

Extracción de nutrientes y parámetros productivos de *Eucalyptus globulus* bajo diferentes niveles de fertilización en la zona de vida bosque muy húmedo montano Bmh-M.

Tatiana Andrea Ortiz Calderón

Laura Cristina Salamanca Villamarin

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero forestal

Director

Julián Mauricio Botero Londoño

Ph.D. en Ciencias Agrarias

Codirector

Jorge Andrés Rodríguez Toro

Ph.D. en Ciencias Forestales

Universidad Industrial de Santander

Instituto De Proyección Regional y Educación a Distancia-IPRED

Programa de Ingeniería forestal

Málaga

2018

Dedicatoria

A Dios por permitirme terminar satisfactoriamente esta etapa de mi vida.

A mis padres Emilce y Jesús por acompañarme en la lucha de superarme cada día y ayudarme a cumplir mis objetivos, les agradezco con profundo amor por darme la oportunidad de formarme profesionalmente.

A Santiago, mi hermano del alma por darme la fuerza necesaria salir adelante, estudiar y ser persistente en el cumplimiento de cada meta que me propongo.

A Santos Miranda por acompañarme en este proceso dándome su amor y apoyo incondicional.

A compañeros y familiares que me apoyaron en mi crecimiento como persona, a los docentes que me guiaron y compartieron sus conocimientos conmigo.

Tatiana Andrea Ortiz Calderón

Dedicatoria

A mis padres Hernando Salamanca e Irene Villamarin por siempre estar a mi lado y apoyar mis decisiones.

A mi familia, a mis compañeros y amigos Jonh Freddy Lopez, Yahir Castañeda, Ingrit Anaya y Samuel Barrera por hacer del tiempo en la universidad una buena experiencia.

A mis maestros y a todos de quienes a lo largo de mi vida he aprendido.

Laura Cristina Salamanca Villamarin

Agradecimientos

Toda nuestra gratitud a los docentes Julián Botero y Andrés Rodríguez por su guía, acompañamiento y paciencia. Con su ayuda y formación culminamos este trabajo. Gracias por todo ese tiempo compartido en nuestra formación profesional.

A John Fredy López, Andrés Martínez y Yahir Castañeda por su ayuda, colaboración y trabajo, gracias por compartir su amistad con nosotras y por apoyarnos en cada momento.

A todos los compañeros que apoyaron nuestro trabajo y nos aportaron conocimientos y consejos durante nuestra etapa de estudiantes

Contenido

	Pág.
Introducción	18
1. Objetivos	20
1.1 Objetivo general	20
1.2 Objetivos específicos	20
2. Marco de referencia	21
2.1 Eucalyptus globulus	21
2.2 Nutrientes en el Eucalyptus globulus.....	22
2.3 Macro nutrientes	23
2.3.1 Fósforo (P)	23
2.3.2 Potasio (K)	24
2.3.3 Carbonatos y calizas	25
2.3.4 Nitrógeno (N).....	25
2.3.5 Magnesio, azufre y calcio (Mg, S y Ca)	25
2.4 Fertilización	26
2.5 Tipos de fertilizantes y sus aplicaciones	27
3. Marco conceptual.....	28
3.1 Plantaciones forestales	28
3.2 Nutriente	29

3.3 Fertilización	29
3.4 Disponibilidad de agua	29
3.5 Marco legal	30
4. Diseño Metodológico.....	32
4.1 Localización del proyecto	32
4.2 Actividades del proyecto.....	33
4.3 Análisis de suelos.....	33
4.4 Contenido foliar inicial	34
4.5 Periodo experimental	34
4.6 Determinación del modelo completamente al azar	35
4.7 Tratamientos experimentales	35
4.8 Recolección de muestras para medición de parámetros productivos iniciales	36
4.9 Establecimiento del material vegetal	37
4.10 Variables de reporte	37
4.10.1 Toma de datos	37
4.10.2 Cuantificación de densidad básica	38
4.10.3 Cuantificación de volumen	38
4.10.4 Altura total	39
4.10.5 Diámetro base	39
4.10.6 Diámetro de copa	39
4.10.7 Número de hojas	39
4.10.8 Número de ramas	39
4.11 Aplicación de fungicidas e insecticida.....	39

4.12 Fertilizaciones	40
4.13 Recolección de muestras de tejido vegetal	40
4.14 Eficiencia de nutrientes en cada tratamiento	41
4.15 Extracción final de nutrientes	41
4.16 Análisis estadístico.....	42
5. Resultados y discusión	43
5.1 Análisis de suelos.....	43
5.2 Características físicas suelo	43
5.3 Contenido foliar inicial	44
5.4 Fertilización	45
5.4.1 Determinación de la fertilización.....	45
5.5 Volumen.....	46
5.6 Contenidos foliares iniciales	47
5.7 Parámetros productivos.....	49
5.7.1 Incrementos de diámetros	49
5.7.2 Altura	51
5.7.3 Número de hojas	52
5.7.4 Número de ramas	53
5.8 Extracción de nutrientes.....	53
5.9 Eficiencias agronómicas del N, P y K.	55
6. Conclusiones	58
7. Recomendaciones	59
Referencias Bibliográficas	60

Apéndices..... 65

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Resultado análisis físico-químico de suelos de la finca UIS, Málaga.	43
Tabla 2. Contenidos foliares.	44
Tabla 3. Descripción fertilizantes utilizados.....	45
Tabla 4. Nutriente y fertilizante aplicado por planta cada uno de los tratamientos y para cada tratamiento.	46
Tabla 5. Volumen, densidad básica y contenido de humedad de la madera.....	47
Tabla 6. Prueba Duncan para Volumen de la madera.....	47
Tabla 7. Porcentaje de nutriente absorbido por planta.....	54

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación del predio UIS.	32
Figura 2. Diseño experimental.	36
Figura 3. Contenido foliar de nutrientes N, P, K.	49
Figura 4. Incremento mensual en diámetro base.	50
Figura 5. Incremento mensual en diámetro copa.	50
Figura 6. Incremento de altura mensual.	51
Figura 7. Curva mensual del número de hojas.	52
Figura 8. Curva de número de ramas.	53
Figura 9. Extracción de nutrientes	54
Figura 10. Eficiencia agronómica del nitrógeno.	57
Figura 11. Eficiencia agronómica del fósforo.	57
Figura 12. Eficiencia agronómica del potasio.	58

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Plantas a los dos meses de germinación en vivero	65
Apéndice B. Laboratorio pesaje muestras de contenido foliar inicial	66
Apéndice C. Laboratorio secado muestras de contenido foliar inicial.	67
Apéndice D. Cercado del terreno.....	68
Apéndice E. Limpieza del terreno.	69
Apéndice F. Preparación del terreno.....	70
Apéndice G. Laboratorio de medición de parámetros productivos y pesaje de las plantas antes de la siembra.	71
Apéndice H. Siembra.	72
Apéndice I. Aplicación de fungicida.	73
Apéndice J. Aplicación de insecticida.	74
Apéndice K. Medición de parámetros productivos primer mes.	75
Apéndice L. Medición del parámetro altura segundo mes	76
Apéndice M. Medición del parámetro diámetro segundo mes	77
Apéndice N. Medición de parámetros productivos del tercer mes.	78
Apéndice O. Medición de parámetros productivos cuarto mes.	79
Apéndice P. Pesaje de fertilizantes.	80
Apéndice Q. Preparación de los fertilizantes.....	81

Apéndice R. Aplicación de la primera fertilización.....	82
Apéndice S. Aplicación de la segunda fertilización.	83
Apéndice T. Extracción de plantas para laboratorio final de contenido foliar.	84
Apéndice U. Pesaje de plantas para laboratorio final de contenido foliar.	85
Apéndice V. Envío de muestras al laboratorio de Corpoica para laboratorio final de contenido foliar.	86

Resumen

- TÍTULO:** EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES Y PARÁMETROS PRODUCTIVOS DE *Eucalyptus globulus* BAJO DIFERENTES NIVELES DE FERTILIZACIÓN EN LA ZONA DE VIDA BOSQUE MUY HÚMEDO MONTANO Bmh-M.
- AUTORES:** LAURA CRISTINA SALAMANCA VILLAMARIN Y TATIANA ANDREA ORTIZ CALDERÓN.¹
- PALABRAS CLAVES:** SUELOS, SILVICULTURA, DISEÑO EXPERIMENTAL, PARÁMETROS PRODUCTIVOS.

DESCRIPCIÓN

La etapa de establecimiento es determinante para el desarrollo de una plantación forestal debido a que durante ésta se determina la vitalidad futura de los individuos, por ello, la importancia de una fertilización adecuada que garantice altos parámetros productivos al final de la fase de establecimiento. En el presente estudio se lleva a cabo un diseño de bloques completos al azar basado en una fertilización con 50% y otra con fertilización 100% a partir del análisis de suelos inicial, con el objetivo de determinar la extracción de nutrientes y variables dasométricas durante la etapa de establecimiento de una plantación de *Eucalyptus globulus* establecida en predios de la Universidad industrial de Santander, ubicada en el municipio de Málaga.

La fertilización se realizó con base en un análisis inicial de extracción de nutrientes y la interpretación de análisis de suelos. Los resultados de la extracción de nutrientes final indican que las cantidades de N, P, K, Zn y Mn fueron mayores para el tratamiento +100 y para los elementos Ca, Mg, Na y B las mayores cantidades se encontraron en el tratamiento con fertilización +50. Además se realizó un test de rangos múltiples de Duncan con el software InfoStat, el cual mostró que se presentaban diferencias significativas superiores al 5% entre tratamientos para todos los elementos. La variable dasométrica que presentó diferencia significativa con el test de rangos múltiples de Duncan fue altura de copa y las variables altura total, diámetro base, diámetro copa, número de hojas y número de ramas presentaron diferencias significativas entre los tratamientos fertilizados y el no fertilizado. La eficiencia agronómica para los elementos N, P y K indican que los mayores valores se presentaron en el tratamiento +100.

•Trabajo de grado

••Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia-IPRED. Programa de Ingeniería Forestal. Director: Julián Mauricio Botero Londoño, Zootecnista.

Abstract

TÍTULO: NUTRIENTS EXTRACTION AND PRODUCTIVES PARAMETERS OF THE *Eucalyptus globulus* UNDER DIFFERENT LEVELS OF FERTILIZATION IN THE LIFE ZONE VERY HUMID MONTANE FOREST Bmh-M

AUTHORS: LAURA CRISTINA SALAMANCA VILLAMARIN Y TATIANA ANDREA ORTIZ CALDERÓN.²

KEYWORDS: SOILS, SILVICULTURE, EXPERIMENTAL DESIGN, PRODUCTIVE PARAMETERS.

DESCRIPTION:

The establishment stage is determinant for the development of the forest plantation because during this stage is determined the future vitality of the individuals, the important of a right fertilization that guarantee high productive parameters at the end of the turn. In this study is carrying out a design of complete random blocks based in a fertilization of 50% and a fertilization +100, based in a initial soil analysis, with the objective of determine the extraction of nutrients and dasometrics variables during the stage of establishment of a plantation of *Eucalyptus globulus* establish in properties of the Universidad Industrial de Santander, located in the town of Malaga.

The fertilization has been made on base in a initial analysis of nutrient extraction and the interpretation of a soil analysis. The results of the final nutrients extraction indicate that the quantities of N, P, K, Zn y Mn were higher for the treatment with fertilization +100 and for the elements Ca, Mg, Na and B the higher quantities were found the treatment with fertilization +50. Besides it was done a Duncan multiple range test with the software InfoStat, which show that there were significant differences superior to the 5% between treatments for all the elements. The dasometric variable that presented significant difference with this test was cup height and the variables total height, base diameter, cup diameter, number of sheets, number of branches presented significant differences between the fertilized treatments and the no fertilized treatment. The agronomic efficiency for the elements N, P and K indicate that the higher values were in the treatment with fertilization +100.

•Bachelor Thesis

••Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia-IPRED. Programa de Ingeniería Forestal. Director: Julián Mauricio Botero Londoño, Zootecnista.

