

$$V = \pi r^2 h$$

Donde:

V: Volumen en centímetros cúbicos

r: Radio en centímetros

h: Altura en centímetros

3.4.6 Determinación de la biomasa para cada árbol

La biomasa de cada árbol se determinó mediante la ecuación $m = d \cdot v$.

Donde:

m: Masa

d: Densidad básica

v: volumen

3.5 Análisis químico del suelo

En esta etapa metodológica se hizo un análisis de suelos en el cual se tomaron muestras de cada parcela. Se desarrolló un análisis de suelos para determinar los aportes de nutrientes del suelo mediante la toma de submuestras al azar, en cada una de las parcelas se tomaron 10 muestras de 1.000 g para posteriormente juntarlas y dejar una sola muestra por parcela de 1.000 g de suelo tomadas a 40 cm de profundidad para su análisis, este tipo de suelos se encuentran clasificados en el orden de los inceptisoles debido a su poco desarrollo en sus horizontes, las muestras se tomaron a esta profundidad ya que los individuos presentan un enraizamiento de 40 cm de profundidad (Apéndice 9).

Se desarrolló un análisis químico a las muestras del suelo.

- pH: método potenciométrico, peso/volumen.
- CIC. (capacidad intercambio catiónico): Cloruro de sodio (titulación)
- Elementos menores (hierro, manganeso, zinc y cobre): acetato de amonio 1N y EDTA

0,01m (absorción atómica).

- Cuantificación boro: Olsen modificado (espectrometría).
- Cuantificación azufre total: turbidimetría con BaCl_2 .
- Nitrógeno total: Kjeldahl y titulación potenciométrica.
- Fósforo: Bray II.
- Bases: (calcio, magnesio, potasio) acetato de amonio 1N (absorción atómica) (Protocolo

Laboratorio de Química de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, 2015).

Se desarrollará un análisis químico de las muestras del suelo

Para determinar la absorción inicial de nutrientes de la especie *Pinus tecunumanii* se tomaron 8 plantas al azar dentro de cada parcela a las cuales se les determinó la altura, DAC, longitud de copa norte-sur, longitud de copa este-oeste, volumen y biomasa, también, su contenido foliar.

3.6 Determinación de los tratamientos

Se elaboró un análisis de suelos de la zona de estudio para determinar si el suelo presenta deficiencias nutricionales. Con lo cual se puede formular el tipo de fertilización a efectuar.

Los tratamientos de fertilización se determinaron con base en el análisis de suelos y la absorción de nutrientes de los individuos. Con base en una producción de biomasa estimada de 20

kg por árbol año. La fertilización se aplicó mensualmente mediante la realización de un plateo y aplicación del fertilizante alrededor de la planta.

3.6.1 Fertilizantes empleados

Después del estudio de suelos se encontró que presenta deficiencias nutricionales en algunos de sus elementos, por lo que se planteó el siguiente sistema de fertilización.

Los tratamientos se extrajeron de la mezcla de los siguientes fertilizantes

- EDTA Mn (Apéndice 10)
- Urea (Apéndice 11)
- DAP (Apéndice 12)
- KCl (Apéndice 13)
- Azufre (Apéndice 14)
- Sulfato Cu (Apéndice 15)
- EDTA zn (Apéndice 16)
- EDTA MgO (Apéndice 17)
- Borax (Apéndice 18)

Se hizo la mezcla de todos los fertilizantes y se obtuvo una mezcla de 8640 g la cual fue distribuida en las tres fertilizaciones que se hicieron mes a mes (Apéndice 19).

Se hizo la mezcla de los fertilizantes y se aplicaron a los individuos en los siguientes tratamientos (Tabla 1).

Tabla 1.

Tratamientos aplicados a los individuos

Tratamientos	Fertilizante (g)
1	Control
2	40
3	80
4	120

Tratamiento 1: control

Tratamiento 2: 40 g (Apéndice 20)

Tratamiento 3: 80 g (Apéndice 21)

Tratamiento 4: 120 g (Apéndice 22)

3.6.2 Aplicación del fertilizante

Las tres aplicaciones de las concentraciones de los fertilizantes se hicieron de manera manual a 20 cm de distancia del fuste de cada árbol a una profundidad de 10 cm (Apéndice 23).

3.6.3 Marcaje de los árboles por tratamiento a aplicar

Se emplearon cintas de distintos colores para distinguir los cuatro tratamientos empleados en el sistema de fertilización aplicado.

- Control (Apéndice 24)
- 40 gramos con color amarillo (Apéndice 25)
- 80 gramos con color negro (Apéndice 26)
- 120 gramos con color rojo (Apéndice 27)

3.7 Mediciones experimentales

Se tomaron mediciones mensuales de las variables dendrométricas (altura, DAC, longitud de copa y biomasa), en los 12 individuos de cada parcela, mediante la utilización de formularios en los cuales se evaluó, además, el estado fitosanitario de la planta.

3.8 Absorción de nutrientes

Se estimó la absorción de nutrientes de las plantas para la especie *Pinus tecunumanii*, para lo cual se estimó la producción de biomasa y el contenido foliar. Esta se realizó en la primera medición de toma de datos experimentales.

3.9 Diseño experimental

Se desarrolló un diseño experimental de bloques completos al azar con un control y tres tratamientos experimentales, cuatro bloques, tres repeticiones y cada unidad experimental contó con un individuo. Dentro de cada bloque cada tratamiento tuvo tres unidades experimentales para un total de 12 unidades experimentales por bloque y 48 unidades experimentales para los cuatro bloques.

El análisis estadístico de los datos obtenidos se realizó en el programa Tinn-R, obteniendo un análisis de varianza y un boxplot para las variables estudiadas.

3.10 Análisis estadístico

Las variables estudiadas de *Pinus tecunumanii* se analizaron mediante un análisis de varianza con un nivel de confianza del 95% para determinar las diferencias significativas de los

tratamientos empleados y compararlas a través de la prueba Tukey $p < 0,05$. Con la utilización del software Tinn- R

3.10.1 Hipótesis

Las hipótesis que se probaron en la especie *Pinus tecunumanii* fueron:

H_0 = El efecto de todos los tratamientos sobre el crecimiento de las variables (altura, DAC, longitud de copa norte- sur, longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa) en la especie *Pinus tecunumanii* es el mismo.

H_a = Al menos uno de los tratamientos sobre el crecimiento de las variables (altura, DAC, longitud de copa norte- sur, longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa) es diferente.

3.11 Modelo de regresión lineal biomasa-volumen

Se analizó la relación existente entre la variable respuesta biomasa y una variable explicativa volumen.

El modelo de regresión lineal tiene la siguiente ecuación:

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$$

3.12 Modelo de regresión lineal altura-DAC

Se analizó la relación existente entre la variable respuesta altura y una variable explicativa DAC.

El modelo de regresión lineal tiene la siguiente ecuación:

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$$

3.13 Modelo de regresión lineal volumen-altura

Se analizó la relación existente entre la variable respuesta volumen y una variable explicativa altura.

El modelo de regresión lineal tiene la siguiente ecuación:

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$$

3.14 Modelo de regresión lineal DAC-volumen

Se analizó la relación existente entre la variable respuesta altura y una variable explicativa DAC.

El modelo de regresión lineal tiene la siguiente ecuación:

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$$

Los modelos de regresión lineal se efectuaron mediante la utilización del software RStudio.

4. Resultados

4.1 Cálculo de la pendiente del lugar

La corrección de la pendiente se hizo por medio del cálculo del coseno en un triángulo rectángulo, encontrando así los siguientes resultados.

$$Dh = Di * \cos(\alpha)$$

D_i = distancia inclinada

$$\alpha = 29^\circ$$

D_h = distancia horizontal

$$D_h = 72,37 \text{ m} * \cos(29^\circ)$$

$$D_h = 63,29 \text{ m}$$

4.2 Características dendrométricas de las plantas antes de la primera fertilización

Se efectuó la medición de las variables estudiadas (altura, DAC, longitud de copa, número de ramas, volumen y biomasa) en las cuatro parcelas seleccionadas obteniendo los siguientes resultados (Tabla 2).

Dicha plantación ha mostrado bajo producción debido a los efectos de baja fertilización, además, los individuos presentan una alta mortalidad.

4.1.2 Densidad básica de la madera

Se hizo un promedio de los volúmenes obtenidos para cada troza y de su masa, los cuales fueron.

$$V= 10,39 \text{ cm}^3$$

$$m= 10,5 \text{ g}$$

Se efectuó la ecuación para densidad básica de la madera se encontró que el valor fue de $1,01 \text{ g/cm}^3$

Según los resultados encontrados en las variables estudiadas para la primera medición, se encontró que para la variable altura el valor máximo es de 202 cm, el valor mínimo es de 62 cm y el promedio es de 112,31 cm, para la variable DAC el valor máximo fue de 1,86 cm, el valor mínimo fue de 0,51 cm y el promedio fue de 0,98 cm, para la variable longitud de copa norte-sur se encontró que el valor máximo fue de 47 cm, el valor mínimo fue de 12 cm y el promedio fue de 26,32 cm, para la variable longitud de copa este-oeste se encontró que el valor máximo fue de 43 cm, el valor mínimo fue de 16 cm y el promedio fue de 26,29 cm, para la variable número de ramas se encontró que el valor máximo fue de 17 cm, el valor mínimo fue de 0 cm y el promedio fue de 7,60 cm, para la variable volumen se encontró que el valor máximo fue de $235,12 \text{ cm}^3$, el valor mínimo fue de $7,23 \text{ cm}^3$ y el promedio fue de $63,15 \text{ cm}^3$ y para la variable biomasa se encontró que el valor máximo fue de 237,48 g, el valor mínimo fue de 7,30 g y el promedio fue de 63,78 g (Tabla 2).

Tabla 2.