Introducción

El incremento de estudios ambientales cuyas finalidades son el aprovechamiento del bosque para fines madereros, de pulpa y biomasa ha conducido a mejorar la protección de bosques nativos y a ampliar el sector forestal, para ello se han implementado plantaciones con el fin de utilizar los productos y subproductos obtenidos del bosque plantado como fuente de combustibles y para la generación de bioenergía (Lisboa & Rubilar, 2012).

Las plantaciones de *Eucalyptus grandis* representan el 90% de la superficie forestada a nivel mundial (MAGyP, 2012). En Colombia, el sector forestal ha venido evolucionando durante las últimas décadas, el género *Eucalyptus* fue introducido en el siglo XX y desde entonces ha aumentado la producción de esta especie. (Restrepo, 2006). Según el DANE, (2014) Colombia cuenta con un área de 599.662 hectáreas forestales según la predominancia del suelo; el departamento de Santander cuenta con una distribución del suelo entre cultivos agrícolas, agropecuarios, y bosques naturales con una extensión de 600.000 hectáreas, y con 30.544 hectáreas dedicadas a las plantaciones forestales con variedad de especies.

Algunos estudios realizados sobre plantaciones de *Eucalyptus grandis* Labill se han enfocado a diferentes temas de producción de volumen maderable, biomasa, regulación entre factores como agua, suelo y nutrientes destacándose la especie como principal fuente de materia prima para la industria y comercialización (Frangi et al., 2016). La producción de biomasa de *E. camaldulensis*, *E. nitens* y *E. globulus* da origen a energía renovable la cual es utilizada de forma sostenible mediante plantaciones forestales manejadas silviculturalmente las cuales son

sometidas a técnicas de rotación, cortas, control de plagas, control fitosanitario y control de arvenses (Esquivel et al., 2016).

En el presente estudio se propone hacer un análisis sobre extracción de nutrientes del *Eucalyptus globulus* durante su etapa de establecimiento y evaluar los diferentes parámetros productivos bajo diferentes niveles de fertilización en el predio de la Universidad industrial de Santander, ubicado en la zona de vida bosque muy húmedo montano, teniendo en cuenta técnicas silviculturales con el fin de obtener datos precisos, mejorar la producción y aumento de biomasa de los árboles desde la etapa de germinación en vivero hasta los cuatro meses de edad en plantación.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Determinar la extracción de nutrientes y los parámetros productivos durante la etapa de establecimiento de una plantación para fines dendroenergetica de *Eucalyptus globulus*, bajo diferentes niveles de fertilización.

1.2 Objetivos específicos

- Cuantificar el crecimiento y desarrollo del *Eucalyptus globulus* en las primeras fases de establecimiento de una plantación comercial.
- Estimar la extracción de nutrientes en el *Eucalyptus globulus* bajo diferentes condiciones de tratamientos de fertilidad.

2. Marco de referencia

2.1 *Eucalyptus globulus*

El género *Eucalyptus* pertenece botánicamente a la familia de las Mirtaceae (Prado & Barros, 1989), de cuyo género se conocen más de 500 especies las cuales son nativas de Australia. Su género se adapta a climas tropicales, subtropicales, templados fríos y precipitaciones invernales y altitudinalmente está presente entre 0 a 3000 msnm, además, es posible encontrar una alta variedad de formas y tamaños entre ellas. De acuerdo con Pérez, et. al (2012) la productividad primaria subterránea neta, la distribución de masa y el contenido mineral subterráneo es influenciado por la edad de la plantación.

Brañas et al., (2000) concluyeron que la cantidades de P, K, Ca y Mg total encontrada en la biomasa aérea de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* a un turno de entre 14 a 18 años son superiores a las cantidades disponibles en el suelo, de allí la importancia de realizar fertilizaciones con base en la extracción de nutrientes de la planta y la interpretación de análisis de suelos que tengan como finalidad la máxima producción de las plantas garantizando una buena estabilidad del suelo. Además, los restos de corta de material como corteza, rama y hojas solo representan un 25% de la biomasa, los cuales acumulan más de la mitad de las cantidades de N, K, Ca y Mg que la plantación absorbe durante el turno. Merino et al., (1998) mostró que la retirada de los residuos forestales junto con preparaciones poco intensas incide negativamente en la fertilidad de los suelos.

El peso seco de las plantas está conformado por algunos elementos principales como lo son el C, H y O los cuales componen entre un 90% y 95% de su totalidad y a la fracción restante se le denomina fracción mineral (Rosso & Gagliardi, 2014). En el manejo forestal se aplican tratamientos los cuales cumplen los requerimientos que las plantas necesiten por medio de la aplicación de fertilizantes y de tratamientos silviculturales para cualquier plantación y su interacción con el suelo. Los *Eucalyptus* son pertenecientes a uno de los géneros más productivos debido a su rápido crecimiento y a su elevado rendimiento es por esto que a través del tiempo se han venido implementando plantaciones de *Eucalyptus* las cuales son mejoradas con la aplicación de técnicas silvícolas, fertilizaciones y procesos de control de plagas, maleza y enfermedades (Frangi et al., 2016) (Pozo, 2005).

2.2 Nutrientes en el *Eucalyptus globulus*

Brañas et al., (2000) estudió la cantidad de biomasa fraccionada para una plantación de *Eucalyptus glóbulus* estudiada en nueve parcelas cuyo diámetro no superaba los 4cm con corteza. El método consistió en tomar muestras al azar, tomar peso en húmedo y tomar peso en seco. Para este estudio las concentraciones de nutrientes de la planta en general se dieron en mayor proporción el C (96.21%), seguido de Ca (1.08%), N (0.93%), K (0.74%), Na (0.60%), Mn (0.23%), Z (0.09%) y Mg (0.12%).

Gonzales et al., (2016) realizó la extracción de elementos nutritivos para el *Eucalyptus globulus* en Soriano, Uruguay a una altitud de 56 msnm, temperatura media anual de 17.3 °C y precipitaciones anuales de 1130 mm, en la cual no se tiene en cuenta el C, se encontró que el

elemento que se encontró en mayor proporción fue el Ca que representa un 56.93%, seguido de N (20,53%), K (16.68%), Mg (5.16%) y P (0.95%).

En España, Rodríguez et al., (2004) realizaron el estudio del efecto de la silvicultura en la extracción de nutrientes para tres especies *Pinus pinaster*, *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* en las cuales no se tuvo en cuenta el C presente. Para el caso del *Eucalyptus globulus* el elemento más representativo fue el N que representa un 40,16%, seguido del Ca (31.79%), K (17.28%, Mg (8,93%) y P (1.84%).

2.3 Macro nutrientes

Los macronutrientes como el N y P son parte estructural de hormonas y ácidos nucleicos al igual que el C, H y O. Además al nivel del suelo, la materia orgánica es de gran importancia ya que esta contiene elevadas cantidades de N. Elementos como N, P, K, Ca y Mg se encuentran disponibles en el tejido de las plantas, cumpliendo funciones fisiológicas y estructurales, cuando hay deficiencias se disminuye el crecimiento y productividad (Pozo, 2005) (Martinez et al., 2009).

2.3.1 Fósforo (P) El P está implicado en el crecimiento de las raíces y la respiración; es parte estructural de ácidos grasos y ácidos nucleicos, ayuda a las plantas a crecer de manera rápida y vigorosa, aumenta la cantidad y calidad de frutas y semillas. Para la aplicación de abonos fosfatados se recomienda que sea diluido en agua, en suelos con bajas concentraciones de P se aplica el abono al voleo y en suelos con altas concentraciones de P se distribuye el abono al voleo y en bandas. Cuando se presentan deficiencias de este elemento en el suelo se recomienda

realizar los respectivos análisis de suelo en donde se determine adecuadamente la textura ya que la aplicación de fertilizantes conformados por este elemento varían dependiendo del tipo de suelo (Pozo, 2005) (Barros et al, 1995).

Según la FAO., (2002) este elemento es importante en el proceso de la fotosíntesis y en la transferencia de energía en la planta, además ayudan al desarrollo de las células, los tejidos y el crecimiento de la planta.

2.3.2 Potasio (K) La aplicación de K en dosis adecuadas genera beneficios a los suelos y las plantas. El K ayuda a favorecer la formación y transporte de hidratos de carbono, mantiene duros los tejidos de las plantas aumentando su resistencia y supervivencia a enfermedades, heladas y sequías (Pozo, 2005). Igualmente está implicado en la apertura y cierre de estomas. Estudios realizados en Uttar Praddesh, India que consistían en confrontar las condiciones del suelo en plantaciones de diferentes edades con suelos de bosques naturales, dieron como resultado el contenido de materia orgánica y de algunos elementos, dentro de los cuales se encontraba el K el cual está más concentrado en bosques naturales que en plantaciones. En el trabajo denominado contribución del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para *Eucalyptus grandis* se evaluó el aporte que las precipitaciones sobre los nutrientes minerales en los años de 1992 y 1993 las presentaron que para el K se presenta un descenso en la cantidad de agua lluvia que traspasa la cubierta vegetal (Carimentrand et al., 2002) (Andrade et al., 1995).

Es correcto afirmar que el K trabaja como agente productor de adenosín trifosfato ATP, en el proceso de la fotosíntesis el cual da como resultado la elaboración de proteínas, almidones y carbohidratos (Martinez et al., 2009).

2.3.3 Carbonatos y calizas El carbonato de calcio es la principal fuente de Ca en los suelos y cuando hay ausencia de estos elementos es muy probable que hablemos de suelos ácidos o en tierras básicas (Pozo, 2005).

2.3.4 Nitrógeno (N) Dentro de los macronutrientes se encuentra principalmente el N ya que es un elemento de gran presencia en la atmosfera, este elemento se puede encontrar de forma orgánica o inorgánica en la cual es absorbida por las plantas. Se puede encontrar en forma de nitrato, amonio y nitrito (Pozo, 2005). El N es el encargado del crecimiento de las plantas generando proteínas. Es además un elemento orgánico que está constituido por hormonas que estimulan el crecimiento y aceleran el metabolismo de las plantas ya que este elemento compone gran parte de las estructuras químicas de las proteínas y los ácidos, además es un componente esencial para la formación de clorofila, la elaboración de fotosíntesis y la regulación de la respiración. Por este motivo se considera que el N está implicado directamente con los principales procesos metabólicos del desarrollo de las plantas (Martínez et al., 2009), (FAO, 2002).

2.3.5 Magnesio, azufre y calcio (Mg, S y Ca) Estos pertenecen a los nutrientes secundarios. En primer lugar está el Mg que es un elemento vital para la síntesis de la clorofila y la coloración verde de las hojas de las plantas, este elemento interviene en el metabolismo del P y en la síntesis de glúcidos, prótidos y grasas ayudando a la recepción de la energía solar y a la transferencia de la misma en la planta. Seguidamente está el S que es un excelente constituyente de proteínas y sulfilipidos. También ayuda a la fabricación de clorofila y por último el Ca que ayuda al crecimiento radicular y reduce la acidez en los suelos (Pozo, 2005) (FAO, 2002).

2.4 Fertilización

Para plantaciones de *Eucalyptus* se conocen tres tipos de fertilización cuando los arboles están en pie, el primero de estos es la fertilización inicial, el segundo la fertilización a mediana edad y finaliza con la fertilización de post-aprovechamiento. Para la aplicación de algún método de fertilización es necesario tener el conocimiento nutricional de la planta y del suelo (Pozo, 2005). Según Perea et al, (2005) en un trabajo realizado en el Desierto de los Leones y el Parque Nacional Zoquipan en México, en el cual se hicieron estudios en suelos de tres procedencias los cuales presentaban variedad en los contenidos de materia orgánica y diferentes combinaciones de fertilizantes minerales en plantas de *Eucalyptus camaldulensis*, estos estudios indicaron que en cuatro diferentes combinaciones de fertilización en suelos con gran cantidad de materia orgánica dieron una excelente producción de biomasa, contenidos foliares y densidad de raíces.