Resultados primera medición de las parcelas

# Árbol	Altura (cm)	DAC (cm)	Longitud de copa (cm)		# de ramas	Volumen (cm ³)	Biomasa (g)
			N-S	E-O			
Parcela A							
A1	99,00	0,80	33,00	31,00	8,00	29,86	30,16
A2	75,00	0,76	30,00	29,00	2,00	20,20	20,40
A3	140,00	1,00	26,5	27,00	9,00	65,45	66,10
A4	83,00	0,65	12,00	12,5	4,00	16,53	16,69
A5	99,5	0,80	15,4	14,5	8,00	29,63	29,93
A6	129,00	1,22	37,00	32,00	8,00	89,74	90,64
A7	112,00	0,94	24,00	23,5	9,00	46,14	46,60
A8	131,8	0,94	26,5	27,6	8,00	54,30	54,84
A9	62,00	0,53	13,5	12,5	4,00	8,21	8,29
A10	141,6	1,18	18,00	17,5	8,00	92,13	93,05
A11	117,00	0,95	23,00	17,00	9,00	49,76	50,26
A12	130,00	1,30	34,00	28,00	8,00	102,74	103,76
Parcela B							
B1	98,00	1,06	29,5	25,6	9,00	51,89	52,41
B2	153,00	1,51	26,00	25,6	7,00	164,39	166,04
B3	75,9	0,69	19,3	19,00	3,00	17,18	17,35
B4	133,00	1,46	23,00	22,00	8,00	133,78	135,12
B5	152,1	1,40	26,00	28,00	9,00	140,48	141,89
B6	98,4	0,70	27,00	29,00	3,00	22,72	22,95
B7	107,00	0,82	17,00	18,00	8,00	33,99	34,33
B8	136,00	1,28	25,00	22,00	10,00	104,67	105,72
B9	131,00	1,25	15,5	16,00	11,00	95,69	96,64
B10	122,00	1,19	25,5	20,5	11,00	80,73	81,54
B11	125,2	0,95	21,00	19,5	10,00	52,69	53,21
B12	106,00	0,90	21,00	21,5	7,00	40,01	40,41

Tabla 2. *Continuación*

# Árbol	Altura (cm)	DAC (cm)	Longitud de copa (cm)		# de ramas	Volumen (cm ³)	Biomasa (g)
			N-S	E-O			
Parcela C							
C1	91,00	0,75	26,00	27,00	12,00	23,80	24,04
C2	152,00	1,60	40,00	43,00	13,00	183,37	185,20
C3	145,00	1,86	47,00	41,00	11,00	235,12	237,48
C4	202,00	1,40	33,00	31,00	11,00	185,24	187,10
C5	145,00	1,60	26,00	25,00	15,00	174,49	176,23
C6	85,00	0,68	27,5	29,6	5,00	18,69	18,87
C7	113,8	0,93	25,00	27,00	0,00	45,88	46,34
C8	95,5	0,90	30,00	29,00	7,00	36,45	36,82
Parcela C							
C9	108,00	0,89	37,00	30,00	5,00	40,59	40,99
C10	108,00	0,90	30,5	29,00	10,00	40,77	41,17
C11	151,5	0,99	28,00	30,4	17,00	70,26	70,96
C12	130,00	1,37	37,00	29,00	11,00	115,65	116,81
Parcela D							
D1	118,00	1,00	22,00	24,2	10,00	55,61	56,16
D2	66,00	0,51	20,00	19,5	6,00	8,15	8,23
D3	58,5	0,51	15,00	15,5	3,00	7,23	7,30
D4	112,4	0,82	18,7	20,00	7,00	35,88	36,24
D5	84,00	0,70	20,00	21,5	6,00	19,12	19,31
D6	83,00	0,65	24,5	25,00	2,00	16,58	16,74
D7	76,00	0,76	23,00	20,00	3,00	20,47	20,67
D8	113,00	1,10	23,5	20,8	10,00	64,43	65,08
D9	73,2	0,76	22,7	24,6	8,00	19,72	19,91
D10	84,00	0,62	20,00	21,00	0,00	15,07	15,22
D11	90,00	0,75	22,00	21,00	6,00	23,86	24,10
D12	118,00	0,76	27,00	19,5	6,00	31,70	32,01

4.3 Interpretación análisis de suelos

El análisis de suelos es de gran importancia cuando se requiere fertilizar una plantación agrícola o forestal, ya que proporciona herramientas fundamentales para efectuar un correcto programa de fertilización (AGQLABS, 2017)

4.3.1 variables químicas del suelo

Según el análisis de suelos efectuado se encontró que presenta un pH de 8,2. Este tipo de suelo se encuentra clasificado entre los muy alcalinos debido a su posible exceso de calcio intercambiable, por esta razón se inhibe el crecimiento de los cultivos en este caso de la plantación forestal de *Pinus tecunumanii* ya que el pH recomendado para plantaciones del género *Pinus* es de 5,0. El análisis de suelos mostró que el porcentaje de materia orgánica es de 6,11. Debido a este porcentaje y al tipo de clima de Málaga Santander que se considera de clima medio, la clasificación para la materia orgánica es alta por lo que se pueden formar las estructuras del suelo con mayor facilidad afectando directamente su textura, además de poseer una alta capacidad de intercambio catiónico. El análisis de suelos mostró que el porcentaje de nitrógeno es de 0,30%. Por lo que según su clasificación para este porcentaje es considerado alto. Según el análisis de suelos se encontró que la cantidad de calcio presente en el suelo es de 31,2 meq/100g por lo que según este valor es considerado alto. La cantidad de fósforo presente en el suelo fue de 16,5 ppm por lo que según la clasificación para este valor es considerado medio. Según el análisis de suelos la cantidad de hierro que presenta el suelo es de 28,22 ppm, según este valor es considerado media su concentración en el suelo y requiere de una aplicación para un buen desarrollo de los individuos. La concentración de boro que presenta el suelo según el análisis de suelos es de 0,2 ppm, según este valor es considerado media su concentración en el suelo y requiere de una aplicación para un

buen desarrollo de los individuos. Según el análisis de suelos se encontró que la cantidad de potasio presente en el suelo es de 0,19 meq/100g por lo que según este valor el nivel de potasio presente es considerado medio. Según el análisis de suelos se encontró que la cantidad de magnesio presente en el suelo es de 0,44 meq/100g por lo que según este valor es considerado bajo y requiere de aplicación para un buen desarrollo de los individuos a estudiar. Según el análisis de suelos se encontró que la cantidad de azufre presente en el suelo es de 2,01 ppm por lo que según este valor es considerado muy bajo la cantidad de este elemento presente en el suelo y requiere de una aplicación para un buen desarrollo de los individuos a estudiar. La cantidad de cobre presente en el suelo según el análisis de suelos es de 0,33 ppm por lo que según este valor es considerado bajo y requiere de una aplicación para un buen desarrollo de los individuos sometidos a estudio. La cantidad de zinc presente en el suelo según el análisis de suelos es de 0,41 ppm por lo que según este valor es considerado bajo y requiere de una aplicación para un buen desarrollo de los individuos sometidos a estudio. Según el análisis de suelos la cantidad de manganeso presente en el suelo es de 1,16 ppm, según este valor es considerado baja su concentración en el suelo y requiere de una aplicación para un buen desarrollo de los individuos sometidos a estudio, la densidad aparente (DA) que presenta el suelo es de 1,17 g/cm³ por lo que se considera que el suelo presenta poca compactación (Tabla 3).

Tabla 3.

Cantidad de nutrientes presentes en el suelo

	Análisis Suelos	kg/ha/año
pH	8,20	
MATERIA ORGANICA%	6,11	
N %	0,31	71,49
P ppm	16,50	38,61
K meq/100g	0,19	173,83
Ca meq/100g	31,20	14630,80
Mg meq/100g	0,44	125,20
S ppm	2,01	4,70
Cu ppm	0,33	0,77
Zn ppm	0,41	0,96
Mn ppm	1,16	2,71
Fe ppm	28,22	66,03
B ppm	0,20	0,47
DA g/cm ³	1,17	
profundidad muestra	0,40	

4.3.14 Absorción de nutrientes de *Pinus tecunumanii*

Los contenidos foliares de la especie *Pinus tecunumanii* para los elementos nitrógeno, calcio, magnesio, potasio, fosforo, azufre, cobre, zinc, manganeso, hierro y boro se muestran en la (Tabla 4). Para una producción de biomasa estimada de 23333,3 kg/ha/año.

Tabla 4.

Contenidos foliares y absorción de nutrientes de la especie Pinus tecunumanii

contenidos foliares		biomasa (kg)	Absorción de nutrientes
N %	1,28	23333,3	298,67
Ca %	2,15	23333,3	501,67
Mg %	0,58	23333,3	135,33
K %	1,41	23333,3	329,00
P %	0,31	23333,3	72,33
S %	0,14	23333,3	32,67
Cu ppm	41,2	23333,3	0,96
Zn ppm	52,3	23333,3	1,22
Mn ppm	235,3	23333,3	5,49
Fe ppm	140,2	23333,3	3,27
B ppm	31,22	23333,3	0,73

La saturación de las bases en el suelo muestra un porcentaje muy alto para el calcio con un valor de 98,02%, el sodio se encuentra en el suelo en una concentración normal, la saturación del potasio se encuentra en el suelo con un porcentaje de saturación de 0,59% por lo que es considerado bajo y el magnesio se encuentra en un porcentaje de 1,38% por lo que es considerado bajo (Tabla 5).

Tabla 5.

Porcentajes de saturación de bases

Saturación de bases		
	% saturación	
K meq/100g	0,597	bajo
Ca meq/100g	98,021	muy alto
Mg meq/100g	1,382	bajo
Na meq/100g	Normal	
Al meq/100g	No detecta	

Debido a las deficiencias nutricionales que presento el suelo en elementos como fósforo, potasio, magnesio, azufre, cobre, zinc, manganeso y boro se plantearon los siguientes tratamientos cada mes por tres meses con la aplicación de un total de 8640 g de los siguientes fertilizantes, para una producción de biomasa estimada de 20 kg por árbol año.

Urea: 2602,8 g

DAP: 2413,1 g

KCl: 1918 g

EDTA MgO: 1340,9 g

Azufre: 172,1 g

Borax: 12,5 g

Sulfato de cobre: 5,4 g

EDTA Zn: 8,9 g

EDTA Mn: 166,1 g

Se hizo la mezcla de los fertilizantes y se aplicaron a los individuos en las siguientes concentraciones.

Tratamiento 1: control

Tratamiento 2: 40 g

Tratamiento 3: 80 g

Tratamiento 4: 120 g

4.4 Características dendrométricas de las plantas después de la primera fertilización

Se efectuó la medición de las variables estudiadas (altura, DAC, longitud de copa, número de ramas, volumen y biomasa) en las cuatro parcelas seleccionadas obteniendo los siguientes resultados (Tabla 6).

Según los resultados encontrados en las variables estudiadas para la segunda medición, se encontró que para la variable altura el valor máximo es de 222 cm, el valor mínimo es de 67 cm y el promedio es de 123,75 cm, para la variable DAC el valor máximo fue de 2,11 cm, el valor mínimo fue de 0,6 cm y el promedio fue de 1,13 cm, para la variable longitud de copa norte-sur se encontró que el valor máximo fue de 49 cm, el valor mínimo fue de 16 cm y el promedio fue de 32,97 cm, para la variable longitud de copa este-oeste se encontró que el valor máximo fue de 51 cm, el valor mínimo fue de 21 cm y el promedio fue de 33,17 cm, para la variable número de ramas se encontró que el valor máximo fue de 24 cm, el valor mínimo fue de 3 cm y el promedio fue de 11,12 cm, para la variable volumen se encontró que el valor máximo fue de 339,38 cm³, el valor mínimo fue de 11,37 cm³ y el promedio fue de 90,82 cm³ y para la variable biomasa se encontró que el valor máximo fue de 342,78 g, el valor mínimo fue de 11,48 g y el promedio fue de 91,73 g (Tabla 6).

Tabla 6.

Resultados segunda medición de las parcelas

# Árbol	Altura (cm)	DAC (cm)	Longitud de copa (cm)		# de ramas	Volumen (cm ³)	Biomasa (g)
			N-S	E-O			
Parcela A							
A1	108,2	0,91	36	31	13	42,22	42,65
A2	76	0,8	31	29	4	22,92	23,15
A3	141	1,10	34	36	9	79,67	80,47
A4	91,5	0,72	24	26	6	22,35	22,58
A5	109,5	0,88	28	26	8	40,32	40,73
A6	148,5	1,46	41	44	12	149,58	151,07
A7	118,4	0,95	30	26,5	14	50,67	51,18
A8	140	1,13	37	39	12	83,50	84,33
A9	73,5	0,65	16	17,5	7	14,54	14,69
A10	146	1,24	32	38	20	104,94	105,99
A11	125	0,99	28	26	9	57,27	57,84
A12	144	1,4	39	49	12	133,00	134,33
Parcela B							
B1	105,3	1,185	33	35	12	69,68	70,38
B2	158	1,72	37	36	7	220,27	222,47
B3	80	0,71	21	21	4	19,00	19,19
B4	140	1,70	34	31	13	189,77	191,67
B5	162,5	1,65	39	41	15	208,48	210,56
B6	103	0,9	30	33	5	39,32	39,71
B7	120	0,92	26	27	8	47,86	48,34
B8	148,5	1,49	31	33	15	155,36	156,91
B9	142,5	1,34	35	33	16	119,68	120,88
B10	127	1,32	28	28	13	104,28	105,32
B11	134,8	1,19	28	33	16	89,20	90,09
B12	113	1,02	25	30	10	55,40	55,96

Tabla 6. *Continuación*

# Árbol	Altura (cm)	DAC (cm)	Longitud de copa (cm)		# de ramas	Volumen (cm ³)	Biomasa (g)
			N-S	E-O			
Parcela C							
C1	94	0,78	27	28,5	15	26,95	27,22
C2	174	1,9	42	51	19	296,00	298,96
C3	161	2,12	49	45	16	339,38	342,78
C4	222	1,60	45	44	16	268,82	271,51
C5	150	1,66	30	29	16	193,84	195,78
C6	102,5	0,96	31	33	9	44,05	44,49
C7	115	0,95	28	29	4	48,40	48,88
C8	114,3	1,2	30,5	32	13	77,56	78,34
C9	123	1,13	46	33	10	74,01	74,75
C10	117	1,06	34	36	15	61,48	62,10
C11	170	1,26	41	40	24	126,18	127,44
C12	139	1,5	37	36	17	147,38	148,85
Parcela D							
D1	132	1,29	37	32	18	103,51	104,55
D2	73,5	0,74	28	30	8	18,71	18,90
D3	67	0,6	25	24	3	11,37	11,48
D4	121	1	41	28	8	57,02	57,59
D5	96,1	0,84	29	32	12	32,11	32,43
D6	87	0,82	26,5	26	5	27,30	27,57
D7	88	0,90	32	28	3	33,44	33,78
D8	121	1,29	42	36	11	94,30	95,24
D9	77	1	36	35	8	36,29	36,65
D10	89	0,7	29	25	3	20,55	20,76
D11	100	0,96	31	32	10	43,43	43,86
D12	121,5	1,01	34	32	11	57,94	58,52

4.5 Características dendrométricas de las plantas después de la segunda fertilización.

Se efectuó la medición de las variables estudiadas (altura, DAC, longitud de copa, número de ramas, volumen y biomasa) en las cuatro parcelas seleccionadas obteniendo los siguientes resultados (Tabla 7).

Según los resultados encontrados en las variables estudiadas para la tercera medición, se encontró que para la variable altura el valor máximo es de 231 cm, el valor mínimo es de 80 cm y el promedio es de 130,92 cm, para la variable DAC el valor máximo fue de 2,66 cm, el valor mínimo fue de 0,62 cm y el promedio fue de 1,29 cm, para la variable longitud de copa norte-sur se encontró que el valor máximo fue de 58 cm, el valor mínimo fue de 26 cm y el promedio fue de 40,49 cm, para la variable longitud de copa este-oeste se encontró que el valor máximo fue de 60 cm, el valor mínimo fue de 26 cm y el promedio fue de 39,13 cm, para la variable número de ramas se encontró que el valor máximo fue de 24 cm, el valor mínimo fue de 3 cm y el promedio fue de 11,79 cm, para la variable volumen se encontró que el valor máximo fue de 620,18 cm³, el valor mínimo fue de 12,59 cm³ y el promedio fue de 128,52 cm³ y para la variable biomasa se encontró que el valor máximo fue de 626,38 g, el valor mínimo fue de 12,72 g y el promedio fue de 129,80 g (Tabla 7).

Tabla 7.

Resultados tercera medición de las parcelas

# Árbol	Altura (cm)	DAC (cm)	Longitud de copa (cm)		# de ramas	Volumen (cm ³)	Biomasa (g)
			N-S	E-O			
Parcela A							
A1	114	1,06	40	41	13	59,79	60,39
A2	92	0,92	31	32	6	36,69	37,06
A3	148	1,20	37	42	13	100,43	101,43
A4	99	0,74	33	35	6	25,55	25,80
A5	111,5	0,94	39	39	8	45,93	46,39
A6	159	1,59	50	53	13	189,90	191,80
A7	127,5	1,13	44	37	14	76,04	76,80
A8	141,5	1,16	41	39	12	88,95	89,84
A9	80	0,70	34	31	8	18,47	18,66
A10	150	1,30	38	39	20	119,46	120,65
A11	129	1,01	29	29	9	62,01	62,63
A12	149	1,50	48	56	12	157,98	159,56
Parcela B							
B1	107	1,29	40	38	12	84,43	85,27
B2	167	2,08	53	36	7	340,48	343,88
B3	81	0,80	26	26	4	24,43	24,67
B4	147,5	1,82	40	51	13	230,24	232,54
B5	174	1,94	56	58	17	307,01	310,08
B6	110	1,10	41	35	6	62,72	63,35
B7	127	1,00	38	34	9	59,85	60,45
B8	154	1,60	45	42	17	185,78	187,64
B9	153	1,50	43	48	16	161,36	162,97
B10	132,5	1,47	52	46	15	134,93	136,27
B11	148	1,40	41	40	16	136,70	138,06
B12	127	1,24	36	34	12	91,28	92,19

Tabla 7. Continuación

# Árbol	Altura (cm)	DAC (cm)	Longitud de copa (cm)		# de ramas	Volumen (cm ³)	Biomasa (g)
			N-S	E-O			
Parcela C							
C1	100	1,00	36	33	16	47,12	47,60
C2	186	2,66	54	60	19	620,18	626,38
C3	167	2,39	58	53	16	448,77	453,26
C4	231	1,80	54	53	17	352,69	356,22
C5	158,6	1,85	39	37	19	254,41	256,96
C6	116,5	1,16	33	33	9	73,87	74,61
C7	120,5	1,10	33	34	5	68,09	68,77
C8	123	1,26	34	36	14	92,02	92,94
C9	136	1,30	50	34	10	108,31	109,39
C10	123	1,17	42	40	15	78,67	79,45
C11	181	2,03	50	51	24	352,53	356,05
C12	142	1,72	53	41	17	198,89	200,88
Parcela D							
D1	143	1,56	37	41	18	162,94	164,57
D2	80	0,74	31	36	9	20,64	20,85
D3	69,5	0,62	29	28	5	12,59	12,72
D4	124	1,08	42	29	10	67,53	68,20
D5	108	1,08	42	39	12	58,81	59,40
D6	88	0,83	27,5	26	7	28,57	28,85
D7	94	0,95	34	30	3	39,56	39,95
D8	126	1,29	36	45	11	98,81	99,80
D9	82,5	1,02	38	36	8	40,45	40,85
D10	93	0,75	33	34	3	24,65	24,90
D11	107,8	1,03	34	35	10	54,10	54,64
D12	124,7	1,05	36	33	11	64,17	64,81

4.6 Características dendrométricas de las plantas después de la tercera fertilización.

Se efectuó la medición de las variables estudiadas (altura, DAC, longitud de copa, número de ramas, volumen y biomasa) en las cuatro parcelas seleccionadas obteniendo los siguientes resultados (Tabla 8).

Según los resultados encontrados en las variables estudiadas para la cuarta medición, se encontró que para la variable altura el valor máximo es de 238 cm, el valor mínimo es de 81 cm y el promedio es de 135,92 cm, para la variable DAC el valor máximo fue de 2,94 cm, el valor mínimo fue de 0,70 cm y el promedio fue de 1,41 cm, para la variable longitud de copa norte-sur se encontró que el valor máximo fue de 79 cm, el valor mínimo fue de 27 cm y el promedio fue de 45,52 cm, para la variable longitud de copa este-oeste se encontró que el valor máximo fue de 80 cm, el valor mínimo fue de 27 cm y el promedio fue de 44,69 cm, para la variable número de ramas se encontró que el valor máximo fue de 25 cm, el valor mínimo fue de 4 cm y el promedio fue de 12,52 cm, para la variable volumen se encontró que el valor máximo fue de 710,39 cm³, el valor mínimo fue de 17,43 cm³ y el promedio fue de 159,96 cm³ y para la variable biomasa se encontró que el valor máximo fue de 717,49 g, el valor mínimo fue de 17,61 g y el promedio fue de 161,56 g (Tabla 8).

Tabla 8.

Resultados cuarta medición de las parcelas

# Árbol	Altura (cm)	DAC (cm)	Longitud de copa (cm)		# de ramas	Volumen (cm ³)	Biomasa (g)
			N-S	E-O			
Parcela A							
A1	121	1,4	47	42	16	111,76	112,88
A2	106,3	1	35	30	7	50,09	50,59
A3	150	1,23	46	47	13	106,94	108,01
A4	104	0,8	33	40	7	31,37	31,68
A5	116	1,1	42	39	8	66,14	66,80
A6	165	1,85	50	53	14	264,68	267,33
A7	130	1,2	44	40	14	88,22	89,10
A8	147	1,34	41	47	12	123,46	124,69
A9	86	0,8	35	40	8	25,94	26,20
A10	159	1,4	39	42	20	146,86	148,33
A11	130	1,05	32	38	9	67,54	68,22
A12	155	1,7	57	56	12	211,09	213,20
Parcela B							
B1	110	1,49	51	46	12	114,31	115,45
B2	173,5	2,1	53	80	8	360,56	364,17
B3	84,5	0,9	27	27	8	32,25	32,58
B4	152,2	1,96	60	54	13	275,53	278,29
B5	185,6	2,04	79	68	17	363,98	367,62
B6	115	1,16	41	45	6	72,29	73,02
B7	133,5	1,1	43	36	12	76,12	76,88
B8	158	1,98	45	53	17	291,90	294,82
B9	159	1,56	55	49	16	182,34	184,17
B10	140	1,7	52	57	15	190,66	192,57
B11	151	1,55	43	44	16	170,96	172,66
B12	131,7	1,24	43	41	12	95,43	96,38
Parcela C							
C1	105	1,1	38	37	16	59,87	60,47
C2	191	2,73	63	64	20	670,81	677,52