El suelo no tiene la capacidad de abastecer totalmente elementos nutritivos necesarios para el buen desarrollo de las plantas, su producción, crecimiento y reproducción. Por esto es conveniente realizar trabajos de fertilización a las plantaciones de *Eucalyptus sp.* Para que se presente una buena producción y un excelente rendimiento en las plantaciones se necesita que exista una combinación de factores como el clima, el suelo, el agua, las diferentes características que presentan las plantas y sus estados nutricionales. Para la aplicación de fertilizantes se debe tener el conocimiento de los requerimientos nutricionales de las plantas, principalmente durante los primeros meses de crecimiento. La exigencia de macroelementos va evolucionando a medida que las plantas crecen y se desarrollan, de esta manera va intercambiando tallo y ramas por grandes volúmenes de madera (Aparicio et al., 2001) (Suarez et al., 1999).

2.5 Tipos de fertilizantes y sus aplicaciones

Los fertilizantes suministran nutrientes esenciales a las plantas y desarrollan su calidad, estos también mejoran la fertilidad de los suelos que han sido aprovechados en exceso. Los fertilizantes orgánicos son la base de los fertilizantes minerales debido a que la materia orgánica mejora las características del suelo y los fertilizantes brindan nutrientes (FAO, 2002). La aplicación de fertilizantes en el *Eucalyptus* ha tenido buenos resultados, los cuales se contemplan en alturas, áreas basales y foliares, volúmenes y biomásas. Esta es una de las especies que luchan por obtener sol, agua y nutrición para realizar su desarrollo de forma eficiente (Uribe, 2005).

En plantas de *Eucalyptus grandis* con requerimientos en N se utilizan el sulfato de amonio y la urea bajo diferentes dosis de fertilización y en pH bajos se recomienda el uso de nitratos mediante el amonio (Pozo, 2005). Para la aplicación de fertilizantes se debe tener el conocimiento sobre los requerimientos que presentan los árboles y los elementos nutricionales que el suelo le puede ofrecer, por esto se recomienda realizar una primer fertilización en el momento de la siembra de la plantación y las siguientes fertilizaciones se pueden realizar a lo largo del ciclo de vida del árbol antes de que se cierren las copas (Aparicio et al., 2001).

En cultivos de Eucalipto se deben realizar fertilizaciones que eviten la muerte apical ya que esta es muy frecuente en *Eucalyptus camaldulensis* y que después de aplicados los nutrientes en el suelo se empiezan a notar síntomas como disminución de crecimiento y lignificación de vasos apicales (Oliva et al., 1995). En el trabajo denominado fertilización, tipos de suelo y hongos micorrízicos y endófitos radicales asociados al eucalipto, Terra Latinoamericana se menciona

como se evaluó la influencia de diferentes tipos de fertilización en suelos con plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis* las cuales dieron como resultado el crecimiento óptimo de las plantas y el incremento de materia orgánica cuando no se hicieron fertilizaciones minerales (Perea et al., 2005).

3. Marco conceptual

3.1 Plantaciones forestales

Las plantaciones forestales han ido aumentando tanto que la superficie total de plantaciones en el mundo alcanza entre 120 y 140 millones de hectáreas y en los últimos años se ha duplicado el número de plantación en comparación con los años 70's – 80' (Ruiz et al., 2006).

Martínez et al., (2009), aseguran que las especies nativas tienen un rendimiento de 5 a 10m³/ha/año en turnos de 15-20 años, y con especies como *Eucalyptus* los crecimientos serían de 30-50m³/ha/año con turnos de 7-10 años. Las plantaciones forestales se han utilizado para sustituir pastizales y algunos bosques teniendo en cuenta que estas causan cambios en los suelos, la vegetación, el agua y los microclimas de la zona, estas alteraciones pueden traer consecuencias beneficiosas tanto para la plantación como para cada uno de los factores mencionados anteriormente (Frangi et al., 2016).

En Argentina las plantaciones de *Eucalyptus* han sido expuestas a técnicas silviculturales las cuales han sido implementadas en abundancia y arrojan como resultado algunas mejoras en cantidad y rendimiento en biomasa y nutrientes, por este motivo se han realizado estudios en este

país con el fin de apreciar los requerimientos y la movilidad de los nutrientes en las raíces de plantaciones de *Eucalyptus grandis* (Pérez et al., 2012).

3.2 Nutriente

La disponibilidad de nutrientes se realiza a través de la descomposición de residuos orgánicos es por esto que se deben utilizar los residuos de las cortas y las podas para aplicarlos al suelo con el fin de conservar y mantener el buen estado de la planta (Brañas et al., 2000). El manejo nutricional del suelo depende de los elementos y el agua que contenga, además, el almacenamiento mineral del suelo puede permanecer un tiempo indeterminado y puede aumentar con el establecimiento de raleos, podas, control de malezas y fertilizaciones las cuales van a portar beneficios a largo plazo en la producción y crecimiento de las plantas (Pozo., 2005).

3.3 Fertilización

La mayoría de los suelos requieren de algunos elementos químicos para su buena producción es por esto que se aplican fertilizantes con diferentes contenidos nutricionales los cuales permiten mejorar las características físicas y químicas de los suelos, la aplicación de estos permite aumentar los volúmenes de madera a producir, mejorar la vitalidad y crecimiento de la planta (Larocca et al., 2004).

3.4 Disponibilidad de agua

Es la capacidad y disponibilidad que presenta el suelo para conservar agua, esto depende de la capacidad de infiltración, permeabilidad y el tamaño de los poros que tengan las partículas del suelo, las lluvias juegan un papel importante en este proceso debido a que estas perjudican directamente a las plantaciones, es decir al aumentar la necesidad de obtención agua, aumenta el requerimiento de luz y reduce la evaporación (Pozo, 2005). La aplicación de técnicas silvícolas, de fertilizaciones adecuadas, el control de malezas es una buena opción para que la planta tenga una disminución en competencia por la obtención de agua, luz y nutrientes (Rio et al., 1997).

3.5 Marco legal

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

Título 1: Fundamentos de la política ambiental colombiana.

Artículo 1: Principios generales ambientales.

- **Ley 139 de 1994**, Por la cual se crea el Certificado de Incentivo Forestal y se dictan otras disposiciones.

Artículo 6: Administración de los recursos.

- **Ley 1286 de 2009**, Por la cual se modifica la Ley 29 de 1990, se transforma a Colciencias en Departamento Administrativo, se fortalece el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Colombia y se dictan otras disposiciones.

Artículo 1: Objetivo general

Artículo 2: Objetivos específicos

Artículo 3: Bases para la consolidación de una política de estado en ciencia, tecnología e innovación.

- **Decreto 1076 de 2015**, Por la cual se modifica la Ley 29 de 1990, se transforma a Colciencias en Departamento Administrativo, se fortalece el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Colombia y se dictan otras disposiciones.

Título 2: Biodiversidad

Capítulo 1: Flora silvestre

Sección 8 De los permisos de estudio

Sección 12: De las plantaciones forestales

- **Ley 1753 de 2015**, Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por un nuevo país

Artículo 249: Programa nacional de reconversión pecuaria sostenible.

4. Diseño Metodológico

4.1 Localización del proyecto

La germinación de las semillas tuvo una duración de 90 días y se realizó en un vivero transitorio ubicado en la vereda lavadero, en la finca Los Sitios la cual presenta unas coordenadas de $6^{\circ}41'39.32''N$ y $72^{\circ}44'29.30''W$ y una altitud de 2417msnm.

El proceso experimental se ejecutó en la finca de la Universidad Industrial de Santander ubicada en la vereda Pescaderito del municipio de Málaga como se muestra en la figura 1.

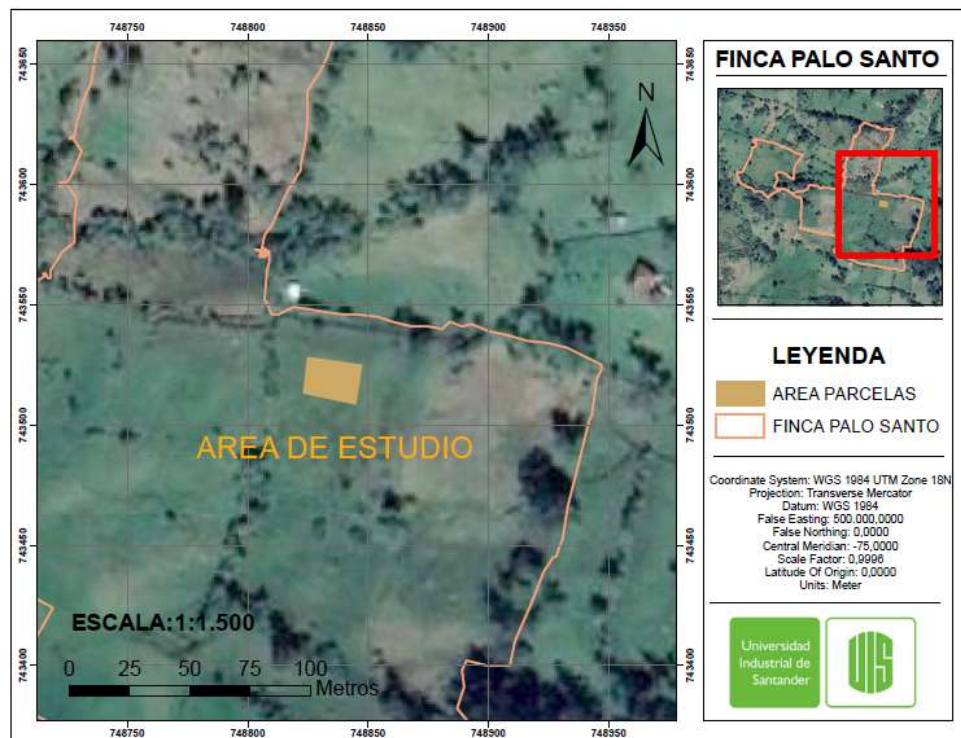


Figura 1. Ubicación del predio UIS.

4.2 Actividades del proyecto

- Determinación del área del proyecto.
- Establecimiento de la plantación.
- Análisis de contenido foliar inicial.
- Análisis de suelos.
- Determinación del diseño completamente al azar.
- Determinación de tratamientos.
- Fertilización.
- Medición de variables.
- Recolección de muestras de tejido vegetal en cada uno de los tratamientos.
- Análisis estadístico.

4.3 Análisis de suelos

Se tomaron muestras de suelo con un barreno de 6 puntos diferentes al azar a una profundidad de entre 20cm y 40cm, mezclando y formando una sola muestra. Esta muestra se llevó al laboratorio químico de suelos de la Universidad Industrial de Santander, allí se realizó la determinación de potencial de H (pH), C, P, Ca, Mg, Na, K y la textura, con sus respectivos porcentajes.

Los métodos utilizados fueron:

pH: Electrométrico: Relación 1:1 Agua destilada

% C: Colorimétrico: Walkley Black $K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$

P: Colorimétrico: Bray II. HCl 0,1 N-NH₄F 0,03 N

Ca, Mg, K, Na: Absorción Atómica; Extracción: Acetato de Amonio.

% Textura: Amonio.

4.4 Contenido foliar inicial

Para determinar el contenido foliar inicial se tomaron 2 plantas de un cultivo de *Eucalyptus globulus* previamente establecido en la zona las cuales fueron cortadas con machete, además se le realizó un laboratorio de medición de parámetros productivos y producción de biomasa en el laboratorio de química de la Universidad industrial de Santander sede Málaga, posteriormente fue enviada al laboratorio del Instituto Técnico Agustín Codazzi y se les realizó un análisis de tejido vegetal. Se tuvieron en cuenta para este: Elementos primarios N, P y K, elementos secundarios Ca y Mg y elementos inferiores Cu, Zn, Mn y Na.

Los métodos utilizados fueron:

Digestión vía húmeda cerrada en horno microondas Cuantificación

P: por espectrofotometría.

Ca, Mg, K, Mg, Zinc, Cu: Método por absorción y emisión atómica.

B: colorimétrica con Azometina H

N: por Kjeldahl y titulación potenciométrica/analizador elemental.