Tabla 8. *Continuación*

# Árbol	Altura (cm)	DAC (cm)	Longitud de copa (cm)		# de ramas	Volumen (cm ³)	Biomasa (g)
			N-S	E-O			
Parcela C							
C3	175	2,94	68	59	16	710,39	717,49
C4	238	1,9	65	64	17	404,88	408,93
C5	166	2,1	52	41	21	344,98	348,43
C6	129	1,26	40	36	13	96,51	97,48
C7	126	1,1	35	37	5	71,85	72,56
C8	127,5	1,35	40	44	14	109,50	110,60
C9	142	1,34	51	38	13	120,15	121,36
C10	131	1,2	50	52	17	88,89	89,78
C11	190	2,2	61	59	25	433,35	437,69
C12	147	1,83	58	56	17	230,72	233,03
Parcela D							
D1	147,5	1,6	54	45	18	177,94	179,72
D2	81	0,8	38	36	11	24,43	24,67
D3	75,5	0,7	30	33	6	17,43	17,61
D4	133,6	1,14	42	29	10	81,82	82,64
D5	114,5	1,15	42	44	15	71,36	72,07
D6	91,9	0,9	32	36	7	35,08	35,43
D7	98	1,14	34	31	6	60,02	60,62
D8	137	1,44	52	45	11	132,94	134,27
D9	89	1,05	39	37	6	46,24	46,70
D10	98	0,8	34	35	4	29,56	29,85
D11	112	1,1	37	38	10	63,86	64,50
D12	131,5	1,1	37	35	11	74,98	75,73

En el gráfico se muestra el crecimiento de las variables (altura, DAC, longitud de copa norte-sur, longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa) en la tercera y cuarta medición. Observándose que el incremento de las variables fue bajo, las variables que presentaron menor crecimiento fueron DAC y número de ramas, las variables que presentaron mayor crecimiento para la medición tres y cuatro fueron volumen y biomasa (Figura 2).

Figura 2.

Crecimiento en las variables dendrométricas en la tercera y cuarta medición

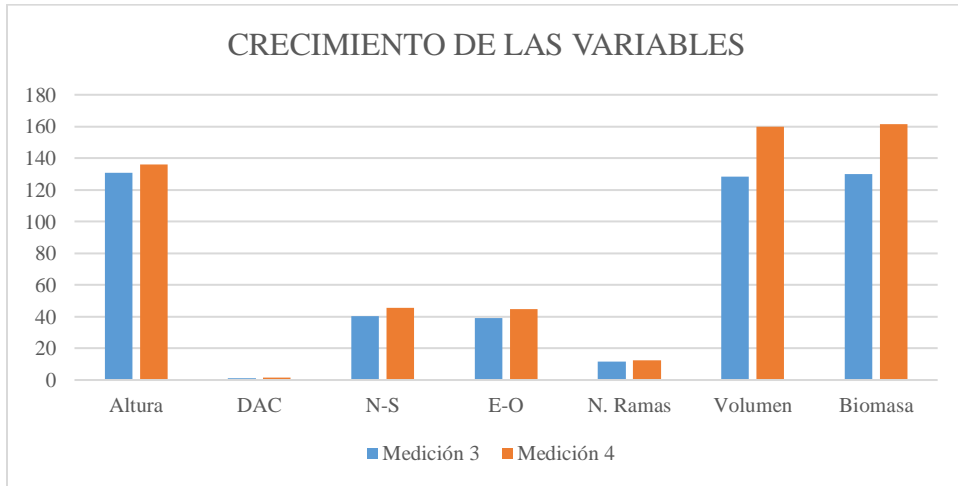
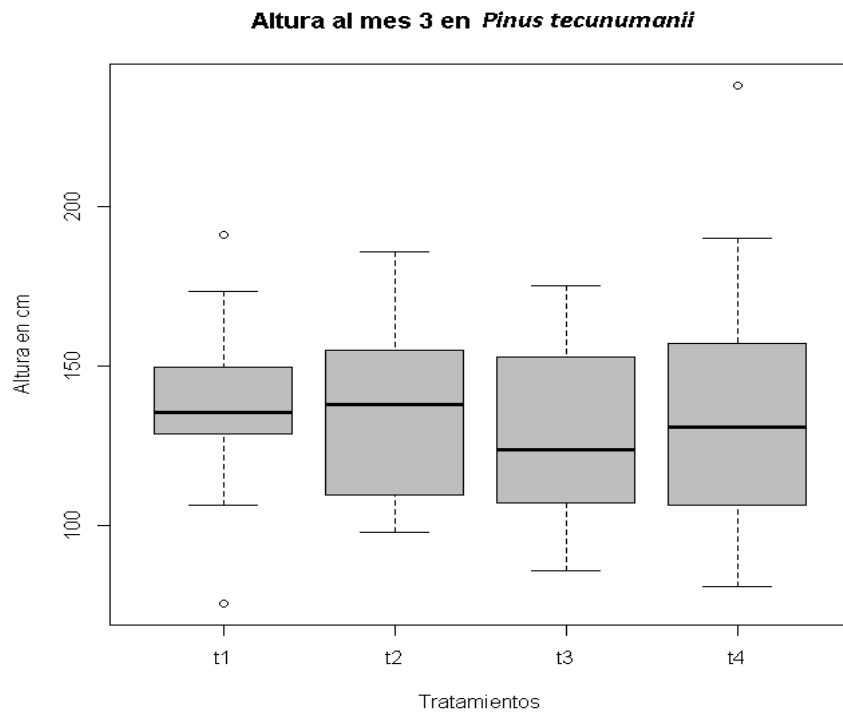


Figura 3.

*Blox-plot Altura al mes tres en *Pinus tecunumanii**



Según el diagrama de caja (figura 2) el tratamiento que presenta mejores resultados para el crecimiento de la variable altura es el tratamiento 2, con una media de 148 cm, un mínimo de 98 cm, un máximo de 185,60 cm, el cuartil uno de 105 cm y el cuartil tres de 151 cm. Cabe resaltar que del cuartil uno al cuartil tres se encuentra el 50% de los datos de la variable estudiada en este caso altura.

Los valores atípicos u outsiders del tratamiento 1 son de son de 75,50 cm y de 191 cm, el valor atípico u outsiders del tratamiento 4 es de 238 cm.

Según el análisis de varianza ninguno de los tratamientos aplicados presenta diferencias significativas ($p < 0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alternativa de que al menos uno de los tratamientos sobre el crecimiento de las variables (altura, DAC, longitud de copa norte- sur, longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa) es diferente, ya que el valor de $Pr(>F)$ no es menor al ($p < 0,05$). Se acepta la hipótesis nula de que el efecto de todos los tratamientos sobre el crecimiento de las variables (altura, DAC, longitud de copa norte- sur, longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa) en la especie *Pinus tecunumanii* es el mismo (Tabla 9).

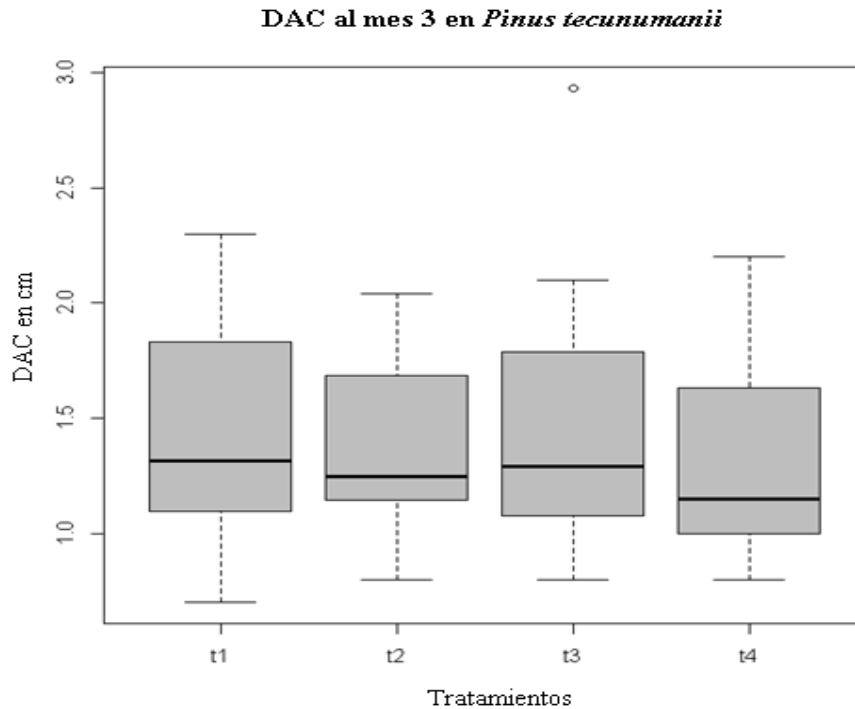
Tabla 9.

Análisis de varianza altura

	Df	Sum	Sq Mean	Sq F	value	Pr(>F)
Tratamiento	3		628	209,26	0,182	0,9081
Residuals	44		50595	1149,88		

Figura 4.

Blox-plot DAC al mes tres en Pinus tecunumanii



Según el diagrama de caja (figura 3) el tratamiento que presenta mejores resultados para el crecimiento de la variable DAC es el tratamiento 1, con una media de 1,32 cm, un mínimo de 0,70 cm, un máximo de 2,30 cm, el cuartil uno de 1,05 cm y el cuartil tres de 1,70 cm. Cabe resaltar que del cuartil uno al cuartil tres se encuentra el 50% de los datos de la variable estudiada en este caso DAC.

El valore atípicos u outsiders del tratamiento 3 es de 2,94 cm.

Según el análisis de varianza ninguno de los tratamientos aplicados presenta diferencias significativas ($p < 0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alternativa de que al menos uno de los tratamientos sobre el crecimiento de las variables (altura, DAC, longitud de copa norte- sur, longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa) es diferente, ya que el valor de

Pr(>F) no es menor al ($p < 0,05$). Se acepta la hipótesis nula de que el efecto de todos los tratamientos sobre el crecimiento de las variables (altura, DAC, longitud de copa norte- sur, longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa) en la especie *Pinus tecunumanii* es el mismo (Tabla 10).

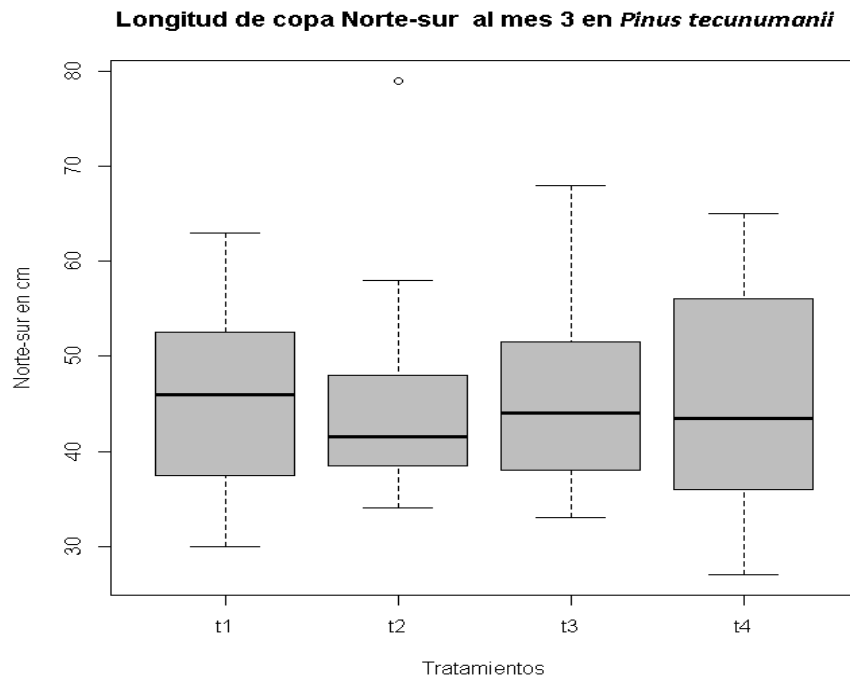
Tabla 10.

Análisis de varianza DAC

	Df	Sum	Sq Mean	Sq F	value	Pr(>F)
Tratamiento	3		0,1403	0,046769	0,1976	0,8975
Residuals	44		104,152	0,236709		

Figura 5.

Blox-plot de longitud de copa norte-sur al mes tres en Pinus tecunumanii



Según el diagrama de caja (figura 4) el tratamiento que presenta mejores resultados para el crecimiento de la variable longitud de copa norte-sur es el tratamiento 1, con una media de 46 cm, un mínimo de 30 cm, un máximo de 63 cm, el cuartil uno de 35 cm y el cuartil tres de 52 cm. Cabe resaltar que del cuartil uno al cuartil tres se encuentra el 50% de los datos de la variable estudiada en este caso longitud de copa norte-sur.

El valore atípicos u outsiders del tratamiento 2 es de 79 cm.

Según el análisis de varianza ninguno de los tratamientos aplicados presenta diferencias significativas ($p < 0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alternativa de que al menos uno de los tratamientos sobre el crecimiento de las variables (altura, DAC, longitud de copa norte- sur, longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa) es diferente, ya que el valor de $Pr(>F)$ no es menor al ($p < 0,05$). Se acepta la hipótesis nula de que el efecto de todos los tratamientos sobre el crecimiento de las variables (altura, DAC, longitud de copa norte- sur, longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa) en la especie *Pinus tecunumanii* es el mismo (Tabla 11).

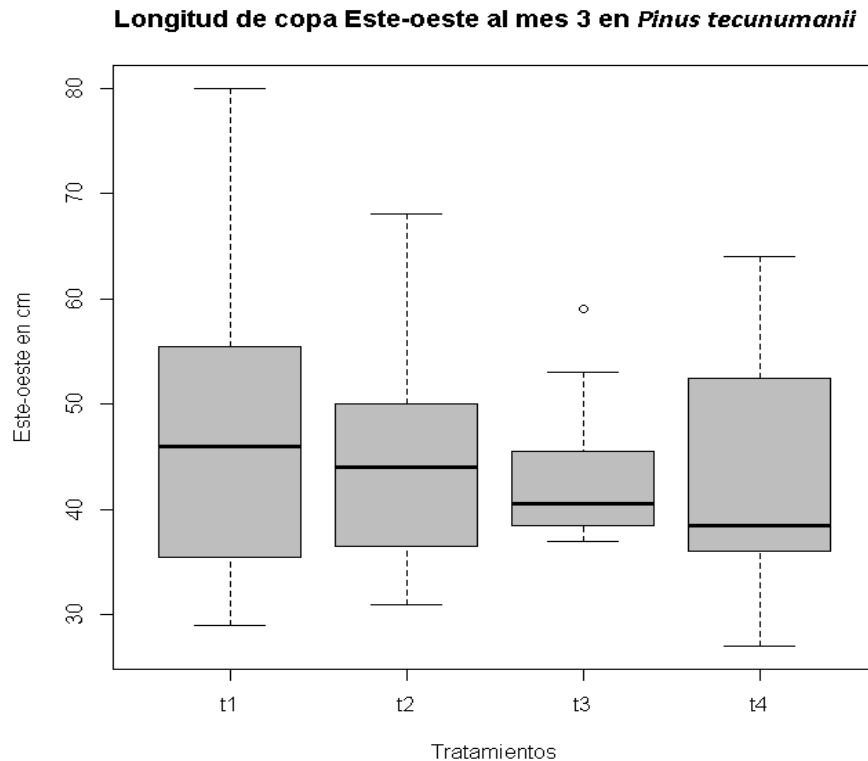
Tabla 11.

Análisis de varianza longitud de copa norte-sur

	Df	Sum	Sq Mean	Sq F	value	Pr(>F)
Tratamiento	3		5,1	1,688	0,013	0,9979
Residuals	44		5696,9	129,475		

Figura 6.

Blox-plot de longitud de copa este-oeste al mes tres en Pinus tecunumanii



Según el diagrama de caja (figura 5) el tratamiento que presenta mejores resultados para el crecimiento de la variable longitud de copa este-oeste es el tratamiento 1, con una media de 46 cm, un mínimo de 29 cm, un máximo de 80 cm, el cuartil uno de 33 cm y el cuartil tres de 54 cm. Cabe resaltar que del cuartil uno al cuartil tres se encuentra el 50% de los datos de la variable estudiada en este caso longitud de copa este-oeste.

El valore atípicos u outsiders del tratamiento 3 es de 59 cm.

Según el análisis de varianza ninguno de los tratamientos aplicados presenta diferencias significativas ($p < 0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alternativa de que al menos uno de los tratamientos sobre el crecimiento de las variables (altura, DAC, longitud de copa norte- sur,

longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa) es diferente, ya que el valor de $Pr(>F)$ no es menor al ($p < 0,05$). Se acepta la hipótesis nula de que el efecto de todos los tratamientos sobre el crecimiento de las variables (altura, DAC, longitud de copa norte- sur, longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa) en la especie *Pinus tecunumanii* es el mismo (Tabla 12).

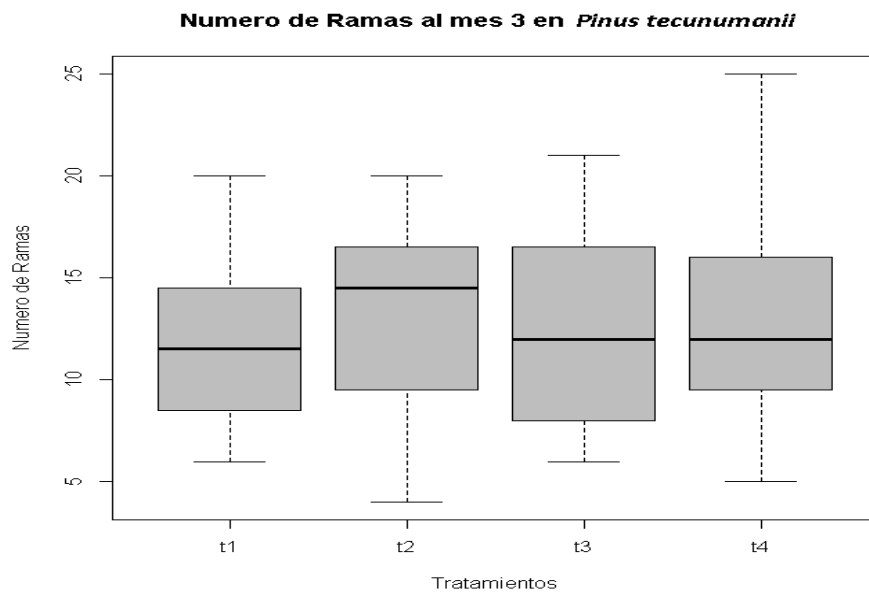
Tabla 12.

Análisis de varianza longitud de copa este-oeste

	Df	Sum	Sq Mean	Sq F	value	Pr(>F)
Tratamiento	3		174,6	58,188	0,463	0,7096
Residuals	44		5529,7	125,676		

Figura 7.

Blox-plot de número de ramas al mes tres en Pinus tecunumanii



Según el diagrama de caja (figura 6) el tratamiento que presenta mejores resultados para el crecimiento de la variable número de ramas es el tratamiento 2, con una media de 14,50, un mínimo de 4, un máximo de 20, el cuartil uno de 6 y el cuartil tres de 16. Cabe resaltar que del cuartil uno al cuartil tres se encuentra el 50% de los datos de la variable estudiada en este caso número de ramas.

No se presentan valores atípicos u outsiders.

Según el análisis de varianza ninguno de los tratamientos aplicados presenta diferencias significativas ($p < 0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alternativa de que al menos uno de los tratamientos sobre el crecimiento de las variables (altura, DAC, longitud de copa norte- sur, longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa) es diferente, ya que el valor de $Pr(>F)$ no es menor al ($p < 0,05$). Se acepta la hipótesis nula de que el efecto de todos los tratamientos sobre el crecimiento de las variables (altura, DAC, longitud de copa norte- sur, longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa) en la especie *Pinus tecunumanii* es el mismo (Tabla 13).

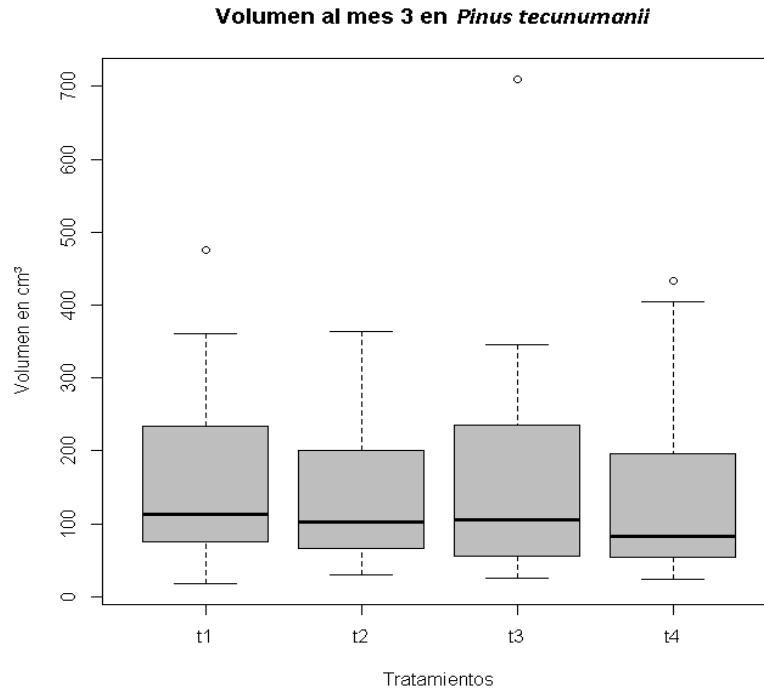
Tabla 13.