4.5 Periodo experimental

El periodo experimental tuvo una duración de ocho meses, de los cuales 12 semanas fueron para la etapa de germinación y vivero de los individuos, un mes extracción de muestras para el análisis de extracción de nutrientes, cuatro meses para toma de datos y medición de variables y un mes para análisis de datos y laboratorio.

4.6 Determinación del modelo completamente al azar.

Este es un diseño completamente al azar, el cual se basa en un análisis de varianza compuesto por cada uno de los tratamientos, réplicas y submuestreo realizado en la etapa práctica en campo.

Para la implementación de este modelo se le asignaron unidades experimentales a cada uno de los tratamientos, se utilizaron tres tratamientos y a cada uno de ellos se les realizaron cuatro réplicas las cuales fueron establecidas al azar. De igual manera a cada una de las réplicas se les aplicaron cinco submuestras al azar para la recopilación y toma de datos quincenales.

4.7 Tratamientos experimentales

Se trabajaron tres tratamientos con base en los contenidos foliares iniciales y en el análisis de suelos, se determinaron los diferentes niveles de fertilización, así:

1. Tratamiento sin fertilización o control
2. Extracción inicial +50%
3. Extracción inicial +100%

Para el diseño experimental se empleó un diseño de bloques completos al azar utilizando unidades experimentales de 5m x 5m para un área de 25 m² cada uno. Los individuos fueron

sembrados cada metro, para un total de 25 plantas sembradas por unidad experimental. El diseño constó de cuatro bloques con tres tratamientos cada uno, para un total de 12 unidades experimentales y a cada tratamiento se le realizaron cuatro repeticiones.

SIN FERTILIZACIÓN REPETICIÓN 1	FERTILIZACIÓN +100 REPETICIÓN 2	SIN FERTILIZACIÓN REPETICIÓN 3	FERTILIZACIÓN +50 REPETICIÓN 4
FERTILIZACIÓN +100 REPETICIÓN 1	FERTILIZACIÓN +50 REPETICIÓN 2	FERTILIZACIÓN +100 REPETICIÓN 3	FERTILIZACIÓN +100 REPETICIÓN 4
FERTILIZACIÓN +50 REPETICIÓN 1	SIN FERTILIZACIÓN REPETICIÓN 2	FERTILIZACIÓN +50 REPETICIÓN 3	SIN FERTILIZACIÓN REPETICIÓN 4

Figura 2. Diseño experimental.

4.8 Recolección de muestras para medición de parámetros productivos iniciales

Se tomaron 30 plantas para la realización del laboratorio de pesaje, medición de variables de reporte y secado de las muestras para lo cual se utilizaron calibradores, cintas métricas, metros, balanza analítica y hornos de secado, posteriormente se realizó la siembra de las plantas restantes de *Eucalyptus globulus* en el predio designado para la realización del proyecto.

4.9 Establecimiento del material vegetal

Se realizó la compra de semillas certificadas, se germinaron en germinadores en un vivero transitorio durante 3 meses, además se realizó la limpieza total del terreno con pica y azadón y se hicieron cunetas para dar un mejor manejo a la escorrentía, se desarrolló el ahoyado con paladragas y barrenos. Se sembraron individuos de tres meses de edad los cuales presentaban características homogéneas, la densidad de siembra fue de 1m*1m. En total se realizó la siembra de 300 individuos.

4.10 Variables de reporte

- Cuantificación de volumen.
- Diámetro base.
- Diámetro de copa.
- Altura total.
- Número de hojas.
- Número de ramas.

4.10.1 Toma de datos. La toma de datos se realizó quincenalmente a partir del día de la siembra, las mediciones se realizaron durante cuatro meses, se utilizaron herramientas como calibrador, regla métrica, cinta métrica, balanzas y hornos de secado, libreta de apuntes y planillas de mediciones.

4.10.2 Cuantificación de densidad básica. Los cálculos para la densidad básica se realizaron con los resultados obtenidos del pesaje de muestras húmedas, muestras secas y el secado de las mismas en un horno, este procedimiento fue desarrollado en el laboratorio de química de la Universidad industrial de Santander. Las medidas para el volumen se ejecutaron por medición directa con un calibrador. Se realizó de acuerdo a la formula desarrollada por Libby en el año 1969.

$$Db = \frac{P_{seco}}{V_{verde}}$$

Db= Densidad Básica

Pseco= Peso seco

Vverde= Volumen Verde

4.10.3 Cuantificación de volumen. Se tomaron tres ejemplares de cada tratamiento, los cuales fueron llevados al laboratorio de química de la Universidad industrial de Santander y se les determinaron variables de crecimiento: altura total, diámetro base y diámetro copa, variables para la determinación del volumen: diámetro en la sección mayor, diámetro en la sección media y diámetro en la sección menor de cada uno de las plantas, peso húmedo, peso seco, densidad básica y contenido de humedad tomado de cada una de las muestras de cada tratamiento.

Para realizar la cuantificación de volumen se utilizó la fórmula desarrollada por Newton que divide el árbol en tres secciones.

$$Vn = \frac{1}{6} (S1 + 4Sm + S2)$$

Dónde:

Vn= Volumen según Newton

S1= Sección transversal mayor

Sm= Sección transversal media

S2= Sección transversal menor

4.10.4 Altura total La medición de la altura se realizó con una cinta métrica y un metro, cada 15 días.

4.10.5 Diámetro base La medición del diámetro de la base se desarrolló con un calibrador y se desarrolló cada 15 días.

4.10.6 Diámetro de copa La medición del diámetro de la copa se realizó con un calibrador y se desarrolló cada 15 días.

4.10.7 Número de hojas Se realizó el conteo de las hojas totales de cada planta cada 15 días.

4.10.8 Número de ramas Se realizó el conteo de las ramas totales de cada planta cada 15 días.

4.11 Aplicación de fungicidas e insecticida

Se aplicaron herbicidas e insecticidas quincenalmente a partir de la aparición de síntomas, su dosificación fue 5ml por litro. El insecticida que se utilizó fue karate 120ml y fungicida nativo *120ml y se aplicó con una fumigadora con capacidad de 20lt.

4.12 Fertilizaciones

Se realizaron dos aplicaciones de fertilizantes teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el análisis de suelos y el análisis de tejido vegetal realizados al inicio del proyecto, tiempo antes de la siembra.

La primera fertilización se aplicó al mes de sembradas las plantas en campo en el cual se utilizaron fertilizantes químicos como urea, DAP (Fosfato de Amonio Dibásico) y KCl (Cloruro potásico- cloruro de potasio), con diferentes concentraciones para cada tratamiento.

- Tratamiento sin fertilización
- Tratamiento con fertilización +50: Se calculó la cantidad de fertilizante requerida para este tratamiento en gramos por planta y en gramos por tratamiento. Se aplicó urea 20.351g por planta para un total de 2035.122g por tratamiento, DAP 15.572g por planta para un total de 1557.203g por tratamiento y KCl 37.503g por planta para un total de 3750.326g por tratamiento.
- Tratamiento con fertilización +100: Se calculó la cantidad de fertilizante de urea, DAP y KCl requerida para este tratamiento en gramos por planta y en gramos por tratamiento. Se aplicó urea 24.773 por planta para un total de 2477.267 por tratamiento, DAP 31.304g por planta para un total de 3130.417g por tratamiento y KCl 55.724g por planta para un total de 5572.435g por tratamiento.

La segunda fertilización se realizó al segundo mes de establecida la plantación y se aplicaron las mismas dosis aplicadas en la primera fertilización.

4.13 Recolección de muestras de tejido vegetal

Se tomaron seis plantas por unidad experimental, para un total de 24 plantas por tratamiento y 72 plantas en total. Se realizó un laboratorio de medición de variables y pesaje de las muestras en el laboratorio de química de la Universidad industrial de Santander y luego se realizó la el análisis de contenido foliar de las plantas por medio de un análisis de tejido vegetal completo para cada tratamiento, este se realizó en el laboratorio de química de suelos, aguas y plantas en la Corporación colombiana de investigación agropecuaria, ubicado en el centro de investigación Tibaitata.

4.14 Eficiencia de nutrientes en cada tratamiento

Se hallaron índices de eficiencia de nutrientes con base en la metodología de Dobermann 2007.

$$\text{Eficiencia agronómica (EA)} = (RT_f - RT_t) / (NT_a)$$

Dónde:

RT_f = g de MS producidos en el tratamiento con fertilización.

RT_t = g de MS producidos en el tratamiento sin fertilización.

NT_a = g del nutriente aplicado en la fertilización.

4.15 Extracción final de nutrientes

Se halló la extracción de nutrientes en porcentaje con base a los resultados obtenidos en el laboratorio de análisis de tejido vegetal y al peso promedio obtenido de las plantas extraídas para laboratorio de biomasa.

4.16 Análisis estadístico

Este análisis incluye las relaciones de crecimiento para cada uno de los tratamientos y sus respectivas repeticiones. Las relaciones que se hicieron fueron de volumen, altura total, altura de copa, diámetro base, diámetro copa, número de hojas, número de ramas, relación de cada uno de los elementos aplicados en las fertilizaciones y los datos obtenidos del laboratorio de análisis de tejido vegetal, índices de eficiencia y extracción de nutrientes.

Los registros de las variables analizadas fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA) en el software estadístico InfoStat, el cual fue desarrollado por el grupo InfoStat, compuesto por los profesores Julio A. Di Rienzo, Mónica G. Balzarini, Fernando Casanoves, Laura A. González, Elena M. Tablada, Carlos W. Robledo.

Los cálculos se realizaron en este software teniendo en cuenta su fácil y rápido procesamiento de datos estadísticos y el diseño de experimentos.

Cuando hubieron diferencias ($P < 0.05$) se utilizó el test de rangos múltiples de Duncan para la separación de medias (Steel y Torrie, 1992) incluido en InfoStat. El test de rangos múltiples de Duncan permite comparar las medias de los niveles de un factor después de haber rechazado la hipótesis nula de igualdad de medias mediante la técnica ANOVA.

5. Resultados y discusión

5.1 Análisis de suelos

El suelo en profundidad de 20cm presenta un pH muy fuertemente ácido y en profundidad de 20 a 40cm un pH ácido lo que lo hace adecuado para cultivos de este tipo. De acuerdo a INFORCORFO (1986), las texturas de tipo franco y arcilloso generan restricción en el desarrollo radicular. Además se evidencian bajas concentraciones de P, Mg Y Na, Altas concentraciones de Ca, y concentraciones normales de %C, y K.

Tabla 1.

Resultado análisis físico-químico de suelos de la finca UIS, Málaga.

	pH	%C	ppm						% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura
			P	Ca	Mg	Na	K	Al				
0-20	5,4	4,22	11,9	20,6	0,3	0,05	0,34	N.D	36	28	36	Franco - Arcillosa
20-40	6,1	2,43	23,1	19,8	0,22	0,06	0,24	N.D	30	20	50	Arcilloso

5.2 Características físicas suelo

Dentro de las características físicas del suelo encontramos la densidad, porosidad, textura, humedad y la profundidad, las cuales son de gran importancia para el establecimiento de cultivos y plantaciones, la textura del suelo puede ser influenciada por materia orgánica lo cual se ve

reflejado en la porosidad. El *Eucaplytus globulus* tolera suelos con un pH ácido y a niveles de nutrientes muy bajos (Pozo, 2005).

$$\text{Densidad aparente} = 0.6508 \text{ g / cm}^3$$

$$\text{Densidad real} = 1.3738 \text{ g / cm}^3$$

$$\text{Porosidad} = 52.6277\%$$

$$\text{Porcentaje humedad} = 62.95\%$$

5.3 Contenido foliar inicial

De acuerdo con Karla, Y.P, (1998) una planta bajo condiciones normales presenta los siguientes valores: N (2.5% - 4.5%), K (1.5% - 5.5%), Ca (1% - 4%), Mn (0.25% - 1%), B (10ppm - 200ppm), Cu (5ppm - 30ppm), Mg (20ppm - 300ppm) y zinc (27ppm - 100ppm). Con base en esto la muestra presenta deficiencia en cuanto a Ca, Mg, K, N y Zn, exceso de Mn y concentraciones normales de Cu y B.

Tabla 2.

Contenidos foliares.

%						PPM (mg/kg)				
Ca	Mg	K	P	N	Na	Mn	Zn	Cu	B	
0.0894	0.087	0.496	0.055	1.117	0.081	562.58	16.66	23.08	61.25	

5.4 Fertilización

En este proyecto se utilizaron fertilizantes minerales con alta cantidad de elementos primarios N, K, P. A continuación se detallan los fertilizantes utilizados

Tabla 3.

Descripción fertilizantes utilizados.

	ELEMENTOS	CANTIDAD (%)	FÓRMULA QUÍMICA
UREA (Aminometanamida)	N	46	CO(NH ₂) ₂
DAP (Fosfato de Amonio Dibásico)	P ₂ O ₅	46	(NH ₄) ₂ HPO ₄
	N	18	
KCl (Cloruro potásico-cloruro de potasio)	K ₂ O	60	KCl

Nota. Tomado de: Fertilizantes aplicados en el proyecto con sus respectivas composiciones. Adaptado de Mezcla de fertilizantes en la finca, una buena opción para el caficultor, disponible en: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/363/1/avt0362.pdf>

5.4.1 Determinación de la fertilización Para esta determinación se elaboró el plan de fertilización para tres tratamientos denominados: tratamiento sin fertilización, tratamiento con fertilización +50 y tratamiento con fertilización +100, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4. *Nutriente y fertilizante aplicado por planta cada uno de los tratamientos y para cada tratamiento.*

Tratamientos	Gramos de nutriente aplicado por planta				Gramos de fertilizante aplicado por planta			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	g nutrientes	Urea	DAP	KCl	g fertilizante
Fertilización +50	12.16	7.16	22.50	41.83	20.35	15.57	37.50	73.43
Fertilización +100	17.03	14.40	33.44	64.87	24.77	31.30	55.72	111.80

Tratamientos	Gramos de nutriente aplicado para cada tratamiento				Gramos de fertilizante aplicado para cada tratamiento			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	g nutrientes	Urea	DAP	KCl	g fertilizante
Fertilización +50	1216.45	716.31	2250.19	4182.96	2035.12	1557.20	3750.33	7342.65
Fertilización+100	1703.02	1439.99	3343.46	6486.47	2477.27	3130.42	5572.44	11180.12

5.5 Volumen

El volumen obtenido en el tratamiento con fertilización +50 obtuvo 1.64 veces más volumen que el tratamiento sin fertilización, a su vez el tratamiento con fertilización +100 obtuvo 1.41 veces más volumen que el tratamiento con fertilización +50, al igual que 2.31 veces más volumen que el tratamiento sin fertilización. La densidad básica obtuvo mayor valor para el tratamiento con fertilización +50 que para el tratamiento con fertilización +100.

Los contenidos realizados con diferencias estadísticas ($P < 0.05$) mostraron que el volumen obtenido en cada tratamiento presentaron diferencias entre ellos.

Tabla 5.

Volumen, densidad básica y contenido de humedad de la madera

	Sin fertilización	Fertilización + 50	Fertilización + 100
Volumen cm ³	0.0981	0.161	0.227
Densidad Básica	10.4232	11.138	10.3957
Contenido de humedad	74.6079	77.2807	76.7028

El volumen medio de los tratamientos, presenta diferencias significativas entre todos los tratamientos. Siendo el tratamiento significativamente con más volumen el tratamiento con fertilización +100, y el de menor volumen el tratamiento sin fertilización.

Tabla 6.

Prueba Duncan para Volumen de la madera.

VOLUMEN (cm ³)	
TRATAMIENTO	MEDIA
TA	0.10 ^a
TB	0.16 ^b
TC	0.23 ^c

5.6 Contenidos foliares iniciales

Se observó que el N fue el elemento que presentó un mayor porcentaje de concentración frente a P y K para todos los tratamientos. Los valores son mayores a los obtenidos en plantaciones de *Eucalyptus globulus* por Brañas et al, (2000) quien mostró un valor de 1.08%, a

su vez los valores son inferiores a los dados por Balboa et al, (2013) quien registro un valor de 6.6%.

El P presentó valores superiores en el tratamiento con fertilización + 100, con relación a los otros tratamientos, igualmente el tratamiento sin fertilización presentó un valor inferior frente a los demás tratamientos. Con Base en Rodríguez et al, (2004) quien en su estudio registro valores entre 0.7% y 1.7% y Balboa et al, (2013) muestra un valor de 1.19% se determina que los tres tratamientos registraron valores inferiores siendo el tratamiento con valor más cercano el tratamiento con fertilización + 100 con un valor de 0.59%.

El K evidenció que entre el tratamiento con fertilización + 50 presentó valores inferiores con relación a los demás tratamientos. Los valores de K registrados en plantaciones de *Eucalyptus globulus* varían en gran medida, en comparación Brañas et al, (2000) que muestra valores de 0.74% todos los tratamientos presentan valores superiores siendo el mínimo valor 1.91% obtenido en el tratamiento con fertilización + 50, por otro lado Rodríguez et al, (2004) muestra un valor de 5.7% para el K y Balboa et al, (2013) registra 2.56% ambos valores superiores a los obtenidos en los tres tratamientos siendo el valor más alto obtenido 2.20% en el tratamiento con fertilización + 100.

Es importante destacar que para los elementos N, P y K, los valores de concentración estaban por encima de los niveles mostrados por Rosso & Gagliardi, (2014).

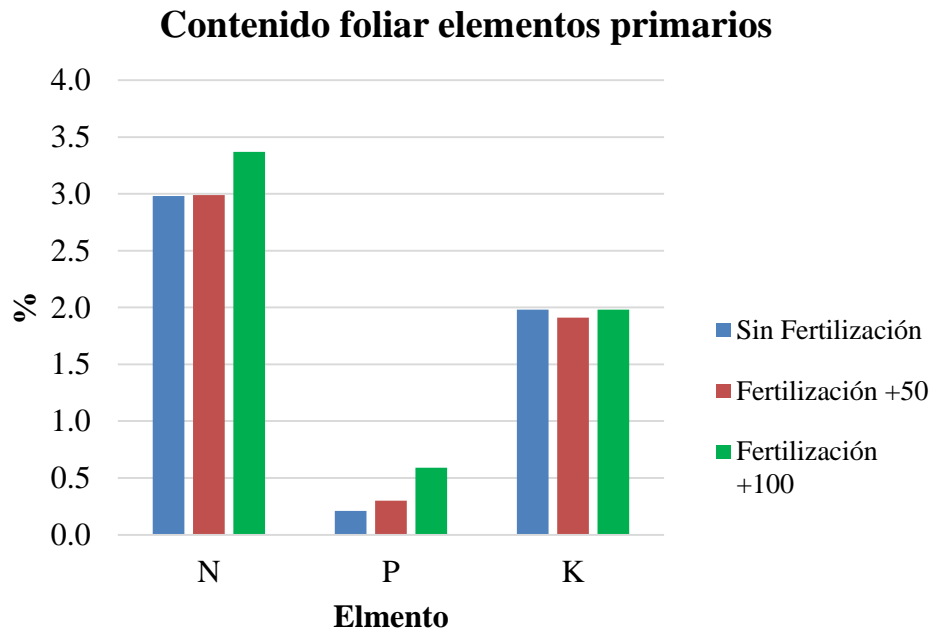


Figura 3. Contenido foliar de nutrientes N, P, K.

5.7 Parámetros productivos

5.7.1 Incrementos de diámetros Los valores diamétricos durante el tiempo de muestreo mostraron que el tratamiento con fertilización +100 presentó los valores más altos en comparación con los otros tratamientos, es importante resaltar que la diferencia entre estos los tratamientos con fertilización +50 y con fertilización +50 en los promedios mensuales nunca excedió las 3 unidades de diferencia. Estas variables presentaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) en el tratamiento sin fertilización frente a los tratamientos con fertilización +50 y con fertilización +100 y no se evidenciaron diferencias entre los tratamientos con fertilización +50 y con fertilización +100. En el mes uno se presentó los menores incrementos diamétricos para el diámetro base y el diámetro copa y el mes cuatro se presentaron los mayores incrementos

diamétricos para el diámetro base y el diámetro copa para los tres tratamientos debido al buen crecimiento de la plantación como se observa en la figura 4 y 5.

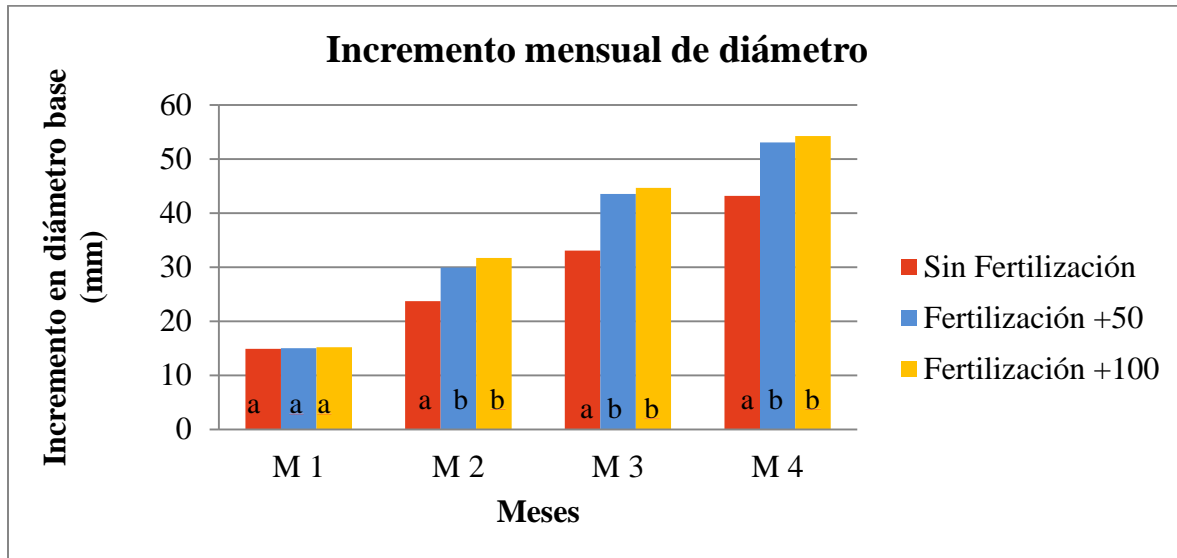


Figura 4. Incremento mensual en diámetro base.

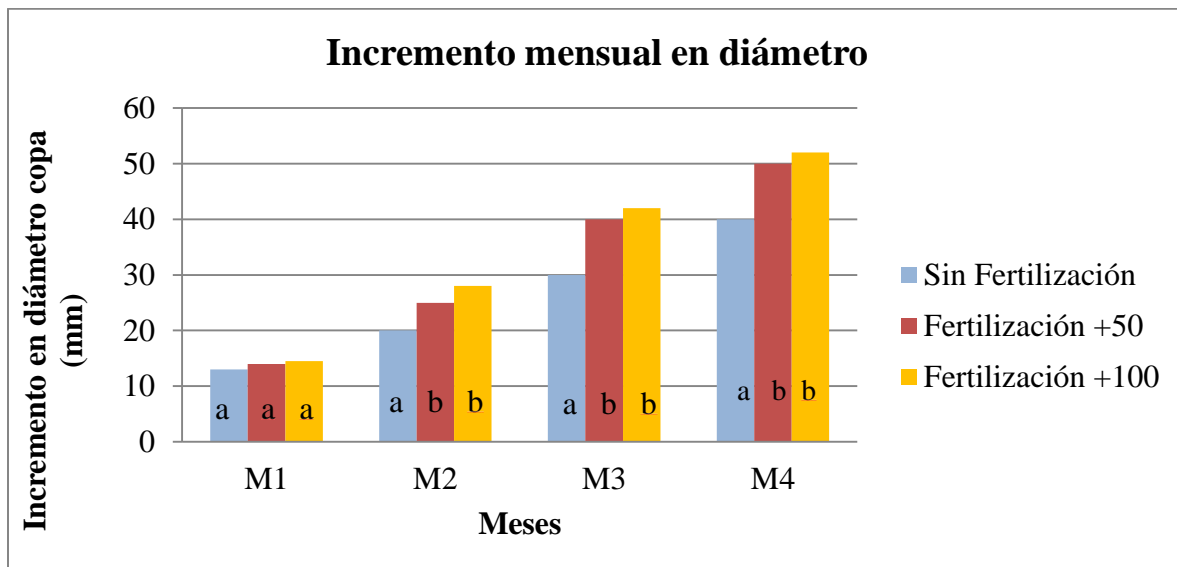


Figura 5. Incremento mensual en diámetro copa.