Análisis de varianza número de ramas

	Df	Sum	Sq Mean	Sq F	value	Pr(>F)
Tratamiento	3		11,06	36,875	0,1553	0,9257
Residuals	44		1044,92	237,481		

Figura 8.

Blox-plot de volumen al mes tres en Pinus tecunumanii



Según el diagrama de caja (figura 7) el tratamiento que presenta mejores resultados para el crecimiento de la variable volumen es el tratamiento 1, con una media de $112,50 \text{ cm}^3$, un mínimo de $363,91 \text{ cm}^3$, un máximo de $476,14 \text{ cm}^3$, el cuartil uno de $67,54 \text{ cm}^3$ y el cuartil tres de $190,66 \text{ cm}^3$. Cabe resaltar que del cuartil uno al cuartil tres se encuentra el 50% de los datos de la variable estudiada en este caso volumen.

El valor atípico u outsider del tratamiento 1 es de $476,14 \text{ cm}^3$, el outsider del tratamiento 3 es de $710,39 \text{ cm}^3$ y el outsider del tratamiento 4 es de $433,35 \text{ cm}^3$.

Según el análisis de varianza ninguno de los tratamientos aplicados presenta diferencias significativas ($p < 0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alternativa de que al menos uno de los tratamientos sobre el crecimiento de las variables (altura, DAC, longitud de copa norte- sur,

longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa) es diferente, ya que el valor de $Pr(>F)$ no es menor al ($p < 0,05$). Se acepta la hipótesis nula de que el efecto de todos los tratamientos sobre el crecimiento de las variables (altura, DAC, longitud de copa norte- sur, longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa) en la especie *Pinus tecunumanii* es el mismo (Tabla 14).

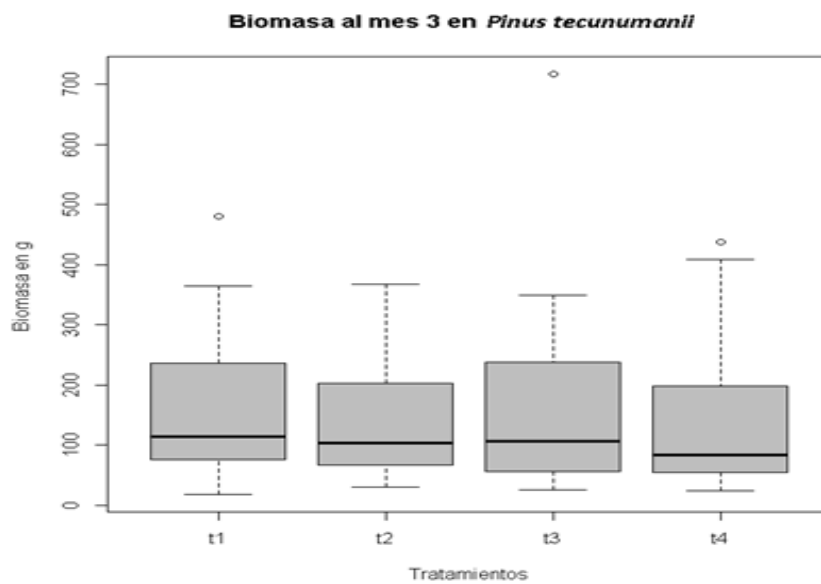
Tabla 14.

Análisis de varianza Volumen

	Df	Sum	Sq Mean	Sq F	value	Pr(>F)
Tratamiento	3		9245	3081,7	0,1405	0,9352
Residuals	44		965,075	21933,5		

Figura 9.

Blox-plot de biomasa al mes tres en Pinus tecunumanii



Según el diagrama de caja (figura 8) el tratamiento que presenta mejores resultados para el crecimiento de la variable biomasa es el tratamiento 1, con una media de 113,62 g, un mínimo de 17,61 g, un máximo de 367,55 g, el cuartil uno de 68,22 g y el cuartil tres de 192,57 g. Cabe resaltar que del cuartil uno al cuartil tres se encuentra el 50% de los datos de la variable estudiada en este caso biomasa.

El valor atípicos u outsiders del tratamiento 1 es de 480,90 g, el valor atípico outsiders del tratamiento 3 es de 717,49 g y el valor atípico outsiders del tratamiento 4 es de 437,69 g.

Según el análisis de varianza ninguno de los tratamientos aplicados presenta diferencias significativas ($p < 0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alternativa de que al menos uno de los tratamientos sobre el crecimiento de las variables (altura, DAC, longitud de copa norte- sur, longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa) es diferente, ya que el valor de $Pr(>F)$ no es menor al ($p < 0,05$). Se acepta la hipótesis nula de que el efecto de todos los tratamientos sobre el crecimiento de las variables (altura, DAC, longitud de copa norte- sur, longitud de copa este-oeste, número de ramas, volumen y biomasa) en la especie *Pinus tecunumanii* es el mismo (Tabla 15).

Tabla 15.

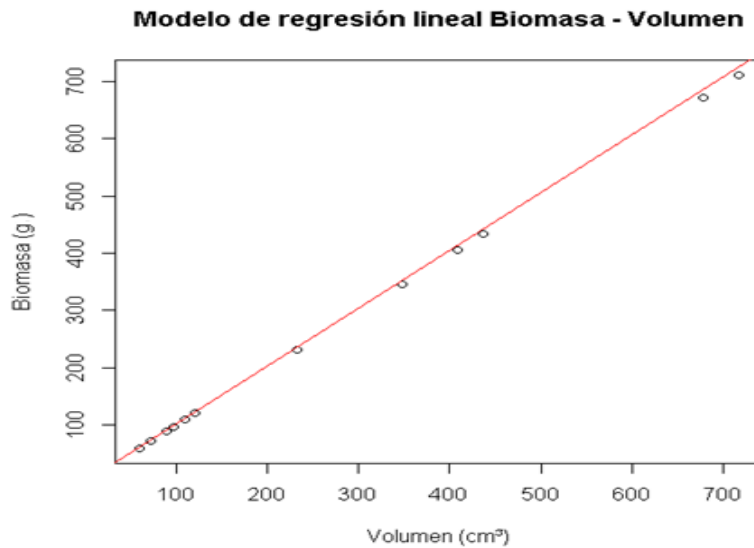
Análisis de varianza biomasa

	Df	Sum	Sq Mean	Sq F	value	Pr(>F)
Tratamiento	3		9431	3143,6	0,1405	0,9352
Residuals	44		984473	22374,4		

4.7 Modelo de regresión lineal biomasa-volumen

Figura 10.

Modelo de regresión lineal biomasa-volumen



En este modelo de regresión lineal (figura 9) se estima un valor para la biomasa teniendo un volumen determinado y se corrobora que la biomasa tiene una relación directa con el volumen.

El modelo de regresión lineal biomasa-volumen se hizo mediante la utilización del software RStudio, se analizó la relación existente entre la variable respuesta biomasa y una variable explicativa volumen. El modelo de regresión lineal tiene la siguiente ecuación:

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$$

Con el modelo de regresión lineal biomasa-volumen se puede hacer una estimación de la cantidad de biomasa presente en el *Pinus tecunumanii* a partir de los siguientes valores.

Donde:

Y= Biomasa

$\alpha = 0,056998$

$\beta = 1,01$

x= Volumen

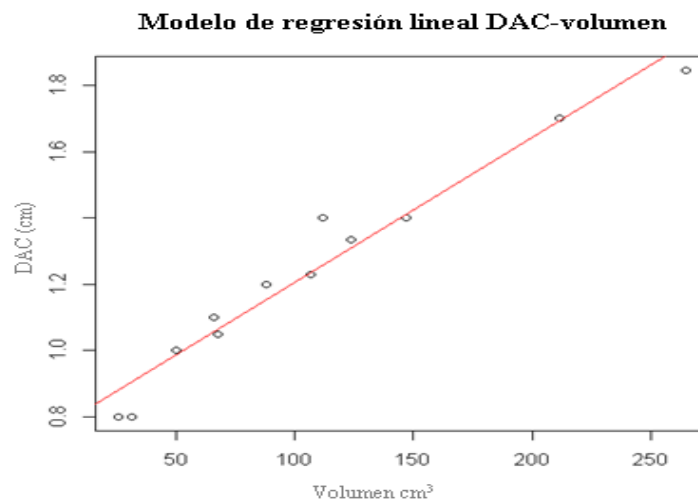
$\epsilon = 0,0003192$

Teniendo en cuenta que la plantación presenta bajo desarrollo en las variables estudiadas debido a la alta saturación de calcio, este modelo de regresión lineal para estimación de biomasa solo aplica para plantaciones que presenten características similares. Por lo que si se reemplazan valores en la ecuación del modelo de regresión lineal para obtener la variable Y que en este caso es la biomasa se encontrara un valor con un error del 0,0003192.

4.8 Modelo de regresión lineal DAC-volumen

Figura 11.

Modelo de regresión lineal DAC-volumen



En este modelo de regresión lineal (figura 10) se estima un valor para el DAC teniendo un volumen determinado y se corrobora que el DAC tiene una relación directa con el volumen.

El modelo de regresión lineal DAC-volumen se hizo mediante la utilización del software RStudio, se analizó la relación existente entre la variable respuesta DAC y una variable explicativa volumen

El modelo de regresión lineal tiene la siguiente ecuación:

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$$

Donde:

Y= DAC

$\alpha = 0,765405$

$\beta = 0,0043$

x= Volumen

$\varepsilon = 0,07066$

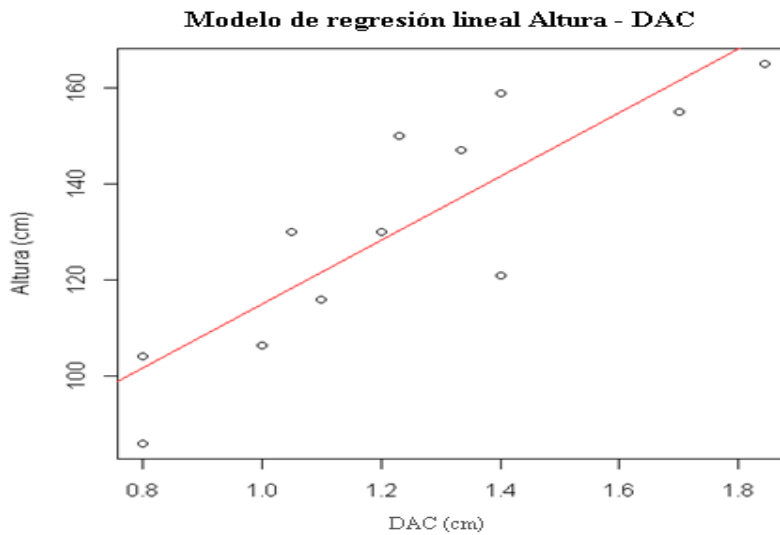
Por lo que si se reemplazan valores en la ecuación del modelo de regresión lineal para obtener la variable Y que en este caso es el DAC se encontró un valor con un error del 0,07066.