5.7.2 Altura: Los contenidos mostraron que el tratamiento sin fertilización evidenció valores inferiores y el tratamiento con fertilización +100 presentó valores superiores en comparación con los otros tratamientos. Estas variables presentaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) en el tratamiento sin fertilización frente a los tratamientos con fertilización +50 y con fertilización +100, además no se evidenciaron diferencias entre los tratamientos con fertilización +50 y con fertilización +100.

En el mes uno se presentaron las menores alturas con una diferencia de 0.11cm entre el tratamiento sin fertilización y el tratamiento con fertilización +50, una diferencia de 0.18cm entre el tratamiento con fertilización +50 y tratamiento con fertilización +100, además el mes cuatro se presentaron las mayores alturas para los tres tratamientos con una diferencia de 1.15cm entre el tratamiento con fertilización +50 y tratamiento con fertilización +100.

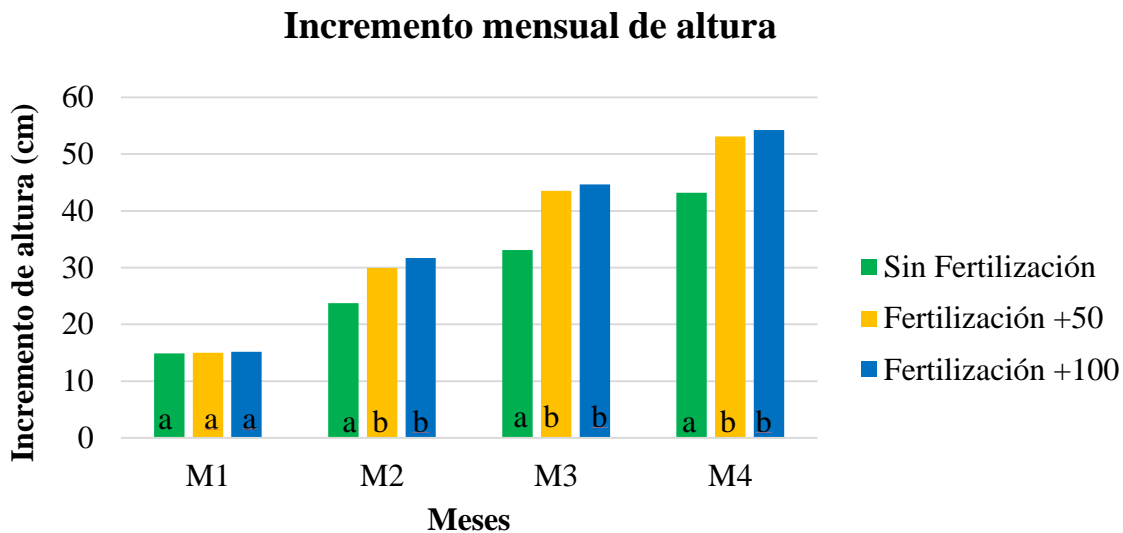


Figura 6. Incremento de altura mensual

5.7.3 Número de hojas El número de hojas presentó siempre una tendencia creciente para todos los tratamientos. Sin embargo desde el mes uno hasta el mes cuatro el tratamiento con fertilización +100 tuvo la mayor cantidad de hojas, seguido del tratamiento con fertilización +50 y finalizando con el tratamiento sin fertilización. La diferencia máxima se dio en el mes cuatro y fue de ocho hojas.

La variable número de hojas presentó diferencias estadísticas ($P < 0.05$) mostrando que en el mes uno el tratamiento con fertilización +50 presentó diferencias con relación a los demás tratamientos y los tratamientos sin fertilización y con fertilización +100 no mostraron diferencias estadísticas, continuando con el mes dos, el mes tres y el mes cuatro se observó que el tratamiento sin fertilización presentó diferencias con relación a los demás tratamientos y los tratamientos con fertilización +50 y con fertilización +100 no mostraron diferencias estadísticas.

Esto concuerda con Pozo, (2005), que estimaron que no se obtuvieron diferencias significativas en cuanto a las variables dasométricas: incrementos diamétricos y alturas para los tratamientos diferentes dosis de fertilización.

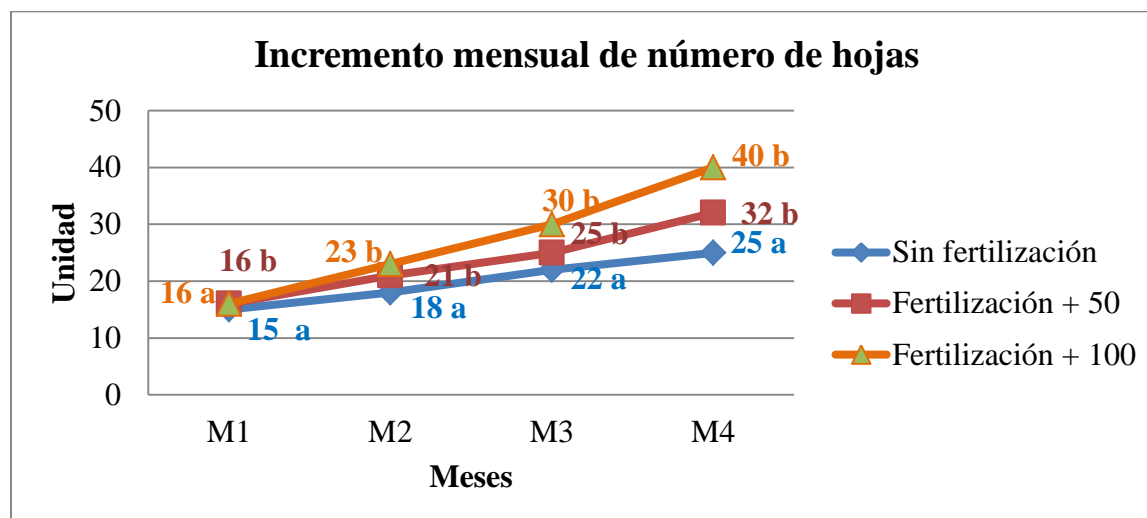


Figura 7. Curva mensual del número de hojas

5.7.4 Número de ramas Debido a la edad de los individuos durante el mes uno no se había dado el desarrollo de ramas, a partir del desarrolló de estas en el mes dos el incremento de ramas se dio en mayor proporción para los tratamientos con fertilización +100 y con fertilización +50 respectivamente. Cuyos valores presentaron una diferencia máxima de dos ramas entre estos.

En el mes dos no se observaron ramas en las plantas y a partir del mes dos la variable número de ramas presentó diferencias estadísticas ($P < 0.05$) mostrando que en el mes dos, el mes tres y el mes cuatro el tratamiento sin fertilización presentó diferencias con relación a los otros tratamientos y los tratamientos con fertilización +50 y con fertilización +100 no mostraron diferencias estadísticas.

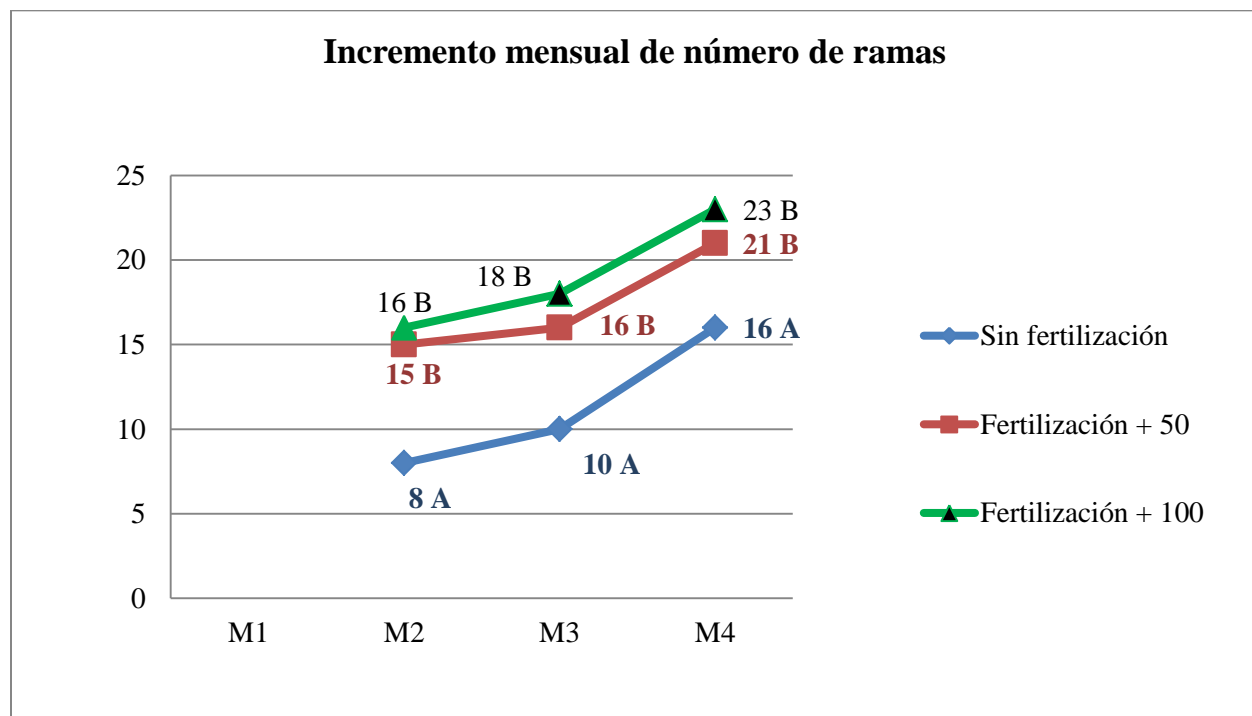


Figura 8. Curva de número de ramas.

5.8 Extracción de nutrientes

La extracción relaciona los contenidos foliares de los elementos primarios y la producción de biomasa, con base en esto se obtuvieron resultados que indican que aunque la extracción de nutrientes se encuentra relacionada con el contenido foliar no está determinada por este, dado que en la extracción de nutrientes los elementos N, P y K presentaron el mismo comportamiento teniendo mayor extracción el tratamiento +100 con valores de 1.8g, 0.3g y 1.05g para estos elementos respectivamente y menores valores de extracción el tratamiento sin fertilización con valores de 1.25, 0.07 y 0.85 para los elementos respectivamente .

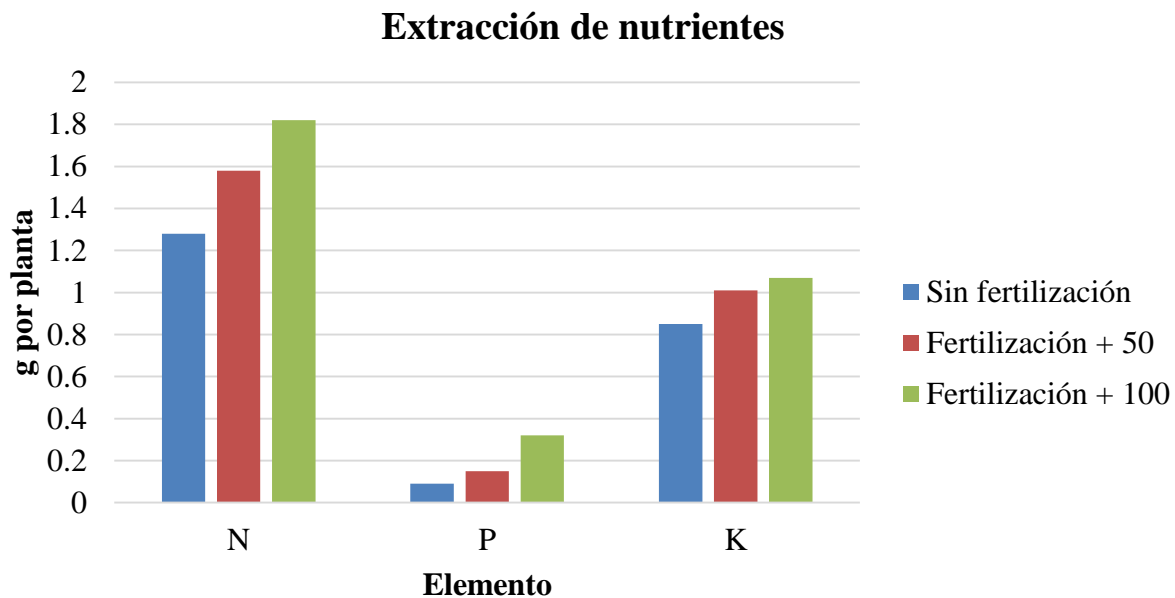


Figura 9. Extracción de nutrientes

Tabla 7.

Porcentaje de nutriente absorbido por planta

Elemento	% Sin fertilización	% fertilización +50	% fertilización +100
N	41.984	41.586	44.636
P	2.959	4.172	7.815
K	27.895	26.565	26.225

(Continuación tabla 7)

Ca	22.260	22.809	17.086
Mg	2.395	2.503	1.854
Na	0.535	0.695	0.397
S	1.972	1.669	1.987
Total	100	100	100

5.9 Eficiencias agronómicas del N, P y K.

Los índices de eficiencias agronómicas se desarrollaron con diferencias estadísticas ($P < 0.05$) para el N, P y K, a partir de la fertilización inicial se evidencia un incremento en los tratamientos con fertilización +50 y en el tratamiento con fertilización +100.

Los contenidos obtenidos con diferencias estadísticas ($P < 0.05$) determinaron que la mayor eficiencia de K la presentó el tratamiento con fertilización +100 y el tratamiento con fertilización +50 presentó los índices de eficiencia más bajos. Figura 9, de igual manera el N también desarrolló altos índices de eficiencia en el tratamiento con fertilización +100 y bajos índices en el tratamiento con fertilización +50, como se muestra en Figura 10.

La eficiencia se realizó con diferencias estadísticas ($P < 0.05$), para el P indicaron una mayor eficiencia en el tratamiento con fertilización +100, seguido por el tratamiento con fertilización +50. Cada uno de los tratamientos mostró que si se presentaron diferencias entre sí, debido a la variabilidad de concentraciones que se manejaron en cada uno de estos tratamientos. Como se muestra en la figura 12.

En el tratamiento con fertilización + 50 se encontró que por cada kg de N aplicado se incrementó la producción de biomasa en 21,26kg de MS, mientras que en el tratamiento con fertilización + 100 el incremento fue de 23,73kg de MS. Teniendo en cuenta el análisis se

evidencia que los valores mostrados en el tratamiento con fertilización + 50 están en el rango establecido por Dobermann, (2007), en presentan valores entre 10 y 30 kg kg⁻¹.

En el tratamiento con fertilización + 50 se encontró que por cada kg de P aplicado se incrementó la producción de biomasa en 25,91 kg de MS, mientras que en el tratamiento con fertilización + 100 el incremento fue de 27,79kg de MS. Igualmente se evidencia que los valores mostrados en el tratamiento con fertilización + 50 se presenta un valor similar con relación al mostrado por Botero, (2017), igualmente para el tratamiento con fertilización + 100, esto nos indica que este presenta un valor superior con relación al mismo.

Así mismo en el tratamiento con fertilización + 50 se encontró que por cada kg de K aplicado se incrementó la producción de biomasa en 11,54 kg de MS, mientras que en el tratamiento con fertilización + 100 el incremento fue de 14,55kg de MS. Igualmente se evidencia que los valores mostrados en el tratamientos con fertilización + 50 y el tratamiento con fertilización + 100 presentaron inferioridad con los valores presentados por Botero, (2017).

Cabe resaltar que los valores de eficiencia concuerdan con los de Gonzales et al., (2016), en donde se observa que los valores más altos se obtuvieron en el P, los valores medios el N y en el K se mostraron los valores más bajos.

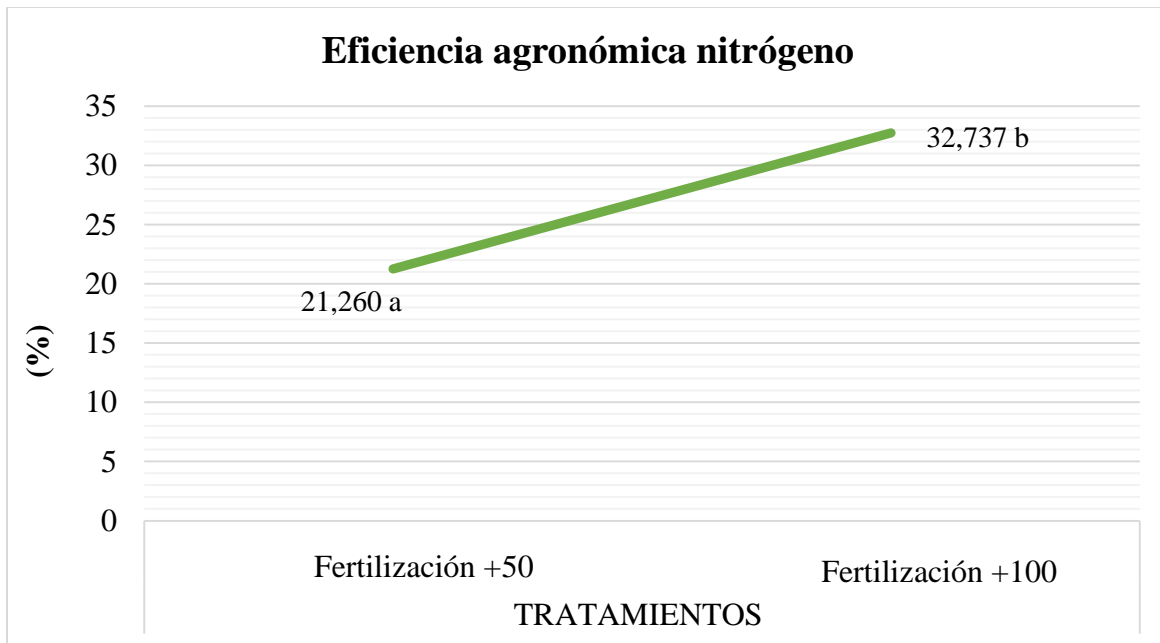


Figura 10. Eficiencia agronómica del nitrógeno.

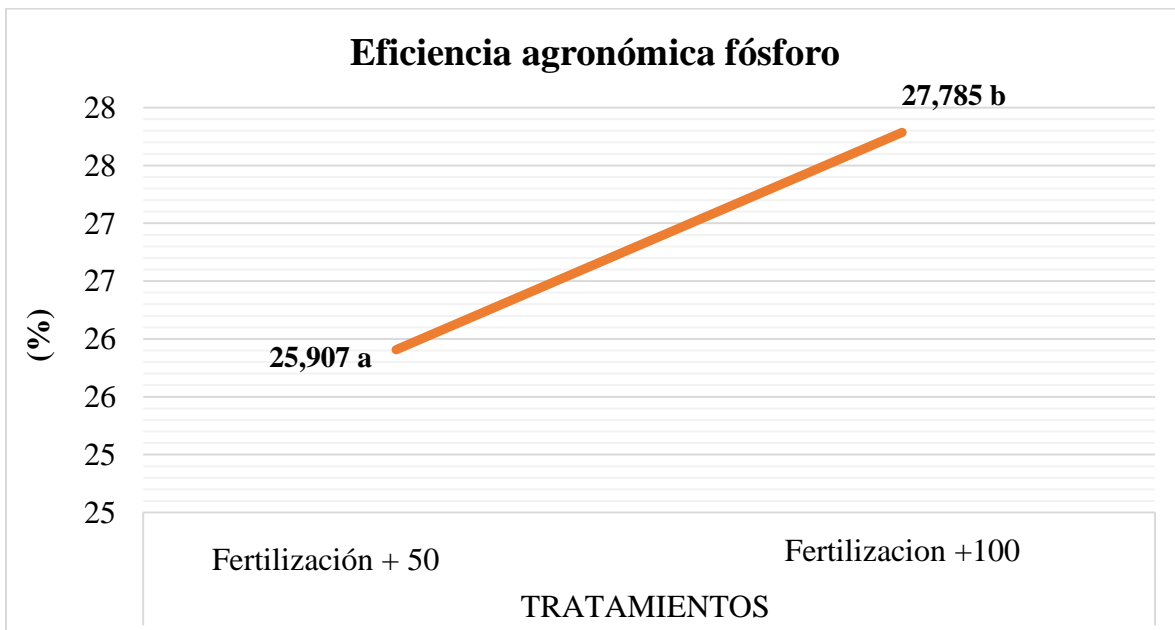


Figura 11. Eficiencia agronómica del fósforo

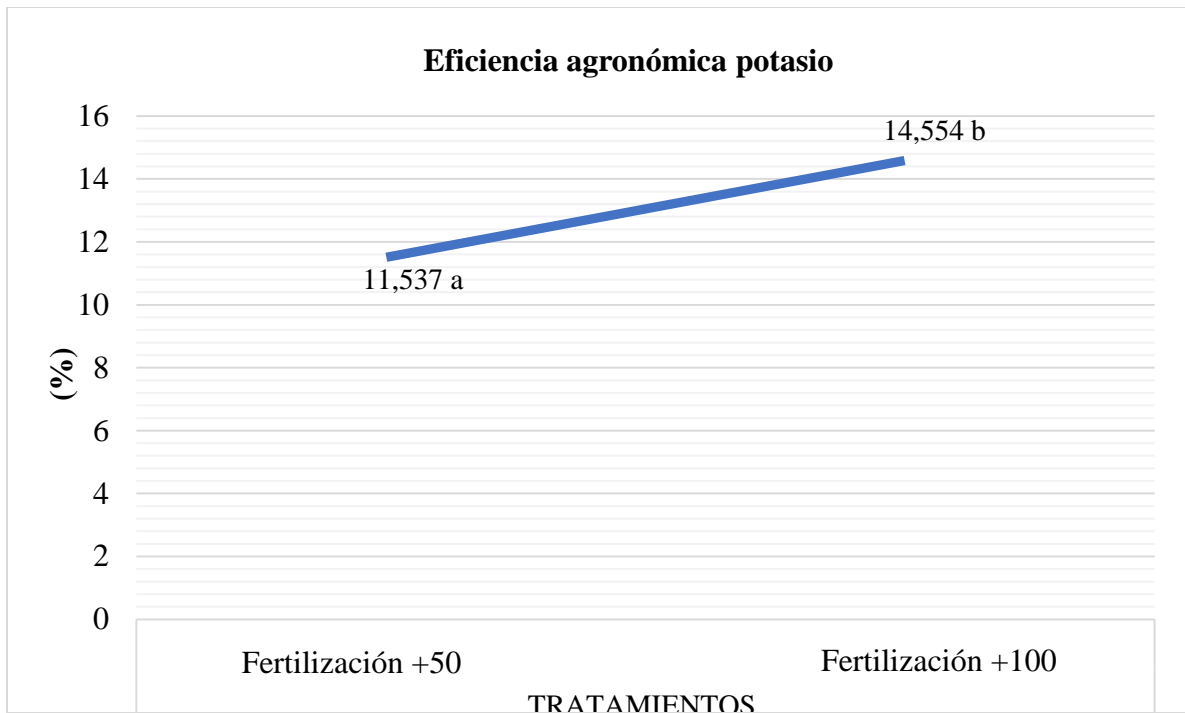


Figura 12. Eficiencia agronómica del potasio

6. Conclusiones

- El incremento de diámetro, incremento de altura y conteo de número de hojas mensual de los individuos de *E. globulus* muestra que esta especie responde positivamente a los tratamientos con fertilización, demostrando la importancia de la fertilización en los cultivos.
- Los elementos que fueron adicionados en la fertilización muestran un incremento significativo en la extracción de nutrientes lo cual garantiza una mayor producción de biomasa y una mayor capacidad productiva en el desarrollo de plantaciones comerciales.