Los modelos de regresión lineal biomasa-volumen y DAC- volumen encontrados aplican para las condiciones de suelo en el que se tenga establecidas plantaciones de *Pinus tecunumanii* y el crecimiento sea lento esto debido a la alta saturación de calcio presente en el suelo.

4.9 Modelo de regresión lineal altura-DAC

Figura 12.

Modelo de regresión lineal altura-DAC



En este modelo de regresión lineal (figura 11) se estima un valor para la altura teniendo un DAC determinado y se corrobora que las variables altura y DAC no presentan relación directa ya que el error estimado es de 13,8 por lo cual el modelo no se ajusta.

El modelo de regresión lineal altura-DAC se hizo mediante la utilización del software RStudio, se analizó la relación existente entre la variable respuesta altura y una variable explicativa DAC.

El modelo de regresión lineal tiene la siguiente ecuación:

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$$

Donde:

Y= Altura

$\alpha = 48,49$

$\beta = 66,45$

x= DAC

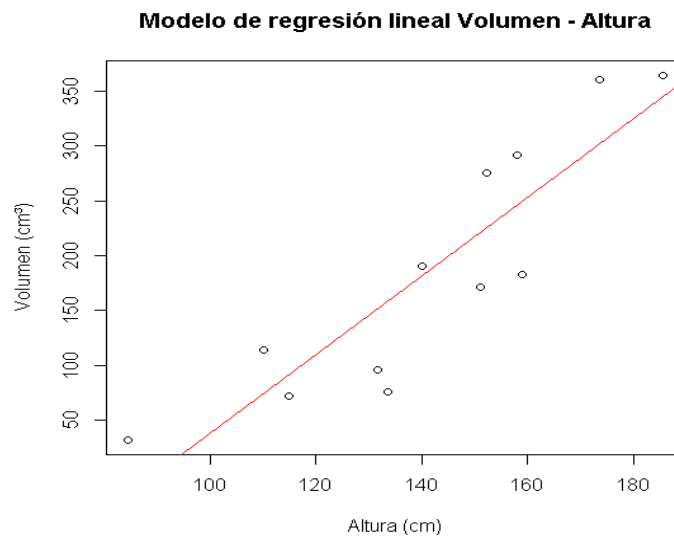
$\epsilon = 13,38$

Por lo que si se reemplazan valores en la ecuación del modelo de regresión lineal para obtener la variable Y que en este caso es la altura se encontrara un valor con un error de 13,38.

4.10 Modelo de regresión lineal volumen-altura

Figura 13.

Modelo de regresión lineal volumen-altura



En este modelo de regresión lineal (figura 12) se estima un valor para el volumen teniendo una altura determinada y se corrobora que las variables volumen y altura no presentan relación directa ya que el error estimado es de 13,59 por lo cual el modelo no se ajusta.

El modelo de regresión lineal (figura 12) volumen-altura se hizo mediante la utilización del software RStudio, se analizó la relación existente entre la variable respuesta volumen y una variable explicativa altura.

El modelo de regresión lineal tiene la siguiente ecuación:

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$$

Donde:

Y= Volumen

$\alpha = 100,18$

$\beta = 0,2209$

x= Altura

$\varepsilon = 13,59$

Por lo que si se reemplazan valores en la ecuación del modelo de regresión lineal para obtener la variable Y que en este caso es el volumen se encontrara un valor con un error de 13,59.

5. Discusión

Una de las posibles causas de la baja adaptación del *Pinus tecunumanii* en este ambiente de estudio, es que el suelo presenta unas características químicas que inhiben el crecimiento de las variables estudiadas. Los suelos con reacción alcalina, presentan condiciones que no favorecen el crecimiento y desarrollo de la mayoría de los cultivos, principalmente por la deficiencia de micronutrientes que existen en ellos (Amparo, 1973).

La distribución de la especie *Pinus tecunumanii* está determinada por la geología y la precipitación, con ocurrencia de sitios de suelos moderadamente fértiles y profundos, ligeramente ácidos a neutros con pH de 4,7 a 7 y bien drenados (Torres, 2005). Las características del suelo que inhiben el crecimiento en esta plantación son un pH muy alcalino con un valor de 8,2 derivado de la alta saturación de calcio, el porcentaje de saturación del calcio es del 98% además, de la baja capacidad de intercambio catiónico que presenta el suelo debido a que dentro de los sitios de intercambio que presenta el suelo se encuentra el calcio impidiendo que se liberen otros elementos esenciales para el desarrollo de las plantas. Por lo que no es aconsejable establecer plantaciones forestales de *Pinus tecunumanii* en suelos con este tipo de pH.

Se aconseja establecer plantaciones forestales de *Juglans neotropica* ya que dicha especie se puede desarrollar en condiciones de pH que sean ligeramente acidas a neutras. (Ospina, Hernández, Aristizabal, Patiño, & Salazar, 2003)

El establecimiento de plantaciones forestales se debe hacer con una debida planificación, en donde se conozca el potencial de adaptación de la especie a establecer, los requerimientos

nutricionales y el tipo de pH que soporta. Todo esto para evitar problemas de bajo desarrollo como los mostrados en la plantación estudiada.

6. Conclusiones

Se evaluaron los modelos de predicción de variables dendrométricas y se encontró que los modelos de regresión lineal biomasa-volumen, DAC-volumen tienen relación directa entre sus variables proporcionándole así una predicción viable a las variables a predecir en este caso. Los modelos de regresión lineal altura-DAC y volumen-altura evaluados no presentaron relación por lo que dichos modelos no se ajustan a las condiciones en las cuales está establecida la plantación.

Se cuantificó el crecimiento de la plantación en las variables medidas antes de la fertilización y se encontró que la especie de *Pinus tecunumanii* presenta un bajo desarrollo por lo que fue necesario plantear un sistema de fertilización. Dado que la especie *Pinus tecunumanii* presenta mejores resultados de crecimiento en suelos con pH ácidos, el sistema de fertilización no presentó resultados favorables en las variables estudiadas debido a la alta concentración de calcio presente en el suelo.

Según el análisis de suelos efectuado se encontró que el suelo presenta deficiencias nutricionales en elementos como fósforo, potasio, magnesio, azufre, cobre, zinc, manganeso y boro.

Los efectos que mostró la fertilización empleada en la plantación de *Pinus tecunumanii*, fueron prácticamente nulos ya que ningún tratamiento mostró diferencias significativas para

ninguna de las variables medidas. Debido a que hay otras características en el suelo que no permiten que los fertilizantes sean absorbidos por las plantas, dichas características son el exceso de calcio el cual le proporciona una acidez de 8,2 e inhibe el crecimiento de los individuos en las variables estudiadas ya que el pH recomendado para plantaciones de *Pinus tecunumanii* es de entre 4,8 a 7.

7. Recomendaciones

En la plantación de *Pinus tecunumanii* estudiada se encontró que el suelo presenta deficiencias nutricionales en elementos como como fósforo, potasio, magnesio, azufre, cobre, zinc, manganeso y boro. Por lo que fue necesario plantear un sistema de fertilización en el que se aplicaron fertilizantes como Urea, DAP, KCl, EDTA MgO, Azufre, Borax, Sulfato de cobre, EDTA Zn, EDTA Mn y se distribuyeron en los cuatro tratamientos vistos. Pero ningún tratamiento mostró diferencias significativas debido a la alta saturación de calcio y a una baja actividad microbiana que no permiten que los individuos sometidos a estudio absorban los fertilizantes con facilidad, por lo que recomendamos efectuar un sistema de fertilización basado en concentraciones diferentes de los mismos fertilizantes y hacer un muestreo de un tiempo más largo a tres meses.

Antes de establecer plantaciones de *Pinus tecunumanii* recomendamos hacer un análisis de suelos para conocer los aportes de nutrientes del mismo y no establecer plantaciones de esta especie en sitios que presenten altas concentraciones de calcio, ya que esta especie presenta poco desarrollo en estas condiciones.

Se debe hacer una planificación en donde se investigue que especies se adaptan y se desarrollan en suelos que presentan un pH superior a 7, para evitar que los individuos presenten bajo desarrollo en las variables dendrométricas estudiadas.

Referencias Bibliográficas

- AGQLABS. (2017). *La importancia del análisis de suelos agrícolas*. Árboles de centro américa. (2012).
- Amparano, C. (1973). *Evaluación del comportamiento y la susceptibilidad a la clorosis férrica de 14 variedades de soya en suelos calcáreos bajo condiciones de invernadero*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Álvarez, J. A. R. (2002). *Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal*.
- Cardozo, E. Z. (2017). *Diseño de un plan de contingencia para la producción forestal "pinus tecunumanii" en la hacienda japio, municipio caloto, departamento del cauca, colombia*.
- Castiblanco, F. (2018). *Plantaciones de monocultivos forestales en el norte del Cauca*.
- Catie. (2019). *Banco de Semillas Forestales*.
- Christofer. (2019). *wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Pinus_tecunumanii
- Colombia, C. d. (2006). *Ley 1021 de 2016*.
- Di Benedetto, T. J. (2016). *Técnicas de análisis de crecimiento de plantas:su aplicación a cultivos intensivos*.
- Ecobosques. (2015). *Mercado de la madera*.
- Fernández, E. Goya, J. Achinelli, F. (2013). *Modelos de crecimiento y rendimiento*.
- Gutiérrez, A. E. (2019). *Evaluación del estado actual de la masa forestal a través de las variables dasométricas y estructurales ubicada en el Barrio Santa Ana, municipio de Momostenango, departamento de Totonicapán*.

- Granados, D. A. (2007). *Evaluación de la diversidad genética de poblaciones naturales de Pinus tecunumanii* Eguilus & J. P Perry de nicaragua mediante el uso de marcadores RAPDS.
- Herrera, L. J. (2006). *La silvicultura y el desarrollo socioeconomico*.
- Hodge, G. (2001). *Resultado veinte años de investigación del pinus tecunumanii*.
- Imaña, J. y Encinas, O. (2008). *Epidome tria forestal*.
- León, M. Reyes, J. Herrero, G y Pérez, V. (2016). *Efecto de la fertilización sobre el crecimiento*
- Ministerio de Agricultura. (2015). *Cultivos forestales con fines comerciales*.
- Moyobamba. (2012). *Viabilidad de alternativas de certificación de carbono en sistemas agroforestales a pequeña escala para mercados voluntarios*
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009). *Demanda mundial de productos madereros*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2006). *Capítulo 3. Plantaciones forestales*.
- Ospina, C. Hernández, R. Aristizabal, F. Patiño, J. y Salazar, J. (2003). *El cedro negro una especie promisorio de la zona cafetera*.
- Rojo, E. Mata, J y Velázquez, A. (2003). *Las masas forestales como sumideros de CO₂ ante un cambio climático global*.
- SlidesShare. (2015). *Guía de mediciones*.
- Torres, L. (2005). *Pinus tecunumanii*.
- Vasallo, O. (2018). *Un futuro sostenible se construye con madera. En diámetro y altura de Pinus caribaea en plantaciones del occidente de cuba*.
- Vásquez, A. (2001). *Silvicultura de plantaciones forestales en Colombia*.

Apéndices

Apéndice 1. Parcelas de la plantación de *Pinus tecunumanii*



Apéndice 2. Elaboración de plateo de la plantación de *Pinus tecunumanii*



Apéndice 3. Recolección en campo de las mediciones de la plantación de *Pinus tecunumanii*



Apéndice 4. Medición de la altura de los individuos de la plantación de *Pinus tecunumanii*



Apéndice 5. Medición del DAC de los individuos de la plantación de *Pinus tecunumanii*



Apéndice 6. Medición de la copa de los individuos de la plantación de *Pinus tecunumanii*



Apéndice 7. Conteo de ramas de los individuos de la plantación de *Pinus tecunumanii*



Apéndice 8. Trozas de *Pinus tecunumanii*



Apéndice 9. Toma de muestras de suelo



Apéndice 10. Medición del peso de EDTA Mn



Apéndice 11. Medición del peso de Urea



Apéndice 12. Medición del peso de DAP



Apéndice 13. Medición del peso de KCl



Apéndice 1. Medición del peso de Azufre



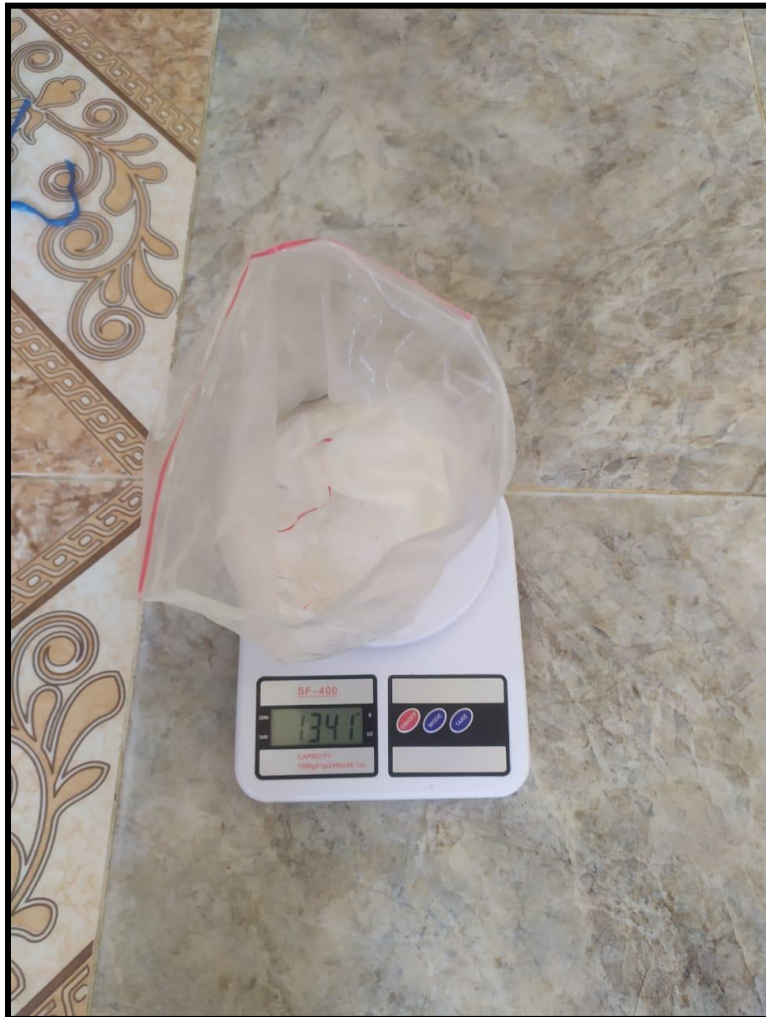
Apéndice 15. Medición del peso de Sulfato Cu



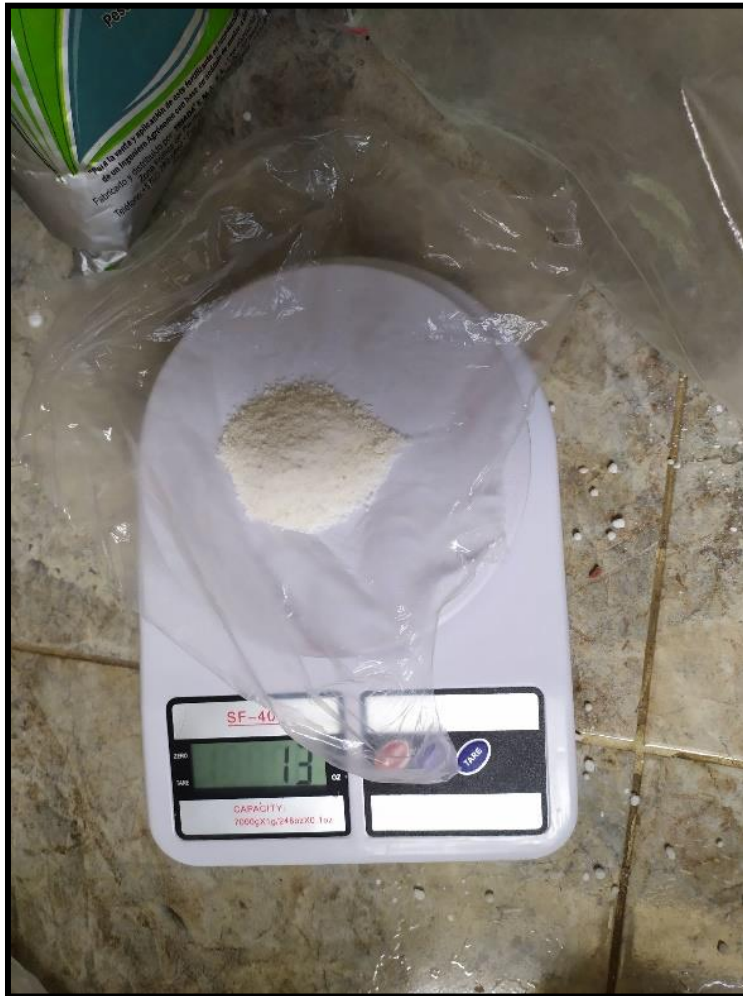
Apéndice 16. Medición del peso de EDTA zn



Apéndice 17. Medición del peso de EDTA MgO



Apéndice 18. Medición del peso de Borax



Apéndice 19. Mezcla de los fertilizantes empleados



Apéndice 20. Medición 40 g de la mezcla del fertilizante



Apéndice 21. Medición 80 g de la mezcla del fertilizante



Apéndice 22. Medición 120 g de la mezcla del fertilizante



Apéndice 23. Aplicación de los fertilizantes



Apéndice 24. Control



Apéndice 25. Marcación del fertilizante 40 gramos



Apéndice 26. Marcación del fertilizante 80 gramos



Apéndice 27. Marcación del fertilizante 120 gramos



Apéndice 28. Prueba de Tukey altura

Tratamientos	Diff	Lwr	Upr	P adj
T2-T1	-2,2916667	-39,25430	34,67097	0,9983611
T3-T1	-8,9500000	-45,91263	28,01263	0,9162075
T4-T1	-0,2666667	-37,22930	36,69597	0,9999974
T3-T2	-6,6583333	-43,62097	30,30430	0,9629155
T4-T2	2,0250000	-34,93763	38,98763	0,9988665
T4-T3	8,6833333	-28,27930	45,64597	0,9227529

Apéndice 29. Prueba de Tukey DAC

Tratamientos	Diff	Lwr	Upr	P adj
T2-T1	-0,06041667	-0,5907435	0,4699102	0,9900927
T3-T1	0,02583333	-0,5044935	0,5561602	0,9992018
T4-T1	-0,11333333	-0,6436602	0,4169935	0,9403085
T3-T2	0,08625000	-0,4440769	0,6165769	0,9722473
T4-T2	-0,05291667	-0,5832435	0,4774102	0,9932860
T4-T3	-0,13916667	-0,6694935	0,3911602	0,8962680

Apéndice 30. Prueba de Tukey longitud de copa norte-sur

Tratamientos	Diff	Lwr	Upr	P adj
T2-T1	-5,00E+05	-12,9031	11,9031	0,9995466
T3-T1	-7,11E-09	-12,4031	12,4031	10,000000
T4-T1	-7,50E+05	-13,1531	11,6531	0,9984788
T3-T2	5,00E+05	-11,9031	12,9031	0,9995466
T4-T2	-2,50E+05	-12,6531	12,1531	0,9999431
T4-T3	-7,50E+05	-13,1531	11,6531	0,9984788

Apéndice 31. Prueba de Tukey longitud de copa este-oeste

Tratamientos	Diff	Lwr	Upr	P adj
T2-T1	-2,916667	-15,13643	9,303102	0,9193757
T3-T1	-4,666667	-16,88643	7,553102	0,7388885
T4-T1	-4,666667	-16,88643	7,553102	0,7388885
T3-T2	-1,750000	-13,96977	10,469768	0,9807327
T4-T2	-1,750000	-13,96977	10,469768	0,9807327
T4-T3	0,000000	-12,21977	12,219768	1,0000000

Apéndice 32. Prueba de Tukey ramas

Tratamientos	Diff	Lwr	Upr	P adj
T2-T1	1,25	-4,061914	6,561914	0,9223993
T3-T1	0,50	-4,811914	5,811914	0,9943462
T4-T1	1,00	-4,311914	6,311914	0,9580225
T3-T2	-0,75	-6,061914	4,561914	0,9815061
T4-T2	-0,25	-5,561914	5,061914	0,9992798
T4-T3	0,50	-4,811914	5,811914	0,9943462

Apéndice 33. Prueba de Tukey volumen

Tratamientos	Diff	Lwr	Upr	P adj
T2-T1	-24,406195	-185,8386	137,0262	0,9774804
T3-T1	10,168887	-151,2635	171,6013	0,9982818
T4-T1	-18,355292	-179,7877	143,0771	0,9901488
T3-T2	34,575081	-126,8573	196,0075	0,9399455
T4-T2	6,050903	-155,3815	167,4833	0,9996353
T4-T3	-28,524179	-189,9566	132,9082	0,9648813

Apéndice 34. Prueba Tukey biomasa

Tratamientos	Diff	Lwr	Upr	P adj
T2-T1	-24,650257	-187,6970	138,3965	0,9774804
T3-T1	10,270575	-152,7762	173,3173	0,9982818
T4-T1	-18,538845	-181,5856	44,5079	0,9901488
T3-T2	34,920832	-128,1259	197,9676	0,9399455
T4-T2	6,111412	-156,9353	169,1581	0,9996353
T4-T3	-28,809420	-191,8562	134,2373	0,9648813

Apéndice 35 **Árbol con poco desarrollo**



Apéndice 36. Elaboración de plateo



Apéndice 37. Árbol con buen desarrollo