7. Recomendaciones

- Se considera que por aspectos ambientales y económicos es recomendable realizar una fertilización con el tratamiento +50.
- Para investigaciones futuras se debe considerar ampliar el periodo de medición de variables en la etapa de establecimiento buscando la estabilización de los datos.
- Es importante realizar este tipo de proyectos con plantaciones de mayor edad optando por realizar seguimientos a largo plazo, con el fin de tener otras variables de reporte como perfiles de ahusamiento y producción de biomasa.
- Continuar con el seguimiento de esta investigación con el fin de tener datos completos del comportamiento tanto de parámetros productivos como de extracción de nutrientes de una plantación de *E.globulus* durante su desarrollo.

Referencias Bibliográficas

- Andrade, g. D. C., Da Silva, h. D., Ferreira, c. A., Bellote, a., & Moro, Luiz. (1995). Contribución del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para *Eucalyptus grandis*. *Bosque*, 16(1), 47-51. Recuperado de <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v16n1/art04.pdf>
- Aparicio, J. (2001). Rendimiento y biomasa de *Eucalyptus nitens* con alternativas nutricionales para una silvicultura sustentable en un suelo rojo arcilloso. Valdivia: Universidad Austral de Chile. Recuperado de <http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/aparicio,jl.pdf>
- Balboa, m., Álvarez, j., Rodríguez, r & Merino, A. (2003). Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por la cadena monte-industria. *Parte II: Cuantificación e implicaciones ambientales*. Rev CIS-Madera, N°10. Pág, 27-37.
- Barros, n. D., Novais, r. D., Teixeira, j. L., & Fernandes, F,. (1995). NUTRICALC 2.0-Sistema para cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. *Bosque*, 16(1), 129-131. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Elpidio_Fernandes_Filho/publication/229086197_NUTRICALC_20sistema_para_calculo_del_balance_nutricional_y_recomendacion_de_fertilizantes_para_el_cultivo_de_eucalipto/links/0deec52a3af5042f05000000.pdf
- Brañas, j., Merino, a., & González-río, F. (2000). Contenido y distribución de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus globulus* del noroeste de la Península Ibérica. *Forest Systems*, 9(2), 317-335. Recuperado de <https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/view/2627>.
- Botero, J. (2007). Potencial de extracción y utilización de nutrientes de *Tithonia diversifolia* y su relación con el rendimiento y calidad nutricional (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Carimentrand, j., Lugo, l., & Lozada, J. (2002). Efectos inducidos en los suelos, por las plantaciones de Eucalipto en el Estado Portuguesa, Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, 17(31), 99-117. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Jose_Lozada2/publication/236596550_Efectos_inducidos_en_los_suelos_por_las_plantaciones_de_Eucalipto_en_el_Estado_Portuguesa_Ven

ezuela/links/5845d79408ae61f75dd7cd69/Efectos-inducidos-en-los-suelos-por-las-plantaciones-de-Eucalipto-en-el-Estado-Portuguesa-Venezuela.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2014). Tercer Censo Nacional Agropecuario, Bogotá: DANE

Esquivel, e., Rubilar, r., Sandoval, s., Acuña, e., Cancino, j., Espinosa, m., & Muñoz, F. (2016). Sustentabilidad en el uso de nutrientes de plantaciones dendroenergéticas en dos suelos marginales de la Región de Biobío, Chile. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(33), 11-19. Recuperado de <http://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/2573>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2002). *Los fertilizantes y su uso: una guía de bolsillo para los oficiales de extensión*. Food & Agriculture Org, Roma: FAO

Frangi, j., Pérez, c., Goya, j., Tesón, n., Barrera, m., & Arturi, m. (2016). Modelo empírico integral de una plantación de *Eucalyptus granáis* en Concordia, Entre Ríos. *Bosque (Valdivia)*, 37(1), 191-204. Recuperado de https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_es|lang_en|lang_pt&id=9HtOrqp5josC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Los+fertilizantes+y+su+uso:+una+gu%C3%ADa+de+bolsillo+para+los+oficiales+de+extensi%C3%B3n.+Food+%26+Agriculture+Org.&ots=kVgb7sc_3j&sig=UjQBUfVs6_DudUA7Dd5UD3WSRmk#v=onepage&q=Los%20fertilizantes%20y%20su%20uso%20una%20gu%C3%ADa%20de%20bolsillo%20para%20los%20oficiales%20de%20extensi%C3%B3n.%20Food%20%26%20Agriculture%20Org.&f=false

González, A. (Octubre de 2009). Extracción y reciclaje de nutrientes por cosecha de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus maidenii*. *XIII congreso Forestal Mundial, Buenos Aires, Argentina*.

González, a., Hernández, j., & Del Pino, a. (2016). Extracción y reciclaje de elementos nutritivos por cosecha de *Eucalyptus globulus* en Uruguay. *Bosque (Valdivia)*, 37(1), 179-190. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-92002016000100017&script=sci_arttext

Instituto Forestal. (1986). *Especies forestales exóticas de interés económico para Chile*. Santiago, de Chile: INFOR:CORFO

- Karla, Y. P. (1998). Handbook of reference methods for plant analysis. Recuperado de https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_es|lang_en|lang_pt&id=wLggXPmhY18C&oi=fnd&pg=PR3&dq=Handbook+of+reference+methods+for+plant+analysis.&ots=S6Q9-XII7Y&sig=CjvujIqt_weiY7cokxqmO0QDXc#v=onepage&q=Handbook%20of%20reference%20methods%20for%20plant%20analysis.&f=false
- Larocca, A. F., Dalla Tea, F. F., & SA-fernando, F. A. (2004). VII Técnicas de implantación y manejo de *Eucalyptus grandis* para pequeños y medianos forestadores en entre ríos y corrientes, Concordia, Estados Unidos. Recuperado de http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/9414/mod_resource/content/0/Clase_8_Tratamientos_intermedios/Larocca_2004_Tecnicas_de_implantacion_y_manejo_de_Eucalyptus_grandis_para_pequenos_y_medianos_forestadores_en_Entre_Rios_y_Corrientes.pdf
- Lisboa, m., & Rubilar, D. R. (2012). Análisis de ciclo de vida del proceso de producción de plantas a raíz cubierta de *Eucalyptus nitens*. Recuperado de <http://www.forestal.udec.cl/wppos2/wp-content/uploads/2012/08/Proyecto-Curso-ACV2012-Margdalena-Lisboa.pdf>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. (2012). Elaboración de un mapa de plantaciones forestales de la República Argentina de actualización permanente. Área SIG e Inventario Forestal, Argentina: MAGyP
- Martínez, f., Sarmiento, j., Fischer, g., & Jiménez, f. (2009). Síntomas de deficiencia de macronutrientes y boro en plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana*, 27(2), 169. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/img/revistas/agc/v27n2/v27n2a05.pdf>
- Merino A., Edeso j.m., Gonzales m.j., Marauri p., (1998). Soil properties in a hilly area following different harvesting management practices. *For. Ecol. Manage.* V.103, 235-246. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112797002296>
- Restrepo, Noemi. (2006). El Eucalipto: Una opción de alta rentabilidad. *El Mueble y La Madera.* V.53, 14-19. Recuperado de www.revista-MM.com

- Oliva, M. A., De Barros, N. F., & De Mouza Gomes, m. M. (1995). Muerte apical en eucalipto y manejo nutritivo de plantaciones forestales: aspectos fisiológicos del problema. Bosque. Recuperado de <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v16n1/art08.pdf>
- Perea, V., Pérez, J., de la Isla-de Bauer, M. L., Fenn, M., Trinidad, A., & Hernández, T. (2005). Fertilización, tipos de suelo y hongos micorrízicos y endófitos radicales asociados al eucalipto Terra Latinoamericana, vol. 23(2) pp. 201-212, Chapingo, México. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/573/57323207.pdf>
- Pérez, C. A., Frangi, J. L., Luy, A., Goya, J. F., & Arturi, M. F. (2012). Requerimiento y retorno de nutrientes de raíces finas en plantaciones de *Eucalyptus grandis*. In VII Congreso de Medio Ambiente. Argentina. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26916>.
- Pozo, E. (2005). Efecto de la fertilización sobre plantaciones de *Eucalyptus globulus* (Labill.) y *Eucalyptus nitens* (Maiden) de siete años de edad en la Comuna de Máfil, Provincia de Valdivia, Universidad de Chile.
- Prado, J. A., Barros, s. (1989). *Eucalyptus*: Principios de silvicultura y manejo. Santiago de Chile: Instituto forestal de Chile. División Silvicultura
- Rio, F. G., López, J., Astorga, R., Castellanos, A., Fernández, O., & Gómez, c. (1997, June). Fertilización y control de la vegetación accesoria en plantaciones de eucalipto. In Congresos-carga final. Recuperado de http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/viewFile/15412/15255.
- Rodríguez, R., Balboa, M., Gonzalez, J., Merino, A., & Sánchez, f. (2004). Efecto de la selvicultura en la extracción de nutrientes a lo largo del turno en plantaciones de tres especies de crecimiento rápido en el norte de España. Forest Systems, 13(4), 114-126. Recuperado de <https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/view/2432>.
- Rosso, B., & Gagliardi, S. (2014). Efecto de la fertilización y aplicación de bioestimulantes (Ingeniería agrónoma), Universidad de la Republica facultad de agronomía. Recuperado de <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/123456789/1724/1/3878bar.pdf>.
- Ruiz, R., Rivero, H., Alcalá, V., & Espinoza, M. (2006). Importancia de las plantaciones forestales de *Eucalyptus*. Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible, 2(3), 815-846. Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/461/46120313/>

Suárez, D., & Bonomelli, C. (1999). Fertilización del eucalipto. 2. Acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio. *Ciencia e Investigación Agraria*, 26(1), 11-19. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/24225>

Tesón, N., (2012). Balance hidrológico y flujo de nutrientes asociados al agua en plantaciones de *Eucalyptus grandis*, en Concordia (Tesis Doctoral). Facultad de ciencias naturales y museo, Concordia, Estados Unidos.

Uribe, M. (2005). Cobre, zinc y boro en la biomasa aérea de *Eucalyptus nitens* (Dean et Maiden) Maiden bajo diferentes tratamientos de fertilización en la Décima Región Universidad Austral de Chile, Valdivia. Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/fifr789c/doc/fifr789c.pdf>

Apéndices

Apéndice A. Plantas a los dos meses de germinación en vivero



Apéndice B. Laboratorio pesaje muestras de contenido foliar inicial



Apéndice C. Laboratorio secado muestras de contenido foliar inicial.



Apéndice D. Cercado del terreno



Apéndice E. Limpieza del terreno.



Apéndice F. Preparación del terreno.



Apéndice G. Laboratorio de medición de parámetros productivos y pesaje de las plantas antes de la siembra.



Apéndice H. Siembra.



Apéndice I. Aplicación de fungicida.



Apéndice J. Aplicación de insecticida.



Apéndice K. Medición de parámetros productivos primer mes.



Apéndice L. Medición del parámetro altura segundo mes



Apéndice M. Medición del parámetro diámetro segundo mes



Apéndice N. Medición de parámetros productivos del tercer mes.



Apéndice O. Medición de parámetros productivos cuarto mes.



Apéndice P. Pesaje de fertilizantes.



Apéndice Q. Preparación de los fertilizantes.



Apéndice R. Aplicación de la primera fertilización.



Apéndice S. Aplicación de la segunda fertilización.



Apéndice T. Extracción de plantas para laboratorio final de contenido foliar.



Apéndice U. Pesaje de plantas para laboratorio final de contenido foliar.



Apéndice V. Envío de muestras al laboratorio de Corpoica para laboratorio final de contenido foliar.

